

U10345 Fresnel-Spiegel

Bedienungsanleitung

11/04 MH



Fig. 1: Komponenten

- ① Schutzscheibe aus Acrylglas
- ② Stiel, 10 mm Durchmesser aus Edelstahl
- ③ Optischer Reiter (nicht im Lieferumfang)
- ④ Gehäuse aus schwarz eloxiertem Aluminium
- ⑤ Rändelschraube zur Spiegelverstellung
- ⑥ Oberflächenspiegel aus schwarzem Acrylglas

Mit dem Fresnel-Spiegel können Versuche zur Interferenz von monochromatischem, kohärentem Licht durchgeführt werden, wobei durch die beiden Spiegel aus einer Lichtquelle zwei virtuelle Lichtquellen – die dann interferieren – erzeugt werden.

1. Sicherheitshinweise

- Bei Verwendung eines Lasers sind die dort angegebenen Sicherheitshinweise strikt einzuhalten. Z. B. nicht in den Strahl blicken!
- Während der Versuche darf sich kein Beobachter geblendet fühlen.

2. Beschreibung

Die Idee von Fresnel, mit Hilfe von zwei Spiegeln Lichtwellen zur Interferenz zu bringen, ist in Fig. 2 dargestellt. Das von einer Punktlichtquelle P ausgehende Licht (paralleler Laserstrahl mit vorgeschalteter Linse) wird von zwei Spiegeln so reflektiert, dass sich die beiden Teilstrahlen überlagern und miteinander interferieren. Die Versuchsauswertung kann mathematisch einfach und physikalisch anschaulich vorgenommen werden, indem der Abstand der beiden virtuellen Punktlichtquellen P_1 und P_2 bestimmt und das Interferenzmuster als Überlagerung von kreisförmigen Wellen, die von P_1 und P_2 ausgehen, berechnet wird.

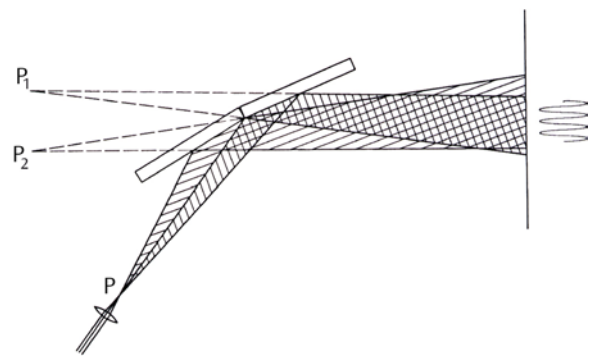


Fig. 2: Funktionsprinzip des Fresnel-Spiegels.

Der Fresnel-Spiegel besteht aus zwei je 29 mm x 45 mm großen Teilspiegeln aus Acrylglas. Da bei den Versuchen ein streifender Lichteinfall eingestellt wird, kommt es zur Totalreflexion und das Acrylglas wirkt als Oberflächenspiegel. Einer der beiden Spiegel ist fest im Gehäuse angebracht, während der andere in der Neigung von ca. $-0,5^\circ$ bis $+2^\circ$ verstellbar ist. Vor den Spiegeln ist eine Schutzscheibe aus Acrylglas angebracht, die bei den Versuchen nicht entfernt werden muss. Dadurch werden versehentliche Berührungen der Spiegel vermieden. Der Stativstab hat 10 mm Durchmesser und ist in seiner Länge so bemessen, dass sich für die Spiegelmitte die Standardhöhe von 150 mm ergibt.

3. Bedienung und Wartung

- Der Fresnel-Spiegel wird mit streifendem Lichteinfall betrieben, wobei er um etwa 1° - 2° zum Lichtstrahl hin geneigt ist. Nachdem die Lichtquelle so justiert ist, dass beide Spiegel etwa gleich stark beleuchtet werden, können die beiden reflektierten Lichtstrahlen in der Neigung zueinander verstellt werden, indem an der Rändelschraube ⑤ gedreht wird.
- **Wartung:** Der Fresnel-Spiegel ist prinzipiell wartungsfrei. Zur Reinigung kann er feucht (Wasser mit Spülmittel) abgewischt werden. Die Spiegel sollten nach Möglichkeit nur trocken mit einem weichen Pinsel von Staub befreit werden. Ggf. können auch sie mit einer Spülmittellösung und einem weichen Lappen gereinigt werden.
- **Aufbewahrung:** Die Aufbewahrung sollte staubgeschützt, eventuell mit übergestülptem Plastikbeutel, erfolgen.

4. Versuchsdurchführung und Auswertung

- Im Folgenden sind zwei Versuchsaufbauten beschrieben. In Abschnitt 4.1 wird ein einfacher und kompakter Aufbau vorgestellt, der zu breiten und hellen Interferenzstreifen führt, bisher aber nicht quantitativ ausgewertet wurde. In Abschnitt 4.2 wird der Aufbau des „klassischen“ Versuchs gezeigt und anhand eines Beispiels ausgewertet.

