

İNTERFEROMETRE (Girişimölçer)

Amaç

Bu deneyde, interferometre yardımı ile ışık kaynağının dalga boyunun bulunması amaçlanmaktadır.

Deneye Hazırlık Bilgileri

Bir ışık demeti salınan elektrik ve manyetik alan dalgası olarak modellenir. İki ya da daha fazla ışık demeti uzayda karşılaştığında üstüste gelme ilkesine göre bu alanlar birleşir. Böylece, uzayda her noktada elektrik ve manyetik alanlar ayrı demetlerin alanlarının vektörel toplamı olarak belirlenir. Eğer her ışık demeti farklı kaynaktan geliyor ise, genellikle demetlerdeki elektromanyetik salınımlar arasında sabit bir ilişki yoktur. Herhangi bir anda uzayda alanların bir maksimum alan şiddeti oluşturmak üzere toplandığı noktalar olacaktır. Bununla birlikte, görünür ışığın salınımları insan gözünün algılayabileceğinden çok daha hızlıdır. Salınımlar arasında belli ilişkiler olmadığından bir anda maksimum olan noktada bir sonraki anda minimum olabilir. İnsan gözü bu sonuçların ortalamasını alır ve düzgün bir ışık şiddeti algılar. Eğer ışık demetleri aynı kaynaktan geliyorsa, genellikle salınımların frekans ve fazları arasında belli bir dereceye kadar bağımlılık (korolasyon) vardır. Uzayda bir noktada demetlerden gelen ışık sürekli aynı fazda olabilir (yani dalga tepeleri çakışır). Bu durumda birleşik alan daima maksimum olacak ve parlak bir nokta görülecektir. Diğer bir noktada demetlerden gelen ışık sürekli aynı fazda olmayabilir ve bir minimum ya da karanlık nokta görülür.

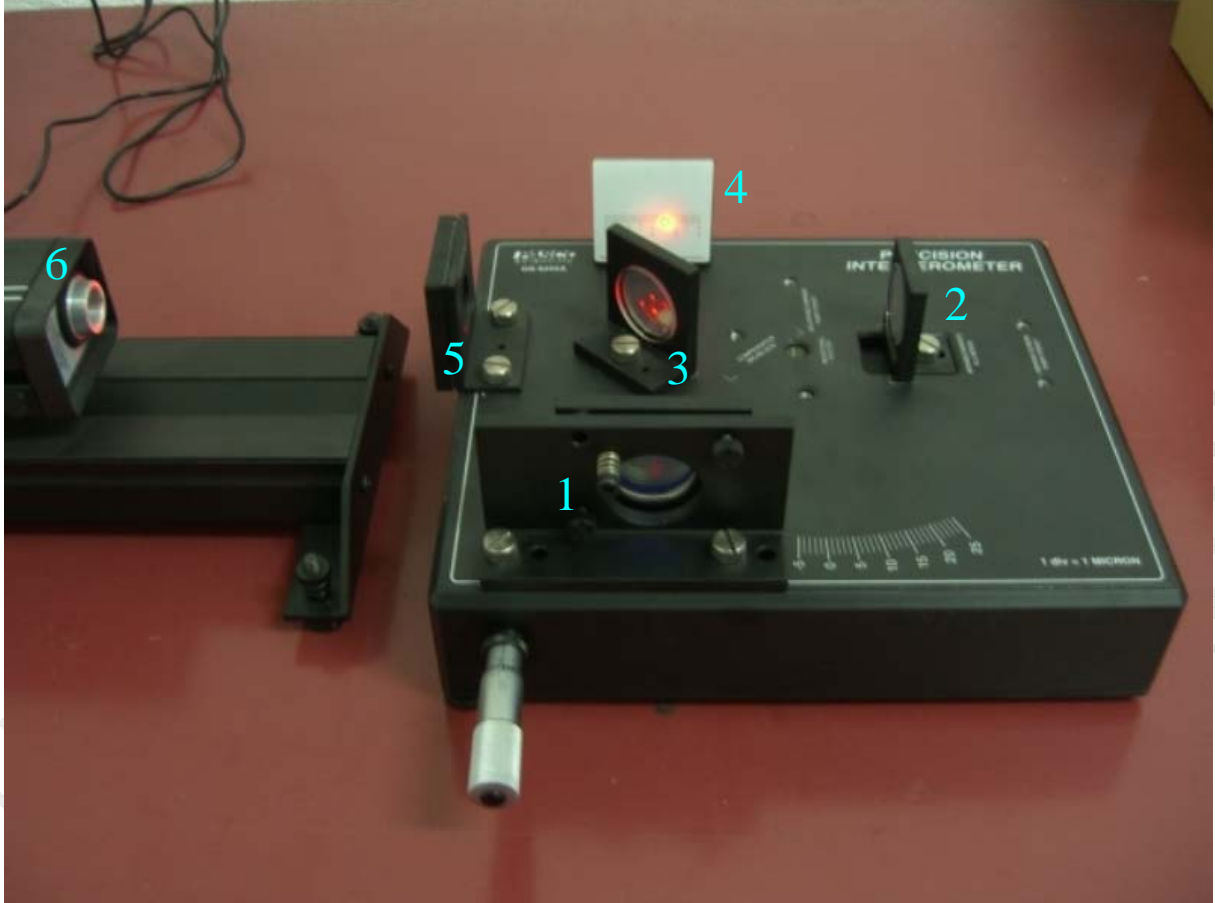
Girişim, ışık dalgalarının bu şekilde birbiri üstüne binmesi olayıdır. Dalgalar genliklerine ve fazlarına bağlı olarak birbirlerinin üstüne eklenir (yapıcı girişim) veya birbirini yok ederler (yıkıcı girişim). 1805 yılında Thomas Young, ışığın dalga özelliğini göstermek için ışık dalgalarının girişimini gösteren bir deney tasarlamıştır: Tek dar ışık demetini birbirine yakın ve dar iki yarık üzerine düşürdü. Daha sonra ışığın yarıkların karşısına koymuş olduğu ekrana çarptığı yerde, karanlık ve aydınlık saçaklardan oluşan bir desen oluştuğunu gözlemiştir.

