

535.4
A 975 f

MFLU:3760

1996-3760

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

Temel Bilimler Araştırma Grubu

Proje No: TBAG-935

**FARK-HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİ
TEKNİĞİ İLE KATILARDA BÜYÜK
DEFORMASYONLARIN VE YER
DEĞİŞTİRMELERİN DOĞRUDAN
ÖLÇÜLMESİ**

Prof. Dr. Ramazan AYDIN ve Arş. Gör. F. Necati ECEVİT

ANKARA
Haziran, 1993

Buyuk katilarda

17304

535.4
A 975 f

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

Temel Bilimler Araştırma Grubu

Proje No: TBAG-935

**FARK-HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİ
TEKNİĞİ İLE KATILARDA BÜYÜK
DEFORMASYONLARIN VE YER
DEĞİŞTİRMELERİN DOĞRUDAN
ÖLÇÜLMESİ**

TÜRKİYE BİLİMSEL ve
TEKNİK ARAŞTIRMA
KURUMU KÜTÜPHANESİ

Prof. Dr. Ramazan AYDIN ve Arş. Gör. F. Necati ECEVİT

**ANKARA
Haziran, 1993**

Bağcı, Ekim 1993

17384

TEŐEKKÖR

Bu proje Orta Doğu Teknik Üniversitesi (O.D.T.Ü.) Fizik Bölümü Laser ve Atomik Demet Laboratuvarı ve Bölümün Atelye olanakları ve Türkiye Bilimsel ve teknik Araştırma Kurumu (T.Ü.B.İ.T.A.K.) Temel Bilimler Araştırma Grubunun mali desteği ile gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca O.D.T.Ü. Araştırma Fonu, A. v. Humboldt-Vakfı (Almanya) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu projeye destek sağlamışlardır.

Proje yürütücüsü ve araştırmacılar teşekkürlerini sunarlar.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Özet.....	iv
Abstract.....	v
Çizelge listesi	vi
Şekil ve fotoğraf listesi.....	vii
Sembol listesi.....	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 FARK HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİNİN KURAMSAL VE DENEYSEL PRENSİPLERİ.....	2
2.1 Genel Bakış.....	2
2.2 Kuramsal Temeller.....	3
2.3 Deneysel yöntemler.....	6
3. METOD VE ÖLÇÜMLER.....	11
3.1 Ölçü Düzenegi.....	11
3.1.1 Titreşimsiz Optik Masa.....	12
3.1.2 Argon İyon Laseri ve Etalon.....	13
3.1.2.1 Sıcaklık kontrollu Etalon.....	15
3.1.3 Optik Bileşenler.....	17
3.1.4 Holografik Plakalar.....	18
3.2 Ölçümler.....	18
3.3 Kayıt Malzemeleri ve Banyo İşlemleri.....	21
4. ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	22
5. TARTIŞMA.....	28
6. EKLER.....	30
6.1 Çift Pozlama (Double-Exposure) Tekniği.....	30
6.2 Filmlerde Işık Şiddeti ve Optik Duyarlık.....	32
6.3 Holografik Plakalar ve Özellikleri.....	32
6.3.1 Gümüş Halojen Emülsiyonu.....	34
KAYNAKLAR.....	37

Ö Z E T

FARK-HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİ TEKNİĞİ İLE KATILARDA BÜYÜK DEFORMASYONLARIN VE YER DEĞİŞTİRMELERİN DOĞRUDAN ÖLÇÜLMESİ

Adi holografik interferometri yöntemlerini kullanmak suretiyle birbirine benzeyen fakat şekilsel ve yapı bakımından küçük farklılıklar gösteren iki cisimdeki deformasyonların ya da yer değiştirmelerin doğrudan karşılaştırılması mümkün olamamaktadır. Fark holografik interferometrik ölçüm tekniği incelenen cismin pozlandırılmasında özel bir yöntem kullanarak adi interferometrinin karşılaştığı güçlükleri ortadan kaldırmaktadır. Fark holografik interferometride incelenen cisim (test obje) daha önce hazırlanmış olan örnek cisimden (master obje) elde edilen gerçek görüntü (real image) ile pozlandırılır. Diğer bir deyişle, test obje ilk durumunda master objenin ilk görüntüsü ile, son durumunda master objenin son durumunun görüntüsü ile pozlandırılır. Bu şekilde elde edilen interferogramda iki cisim (incelen ve örnek cisim) arasındaki fark doğrudan doğruya kaydedilir. Böylelikle büyük deformasyonların sebep olduğu çok sık ve kaydedilmesi mümkün olmayan girişim desenlerin sadece farkı kaydedildiğinden dolayı bu tür şekil değişimleri kolaylıkla incelenebilmektedir.

Bu araştırma projesinde biri test diğeri örnek olmak üzere iki farklı cisimde oluşan büyük deformasyonlar ve yer değiştirmeler fark holografik interferometri tekniği ile araştırıldı. Cisim olarak düşük voltaj ampuller, pirinç ve alüminyum malzemeden yapılmış levha ve plakalar seçildi.

Raporda fark holografik interferometrinin kuramsal temelleri kısaca tanıtıldıktan sonra deneysel yöntemler ve elde edilen girişim desenleri ayrıntılı olarak tartışıldı.

ABSTRACT

DIRECT MEASUREMENT OF LARGE DEFORMATIONS AND DISPLACEMENTS USING DIFFERENCE HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY

The usual holographic interferometric techniques do not make it possible to compare the deformations or displacements of two similar but different objects in direct interferometric way. The difference holographic interferometric technique overcomes this limitation by using holographically reconstructed illumination wavefronts in the usual techniques. This new technique makes the direct holographic interferometric comparison possible by using a special kind of object illumination in the usual holographic interferometric technique. The object to be investigated (test object) is illuminated with the holographically reconstructed real image of the master object serving as the base of comparison. The test object is illuminated in its initial state with the initial image of the master object and in its final state with the final image of the master object. The interferogram obtained this way displays directly the difference only.

In the present research project the difference holographic interferometric technique is used for displaying the interference fringes of large deformations and the differences in the shape changes of two objects in response to different load. In this report a short theoretical consideration of the difference interferometry is given and direct different measurements of large deformations and displacements of several different objects such as brass plates, aluminium sheets and low voltage electric lamp are presented.

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge-1 Holografi için kullanılan bazı ticari gümüş halojen emülsiyonları.....	36

ŞEKİL VE FOTOĞRAF LİSTESİ

	Sayfa
Şekil-1. Belirli bir dış etki altında bulunan örnek cisimde yer değişmelerin ortaya çıkması ve girişim deseni elde edilmesi (şematik). S_1 ve S_2 cisim yüzeyinin değişmeden önce ve sonraki konumlarını, A ve B seçilen noktaları, \bar{L} yer değiştirme vektörünü, \bar{k}_1 ve \bar{k}_2 vektörleri sırasıyla ekspoze ve gözetleme vektörlerini temsil etmektedir.....	4
Şekil-2. İncelenen cismin hologramının oluşumu. Burada A ve B, S_1 ve S_2 incelenen cismin ilk ve son konumlarının yüzey noktalarını, \bar{L} yerdeğiştirme vektörünü, $-\bar{k}_1$ ve $-\bar{k}_2$ ters yönde ekspoze ve gözetleme yönlerini ifade etmektedir	5
Şekil-3. FHİ deney düzeneğine bir örnek (açıklama metinde verilmiştir). Şekil tamamen şematik olup, ışık demetlerini açmak ya da genişletmek için kullanılan hacimsel filtreler, iris diyaframları gibi optik bileşenler şekilde gösterilmemiştir.....	6
Şekil-4. Bir tek referans ışık demeti ile fark holografik girişim deseni oluşturmak için kullanılan optik düzenek.....	8
Şekil-5. Fark-Holografik girişim tekniğinde beklenen girişim saçakları.....	9
Şekil-6. Üç ayrı girişim deseninin karşılaştırılması. Interferogramın alt yarısında örnek cismin (master hologram), sağ üst çeyrek bölmede incelenen cisimdeki yer değiştirmeler ve sol üst çeyrek bölmede ikisi arasındaki farkın girişim deseni şematik olarak çizilmiştir.....	10
Şekil-7. Ölçümlerde kullanılan optik düzeneğin kurulduğu masanın ara kesiti.....	13

Şekil-8.	(a) Bir tek laser çizgisi içinde boyuna modların frekans dağılımı ve (b) etalon yardımıyla elde edilen tek-mod titreşimi.....	14
Şekil-9 .	.....	16
Şekil-10 .	.....	16
Şekil-11.	.....	17
Şekil-12	Fark-holografik çekimler için kullanılan optik düzeneklerden birinin şematik blok diagramı	19
Şekil -13	. PQR yüzey elemanının P'Q'R' 'ye yer değiştirmesi.....	31
Şekil -14	Bazı holografik emülsiyonların spektral duyarlılıklarının pozlama ışığının dalgaboyuna bağlı olarak değişmesi.....	35
Fotoğraf-1.	Fark-holografik optik düzeneğin fotoğrafı.....	20
Fotoğraf-2.	Çift-çekim tekniği ile elde edilmiş bir ampulun tipik hologramı. Girişim saçakları ampula uygulanan farklı voltajların yarattığı farklı durumları yansıtmaktadır.....	22
Fotoğraf-3	.....	23
Fotoğraf-4	.....	23
Fotoğraf-5.	Fark holografik girişim elde etmek amacıyla seçilen objelerden birinin fotoğrafı.....	24
Fotoğraf-6.	Örnek cisim hologramının görüntüsü. Görüntü, hologram referans ışık demeti ile tekrar görüntülendikten sonra fotoğrafı çekilerek elde edildi.....	25
Fotoğraf-7.	Test cisim hologramının görüntüsü.....	26
Fotoğraf-8.	Fark-holografik girişim deseni. Örnek ve test cisimlerde oluşturulan yer değiştirmelerin farkı Bölüm-3.2'de açıklanan yöntemle kaydedildi	27

SEMBOL LİSTESİ

$\Delta\Phi$	Faz farkı
\vec{k}	Dalga vektörü
\vec{L}	Yer değiştirme vektörü
λ	Işığın dalgaboyu
$\Delta\nu$	Frekans aralığı
c	Işık hızı
L	Kavite boyu
l_c	Eşfazlılık uzunluğu
E_0	Işık enerjisi
T	Pozlandırma süresi
P	Laserin ıkış gücü

1 GİRİŞ

1960lı yıllarda eşfazlı (coherent) ışık üreten LASER aygıtının gerçekleştirilmesini izleyen yıllarda hem laser teknolojisinde hem de optik malzeme üretimi ve kullanımında ulaşılan başarılar ile birlikte holografi ve holografik interferometri sürekli artan bir önem kazanmıştır. Bilindiği gibi, holografide bir cisimden yansıyan ve cismin şekil özelliklerini en ince ayrıntısına kadar bünyesinde bulunduran dalga alanı bütünü ile yeniden elde edilebilmektedir. Böylelikle cisim ve kopyası arasında çok duyarlı karşılaştırma yapılabilmektedir. Örneğin, kopyanın hazırlanması esnasında cisimde herhangi bir şekil değişikliği veya gerilim oluşturulmuş ise cismin ilk ve son durumları arasındaki farkın optik duyarlılıkla kaydedilmesi mümkün olabilmektedir. Cismin başlangıçtaki yüzeysel ve şekilsel yapısı holografik girişim yöntemiyle kaydedildikten sonra cisimde, örneğin, basınçla yüzeysel şekil değişikliği oluşturulur ve tekrar holografik çekimi yapılır. Her iki konumdaki şekiller süperpozisyon yöntemi ile karşılaştırılırsa girişim desenleri elde edilir. Daha sonra girişim deseni bilinen yöntemlerle analiz edilirse cismin yüzeyinde ortaya çıkan deformasyon miktarı kullanılan laser ışığının dalgaboyuna bağlı olarak hesaplanabilir.

Holografik ölçüm yöntemlerinin bilinen klasik ölçüm yöntemlerine göre bazı önemli üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları (a) holografik ölçümlerin incelenen cisme doğrudan doğruya temas etmeden yüksek bir duyarlılıkla yapılabilir olması ve (b) incelenen cismin tümünün ölçü kapsamına alınabilmesi ve dolayısıyla benzeri ölçü tekniklerine göre pratik ve hızlı gerçekleştirilebilir olmasıdır.