4.1 Kompakter, qualitativer Interferenzversuch

- Folgende Geräte werden benötigt:
 - 1 x U10302 Optische Bank mit Dreikantprofil, 0,5 m lang
 - 1 x U10312 Optikreiter, 120 mm hoch, 50 mm breit
 - 1 x U10311 Optikreiter, 90 mm hoch, 50 mm breit
 - 2 x U10310 Optikreiter, 60 mm hoch, 50 mm breit
 - 1 x U10331 Verlängerungsarm
 - 1 x U43001 He-Ne-Laser
 - 1 x U10345 Fresnel-Spiegel
 - 1 x Aufweitungslinse, z.B. $f = 5$ mm
 - 1 x U17125 Beobachtungsschirm
- Der Versuchsaufbau ist in Fig. 3 zu sehen. Der Fresnel-Spiegel ist um etwa 1° zum Laser hin geneigt. Die Linse ist zunächst noch aus dem Strahl geschwenkt. Durch Verdrehen des Lasers im Optikreiter wird der Strahl so eingestellt, dass er auf beide Spiegel fällt und auf dem Beobachtungsschirm zwei etwa gleichhelle Punkte ergibt (ggf. ist die Spiegelneigung durch Drehen der Rändelschraube ⑤ etwas zu verstellen). Dann werden die beiden Punkte auf dem Schirm durch Drehen der Rändelschraube zur Deckung gebracht. Wenn jetzt die Linse in den Strahlengang geschwenkt wird, sollte sich bereits ein Interferenzmuster auf dem Schirm zeigen, das durch Nachjustieren des Lasers noch schärfer wird.



Fig. 3: Versuchsaufbau „Kompakter Interferenzversuch“

4.2 Klassischer Interferenzversuch

4.2.1 Versuchsaufbau

- Folgende Geräte werden benötigt:
 - 1 x U10302 Optische Bank mit Dreikantprofil, 0,5 m lang
 - 1 x U10312 Optikreiter, 120 mm hoch, 50 mm breit
 - 1 x U10311 Optikreiter, 90 mm hoch, 50 mm breit
 - 2 x U10310 Optikreiter, 60 mm hoch, 50 mm breit
 - 1 x U43001 He-Ne-Laser
 - 1 x U10345 Fresnel-Spiegel
 - 1 x Aufweitungslinse, z.B. $f = 5$ mm
 - 1 x U17104 Konvex-Linse, $f = 200$ mm
- Der Versuchsaufbau ist in Fig. 4 zu sehen. Zunächst werden der Laser und die Aufweitungslinse montiert und so ausgerichtet, dass der durch die Linse aufgeweitete Laserstrahl etwa parallel zur optischen Bank verläuft. Der Strahlverlauf kann dabei mit einem Blatt Papier sichtbar gemacht werden. Nicht direkt in den Strahl blicken! Als nächstes wird der Fresnel-Spiegel um etwa 1 - 2° zum Laser hin geneigt montiert.
- Durch Drehen der Rändelschraube ⑤ sollte sich jetzt ein Bild auf dem 2 - 3 m entfernten Schirm einstellen lassen, das prinzipiell Fig. 5 entspricht. Links neben dem Interferenzmuster wird noch ein heller Bereich zu sehen sein, der von dem Licht herrührt, das an den Spiegeln vorbei fällt. Neben den Streifen des eigentlichen Interferenzmusters werden je nach Qualität und Sauberkeit von Laser und Linse noch weitere Interferenzstreifen und Ringe zu sehen sein. Eine Abgrenzung, welche Streifen tatsächlich durch die Spiegel verursacht werden, ist leicht möglich, indem die Rändelschraube ⑤ verstellt wird. Nur die Streifen die dabei ihre Breite ändern sind „richtige“ Interferenzstreifen. Ihr Abstand sollte von ca. 1 - 4 mm einstellbar sein.



Fig. 4: Versuchsaufbau „klassischer Interferenzversuch“. Position der Komponenten (linke Kante der Optikreiter): Laser: 0 mm, Linse $f = 5$ mm: 150 mm, Fresnel-Spiegel: 220 mm, Linse $f = 200$ mm (nur montiert, wenn der Abstand der virtuellen Lichtquellen gemessen wird): ca. 380 mm. Das Interferenzbild wird in 2 bis 3 m Entfernung auf einem Schirm (oder einer hellen Wand) erhalten.

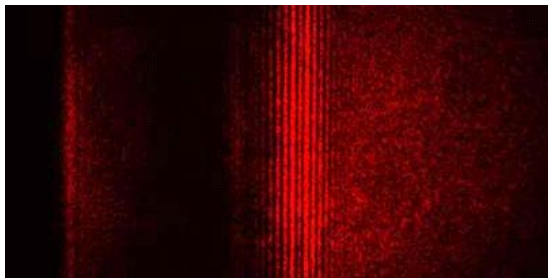


Fig. 5: Interferenzbild auf dem Beobachtungsschirm. Am linken Rand ist noch ein heller Streifen zu erkennen, der von dem Licht herrührt, das an den Spiegeln vorbei fällt.