Girişimölçer ya da İnterferometre ışığın girişim özelliğinden faydalanılarak çok küçük mesafelerin ve maddelerinin kırılma indislerinin ölçümünde ve saydam cisimlerin yüzeylerinin düzgünlüğünün kontrolünde kullanılan bir ölçü aletidir. Young yarıkları basit bir interferometre olarak kullanılabilir. Eğer yarıklar arasındaki mesafe biliniyorsa, maksimum ve minimumların yerleşimlerinden ışığın dalga boyu belirlenebilir veya diğer taraftan eğer ışığın dalga boyu biliniyorsa, girişim deseninden yarıklar arası mesafe belirlenebilir.

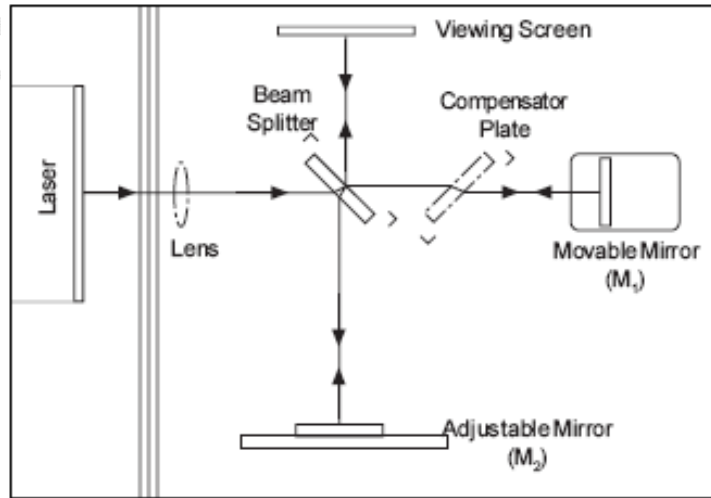
1881 yılında, Young'ın çift yarık deneyinden 78 yıl sonra, A. A. Michelson benzer bir ilkeyi kullanarak bir interferometre tasarlamıştır. Aslında Michelson bu interferometreyi içerisinden ışık geçen ortam olduğu varsayılan eterin varlığını test etmek için yapmıştır. Çalışmaları ile eter varsayımını çürütmüştür. Ancak bunun ötesinde, Michelson'un interferometresi ışığın dalga boyunun ölçülmesi, dalga boyu bilinen bir ışık kaynağının çok küçük mesafelerin ölçülmesinde kullanılması ve optik ortamın araştırılması için yaygın olarak kullanılan bir cihazdır.