Holografik interferometri özellikle yayınlık (diffuse) yansıtıcı cisimlerde oluşturulan yüzeysel deformasyonların veya rijid cisimlerdeki yer değiştirmelerin araştırılmasında başarı ile uygulanmaktadır [1-3]. İki yayınlık cismin farklı durumları, bunların birbirinden farklı mikro yüzey yapıları nedeniyle, bilinen adi optik yöntemlerle incelenememektedir. Holografik girişim tekniği bu alanda önemli bir duyarlılık getirmekle birlikte, aynı cismin farklı durumlarından elde edilen girişim desenlerinin incelenmesinde belirli sınırlamalar da getirmektedir. Bu sınırlamaların

aşılması için uygulanan yöntemlerin başında fark-holografik interferometri yöntemi bulunmaktadır. Bilindiği gibi, karmaşık yüzeysel yapıya sahip olan katı cisimlerin araştırılması, başka bir deyişle bu tür cisimlerin oluşturduğu dalga cephelerinin karşılaştırılması ve değişikliğin ölçülmesi sadece yüksek optik duyarlığa sahip holografik girişim yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. Karşılaştırma işlemi, incelenen cismin ışığa tutulması esnasında MASTER dediğimiz bir örnek cismin konjuge dalga cephesini kullanmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Araştırma konusu cismin, şekilsel özellikleri bilinen bir örnek cismin dalga cephesi ile ekspozite edilmesi ve bu şekilde elde edilen girişim deseninin örnek cismin girişim deseni ile karşılaştırılması düşüncesi ilk defa 1976 yılında Denby ve çalışma arkadaşları tarafından ortaya atılmış ve elektron desen interferometride uygulanmıştır [4]. Fark-Holografik Interferometri (FHİ) diye adlandırılan bu holografik girişim tekniği daha sonraları Füzessy ve Gyimesi tarafından 1982 yılından itibaren geliştirilerek katı cisimlerdeki büyük yerdeğişikliklerin incelenmesinde başarı ile uygulanmıştır [5,6].

Bu çalışmada FHİ tekniği kullanılarak çeşitli cisimlerde ortaya çıkan ve normal holografik girişim yöntemleri ile incelenemeyen büyük boyuttaki deformasyonlar ve yer deşiklikler ölçülmüştür. Çalışmada farklı optik düzenekler kullanılarak ölçüm hassasiyeti önemli ölçüde artırılmış ve benzeri ölçüm metodlarına üstünlük sağlanmıştır.

Raporda FHİ tekniğinin teorisi ile prensipleri ve ölçüm metodları özetlendikten sonra ölçüm yöntemleri anlatıldı ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı biçimde tartışıldı.

2 FARK-HOLOGRAFİK İNTERFEROMETRİNİN KURAMSAL VE DENEYSEL PRENSİPLERİ

2.1 Genel Bakış

Isısal veya mekanik etki ile cisimlerde oluşan deformasyon miktarlarının holografik girişim yöntemi ile duyarlı olarak belirlenebilmesi için, cismin başlangıçtaki yapısı holografik girişim ile üç boyutlu olarak kaydedildikten sonra cisimde yüzeysel şekil değişikliği oluşturulur ve tekrar holografik olarak kaydedilir. Heriki konumdaki şekiller

süperpozisyon yöntemi ile karşılaştırılırsa girişim desenleri elde edilir. Girişim deseninden cisim yüzeyinde ortaya çıkan hareket miktarı ışığın dalgaboyuna bağlı olarak hesaplanabilir. Böylelikle holografi, katı cisimlerde ortaya çıkan gerilmelerin ölçülmesinde ötedenberi kullanılan fotoelastik analiz ve Moire girişim tekniği gibi ölçü tekniklerin yerini almaktadır.

FHİ tekniği özellikle büyük deformasyonların ölçülmesinde önem kazanmaktadır. Bu tür deformasyonların sebep olduğu girişim saçakları çok sık olacağından bunların çıplak gözle görülmesi veya fotoğrafının çekilmesi mümkün değildir. Ancak bu test cismin girişim saçakları deseni, yaklaşık aynı boyutta bir kuvvetle oluşturulan ve özellikleri bilinen bir başka cismin girişim saçakları deseni ile karşılaştırmak suretiyle görülebilir ve fotoğrafı çekilebilir hale gelen FARK GİRİŞİM DESENİ elde edilebilir. Eşdeğer dış kuvvetlerin etkisiyle farklı iki cisimde oluşturulan deformasyonlar arasındaki farkların belirlenebilmesi için tüm yer değiştirme alanlarının ayrı ayrı hesaplanması gerekir. Ancak bu şekilde elde edilen sayısal sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılabilirler. Holografik girişim yönteminin yüksek duyarlı olmasının bir sonucu olarak cisimlerdeki büyük yer değiştirmelerin meydana getirdiği çok sık girişim desenleri ayırdedilemezler ve dolayısıyla bu tür deformasyonlar klasik holografik yöntemlerle ölçülemezler. Klasik yöntemin bu zorlukları fark-holografik interferometri tekniği ile çözümlenebilmekte ve katılarda oluşturulan her tür deformasyon bu teknikle kaydedilebilmekte ve incelenebilmektedir. Burada iki cisimde meydana gelen yer değiştirmelerden kaynaklanan girişim desenlerinin sadece farkların kaydedilmesi yeterli olmaktadır.

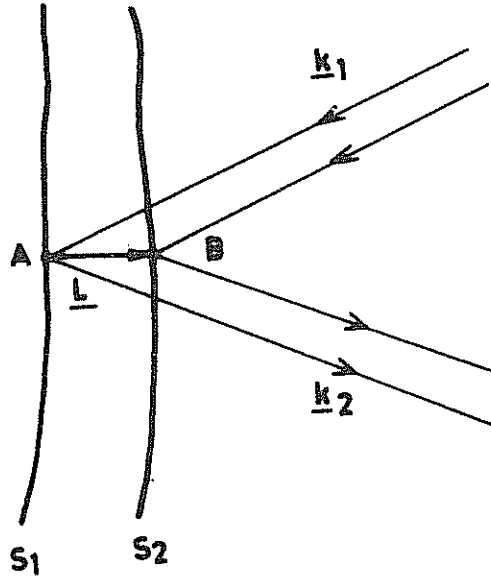
2.2 Kuramsal Temeller

FHİ tekniğinde, incelenen cisim örnek cismin dalga cephesi ile ekspozite edilerek holografik plakaya çift-poz tekniği ile kaydedilir. Cisimden yansıyan iki dalga cephesi arasında hacimsel dağılıma sahip iki cisim arasındaki farkı karakterize eden bir faz farkı ortaya çıkar. Bu şekilde kaydedilen incelenen cismin çift-poz hologramı tekrar elde edilirse faz farkını içeren dalga cephesi üstüste binerler ve bunların

toplamı veya farkı görüntülenebilir. Fark girişim deseni faz farklarının zıt yönde olması durumunda ortaya çıkar. Örnek dalga cepheleri arasındaki faz farkı

$$\Delta\Phi = (\bar{k}_2 - \bar{k}_1) \cdot \bar{L} \quad (1)$$

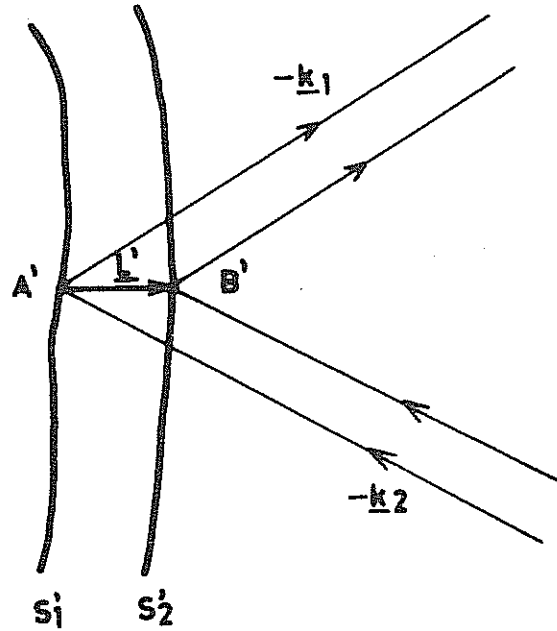
bağıntısı ile ifade edilebilir. Şekil-1'de görüldüğü gibi, \bar{k}_1 ve \bar{k}_2 sırasıyla aydınlatma ve gözetleme vektörlerini temsil etmektedir. Cisimdeki yer değiştirmelerin sebep olduğu girişim deseninin ortaya çıkması ve (1) eşitliğinin elde edilmesi Şekil-1'de şematik olarak görülmektedir.



Şekil-1. Belirli bir dış etki altında bulunan örnek cisimde yer değiştirmelerin ortaya çıkması ve girişim deseni elde edilmesi (şematik). S_1 ve S_2 cisim yüzeyinin değişmeden önce ve sonraki konumlarını, A ve B seçilen noktaları, \bar{L} yer değiştirme vektörünü, \bar{k}_1 ve \bar{k}_2 vektörleri sırasıyla ekspoz ve gözetleme vektörlerini temsil etmektedir.

Bu yöntemle örnek cismin hologramı alındıktan sonra örnek dalga cephesi zıt yöne çevrilmek suretiyle incelenecek cisim yüzeyi

pozlandırılır ve hologramı kaydedilir. Girişim deseninin elde edilmesi Şekil-2'de şematik olarak çizilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, örnek cisim dalga cepheleri zıt yönde hareket eden yeni ekspozite ışık demeti olarak kabul edilmekte ve örnek cismin bulunduğu yere incelenen cisim konularak yeni hologram çekilmektedir.



Şekil-2. İncelenen cismin hologramının oluşumu. Burada A ve B, S_1 ve S_2 incelenen cismin ilk ve son konumlarının yüzey noktalarını, \vec{L} yerdeğiştirme vektörünü, $-\vec{k}_1$ ve $-\vec{k}_2$ ters yönde ekspozite ve gözetleme yönlerini ifade etmektedir.

Yine Şekil-2'den anlaşılacağı gibi L ve L' yerdeğiştirmeleri arasındaki faz farkı

$$\Delta\Phi = [(-\vec{k}_1) - (-\vec{k}_2)] \cdot \vec{L} - \Delta\Phi = (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot (\vec{L} - \vec{L}') \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Pozlamada örnek dalga cepheleri zıt yönde

incelenen cismin dalga cepheleri referans ışık demetinin konjugesi olarak örnek cismin kaydedildiği konumda tekrar üretilmektedir. Deneysel olarak yapılacak işlem düzlemsel bir referans ışık demetinin seçilmesi ve bunun holografik plakadan geçirildikten sonra bir düzlem ayna ile yönünün ters döndürülmesinden ibarettir.

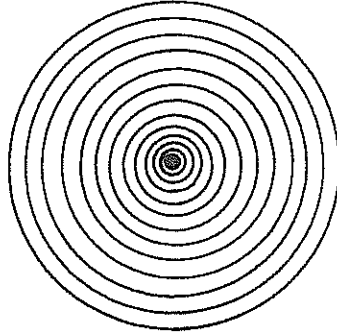
FHİ tekniği Şekil-3'de şematik ve basitleştirilmiş olarak verilen optik düzenek kullanılmak suretiyle deneysel olarak gerçekleştirilebilir.

Laser ışık demeti DA1 demet ayırıcı ile iki ayrı ışık demetine bölünür. Demet ayırıcıdan doğrudan geçen ışık demeti A aynasından yansdıktan sonra ÖC örnek cisim (master object) üzerine ve buradan yansıyan dalga cephesi cismin kaydedildiği holografik plakaya (HÖ) düşmektedir. Bu deneyde R1 ve R2 ışık demetleri referans ışık demeti görevi yapmaktadırlar. R3 yardımcı ışık demeti geri yansıtıcı aynaları (A1 ve A2) yardımıyla hologramın konumunun optik hassasiyetle ayarlanması işleminde kullanılmaktadır. R4 ışık demeti ise incelenen cismin hologramının HC holografik plağına kaydedilmesi esnasında referans ışık demeti olarak kullanılmaktadır.