4.2.2 Versuchsdurchführung

- Während eines Versuchs wird zunächst der Abstand D der Interferenzstreifen bestimmt. Beträgt beispielsweise der Abstand zwischen 7 Maxima 24 ± 1 mm, dann ist $D = 3,43$ mm.
- Danach wird die 200-mm-Linse montiert und ggf. etwas verschoben, bis zwei eindeutige Lichtflecken, die etwa 3 - 15 mm Abstand haben, auf dem Schirm erscheinen (das am Spiegel vorbei fallende Licht erzeugt einen dritten Fleck in größerem Abstand weiter links). Dabei ist es für die Messung evtl. vorteilhaft, wenn die Lichtflecken etwas größer sind, als die Minimalgröße bei scharf gestellter Linse. In diesem Beispiel beträgt der Abstand der Lichtflecken $A = 6,8$ mm und wurde mit einem Messschieber bestimmt.
- Die letzte für die Auswertung erforderliche Größe ist die Entfernung b zwischen der 200-mm-Linse und dem Beobachtungsschirm ($b = 2700$ mm).

4.2.3 Versuchsauswertung

- Wie bereits anhand von Fig. 2 erläutert wurde, kann das Interferenzbild als Überlagerung des Lichts von zwei Punktlichtquellen P_1 und P_2 interpretiert werden. Damit auf dem Beobachtungsschirm ein Intensitätsmaximum entsteht, muss der Gangunterschied d zwischen zwei Strahlen, die von P_1 und P_2 ausgehen, genau der Wellenlänge λ oder einem ganzzahligen Vielfachen von λ entsprechen. Mit den in Fig. 6 definierten Größen ergibt sich

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

und

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi \quad (2)$$

- Bei hinreichend kleinen Winkeln φ ist $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Weiterhin sei $d = \lambda$ (erstes Maximum). Damit folgt aus den Gln. 1 und 2:

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

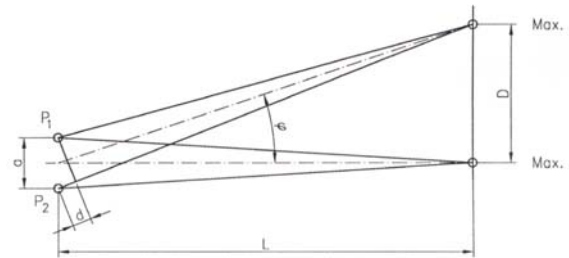


Fig. 6: Entstehung von Intensitätsmaxima, wenn $d = n \lambda$ ist (n ist ganzzahlig).

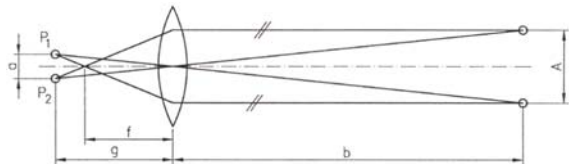


Fig. 7: Bestimmung des Abstandes a der virtuellen Punktlichtquellen unter Verwendung einer Linse (z. B. $f = 200$ mm). Die Abstände A und b werden gemessen.

- Die Bestimmung des Abstandes a der virtuellen Punktlichtquellen ist in Fig. 7 dargestellt. Durch Anwendung Strahlensatzes ergeben sich direkt die beiden Beziehungen

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

und

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f} \quad (5)$$

- Gleichsetzen der beiden Gleichungen zur Elimination von a/A und Auflösen nach g ergibt

$$g = \frac{bf}{b-f} \quad (6)$$

- Wird dies in Gl. 4 eingesetzt, kann a bestimmt und in Gl. 3 eingesetzt werden. Die noch fehlende Länge L in Gl. 3 ergibt sich gemäß Fig. 7 aus der Summe der beiden Abstände g und b . Alles in Gl. 3 eingesetzt liefert:

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- Für das Beispiel ergibt sich $\lambda = 640$ nm, was gut mit der Herstellerangabe für den verwendeten Laser übereinstimmt (632,8 nm).

U10345 Fresnel mirror

Instruction Sheet

11/04 MH

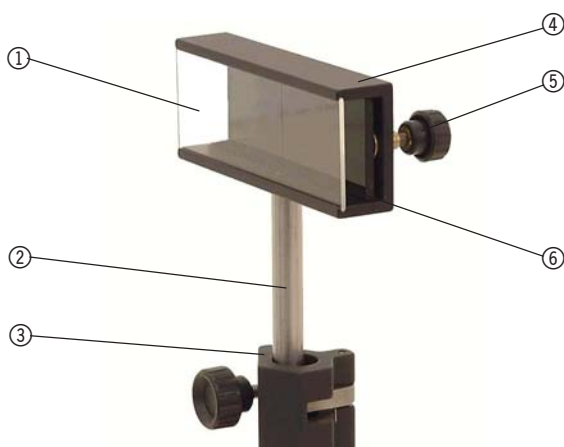


Fig. 1: Components

- ① Protective window pane made of plexiglass
- ② Stand rod, 10 mm diameter made of stainless steel
- ③ Optical rider (not contained in the scope of supply)
- ④ Housing made of black anodized aluminum
- ⑤ Knurled screw for mirror adjustment
- ⑥ Surface-coated mirror made of black acrylic

Using the Fresnel mirror you can perform experiments on interference of monochromatic, coherent light, whereby thanks to having two mirrors it is possible to produce two virtual light sources – which then interfere with each other – from a single light source.