1. Michelson İnterferometresi

Michelson interferometresi düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir. Lazerden gelen ışık demeti gelen ışığın %50'sini geçirip %50'sini yansıtan bir demet bölücüye çarpar. Böylece gelen demet ikiye ayrılır; bir demet hareketli aynaya (M1) doğru geçer, diğeri ise ayarlanabilir aynaya (M2) doğru yansıtılır. Her iki ayna da ışığı doğrudan demet bölücüye doğru geri yansıtır. M1'den gelen ışığın yarısı ise demet bölücünden ekrana geçirilir.



Şekil 1a Michelson interferometresi



Şekil 1b Michelson interferometresi

Lazer kaynağı ile demet bölücü arasına bir kalın kenarlı (ıraksak) mercek yerleştirildiğinde ekran üzerine düşen ışık biraz dağılır ve sonuçta ekranda aydınlık ve karanlık halkalardan (saçaklardan) oluşan bir girişim deseni gözlenir (Bkz. Şekil 2). Lazer kaynağından yayılan ışık aynı fazda olduğu için ve iki ışık demeti bu lazer demetinden oluşturulduğu için, ekran üzerinde herhangi bir noktada karşılaştıklarında göreceli fazları, bu noktaya ulaşana kadar aldıkları optik yolları arasındaki mesafe farkına bağlı olacaktır. M1'i hareket ettirerek demetlerden birinin aldığı yolun uzunluğu değiştirilebilir. Demet M1 ve demet bölücü arasındaki mesafeyi iki kez katettiği için, M1'i demet bölücüye 1/4 dalga boyu kadar yaklaştırmak bu demetin optik yolunu 1/2 dalga boyu kadar azaltacaktır. Girişim deseni değişecek; maksimumların yarıçapı küçülecek böylece önceki minimumların konumuna geleceklerdir. Eğer M1 demet bölücüye 1/4 dalga boyu daha yaklaştırılırsa maksimumların yarıçapı tekrar küçülecek, öyleki maksimumlar ve minimumlar yerdeğiştirmiş olacak ancak bu yeni durum orijinal desenden ayırdedilemeyecektir.



Şekil 2 Çembersel saçaklar

Ayna bir d mesafesi kadar hareket ettirilerek demetlerden birinin optik yolunun uzunluğu $2d$ kadar değiştirilmiş olur. Böylece desenin N defa değişip tekrar orijinal hale geldiği gözlenir. Desenin değişip tekrar orijinal hale gelmesi bir dalga boyuna karşılık geldiği için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

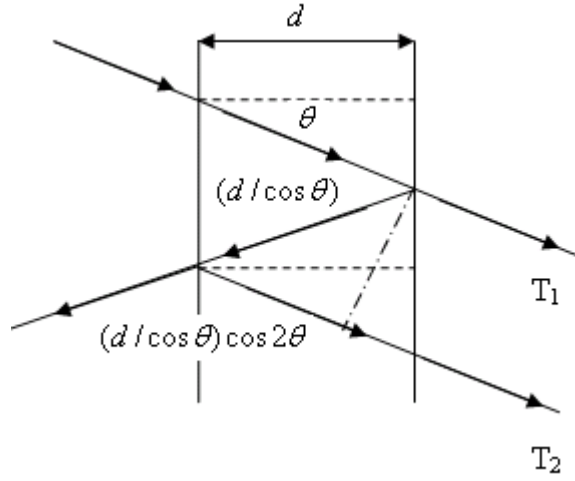
$$d = \frac{N\lambda}{2} \quad (1)$$

Burada, λ ışığın dalga boyu, N de belirli bir referans noktasına göre sayılan saçak sayısıdır. Işığın dalga boyu biliniyorsa Denk. (1) kullanılarak d mesafesi belirlenebilir.