Çekimler için sırasıyla şu işlemler ayrı ayrı gerçekleştirilir: Örnek cismin iki farklı durumu (biri dış etki uygulanmadan önce ve diğeri dış etki uygulandıktan sonra) aynı holograf plakaya (HÖ) farklı yönlerden gelen referans ışık demetleri (R1 ve R2) yardımıyla kaydedilir. Çift poz (Double-Exposure) tekniği ile gerçekleştirilen bu çekimden sonra holografik plaka banyo işlemlerinden geçirilerek master hologram dediğimiz örnek cismin hologramı elde edilmiş olur. Master hologramda örnek cismin tüm özelliklerini içeren dalga cepheleri kaydedilmiş olup, incelenmesi istenen cisim ile karşılaştırılması ve ikisi arasındaki farkların ayrı bir plakaya kaydedilmesi mümkündür.

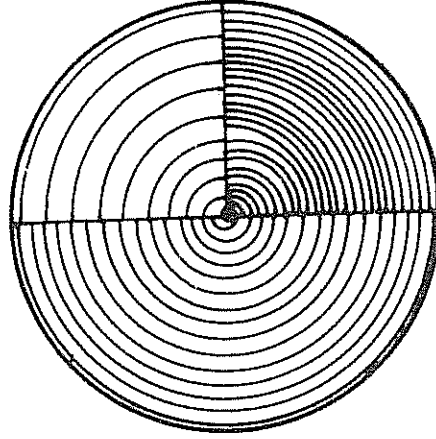
İkinci aşamada örnek cisim uzaklaştırılır ve yerine incelenecek cisim (İC) hassasiyetle yerleştirilir. HC plakası (incelemek için kaydedileceği plaka) Şekil-3'de görülen konumuna monte edilir. Aynı şekilde master hologram, HÖ, eski konumuna geri konulmuştur. Bu durumda R4 referans ışık demeti ve A2 aynası ile ters döndürülerek konjuge ışık olarak örnek hologramdan cisim üzerine düşen ışık demeti

aynası ile sağlanır. Bu defa ÖC örnek cisim yerine incelenecek olan cisim, İC, yerleştirilir. Bu kez RC referans ışık demeti kullanılarak İC cisminin hologramı HC holografik plakasına çift-çekim tekniği ile kaydedilir. Bu çekim esnasında RÖ referans ışığın ters çevrilmesi ile her iki konjuge dalga cepheleri incelenen cismin, İC, her pozlanmasında kaydedilir. İncelenen cismin hologramının tekrar kazanılması işleminde dört dalga cephesinin girişimi gözlenmektedir. Burada da, az önce bahsedildiği gibi, fark girişim deseni yanında yer değiştirmelerin toplamından kaynaklanan saçaklar da bulunmaktadır. Ancak meydana getirilen yer değiştirmeler çok büyük ve dolayısıyla girişim saçakları çok sık olacağından gözlenen girişim deseni fark girişim deseni olacaktır. Toplam yer değiştirmelerden ileri gelen girişim saçakları gözlenemeyecektir. Elde edilen fark girişim saçakları Şekil-5'de görüldüğü gibi eşit aralıklarla ortaya çıkacaktır.



Şekil-5. Fark-Holografik girişim tekniğinde beklenen girişim saçakları.

Örnek cisimde, incelenen cisimde ve ikisi arasındaki farklardan oluşan girişim desenleri deney esnasında cismin yüzeyi kısmen kapatılarak interferogramlar aynı Şekil-6'da görüldüğü gibi karşılaştırılabilir.



Şekil-6. Üç ayrı girişim deseninin karşılaştırılması. Interferogramın alt yarısında örnek cismin (master hologram), sağ üst çeyrek bölmede incelenen cisimdeki yer değiştirmeler ve sol üst çeyrek bölmede ikisi arasındaki farkın girişim deseni şematik olarak çizilmiştir.

Fark-holografide experimental düzeneği yukarıda kısaca anlatılanlardan farklı biçimde düzenlemek de mümkündür. Örneğin, cisimden yansıyan demeti demet ayırıcı ile iki kısma bölmek ve obje ışık demetini iki farklı açı altında plakaya düşürmek suretiyle bir referans ve iki dalga cephesi ile çekim yapılabilir. Bütün bu farklı optik düzeneklerin ve ölçüm tekniklerinin duyarlılık ve ölçüm kalitesi üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır. Çok karmaşık düzeneklerin kullanılması hassasiyeti artırmakla birlikte optik bileşenlerin pahalı olması nedeniyle deneyin maliyetini büyük boyutlara çıkarmaktadır. Bu yöntemle cisimlerde oluşturulan her türlü yer değiştirmenin örneğin yüzeysel deformasyon ile katı cisim yerdeğiştirme farklarının yüksek duyarlılıkla belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Elde edilen fark girişim deseni iki cisim arasındaki farklılığın veya benzerliğin bir ölçüsüdür. İncelenen cismin ve örnek cismin aynı olması durumunda fark sıfır olacak ve girişim deseni oluşmayacaktır.

Fark-holografik interferometri karşılaştırmalı holografiden [7,8] esas itibarıyla ve uygulama bakımından tamamen farklıdır. Fark-holografik girişim yönteminde örnek cisim ve test edilen cismin ayrı ayrı girişim

desenlerinin farkı doğrudan doğruya kaydedilmektedir. Karşılaştırmalı holografide ise iki cismin, biri master diğeri test cismi olmak üzere, girişim desenleri doğrudan karşılaştırılır. Bu yöntemle girişim saçakları çok sık olan ve gözlenemeyen büyük yer değiştirmelerin incelenmesi mümkün olamamaktadır. Bunun yanında, fark holografik girişim saçakları, ne kadar sık olurlarsa olsunlar farkları çok büyük olmadığı sürece, iki cismin girişim desenlerinin farklarını kaydedebildiği için büyük deformasyonların ve çok karmaşık yüzeysel yapıya sahip objelerin incelenmesine olanak sağlamaktadır.

FHI yöntemi holografik interferometride ulaşılan en ileri aşamalardan biri olup, sanayide ileri optik uygulamalar bakımından önemli bir bilimsel ve teknolojik boşluğu doldurabilecek niteliktedir. Bu nedenle FHI tekniğinin hem bilimde hem de mühendislikte geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Bu teknik çeşitli makina bileşenlerin ve malzemelerin yüzeysel yapısının hassasiyetle belirlenmesine, dış etki ve yük altında cisimlerde ortaya çıkan şekil değişikliklerinin ölçülmesine ve kalite kontrolünün duyarlıkla yapılmasına imkan vermektedir.

3 METOD VE ÖLÇÜMLER

3.1 Ölçü Düzenegi

Bu çalışmada öngörülen yüksek duyarlı ölçümlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla laboratuvarımızda mevcut laser sistemi, optik masa, optik bileşenler ve plaka tutucuları yeniden tasarımılandı ve bunlardan bir kısmı satın alındı bir kısmı Bölümümüz Mekanik Atelyesinde imal edildi. Kullanılan ölçü düzenegi ana hatları ile (a) titreşimsiz optik masa, (b) laser sistemi, (c) optik bileşenler (hacimsel filtreler, laser aynaları, demet ayırıcılar v.s.) ve tutucular, (d) holografik plakalardan oluşmaktadır. Bu bileşenlerin araştırma projesinde gerçekleştirilen deneyler için önemli ve anlamlı olan özellikleri aşağıda özet halinde sunulmuştur.

3.1.1 Titreşimsiz Optik Masa

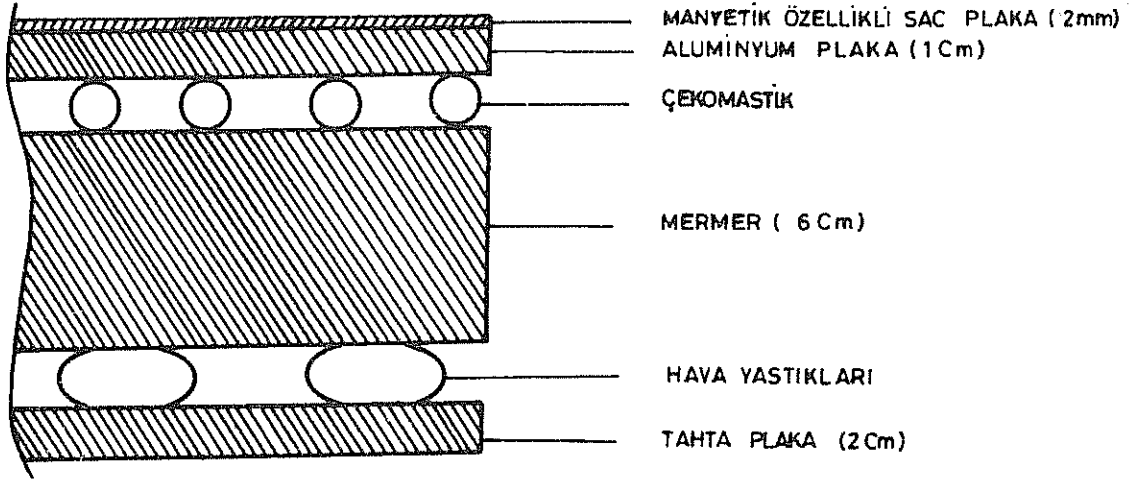
Holografik interferometride girişim deneylerinin başarı ile yapılabilmesi ve girişim saçaklarının birbirini etkilememesi için deney ortamının özellikle yerden gelebilecek titreşimlerden tamamen arındırılmış olmalı gerekir. Bu anlamda holografik düzeneği etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Laboratuvarın tabanından gelebilecek her türlü vibrasyon,
- optik düzeneğin kendisinden kaynaklanan öz titreşimler,
- deney ortamındaki toz, duman ve hava sirkülasyonunun sebep olabileceği optik yol değişimleri,
- laser ışığının yayılma yolu üzerinde ortaya çıkan sıcaklık değişimleri (sıcaklık gradientleri),
- özellikle optik eleman tutucularının yeterince stabil ve masif olmamasından ileri gelen değişimler ve kaymalar.

Optik yolda yaklaşık $0,25 \times$ saçak aralığı kadar yer değişimleri tolere edilebilir. Örneğin λ ışığının dalga boyu ve θ plakaya düşen iki ışık demeti arasındaki açı olmak üzere, hologram plağında saçak aralığı $d = \lambda/2 \cdot \sin(\theta)$ olup, $\theta = 10^\circ$ ve $\lambda = 5145 \text{ \AA}$ (argon-iyon laserin yeşil çizgisi) için $d = 1,5 \text{ \mu m}$ ve tolere edilebilecek yerdeğişimler $0,4 \text{ \mu m}$ kadar olabilir.

Bütün bu faktörler dikkate alınarak optik düzenek tozsuz, hava akımı olmayan ve temiz bir ortamda titreşimsiz optik masada kuruldu. Mermer blok ve hava yastıklarından yararlanılarak laboratuvarımızda inşa edilen titreşimsiz optik masanın arakesiti Şekil-7'de görülmektedir.

Yapılan titreşim testleri ile (örneğin Michelson interferometresi ile) optik sistemin ve masanın dış vibrasyonlardan arındırılmış ve iç vibrasyonları yeterince soğurucu özellikte olduğu tespit edildi. Deneylerde kullanılan argon-iyon laserin soğutma suyu sirkülasyonundan kaynaklanabilecek muhtemel titreşimlerden etkilenmemek için laser masası holografik düzeneğin kurulduğu masadan mekan olarak tamamen yalıtıldı. Ayrıca çevreden gelebilecek ayak sesleri, gürültü v.b. gibi olumsuz faktörlerden etkilenmemek ve mutlak karanlık ortam yaratmak amacıyla ölçümler gece geç saatlerde alındı.



Şekil-7. Ölçümlerde kullanılan optik düzeneğin kurulduğu masanın ara kesiti.

3.1.2 Argon-İyon Laseri ve Etalon

Bu araştırmada gerçekleştirilen deneylerde tek-çizgide (single line) 1 ila 3 watt arasında değişen laser gücü gerekmekte idi. Bu nedenle tüm çekimlerde argon iyon laseri kullanıldı. Gerekli olan bu gücün sağlanabilmesi için laboratuvarımızda mevcut Spectra Physics 2020-05 model argon-iyon laserin plazma tüpü yenilendi. Sadece deneylerin hazırlık aşamalarında ve bazı test çekimlerde He-Ne laserlerinden yararlanıldı.