1. Safety instructions

- When using a laser it is imperative that all associated safety instructions specified for the device be strictly complied with, e.g. do NOT stare into the laser beam!
- During the experiment none of the observers may experience glare.

2. Description

Fresnel's idea of bringing about interference in light waves reflecting off two mirrors is depicted in Fig. 2. The light propagating from one point light source P (parallel laser beam with lens connected upstream) is reflected by two mirrors in such a manner that the two partial beams are superimposed on each other, thus causing interference. The experiment evaluation can easily be undertaken using mathematical methodology or graphically in physical terms simply by determining the separation of the two virtual point light sources P_1 and P_2 and then calculating the interference

pattern as a superimposing of circular waves arising from P_1 and P_2 .

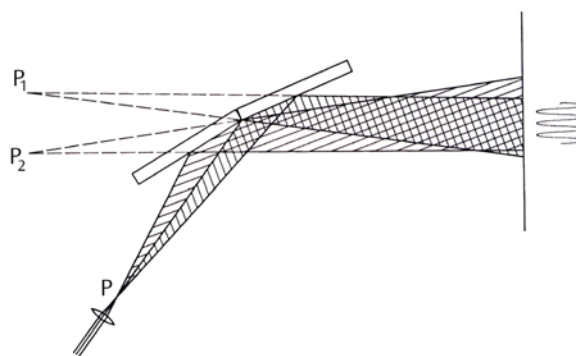


Fig. 2: Operating principle of the Fresnel mirror.

The Fresnel mirror consists of two acrylic half mirrors each 29 mm x 45 mm in size. Since the experiments call for a grazing incidence of light to be set, the result is total reflection and the acrylic glass functions like a surface-coated mirror. One of the two mirrors is permanently attached inside the housing while the other mirror is adjustable and can be tilted by an angle of approx. -0.5° up to $+2^\circ$. There is a protective window pane made of plexiglass positioned in front of the mirrors, which may not be removed during the experiments. This is designed to protect against accidental

contact to the mirrors. The stand rod has a diameter of 10 mm and is scaled lengthwise so that the mirror's center point has a standard height of 150 mm.

3. Operation and maintenance

- The Fresnel mirror is operated using grazing light incidence, whereby it is tilted by approx. 1° - 2° with respect to the light beam. After adjusting the light source so that both mirrors are illuminated with equal luminous intensity, the inclination of the two reflected light beams can be adjusted with respect to each other by turning the knurled screw ⑤.
- **Maintenance:** the Fresnel mirror is basically maintenance-free. To clean simply wipe clean using a damp rag with detergent. If possible the mirror should only be dry dusted using a soft brush. If necessary it can also be cleaned with a detergent and a soft rag.
- **Storage:** this device should be stored in a dust-free location, perhaps completely covered with a plastic bag.

4. Experiment procedure and evaluation

- There are two experiment setups described below. In Section 4.1 a simple and compact assembly is presented which leads to thick and bright interference bands, but which have previously not been quantitatively evaluated. Section 4.2 shows the assembly for the "classical" experiment and has a basic evaluation example.

4.1 Compact, qualitative interference experiment

- Following equipment is required:
 - 1 x U10302 Optical bench with triangular profile, 0.5 m long
 - 1 x U10312 Optical rider, 120 mm high, 50 mm wide
 - 1 x U10311 Optical rider, 90 mm high, 50 mm wide
 - 2 x U10310 Optical rider, 60 mm high, 50 mm wide
 - 1 x U10331 Extension arm
 - 1 x U43001 He-Ne laser
 - 1 x U10345 Fresnel mirror
 - 1 x Diverging lens, e.g. $f = 5$ mm
 - 1 x U17125 Observation screen
- The experiment setup can be seen in Fig. 3. The Fresnel mirror is tilted by approx. 1° with respect to the laser. Initially the lens is still pivoted out of the beam. By turning the laser in the optical rider the beam is adjusted so that it incidents on both mirrors and produces two equally bright points on the observation screen (if necessary, slightly adjust the mirror tilt by turning the knurled screw ⑤). Then by turning the knurled screws you can adjust the two points on the screen until they are coincident. If you now pivot the lens into the beam axis, an interference pattern should already appear on the screen, which then can be made even sharper still by readjusting the laser.



Fig. 3: Experiment setup "Compact Interference Experiment"