2. Fabry-Perot Interferometresi

Fabry-Perot interferometresinde (Bkz. Şekil 4a) iki adet kısmi ayna aralarında belirli bir mesafe bırakılarak birbirine paralel olarak yerleştirilir. Şekil 4b'de aynalar arasındaki boşluğa girerek ileri geri yansıyan iki ışık ışını gösterilmiştir. Her yansımada ışının yarısı yansıtılır diğer yarısı da geçirilir. Her geçirilen ışın tek bir ilk ışından bölündüğünden ve kaynaktan gelen ilk ışın eş fazlı (koherent) olduğundan sabit faz ilişkisine sahiptirler.

Geçirilen ışınlar arasındaki faz ilişkisi her bir ışının boşluğa girdiği açığa ve iki ayna arasındaki mesafeye bağlıdır (Bkz. Şekil 3).



Şekil 3 Geçirilen ışınlar arasındaki faz ilişkisi

T_1 ve T_2 ışınları arasındaki yol farkı yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi

$$\delta = \frac{d}{\cos\theta} (1 + \cos 2\theta) = 2d \cos\theta$$

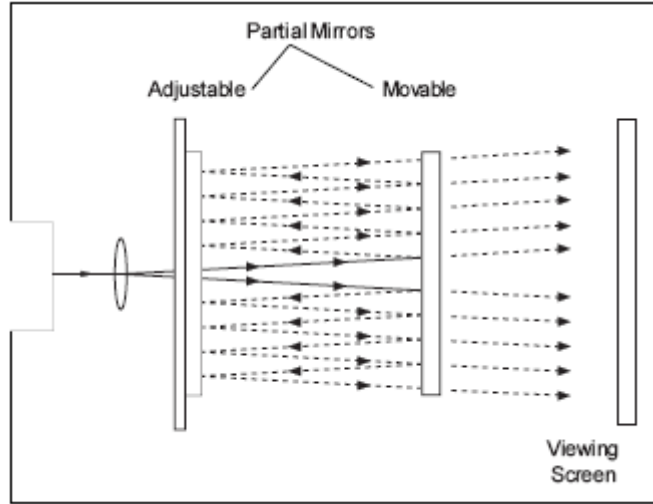
şeklindedir. Bu durumda optik yol için

$$d = \frac{N\lambda}{2\cos\theta} \quad (2)$$

bağıntısı geçerlidir.



Şekil 4a Fabry-Perot interferometresi



Şekil 4b Fabry-Perot interferometresi

Burada, θ aynalar arasındaki ışıkların ayna yüzeyine dik eksenle yaptıkları açıdır, d aynalar arasındaki mesafedir. Sonuç, Michelson desenine benzeyen ancak daha ince, parlak ve geniş yerleşmiş saçaklardan oluşan dairesel bir saçak desenidir. Fabry-Perot saçaklarının keskinliği, bu interferometreyi değerli bir cihaz yapar. Michelson interferometresinde olduğu gibi, hareketli ayna ayarlanabilir aynaya doğru ya da aynadan uzağa hareket ettirilerek saçak deseni kaydırılır. Ayna hareketi ışık kaynağının dalga boyunun yarısına eşit olduğunda yeni saçak deseni orijinalinden farksız olacaktır.