Ar+ laseri 514,5 nm ile 454,5 nm arasında yer alan 9 ayrı çizgide laser emisyonu yapar. Bunlar arasında en şiddetli olan 514,5 nm ve 488,0 nm çizgileri deneylerimizde kullanıldı. Ancak bu çizgiler tek-mod veya tek-frekans olmayıp, geçiş frekansı etrafında dağılmış çok sayıda boyuna (longitudinal) titreşim modlarından oluşmuştur (bkz. Şekil-8a). Frekans dağılımının genişliği, yani çizgi genişliği, ve çizginin genliği başlıca sıcaklığa, laser maddesine ve alt ve üst laser düzeylerin birikim tersinmesine (population inversion) bağlıdır. Çizgi genişlemesi esas itibariyle uyarılmış argon iyonlarının hız farkları ile ortaya çıkar ve buna Doppler genişlemesi de denir. Laserin çıkış frekansı kesikli titreşim modların bir seti olup, aralarında, L laser kavitesinin boyu olmak üzere,

Diğer taraftan, laser demetinde sabit faz bağıntısının korunduğu uzaklık olarak tanımlanan ve holografik interferometride çok önemli bir büyüklük olan eşfazlılık uzunluğu (coherence length) çizgi genişliği ile ters orantılıdır:

$$l_c = \frac{c}{\Delta\nu}$$

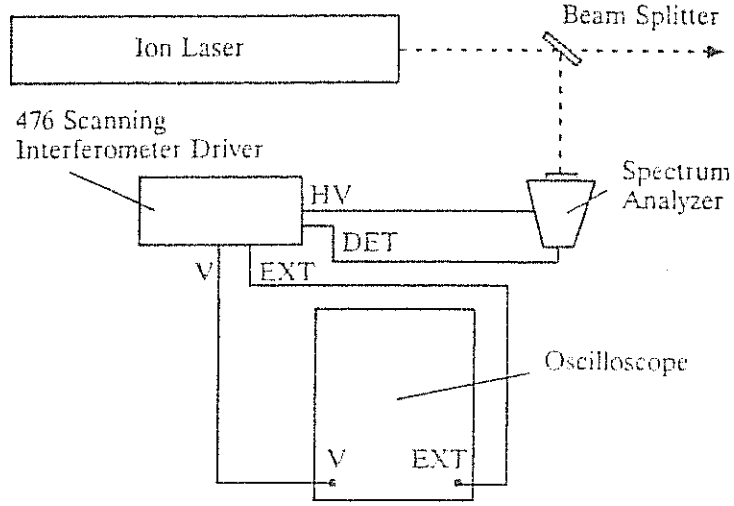
Eğer laserin çıkışı tek çizgiden tek frekansa değiştirilirse $\Delta\nu$ küçüleceğinden dolayı l_c eşfazlılık uzunluğu büyüyecektir. Örneğin, argon-iyon laserin 6 GHz olan tipik tek-çizgi genişliği yaklaşık 3 MHz olan tek-frekansa indirildiğinde eş fazlılık uzunluğu yaklaşık 50 mm'den 20 m'ye yükselir. Bilindiği gibi, holografik interferometride genelde iki ışık demetinin girişim yapması ile oluşan karanlık-aydınlık saçaklar deseninin analizi sözkonusudur. Bu girişimde faz duyarlılığının kaydedilebilmesi ve holografik olayın ortaya çıkabilmesi için ışık demetlerinin aldığı optik yolların farkı laserin eşfazlılık uzunluğundan küçük olmalıdır. Diğer bir ifade ile, olayda kullanılan laser ışığının spektral genişliğinin mümkün olduğunca küçültülmesi gerekir. Bu işlem de laser kavitesi içine uygun bir etalon monte etmek suretiyle gerçekleştirilmektedir.

3.1.2.1 Sıcaklık Kontrollü Etalon

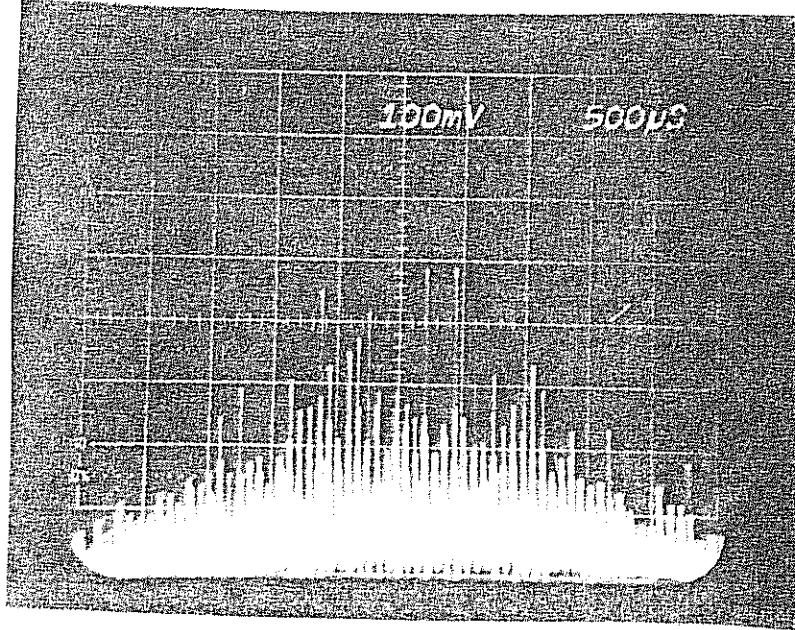
Tek-frekans laser ışık demeti üretmek amacıyla mevcut Spectra Physics 2020-05 Model argon-iyon laserine aynı firmanın uygun bir etalonu monte edildi. Burada amaca en uygun olarak "Spectra Physics Model 583 Oven-Controlled Etalon with Model 482 Temperature Controller" sistemi seçildi.

Serbest çalışan (frekans kontrolsüz) argon-iyon laserinde etalon olsa dahi tek-frekans çizgileri ısınma ve benzeri dış etkilerin altında bir yöne doğru sürükleneceklerdir. Bunu önlemek için sıcaklığı belirli bir değere kilitleyen sıcaklık kontrollü etalon amaca uygun düşmektedir. Kullandığımız etalon ile sıcaklığı 0,01 °C içinde kontrol etmek ve frekans stabilitesini ± 20 MHz aralığında tutmak mümkün olmaktadır. Laser ışığının

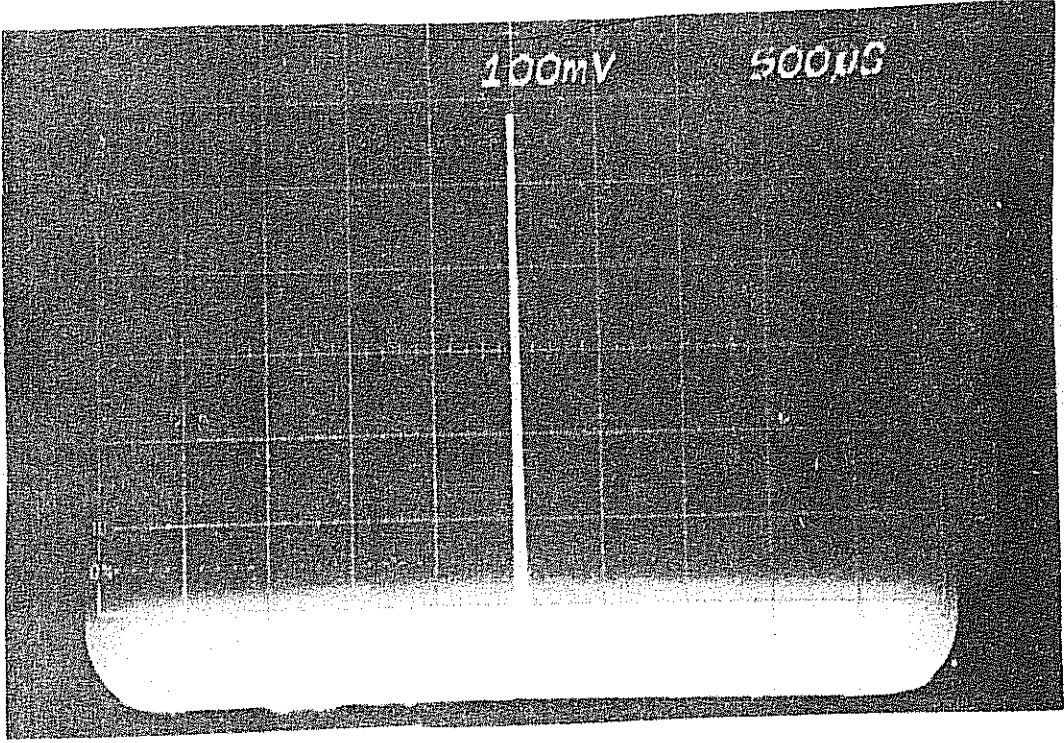
spektrumunu görüntülemek ve analiz etmek için bir spektrum analizör (Coherent Tropel Spectrum Analyzer Model 240 with Coherent Spectrum Analyzer Controller Model 251) Şekil-9'da görüldüğü gibi osiloskopa bağlandı ve ışığın mod-durumu sürekli gözlem altında bulunduruldu. Şekil-10'da etalonsuz elde edilen çok frekans ve Şekil-11'de etalon ile elde edilen tek-frekanslı laser çıkışları görülmektedir.



Şekil-9



Şekil-10



Şekil-11

3.1.3 Optik Bileşenler

Bu deneyde kullanılan malzemelerin ve optik bileşenlerin özellikleri ve amaçları:

- Hacimsel Filtre ve kollimator:

pindler & Hoyer Beam Expanding System, 50X, with Spatial Filter ve Spectra Physics Model 332 with Model 336 Collimating Lens.

Genişletilmiş düzlemsel dalga elde etmek ve hologram plakasını pozlandırmak için kullanılmıştır. İçinde bulunan hacimsel filtre ile laser ışığından ve optik düzeneklerden dolayı oluşan düzgün olmayan ışığın dağılımını filtre etmek için kullanılmıştır.

- Demet ayırıcı: (Çap: 5 cm)

Esas amacı gelen ışığın %30 - %50'sini (açıya ve dalgaboyuna göre) yansıtması geri kalan kısmını geçirmesidir. Böylece aynı ışık kaynağından referans ve obje dalgalarını elde etmek mümkün olur.

- Ayna : (Çap: 5 cm)

Aynaların ön yüzeyleri kaplıdır, dolayısı ile yansıyan ışık temizdir (ayna camından yansıma olmadığı için) ve kayıplar azdır.