4.2 Classical interference experiment

4.2.1 Experiment setup

- 1 x U10302 Optical bench with triangular profile, 0.5 m long
- 1 x U10312 Optical rider, 120 mm high, 50 mm wide
- 1 x U10311 Optical rider, 90 mm high, 50 mm wide
- 2 x U10310 Optical rider, 60 mm high, 50 mm wide
- 1 x U43001 He-Ne laser
- 1 x U10345 Fresnel mirror
- 1 x Diverging lens, e.g. $f = 5$ mm
- 1 x U17104 Convex lens, $f = 200$ mm
- The experiment setup can be seen in Fig. 4. At first the laser and the diverging lens are mounted and aligned so that the laser beam diverged by the lens propagates almost parallel to the optical bench. The beam trajectory can be made visible using a sheet of paper. Do not look directly into the beam! Subsequently the Fresnel mirror is mounted at an inclination of around 1° - 2° with respect to the laser.
- By turning the knurled screw ⑤ an image should now appear in focus on the screen 2 - 3 m meters away which basically corresponds to Fig. 5. There will still be visible a bright area next to the interference pattern, which stems from the light which misses the mirrors. Besides the bands of the actual interference pattern it is possible to see still more interference bands and rings depending on the quality and degree of cleanliness of the laser and lens. A definitive conclusion regarding which bands are actually caused by the mirrors is easy to obtain simply by adjusting the knurled screw ⑤. Only the bands which vary their width during this adjustment are "real" interference bands. Their distance should be adjustable from approx. 1 - 4 mm.



Fig. 4: Experiment setup "Classical Interference Experiment". Position of components (left edge of the optical rider): laser: 0 mm, lens $f = 5$ mm: 150 mm, Fresnel mirror: 220 mm, lens $f = 200$ mm (only mounted when the distance to the virtual light source is measured): approx. 380 mm. The interference image is obtained on the screen (or a brightly lit wall) at a distance of 2 to 3 m.

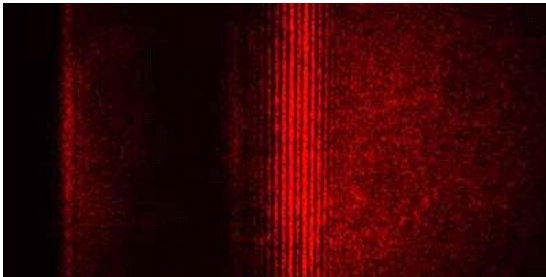


Fig. 5: Interference image on the observation screen. A bright band can still be discerned at the left edge, which stems from the light that does not hit the mirror.

4.2.2 Experiment procedure

- During one experiment the separation D of the interference bands is determined first. If the separation amounts to, for example, 24 ± 1 mm between 7 maxima, then $D = 3.43$ mm.
- Afterwards the 200 mm lens is mounted and, if needed, somewhat shifted until two clearly discernible light spots appear on the screen with a distance of about 3 - 15 mm from each other (the light missing the mirror produces a third spot at a greater distance farther to the left). Here it may be beneficial for the measurement if the light spots are somewhat larger than the minimum size obtained when the lens is sharply focussed. In this example the distance of the light spots amounts to $A = 6.8$ mm and was determined using a measurement caliper.
- The last variable needed for the evaluation is the distance b between the 200 mm lens and the observation screen ($b = 2700$ mm).

4.2.3 Experiment evaluation

- As was already explained on the basis of Fig. 2, the interference image can be interpreted as the superimposing of the light from two point light sources P_1 and P_2 . In order for an intensity maximum to be produced on the observation screen the ray's path difference d between two beams originating from P_1 and P_2 must correspond precisely to the wavelength λ or a multiple integer of λ . Using the variables defined in Fig. 6 we obtain the following

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

and

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi \quad (2)$$

- At a sufficiently low angle φ it holds true that $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Furthermore let us assume that $d = \lambda$ (first maximum). As a result it follows from Equations 1 and 2 that:

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

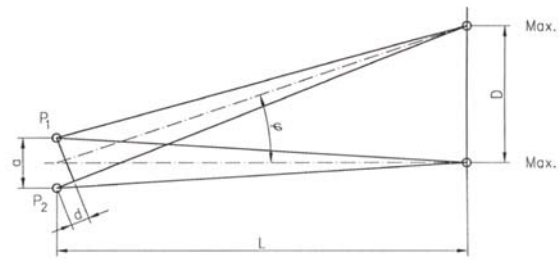


Fig. 6: Intensity maxima arise when $d = n \lambda$ (n being an integer).

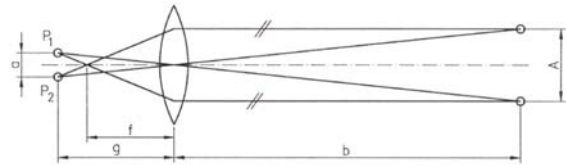


Fig. 7: Determination of the separation a between the virtual point light sources using a lens (e.g. $f = 200$ mm). The distances A and b are measured.

- The determination of the separation a of the virtual point light sources is depicted in Fig. 7. By using the intercept theorems we directly obtain the two correlations

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

and

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f} \quad (5)$$

- Equalizing the two equations for the elimination of a/A and resolving for g results in

$$g = \frac{bf}{b-f} \quad (6)$$

- If this is inserted in Equation 4, a can be determined and inserted in Eq. 3. The still missing value for the length L in Eq. 3 results according to Fig. 7 from the sum of the two distances g and b . When everything is inserted into Eq. 3 it yields:

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- For the example the result is $\lambda = 640$ nm, which is in good agreement with the manufacturer's specifications for the laser being used (632.8 nm).