Deneyde Kullanılacak Araçlar

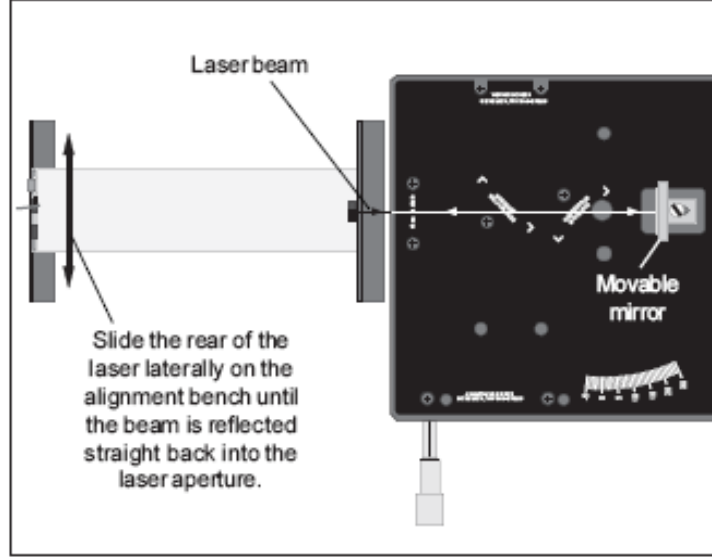
Bu deneyde üzerinde sabit mikrometre bulunan taban, ayarlanabilir ayna (1), hareketli ayna (2), demet bölücü (3), kompensatör, 2 adet optik malzeme tutucu, ekran (4), mercek (18 mm odak uzunluklu) (5), dağıtıcı, lazer (6), ve lazer tabanı kullanılacaktır (Bakınız Şekil 1a).

Deney İçin Ön Hazırlık ve Deneyin Yapılışı

UYARI: Lazer ışığının doğrudan gözle temas etmesi gözde kalıcı hasara neden olabilmektedir. Kullanılan optik elemanların cam yüzeylerine temas etmeyiniz.

Lazerin Ayarlanması

Şekil 4'te gösterilen düzeneği kurup lazeri açınız. Lazer tabanı üzerindeki seviye ayar vidalarını kullanarak tabanın yüksekliğini lazer demeti interferometrenin üst yüzeyine yaklaşık paralel olana kadar ayarlayınız. Demetin tabana paralel olup olmadığını kontrol etmek için kenarı tabanla aynı hizada olan bir parça kağıdı demet yolu üzerine yerleştiriniz. Demetin kağıt üzerindeki yerini işaretleyerek interferometre tabanının birkaç farklı noktasında demet yüksekliğinin aynı olup olmadığını kontrol ediniz.



Şekil 4 Lazerin ayarlanması

Pek çok lazer ısınırken şiddet veya polarizasyon değişimleri görülür. Saçak ya da şiddet değişimlerini ortadan kaldırmak için, deneye başlamadan önce lazerin ısınması gerekir (yaklaşık bir saat).

Doğru Saçak Sayımı

- Girişim deseniniz her zaman simetrik veya net olmayabilir. Burada önemli olan maksimum ve minimumları açıkça ayırt edebilmelisinizdir.
- Saçak sayımı için aşağıdaki tekniği izlemek size yardımcı olabilir. Sabit aynanın arkasındaki ayar vidalarını kullanarak girişim desenini gözlem ekranının merkezine getirin. Mikrometre düğmesini bir sonraki maksimum ve minimum arasındaki ilk sınır ile aynı konuma gelinceye kadar ayarlayın. Böylece saçak deseni ilk konumdaki ile aynı görünür. Bu durumda bir saçak geçmiş olur.
- Saçakları saymak için mikrometre düğmesini çevirirken, saymaya başlamadan önce daima bir tur çevirin ve sonra sayarken aynı yönde çevirmeye devam edin. Bu yöntem mikrometre hareketindeki boşluktan doğabilecek hataları hemen hemen ortadan kaldırır. Boşluk, mekanik bir ölçü aletinde hareket yönünü ters çevirdiğimizde her zaman meydana gelen küçük kaymadır.
- Mikrometre düğmesini saat yönünde çevirmek hareketli aynayı sağa doğru hareket ettirir. Düşmeyi saat yönünün tersine çevirmek ise hareketli aynayı sola hareket ettirir.