3.1.4 Holografik Plakalar

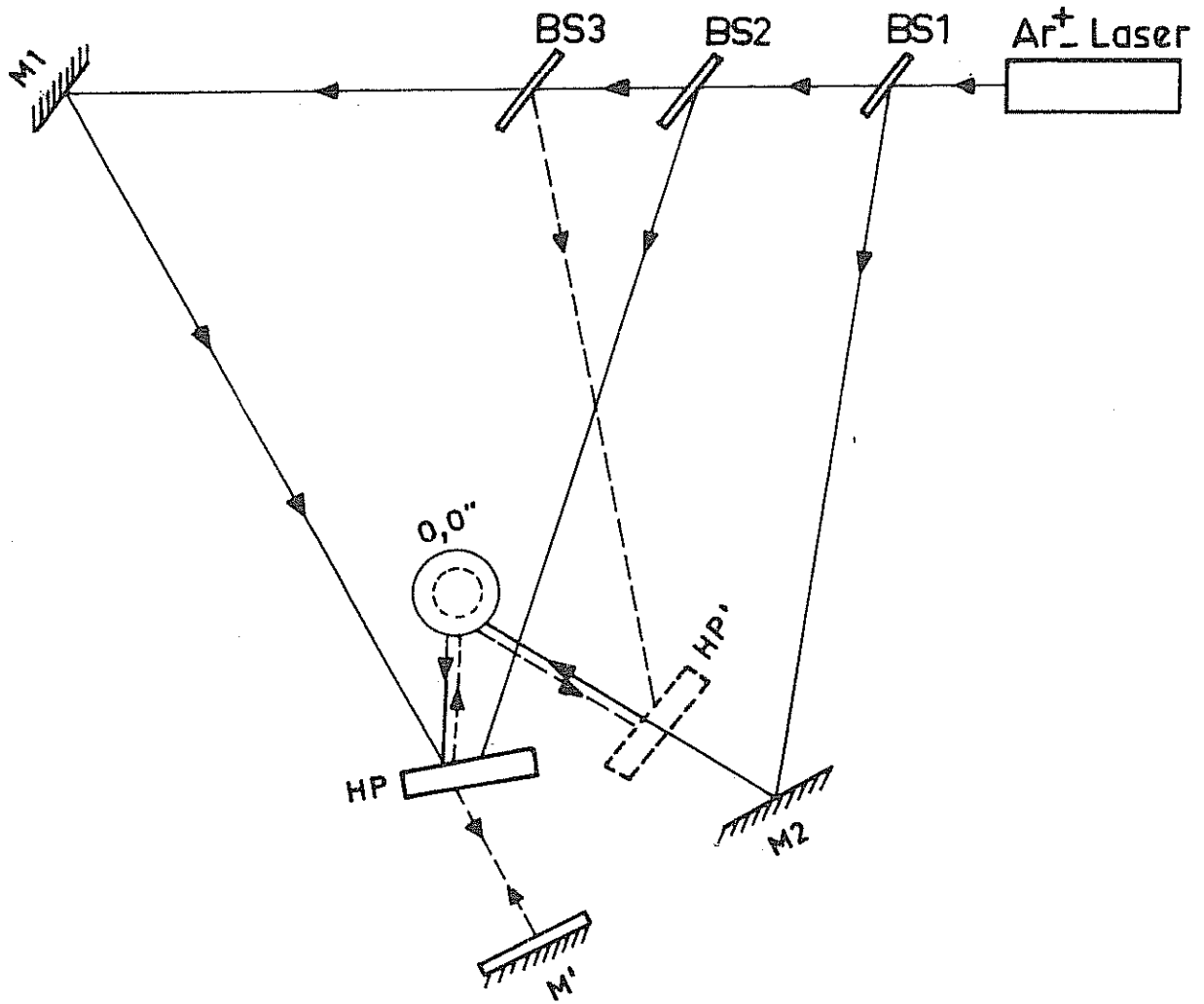
Bu projede kullanılan holografik plakalar, AGFA-GEVAERT 8E56 HD NAH, özel olarak Argon iyon laserinin dalgaboyuna duyarlı (514,5 nm) ve çizgi çözme gücü yüksek (>2000 çizgi/mm) olacak şekilde seçildi. Cam halinde 200 mm x 250 mm formatında ve 3,3 mm kalınlığında olan plakalar özel olarak atelyemizde imal edilen plaka tutucularına uygun olarak 50 mm x 60 mm ebadında kesilerek kullanıldı.

3.2 Ölçümler

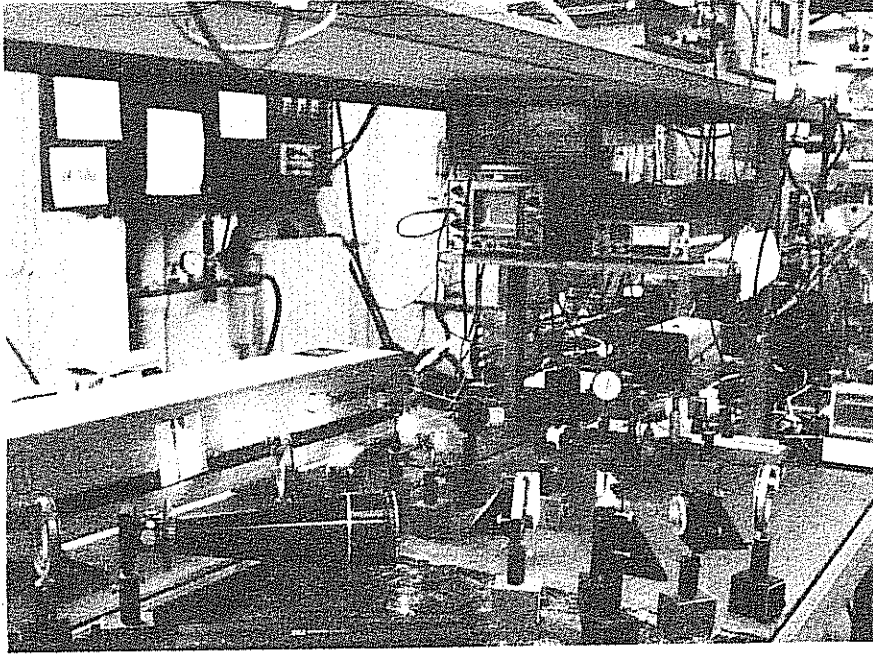
Ölçümlerde kullanılan optik düzeneklerden bir örnek Sekil-12'de görülmektedir. Sekilde düzenek şematik ve sadeleştirilmiş olarak çizilmiştir. Örneğin hacimsel filtreler, kollimatör ve spektrum analizör gibi önemli optik elemanlar şekilde yer almamaktadır. Fotoğraf-1'de optik düzeneğin fotoğrafı görülmektedir.

Bu düzeneği iki bölüme ayırabiliriz. Birinci bölüm, dolu çizgili ışınlar, master cisminin çift-poz hologramını çekmek için, diğer bölüm (noktalı çizgiler) master hologramının oluşturduğu gerçek görüntü kullanılarak test cisminin çift-poz hologramını çekmek için kullanıldı.

Birinci bölümde master cisminin kuvvet uygulanmadan önce HP plakası 10 saniye pozlandırıldı. Burada M1 aynasından yansıdıktan sonra hacimsel filtreden ve kollimatörden geçen ışınlar demeti referans demet olarak kullanılmış olup, düzlemsel dalgadırlar. Düzeneğin kuruluşu sırasında ışığın düzlemselliğini sağlamak amacıyla HP nin arkasındaki M' aynası kullanılarak ışık geri yansıtılarak kollimatör ve hacimsel filtreden geri çıkıncaya kadar gerekli ayarlar yapılmıştır, daha sonra M' aynasının önü kapatılmıştır. Çünkü bu paralel düzlemsel dalga



Şekil-12 .Fark-holografik çekimler için kullanılan optik düzeneklerden birinin şematik blok diyagramı.



Fotoğraf-1. Fark-holografik optik düzeneğin fotoğrafı.

ikinci bölümde master cisminin gerçek görüntüsünü oluşturmak için kullanılacaktır. Kuvvet uygulandıktan sonrada 10 saniye pozlandırıldı. Film banyo edildikten sonra aynı yerine kondu. Plakanın eski konumuna tam olarak koyulup koyulmadığını test etmek için M' aynasının önü açılarak hologramın gerçek görüntüsünün master cisminin üzerine düşmesi sağlandı. Ayrıca BS2'nin yansıttığı ışığın aynen hologram tarafından geri yansıtıldığından bu ışık da referans olarak kullanıldı. HP tutucusunun üzerindeki ince ayarlarla bu referans ışığı aynen geldiği yere düşecek şekilde ayarlar yapıldı.

İkinci bölümde master cismi test cismiyle değiştirildi, HP' yerine kondu. Yine kuvvet uygulanmadan önce HP' pozlandırıldı. Burada, HP den oluşturulan gerçek görüntü test objesini aydınlatmak için kullanılmıştır. Daha sonra master cismine uygulanan kuvvetin 2 katı kadar test cismine kuvvet uygulandı ve HP' tekrar pozlandırıldı. Sonra da film ilk bölümdeki gibi banyo edildi.

3.3 Kayıt Malzemeleri ve Banyo İşlemleri

Kayıt malzemesi olarak kullanılan AGFA 8E56 holografik plakaları yeterince pozlandırıldıktan sonra kendine özgü bir banyo tekniğiyle işleminden geçirildi. Literatürde bir kaç çeşit banyo çözeltisi mevcuttur. Bu çalışmada basit bir banyo işlemi olan 'pyrogallol' temelli bir teknik kullanıldı.

Bu teknikte kullanılan kimyasalları şöyle sıralayabiliriz:

Geliştirici banyo için (iki ayrı çözelti hazırlanır):

Çözelti A : Pyrogallol	10 g/L
Çözelti B : Sodyum Karbonat	60 g/L

Ağartıcı banyo için:

Potasyum Permanganat	0.8 g
Sülfirik Asit	10 cc
Su	1 L.

Son İşlem için: Foto Flo

Banyo işlemini üç bölüme ayırabiliriz:

a) Geliştirici banyo:

Eşit oranda A ve B çözeltileri banyoya başlamadan önce karıştırıldı. Plaka bu karışımın içinde yeterince kararınca kadar bırakıldıktan sonra 3 dakika kadar akan suda yıkandı.

b) Ağartıcı banyo:

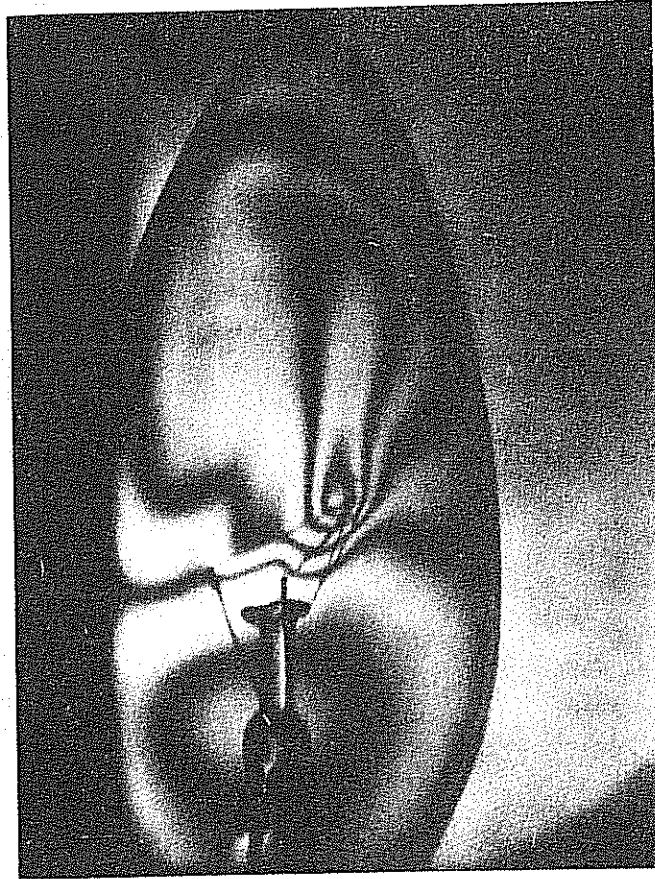
Sudan çıkartılan plaka ağartıcı banyo içinde ağarınca kadar (plakadaki karartı tamamen kayboluncaya kadar) bırakıldı ve sonra tekrar 3 dakika kadar akan suda yıkandı.

c) Son işlemden, plaka foto flo çözeltisi içinde 2 dakika kadar bekletildi ve en son olarak film tozsuz ortamda film kurutma kabininde kurutuldu.