U10345 Miroir de Fresnel

Instructions d'utilisation

11/04 MH

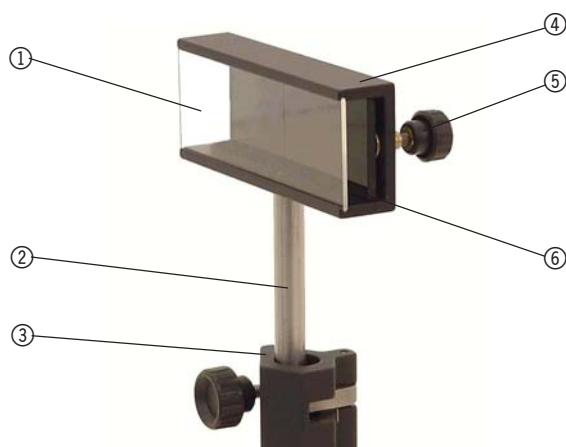


Fig. 1 : Composants

- ① Verre acrylique de protection
- ② Manche, 10 mm de diamètre, acier inox
- ③ Coulisseau optique (non fourni)
- ④ Boîtier en aluminium anodisé noir
- ⑤ Vis moletée pour régler le miroir
- ⑥ Miroir de surface en verre acrylique noir

Le miroir de Fresnel permet de réaliser des expériences sur l'interférence de la lumière cohérente monochromatique, deux sources lumineuses virtuelles – qui interfèrent alors – étant générées par les deux miroirs à partir d'une seule source.

1. Consignes de sécurité

- En cas d'emploi d'un laser, respecter rigoureusement les consignes de sécurité indiquées. Par ex., ne jamais regarder dans le rayon !
- Aucun observateur ne doit être ébloui pendant l'expérience.

2. Description

L'idée de Fresnel de faire interférer des ondes lumineuses par deux miroirs est illustrée par la figure 2. La lumière émise par une source lumineuse ponctuelle P (rayon laser parallèle à l'axe optique placé en amont) est réfléchi par deux miroirs de telle sorte que les deux faisceaux partiels se superposent et interfèrent. Pour permettre une évaluation mathématiquement simple et physiquement claire de l'expérience, il suffit de déterminer l'écart entre les deux sources de lumière ponctuelles P_1 et P_2 et de calculer le modèle d'interférence comme superposition d'ondes circulaires résultant de P_1 et P_2 .

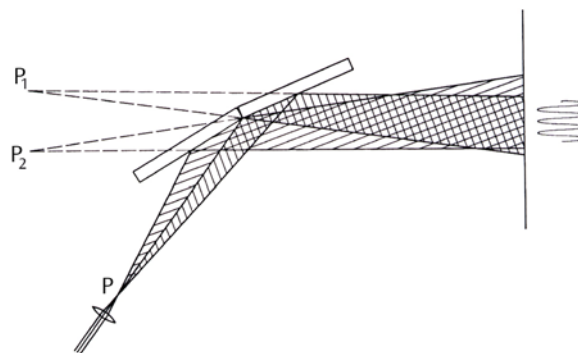


Fig. 2 : Principe des miroirs de Fresnel.

Le miroir de Fresnel est constitué de deux miroirs partiels en verre acrylique de 29 mm x 45 mm. Les expériences requérant une incidence rasante, la réflexion est totale et le verre acrylique agit comme un miroir de surface. L'un des deux miroirs est fixé au boîtier, tandis que l'autre peut être incliné dans un angle d'env. $-0,5^\circ$ à $+2^\circ$. Devant les miroirs se trouve un verre acrylique de protection qu'il n'est pas nécessaire de retirer pour effectuer les expériences. Cette protection évite de toucher les miroirs par mégarde. La barre de support présente un diamètre de 10 mm et sa longueur permet d'obtenir une hauteur standard de 150 mm pour le centre du miroir.

3. Manipulation et entretien

- Incliné d'env. 1 à 2° par rapport au faisceau lumineux, le miroir de Fresnel est exploité avec une incidence rasante. La source lumineuse étant ajustée de telle sorte que les deux miroirs sont éclairés avec environ la même intensité, on peut régler l'inclinaison des deux faisceaux réfléchis en tournant la vis moletée ⑤.
- **Entretien** : fondamentalement, le miroir de Fresnel ne nécessite aucun entretien. Pour le nettoyer, on peut l'essuyer avec de l'eau et un produit de rinçage. Dans la mesure du possible, les miroirs ne seront libérés de la poussière qu'avec un pinceau et à sec. Le cas échéant, ils pourront être nettoyés avec une solution de rinçage et un chiffon doux.
- **Rangement** : ranger les miroirs à l'abri de la poussière, éventuellement dans un sachet en plastique.

4. Réalisation et évaluation des expériences

- Nous allons décrire deux expériences. Au paragraphe 4.1, nous présenterons une expérience simple et compacte qui permet de réaliser des franges d'interférences larges et claires, mais qui n'a pas encore été évaluée. Le paragraphe 4.2 présente une expérience « classique », évaluée à l'aide d'un exemple.