Mikrometrenin Kalibrasyonu

Ayna hareketinin daha doğru ölçümleri için mikrometre, interferometre kullanılarak kalibre edilmelidir. Bunun için, interferometreyi Michelson veya Fabry-Perot modunda kurun (Şekil 1 veya Şekil 3'deki gibi). Mikrometre düğmesi üzerindeki her bir küçük bölme $1\mu\text{m}$ (10^{-6}m) dir. Mikrometre düğmesini en az $N = 20$ saçak sayıncaya kadar çevirin. Mikrometre okumasındaki değişikliği d' olarak not edin. Aynanın gerçek hareketi $d = N\lambda/2$ 'dir. Burada λ ışığın bilinen dalga boyu (standart bir Helium-Neon lazer için $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$), N ise sayılan saçak adedidir. Bundan sonra doğru ölçüm sonucu için mikrometre okumalarınızı d/d' ile çarpınız.

Bu bilgiler ışığında, deney aşağıdaki gibi yapılır:

1. Bu deney için Michelson modu yerleşimi Şekil 1’de gösterilmiştir. Düzeneği kurmak ve girişim desenini elde etmek için aşağıdaki adımları izleyiniz.

- Lazeri ve interferometre tablasını aynı hizaya getirin (bkz. lazerin ayarlanması). Lazer demeti tablanın yüzeyi ile yaklaşık paralel olmalı, hareketli aynanın merkezine düşmeli ve lazer çıkışına geri yansımalıdır.

- Ayarlanabilir aynayı interferometre tablasına yerleştirin. Optik malzeme tutucularından birini lazerin önüne (mercek için), diğerini de (gözlem ekranı için) ayarlanabilir aynanın karşısına yerleştirin.

- Bu mod için demet bölücü ile lazer demeti arasındaki açı 45° olacak şekilde yerleştirilir. Bununla birlikte, yansıyan demetin ayarlanabilir aynanın merkezi yakınına düşmesi için demet bölücünün açısı gerektiği kadar ayarlanmalıdır.

- Bu durumda, ekran üzerinde iki grup halinde parlak noktalar görülür. Bir grup hareketli aynadan diğeri ise ayarlanabilir aynadan gelir. Her nokta grubunda bir parlak, iki veya daha çok sayıda (ardışık yansımalarından dolayı) daha az parlak noktalar bulunur. İki nokta grubu birbirine mümkün olduğunca yakın hale gelinceye kadar demet bölücünün açısı ayarlanmalıdır ve sonra demet bölücü vida yardımıyla sabitlenmelidir.

- Daha sonra, ayarlanabilir aynanın arkasındaki vidaları kullanarak aynanın eğimini gözlem ekranındaki iki nokta grup birbiri ile çakışmaya kadar ayarlayın.

- Bu deneyde girişim halkaları elde etmek için kompensatör kullanılması gerekli değildir.

- 18 mm odak uzaklığındaki merceği lazerin önündeki optik malzeme tutucusunun miknatıslı yüzeyine yerleştirin ve yayılan demet, demet bölücünün merkezine gelinceye kadar konumunu ayarlayın. Bu durumda ekranda dairesel saçaklar (halkalar) görmeniz gerekir. Eğer göremiyorsanız, ayarlanabilir aynanın eğimini saçaklar görülünceye kadar ayarlayın.

- Deneye başlamadan önce mikrometrenin kalibrasyonunu yukarıda anlatıldığı gibi yapınız.

2. Mikrometreyi $500\mu\text{m}$ ’ye ayarlayın. Bu konumda mikrometre okuması ve ayna hareketi arasındaki ilişki hemen hemen doğrusaldır.

3. Mikrometre düğmesini saat yönünün tersine tam bir tur çevirin. Referans çizgisi ile kolun üzerindeki sıfır çakışmaya kadar saat yönünün tersine çevirmeye devam edin. Mikrometre okumasını Tablo 1’e d_1 olarak kaydediniz.

4. Milimetre skalası üzerindeki işaretlerden birisi ile girişim deseninizdeki saçaklardan biri çakışacak şekilde gözlem ekranının konumunu ayarlayın. Eğer referans çizgisi desenin merkezinden bir ya da iki saçak dışarıda olursa saçakları saymak daha kolay olur.

5. Mikrometre düğmesini yavaşça saat yönünün tersine çevirin. Referans çizgisinden geçen saçakları sayın (en az 30 saçak). Saçak sayma işlemi bittiğinde, saçaklar referans çizgisine göre sayıma başladığınız konumuyla aynı yerde olmalıdır. Bu durum için mikrometreden okuma yapınız ve Tablo 1’e d_2 olarak kaydediniz.