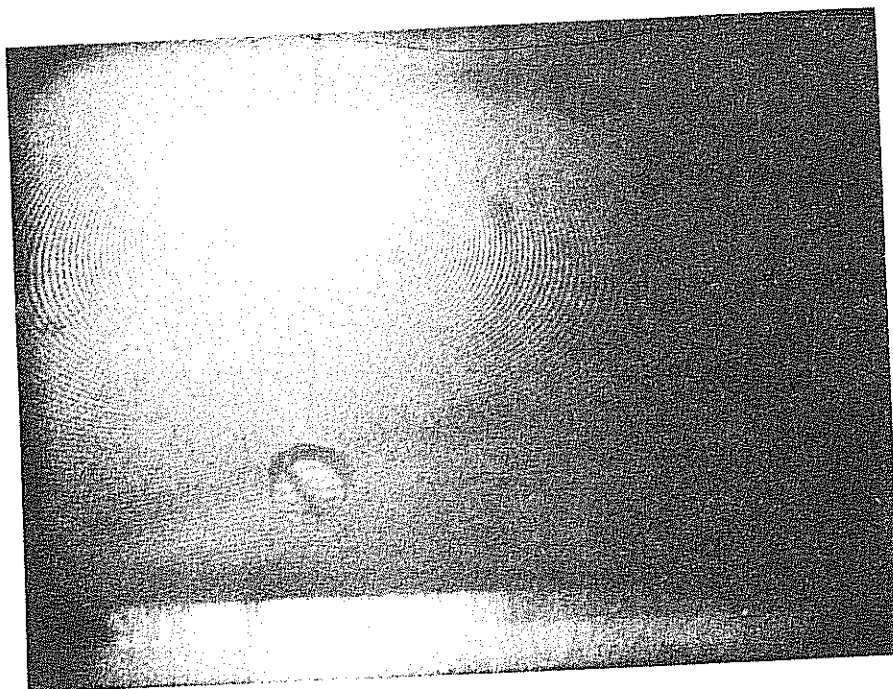
TÜRKİYE BİLİMSEL ve
TEKNİK ARAŞTIRMA
KURUMU KÜTÜPHANESİ

4 ÖLÇÜM SONUÇLARI

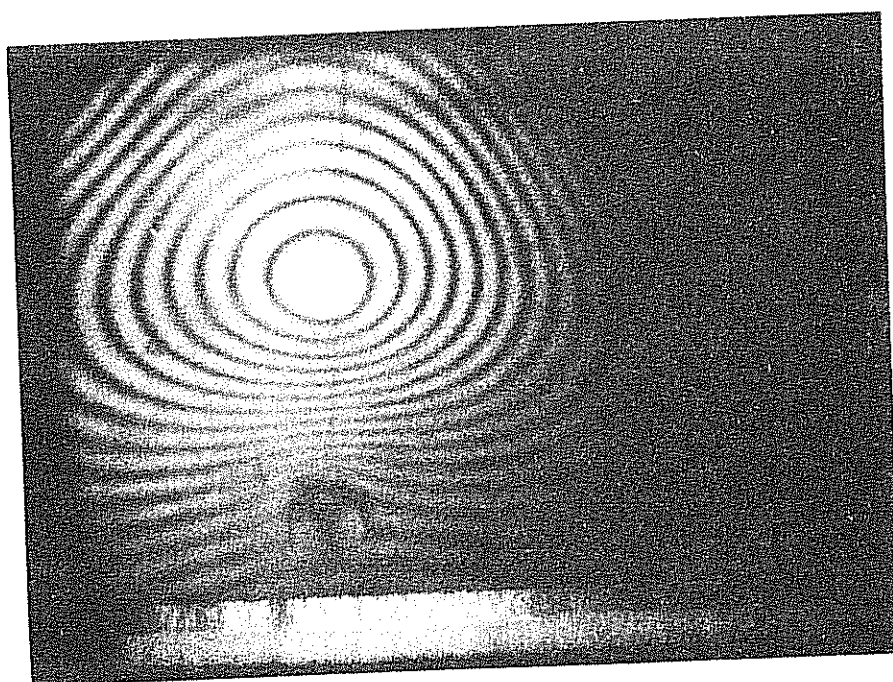
Bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi, tüm çekimler çift-poz tekniği ile kaydedildi (çift-poz çekim tekniği için Ek. 6.1'e bakınız). Fotoğraf-2'de bu teknik ile elde edilen bir ampulün girişim saçakları görülmektedir. Birinci aşamada ampula belirli bir voltaj uygulandı ve holografik çekim yapıldı. İkinci aşamada voltaj yükseltildi ve ortaya çıkan yeni durumda aynı plakaya ikinci çekim yapıldı. Fotoğrafta görülen girişim saçakları ampulün iki durumu arasındaki değişimin bir ölçüsü olmaktadır.



Fotoğraf-2. Çift-çekim tekniği ile elde edilmiş bir ampulün tipik hologramı. Girişim saçakları ampula uygulanan farklı voltajların yarattığı farklı durumları yansıtmaktadır.



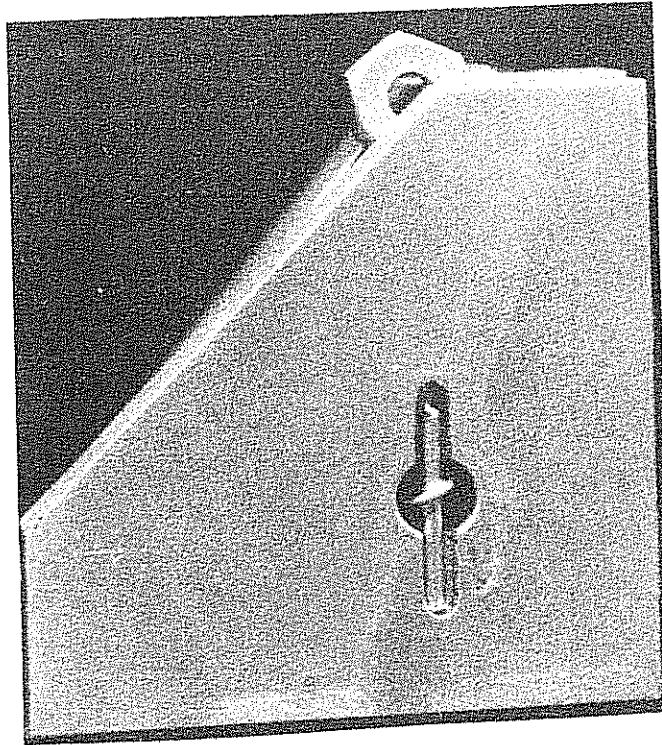
Fotoğraf-3



Fotoğraf-4.

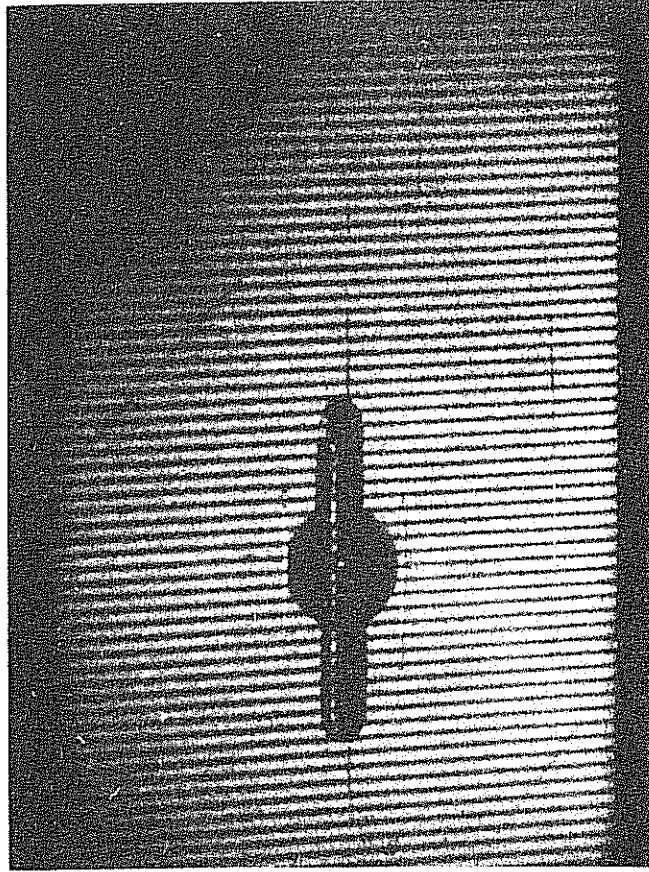
Fotoğraf-3 ve Fotoğraf-4'de daire şeklindeki bir alüminyum levhada farklı kuvvetler etkisinde oluşturulan girişim desenleri görülmektedir. Burada alüminyum levhaya dik doğrultuda merkezi kuvvet uygulandı ve yine çift-çekim tekniği ile girişim saçakları kaydedildi. Görünen dairesel saçaklar cisme uygulanan kuvvetle orantılı ve kuvvetin cisim yüzeyindeki dağılımını açıkça ortaya koymaktadır.

Fark girişim deseni elde etmek amacıyla kullanılan objenin hologramından alınmış bir resim Fotoğraf-5'de görülmektedir. Fotoğrafta görülen bu cisim, pirinç malzemedен yapılmış ve üç bilya bir yay yardımıyla birbirine tutturulmuş iki plakadan oluşan bir optik tutucudur. Pirinç plakalardan arka planda olanı sabit olup, önplanda olan plaka uygun mikrometrik vidalar yardımıyla üç boyutta hareket ettirilebilmekte ve böylece kolaylıkla konumu değiştirilebilmektedir. Bu düzenekle istenilen yön ve doğrultuda çok duyarlı yer değiştirmeler meydana getirilebilmektedir. Ayrıca çekimde pozlandırılan önplandaki plaka yayınlık bir yüzey elde etmek için istenilen renkte ve kalınlıkta boyanabilmektedir.



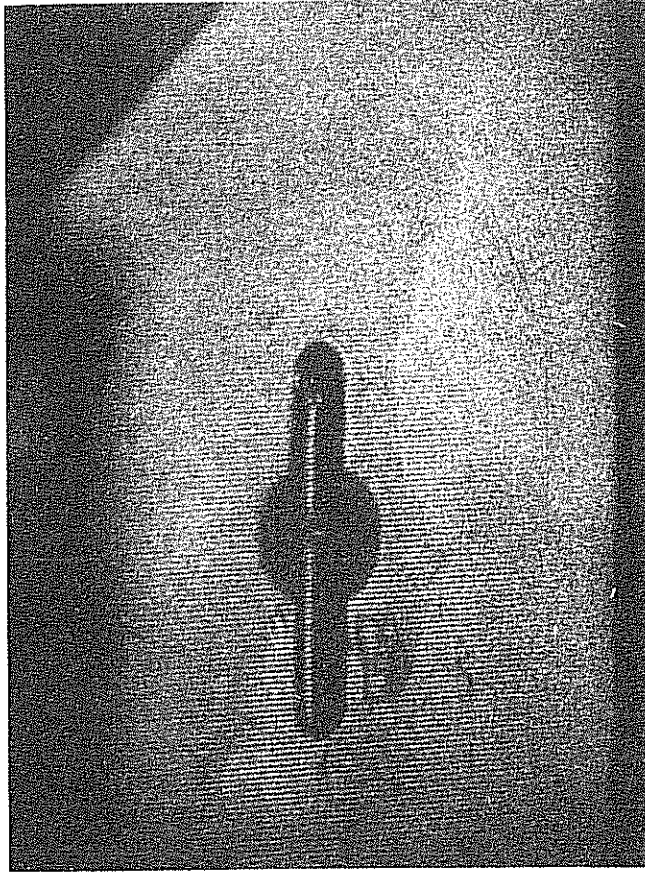
Fotoğraf-5. Fark holografik girişim elde etmek amacıyla seçilen objelerden birinin fotoğrafı.

Fotoğraf-5'de görüntüsü bulunan cisim kullanılarak elde edilen master hologramın girişim saçakları Fotoğraf-6'de görülmektedir. Elde edilen girişim saçakları oluşturulan yer değiştirmelerin veya şekil değişmesinin büyüklüğüne bağlı olarak sık veya seyrek ortaya çıkmaktadır. Arzulanan yer değiştirmeler pirinç plaka boyandıktan sonra vidalar yardımıyla yüzeyin tümünün konumu değiştirilerek elde edilmiştir. Bu durumda yer değiştirmeler yüzeyin tümünde fakat farklı miktarlarda ve yönlerde ortaya çıkmaktadır. Saçaklar ayrıntılı biçimde analiz edildiğinde yüzeydeki bu farklılık gözlenmektedir. Fotoğrafta gözlenen saçaklar yüzeyin en düzgün olduğu bölgeden alınmıştır.