4.1 Expérience compacte et qualitative

- Les appareils suivants sont nécessaires :
 - 1 x U10302 Banc optique avec profil triangulaire, 0,5 m de long
 - 1 x U10312 Coulisseau optique, 120 mm de haut, 50 mm de large
 - 1 x U10311 Coulisseau optique, 90 mm de haut, 50 mm de large
 - 2 x U10310 Coulisseau optique, 60 mm de haut, 50 mm de large
 - 1 x U10331 Bras de rallonge
 - 1 x U43001 Laser au He-Ne
 - 1 x U10345 Miroir de Fresnel
 - 1 x Lentille de divergence, par ex. $f = 5$ mm
 - 1 x U17125 Ecran d'observation
- Le montage de l'expérience est illustré dans la figure 3. Le miroir de Fresnel est incliné sur env. 1° dans la direction du laser. La lentille est encore écartée du faisceau. En tournant le laser dans le coulisseau optique, ajuster le rayon de telle sorte qu'il tombe sur les deux miroirs et présente sur l'écran d'observation deux points à peu près de même clarté (le cas échéant, corriger légèrement l'inclinaison des miroirs en tournant la vis moletée ⑤). Puis, tourner la vis moletée pour que les deux points se recouvrent à l'écran. Maintenant, si l'on place la lentille dans le rayon, on devrait déjà pouvoir observer à l'écran un modèle d'interférence qui gagnera en netteté par l'ajustage du laser.



Fig. 3 : Montage « Expérience d'interférence compacte »

4.2 Montage d'expérience classique

4.2.1 Montage de l'expérience

- Les appareils suivants sont nécessaires :
 - 1 x U10302 Banc optique avec profil triangulaire, 0,5 m de long
 - 1 x U10312 Coulisseau optique, 120 mm de haut, 50 mm de large
 - 1 x U10311 Coulisseau optique, 90 mm de haut, 50 mm de large
 - 2 x U10310 Coulisseau optique, 60 mm de haut, 50 mm de large
 - 1 x U43001 Laser au He-Ne
 - 1 x U10345 Miroir de Fresnel
 - 1 x Lentille de divergence, par ex. $f = 5$ mm
 - 1 x U17104 Lentille convexe, $f = 200$ mm
- Le montage de l'expérience est illustré dans la figure 4. Tout d'abord, monter et orienter le laser et la lentille de divergence de telle sorte que le faisceau lumineux élargi par la lentille soit à peu près parallèle au banc optique. La marche du rayon peut être rendue visible avec une feuille de papier. Ne pas regarder directement dans le faisceau ! Puis, monter le miroir de Fresnel incliné d'env. 1 à 2° dans la direction du laser.
- En tournant la vis moletée ⑤, on devrait obtenir maintenant sur l'écran distant de 2 - 3 m une image correspondant en gros à celle représentée par la figure 5. A gauche du modèle d'interférence se trouve une zone claire provenant de la lumière passant à côté des miroirs. Selon la qualité et la propreté du laser et de la lentille, d'autres franges d'interférences et anneaux peuvent encore être visibles, en plus du modèle d'interférence à proprement parler. Pour obtenir une délimitation des franges émanant des miroirs, il suffit tout simplement d'ajuster la vis moletée ⑤. Seules les franges dont la largeur est modifiée sont de « vraies » franges d'interférence. On doit pouvoir régler leur écart entre env. 1 et 4 mm.



Fig. 4 : Montage « Expérience d'interférence classique ». Position des composants (bord gauche du coulisseau optique) : laser : 0 mm, lentille $f = 5$ mm : 150 mm, miroir de Fresnel : 220 mm, lentille $f = 200$ mm (uniquement montée si l'on mesure l'écart entre les sources lumineuses virtuelles) : env. 380 mm. L'image d'interférence est obtenue sur un écran (ou un mur clair) à 2-3 m de distance.

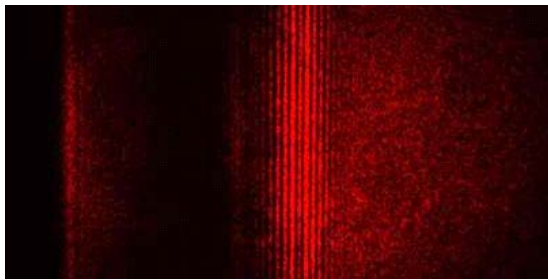


Fig. 5 : Image d'interférence projetée sur l'écran d'observation. Sur le bord gauche se trouve encore une frange claire provenant de la lumière passant à côté des miroirs.

4.2.2 Réalisation de l'expérience

- Pendant l'expérience, on détermine d'abord l'écart D entre les franges d'interférence. Si, par exemple, l'écart entre 7 maxima est de 24 ± 1 mm, alors $D = 3,43$ mm.
- Puis, l'on monte la lentille de 200 mm et, le cas échéant, on la décalera pour obtenir à l'écran deux taches lumineuses distinctes distantes d'environ 3 - 15 mm (la lumière passant à côté du miroir génère une troisième tache dans un écart supérieur à gauche). Pour la mesure, il peut s'avérer avantageux que les taches lumineuses soient un peu plus grandes que la taille maximale avec une lentille focalisée. Dans cet exemple, l'écart A des taches lumineuses, déterminé avec un pied à coulisse, s'élève à 6,8 mm.
- La dernière grandeur nécessaire à l'évaluation est la distance b entre la lentille de 200 et l'écran d'observation ($b = 2\,700$ mm).