6. Saydığınız saçak geçişlerini (N) Tablo 1’e kaydediniz.

7. 3’den 6’ya kadar olan basamakları her seferinde sonuçlarınızı tabloya kaydederek 5 kez tekrar ediniz.

8. Işığın dalga boyunu her bir ölçüm sonucu için $\lambda = \frac{2d_d}{N}$ bağıntısını kullanarak hesaplayınız

ve Tablo 1’e kaydediniz ve dalga boyunun ortalamasını alınız. Bu değeri, kullandığınız lazerin gerçek dalga boyu ile karşılaştırıp sonuçları yorumlayınız.

Ölçüm Sayısı	N	d_1	d_2	$d_m = d_2 - d_1 $	$d_d = d_m \left(\frac{d}{d'}\right)$	$\lambda = \frac{2d_d}{N}$
1						
2						
3						
4						
5						

Tablo 1 Michelson modu için ölçüm sonuçları

9. Fabry-Perot modu yerleşimi Şekil 3a'da gösterilmiştir. Düzeneği kurmak ve girişim desenini elde etmek için aşağıdaki adımları izleyiniz.

- Lazerin ayarlanması başlığı altında anlatıldığı gibi lazeri ve interferometre tablasını ayarlayın.

- Ayarlanabilir aynayı interferometre tablasında gösterilen yere ve optik malzeme tutucusunu da lazer ve hareketli aynanın arasına yerleştirin.

- Diğer optik malzeme tutucusunu hareketli aynanın arkasına yerleştirin ve gözlem ekranını tutucuya takın. Bu durumda gözlem ekranında lazer demetinin birkaç görüntüsünü görebilirsiniz.

- Ayar vidaları yardımı ile, ayarlanabilir aynanın eğimini ekranda yalnızca bir parlak nokta görünceye kadar ayarlayın.

- Son olarak, 18mm odak uzunluklu merceği lazerin önündeki optik malzeme tutucusuna takın. Böylece gözlem ekranında net bir girişim deseni göreceksiniz.

- Deneye başlamadan önce mikrometrenin kalibrasyonunu yukarıda anlatıldığı gibi yapınız.

10. Fabry-Perot modu için 2'den 9'a kadar olan adımları tekrarlayınız. Sonuçlarınızı Tablo 2 ye kaydedin.

Ölçüm Sayısı	N	d_1	d_2	d_m	$d_d = d_m \left(\frac{d}{d'}\right)$	$\lambda = \frac{2d_d}{N}$
1						
2						
3						
4						
5						

Tablo 2 Fabry-Perot modu için ölçüm sonuçları

Sorular

1. Bu deneyde interferometre ışık kaynağının dalga boyunu ölçmek için kullanıldı. İnterferometre ile başka ölçümler yapılabilir mi? Nasıl?
2. Ayna tek saçak yerine niçin birçok saçak geçişi boyunca hareket ettirilmiştir? Niçin birçok okuma yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır?
3. Michelson ve Fabry-Perot modlarından elde ettiğiniz dalga boyu değerlerini karşılaştırınız. Eğer aynı değilse bunun nedenini açıklayınız.
4. Deneysel olarak elde ettiğiniz dalga boyu ile kullandığınız ışık kaynağının gerçek dalga boyu değerini karşılaştırınız ve sonucu yorumlayınız.
5. İnterferometredeki ölçümlerinizin hassasiyetini hangi faktörler sınırlandırmış olabilir?
6. Bir girişim deseni oluşmasında kutuplanmanın oynadığı rol nedir?
7. Bu deneyde neden tek renkli (monokromatik) ışık kaynağı kullandınız? Eğer çok renkli bir ışık kaynağı kullansaydınız nasıl bir girişim deseni elde etmeyi beklerdiniz? Açıklayınız.
8. Thomas Young'ın çift yarıktaki girişim deneyi girişim ölçme yöntemini (interferometreyi) anlayabilmek için oldukça önemlidir. Bu deneyi ayrıntılı olarak anlatınız.