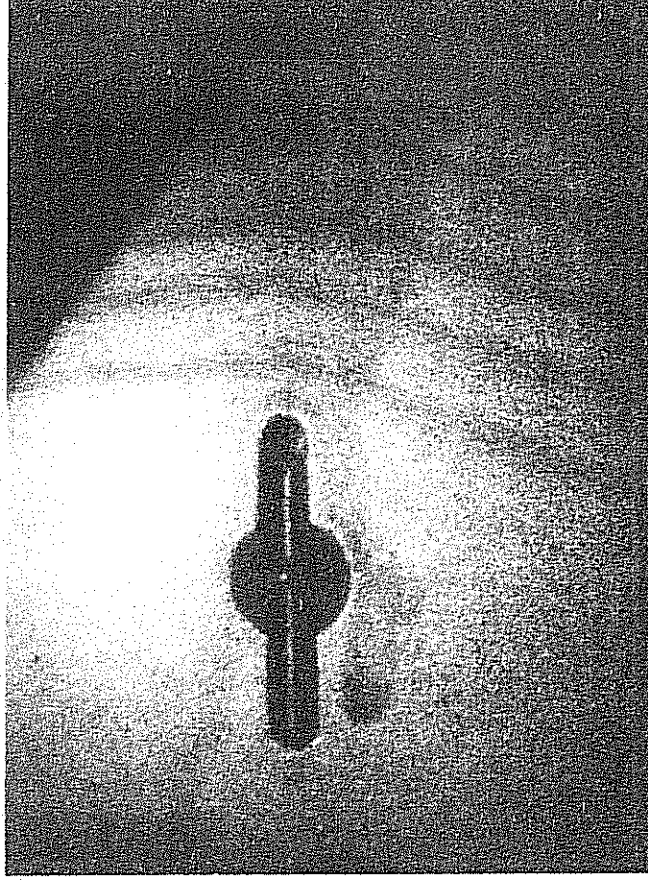
Fotoğraf-6. Örnek cisim hologramının görüntüsü. Görüntü, hologram referans ışık demeti ile tekrar görüntülendikten sonra fotoğrafı çekilerek elde edildi.

Deneyin ikinci aşamasında aynı cisim boyandıktan ve bir önceki deneyden farklı yer değiştirmeler oluşturulduktan sonra test cisim olarak kullanılmıştır. Böylelikle elde edilen girişim saçakları deseni Fotoğraf-7'de görülmektedir. Burada açıkça gözlendiği gibi, test cismine uygulanan konum değişikliği örnek cisimden farklıdır. Burada değişiklik daha büyüktür ve bunun sonucu olarak saçaklar daha sık ortaya çıkmıştır.



Fotoğraf-7. Test cisim hologramının görüntüsü.

Deneyin son aşamasında örnek ve test cisimlerin farkı kaydedilmiştir. Fotoğraf-8'da görülen fark-holografik girişim deseni iki cisimdeki yerdeğişmelerin eşit olmadığını göstermekte ve farkını kaydetmektedir.



Fotoğraf-8. Fark-holografik girişim deseni. Örnek ve test cisimlerde oluşturulan yer değiştirmelerin farkı Bölüm-3.2'de açıklanan yöntemle kaydedildi.

5 TARTIŞMA

Bu projede fark-holografik interferometri metodları kullanılmak suretiyle cisimlerde ortaya çıkan büyük yer değiştirme ve deformasyonların farklarının kaydedilebileceği gösterildi. Bilinen adi holografik interferometrik yöntemlerle cisimlerde sıcaklık ve yoğunluk değişmesi gibi dış etkilerle ortaya çıkan deformasyonlar kaydedilebildiği halde, bu yöntemler bunların farkının ölçülmesine olanak vermemektedir. Fark-holografik yöntemlerle kaydedilen interferogramlarda ise objelerde meydana gelen muhtelif kaynaklı değişmelerin farkları doğrudan doğruya optik yollarla ölçülebilmektedir. Diğer bir deyişle, master hologram ile incelenen cismin hologramının farkı doğrudan doğruya girişim deseni olarak kaydedilebilmektedir. Bu iki cisimde ortaya çıkan büyük deformasyonlar veya yer değiştirmeler aynı ise fark hologramı sağaksız olacaktır.

Fark-holografide karşılaşılan en önemli deneysel güçlük fark hologramın üretimi esnasında örnek cismin çekiminde kullanılan referans ışık demetinin ters çevrilerek konjugesinin elde edilmesidir. Konjuge ışık elde etmede başlıca zorluk optik düzeneğin stabilitesinden, bilhassa plaka tutucularının hassasiyetinden ve kullanılan holografik plakanın kalınlığından kaynaklanmaktadır. Bu deneylerde zorunlu olarak argon iyon laserin yeşil ışığına duyarlı Agfa 8E56 cam plakaları kullanılmıştır. Çok daha ince olan kırmızı He-Ne laserine duyarlı Agfa 8E75 plakaları kullanılması içi bir hayli kolaylaştıracak idi. Ancak laboratuvarımızda yeterli güçde He-Ne laseri bulunmadığından zorunlu olarak kalın plakalarla çalışılmıştır.

Bu araştırma projesinde öngörülen çekimler ve ölçümler planlanan kapsam ve nitelikte geręekleştirilmiřtir. Seçilen cisimler ve bunlara uygulanan yer değiştirme ve deformasyon üretim sistemleri optik duyarlılık içinde titizlikle test edilerek sistematik hataların ortaya çıkmamasına özen gösterildi. Araştırmalar için öngörülen ve satın alınması planlanan bazı optik bileşenler ve cihazlar projenin mali olanaklarının zamanla yetersiz kalması nedeniyle alınamamıştır. Eksiklikler, Üniversitemizin olanakları ve kişisel girişimler sonucu yurt içi ve yurt dışı kuruluşlardan karşılanmaya çalışılmıştır.

Projede önceden tasarlanan tüm ölçümler sınırlı teğhizat olanaklarına karşı geręekleştirildi. Ayrıca bu çalışmada sözkonusu deney tekniğinin hassasiyeti ve çok farklı yapı ve şekildeki cisimler için

de fonksiyonel olduğu gösterildi. Elde edilen interferogramların kalitesinin bazı durumlarda iyi olmaması tamamen mevcut optik sistemin duyarlılığına, kalitesine ve düşük çözme gücüne bağlanabilir. Ayrıca stabilite koşullarının optimum olmaması kaliteyi olumsuz yönde etkileyen diğeri bir faktördür.

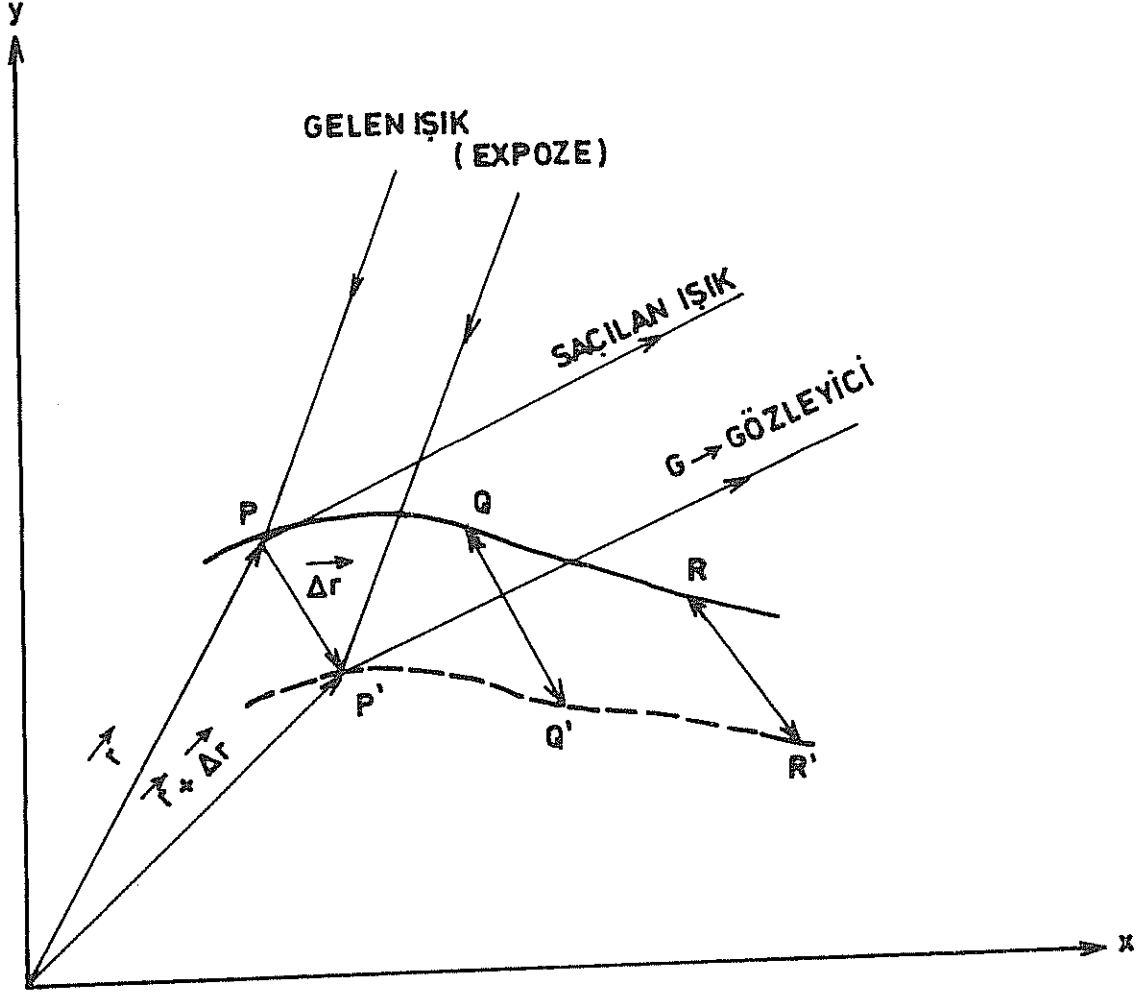
6 EKLER

6.1 Çift-Pozlama (Double-Exposure) Tekniği

Holografik girişim tekniğinde bir hologram plakası üzerine birden fazla çekim yapılabilir. Hologram plakasına önce başlangıç konumunda olan cisim kaydedilir. Cisme ısı veya mekanik deformasyon verildikten sonra yeni şeklin tekrar çekimi yapılır. Böylece her iki çekim esnasında kaydedilen, cismin durumlarının girişim deseni elde edilir. Çift-çekim yöntemi ile elde edilen hologram plakasına, banyo edildikten sonra rekonstrüksiyon için laser ışığı (sadece referans ışık) gönderilirse cisimden ayrı zamanlarda saçılan ışık demetleri girişimi ortaya çıkar ve bu da cismin iki durum arasındaki farkıdır. Çift-çekim yönteminde cisimden saçılan dalga cephelerinin (t_1 ve t_2 zamanlarında) holografik plakada girişim deseni oluşturması olayını anlamak için hologram plakasının yerine ışığın şiddetine duyarlı bir fotodiyot olduğunu kabul edelim. İncelenen cismin PQR yüzeyinin ikinci çekimde PQR' yüzeyine kaydığını varsayalım (Şekil -13). İlk çekimde PQR yüzeyi ikinci çekimde P noktası P', Q noktası Q', R noktası R' noktasına yer değiştirmiş olarak ekspozite edilmektedir. Sadece translasyon söz konusu olduğunda $\Delta \vec{r}$ vektörü PP', QQ' ve RR' yer değiştirmeleri için aynı olup bu mesafedeki girişim çizgi çiftlerini $\Delta \vec{r}$ yönünde hareket eden bir detektör ile kaydetmek mümkündür.

Gözlemin yapıldığı yerdeki P noktasında ortaya çıkan girişimi P ve P' noktasından saçılan ışık demetlerinin girişimi olarak kabul edebiliriz. G noktasındaki ışıklar arasında ϕ faz farkı $\Delta \vec{r}$ yer değiştirme vektörüne bağlıdır. Aynı düşünceler Q ve Q' v.s. içinde geçerlidir. Böylelikle karşılıklı noktalardan gelen ışınların detektörle ölçülen şiddeti sadece faz farkına bağlı olacaktır. Bunu P ve Q' ve R' v.s. için söylemek mümkün değildir. Bunu açıklamak için P, P', Q, Q' noktasından gelen ışınların girişimini detektörün rastgele bir konumdaki reaksiyonu ile gözleyebiliriz. Bütün genlikleri birim büyüklükte kabul edersek, detektörün bulunduğu yerdeki kompleks genlik,

$$A = \exp(i\Phi_P) + \exp(i(\Phi_R + \delta_P)) + \exp(i\Phi_Q) + \exp(i(\Phi_Q + \delta_Q))$$



Şekil -13. PQR yüzey elemanının P'Q'R' 'ye yer değiştirmesi.

eşitliği ile verilir. Burada Φ_P ve Φ_Q yüzeyin mikro yapısına karşılık gelen rastgele fazları, δ_P ve δ_Q yüzey yer değiştirmelerinden kaynaklanan faz farklarını ifade etmektedir. Detektördeki ışık şiddetini hesaplamak için yukarıdaki ifadeyi kompleks eşleniği ile çarpmak gerekir. Buradan P ve P' ile Q ve Q' noktalarından kaynaklanan ışık şiddetleri ,

$$2[1 + \cos(\Phi_P(x,y) - \Phi_Q(x,y))]$$

ile orantılı olarak bulunur. Diğer terimler ise yer değiştirme hakkında bilgi vermezler.

6.2 Filmlerde Işık Şiddeti ve Optik Duyarlık

Hologram plakasına düşen ışık şiddetinin plaka yüzeyine düzgün dağıldığını kabul edersek plakadaki ortalama ışık enerjisi

$$E_o = \frac{nTP}{A}$$

bağıntısı ile verilmiştir. Burada n , laserden plakaya ulaşan net ışık güç verimi, T , ekspozit süresi, P , laserin çıkış gücü ve A hologram plakasına düşen ışık arakesit alanı. Holografik çekimde laser ışık kaynağından gelen ışığın çok az bir kısmı çekim için kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri filtre ile genişletilmesinden sonra sadece ışığın hologram plaka yüzeyine düşen kesminin kullanılabilir olması, optik elemanlarda saçılma, yansıma, soğurma gibi olaylarla kayıpların ortaya çıkmasıdır. Bu nedenle n için %5-50 arasında değişen bir değer alınabilir. Ekspozit süresi T , genellikle hologramı çekilecek cismin yüzeyinin parlaklığına ve filmin duyarlılığına bağlıdır. Bu da genellikle deneme yanılma metoduyla bulunur.

6.3 Holografik Plakalar ve Özellikleri

Kaliteli hologram elde etmek sadece kullanılan laser ışık kalitesine (koherent uzunluğu, stabilizasyon, spectral güç yoğunluğu v.b.) bağlı olmayıp, kayıt için kullanılan fotoğraf plakasının kalitesine de önemli ölçüde bağlı bulunmaktadır.

Hologramlar emülsiyon kalınlığına bağlı olarak *ince* ve *kalın* hologramlar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. İnce hologramlarda emülsiyon maddesinin kalınlığı kayıt esnasında plakada elde edilen girişim saçak aralığından daha küçüktür. Kalın hologramlarda emülsiyon kalınlığı saçak aralığına eşit veya ondan daha büyüktür.

He-Ne laseri holografide kullanılabilecek biçimde geliştirildikten

sonra kayıt malzemesi olarak sadece fotoğraf emülsiyon filmleri ve plakaları mevcut idi. Bu plakalar kırmızı ışığa karşı yeterince duyarlı (panchromatic) olduklarından He-Ne laserinin ürettiği 633 nm dalgaboylu kırmızı ışıkta kullanılabilirdi. Ancak laser teknolojisinin gelişmesi ile morötesi (UV) spektrum bölgesinden uzak kırmızı ötesi (IR) spektrum bölgesine kadar dalgaboylarında koherent ışık üreten laserler yapıldı ve bu dalga boylarına duyarlı emülsiyon plakaları geliştirildi.

Bugün holografide en uygun kayıt malzemesi olarak gümüş halojenleri kullanılmaktadır. Bir dalga cephesinin hem siddet hem de faz bakımından kaydedilmesi Gabor'un girişim yöntemine uygun olarak iki aşamada kaydedilmektedir:

a) Emülsiyon tabakası kullanılan laser ışığının dalga boyuna karşı yeterince duyarlı olmalı ve tabaka bozulmadan mikroskopik girişim yapısı oluşturmaya elverişli olmalıdır. Görüntünün oluştuğu yerde ortaya çıkan girişim çizgilerinin sıklığı (çizgi sayısı /mm olarak)

$$v = \frac{\sin(\theta_o) - \sin(\theta_R)}{\lambda}$$

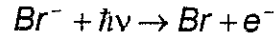
olarak verilmiştir. Burada θ_o ve θ_R sırasıyla obje ışını ve referans ışını yayılma doğrultularının plaka normali ile yaptığı açıları ve λ laser ışığının dalga boyunu ifade etmektedir. Ar-iyon laseri ($\lambda=488\text{nm}$) ile gerçekleştirilen sadece bir holografik çekimde $\theta_o=0$ ve $\theta_R=45$ değerleri ile $v=1450$ çizgi /mm elde edilmektedir. Bu örnek emülsiyon tabakanın çözme gücünün ne olması gerektiği hakkında bilgi vermektedir. Adi fotoğraf plağında yukarıdaki değer sadece 40-200 çizgi /mm kadardır.

b) Diğer önemli koşul, ışınlama esnasında emülsiyon tabakada yapısı bozulmaya uğramadan, kalıcı ve arzulanan optik olayın kaydedilebilmesidir. Diğer bir deyişle tabakaya düşen dalga cephesi uygun hacimsel modülasyon ile belirli genlik ve fazda görüntüleme için dalga cephesi oluşturabilmelidir.

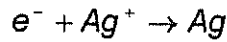
6.3.1 Gümüş Halojen Emülsiyonu

Fotoğraf emülsiyonu, bünyesinde mikroskopik boyutta gümüş halojen (genellikle gümüş bromür) kristali ihtiva eden jelatinden oluşmaktadır [9]. Holografide önemli koşul olan yüksek çözme gücü, emülsiyon içine katılan mikro taneciklerin büyüklüğünden ziyade emülsiyondaki ışıl saçılma özelliğine bağlıdır. Jelatinin kırılma indisi yaklaşık 1.5 ve gümüş bromürün kırılma indisi ise 2.25 dir. Adi emülsiyonda kullanılan katkı maddesi kristallerinin büyüklüğü 1µm kadardır. Holografide kullanılan emülsiyonlarda kristal büyüklüğü 0.03 µm - 0.08 µm arasında değişir [10].

Görüntünün emülsiyonda oluşması kabaca şöyle özetlenebilir. Bir foton soğurulduğunda serbest kalan elektron kristal örgüsü içinde hareket eder:

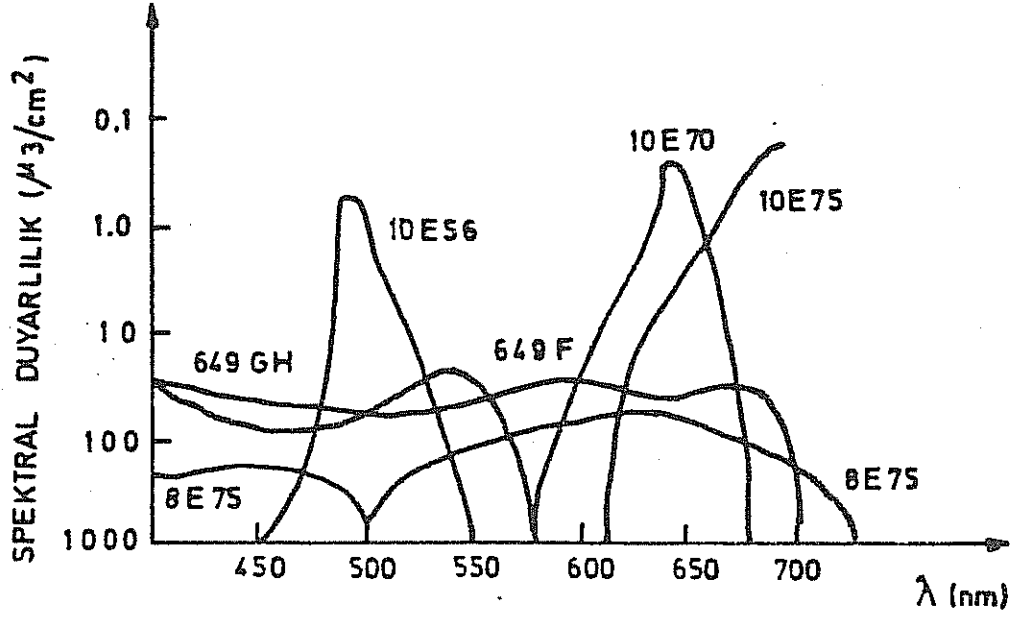


Serbest elektronların gümüş iyonları ile etkileşmeleri sonunda nötral gümüş atomu oluşur.



Bu gümüş atomuda diğer serbest elektronu yakalar ve bu olay pozlama süresince bir kaç kez tekrar eder. Bir tek gümüş atomunun ömrü yaklaşık bir saniyedir. Gizli görüntünün kaydedilebilmesi için en az üç veya dört gümüş atomu gerekmektedir. Pozlamanın yeterli şiddet ve süreli olması halinde gizli görüntü emülsiyonda kaydedilmiş olur.

Gümüş halojenlerin gerçekte duyarlık bölgesi mavi ve ultraviyoleet spektrum bölgesine düşer. Ancak daha uzun dalga boylarına duyarlı bazı boya maddelerinin ilavesiyle gümüş halojenlerin duyarlı bölge spektrum bölgesi 700 nm'ye kadar genişletilebilmiştir. Şekil -14 de holografide kullanılan bazı emülsiyonların spektral duyarlılıkları görülmektedir.



Şekil -14 Bazı holografik emülsiyonların spektral duyarlılıklarının pozlama ışığının dalgaboyuna bağlı olarak değişmesi [11].

Holografik plakaya kaydedilen şekiller plaka özel yöntemle banyo edildikten sonra görünür duruma getirilir.

Çizelge-1 de holografide kullanılan kayıt malzemeleri hakkında özet bilgiler verilmiştir. Bu malzemeler arasında emülsiyon kalınlığı 30 μm nin üzerinde olanlar sipariş üzerine listede verilen firmalar tarafından imal edilmektedir.

Çizelge-1 Holografi için kullanılan bazı ticari gümüş halojen emülsiyonları.

Ticari Adı	Substrat	Emülsiyon kalınlığı, μm	Uygun dalga boyu, λ , nm	Expoze enerji yoğunluk $\mu\text{j}/\text{cm}^2$
Eastman Kodak 649F	Plaka	17	400-700	50
649F	Film	5	400-700	50
Agfa Geavaert 8E75	Plaka	7	633 ve 694	10
Scientica 8E75	Film	5	633 ve 694	10
Scientica 8E75B	Plaka	15	633 ve 694	10
Scientica 8E56	Plaka	7	400-550	30
Scientica 10E75	Plaka	7	633-694	3

KAYNAKLAR

- [1] P. Hariharan, Optical Interferometry, Academic Press, Sydney, 1985
- [2] R. Aydın, F. N. Ecevit, H. Güven, and T. İncesu, DOĞA, Tür. J. Phys., 14 (1990), 285-291.
- [3] R. Aydın, T. İncesu ve H. Güven, "Holografik Girişim Yöntemi İle Optik Ağı Elde Edilmesi ve Katı Numunelerde Yüzeysel Deformasyonların Ölçülmesi, TÜBİTAK, Proje No. TBAG-748, 1988.
- [4] D. Denby, G. E. Quintanilla, and J. N. Butters, "Contouring by electronic Speckle Pattern Interferometry", Proceedings of the Strathclyde Conference, 1976, Cambridge University Press, pp.323-349.
- [5] Z. Füzessy and F. Gyimesi, Opt. Eng., Vol. 23,6, 780 (1984).
- [6] Z. Füzessy, F. Gyimesi and I. Banyasz, Opt. Commun. 6, 404 (1988).
- [7] B. Breuckmann, Proc. SPIE 398, 234 (1983).
- [8] D. B. Neumann, Tec. Digest, Topical Meeting on Hologram Interferometry and Speckle Metrology, Opt. Soc. Am., MB 2-1(1980).
- [9] P. Kowalisky, Applied Photographic Theory, John Wiley and Sons, London, New York etc. 1972.

- [10] H. T. Buschmann, in *Optical and Acoustical Holography*
ed. by E. Camatini, Plenum Press, New York, London, 1972
p. 151.
- [11] Kodak High Speed Holographic Film SO-253, Data Sheet,
Eastman Kodak, Rochester, New York, 1975.