4.2.3 Evaluation de l'expérience

- Comme nous l'avons déjà expliqué à l'aide de la figure 2, l'image de l'interférence peut être interprétée comme une superposition de la lumière provenant de deux sources de lumière ponctuelle P_1 et P_2 . Pour obtenir à l'écran un maxima d'intensité, la différence d entre deux rayons émanant de P_1 et P_2 doit très précisément correspondre à la longueur d'onde λ ou à un multiple entier de λ . Avec les grandeurs définies dans la fi-

gure 6, on obtient

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

et

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi . \quad (2)$$

- Si les angles φ sont suffisamment petit, $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Par ailleurs, il faut que $d = \lambda$ (premier maxima). Il résulte des équations 1 et 2 :

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

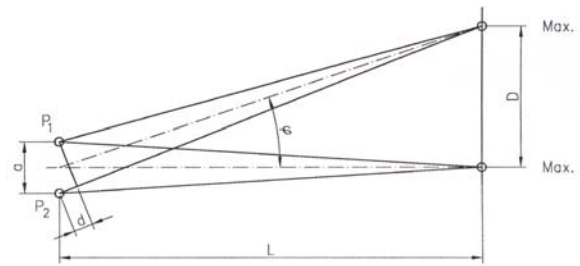


Fig. 6 : Formation de maxima d'intensité, si $d = n \lambda$ (n est entier).

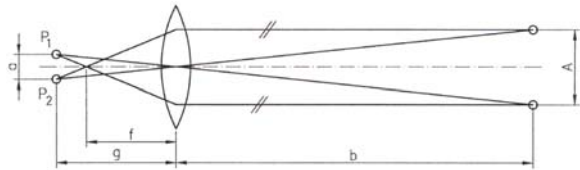


Fig. 7 : Détermination de l'écart a des sources de lumière ponctuelle en utilisant une lentille (par ex. $f = 200$ mm). Mesure des écarts A et b .

- La détermination de l'écart a des sources de lumière ponctuelle virtuelle est illustrée dans la figure 7. D'après la loi de Thalès, on obtient directement les deux équations suivantes :

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

et

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f} . \quad (5)$$

- En égalisant les deux équations pour éliminer a/A et résoudre g , on obtient :

$$g = \frac{bf}{b-f} . \quad (6)$$

- Si on l'utilise dans l'équation 4, a peut être déterminé et utilisé dans l'équation 3. La longueur manquante L dans l'équation 3 résulte d'après la figure 7 de la somme des deux écarts g et b . On obtient finalement l'équation 3 :

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- Pour notre exemple, $\lambda = 640$ nm, ce qui correspond très bien à l'indication du constructeur pour le laser utilisé (632,8 nm).

U10345 Specchio di Fresnel

Istruzioni per l'uso

11/04 MH

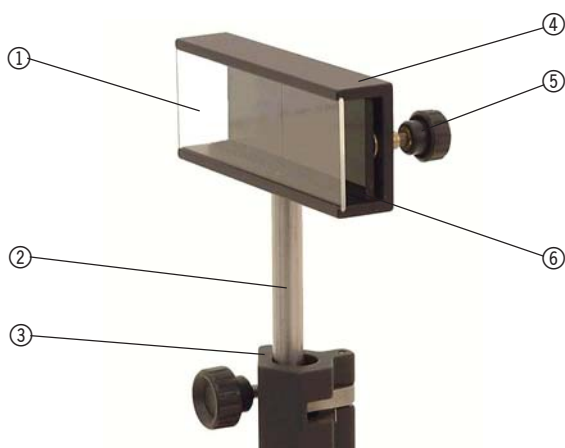


Fig. 1: componenti

- ① Lastra di protezione in vetro acrilico
- ② Asta, diametro 10 mm in acciaio legato
- ③ Cavaliere ottico (non fornito in dotazione)
- ④ Alloggiamento in alluminio nero anodizzato
- ⑤ Vite a testa zigrinata per la regolazione dello specchio
- ⑥ Specchio superficiale in vetro acrilico nero

Con lo specchio di Fresnel è possibile eseguire esperimenti relativi all'interferenza della luce monocromatica coerente, dove mediante i due specchi a partire da una sorgente luminosa vengono prodotte due sorgenti luminose virtuali, che poi interferiscono.

1. Norme di sicurezza

- Se si utilizza un laser, rispettare rigorosamente le avvertenze per la sicurezza qui indicate, ad es. non guardare nel fascio!
- Durante gli esperimenti nessun osservatore deve percepire una sensazione di abbagliamento.

2. Descrizione

L'idea di Fresnel, di fare interferire sorgenti luminose con l'ausilio di due specchi, è rappresentata in fig. 2. La luce in uscita da una sorgente luminosa puntiforme P (fascio laser parallelo con lente a monte) viene riflessa da due specchi in modo tale che i due fasci parziali si sovrappongano e interferiscano reciprocamente. L'analisi dell'esperimento può essere eseguita in modo semplice, dal punto di vista matematico, e in modo chiaro, dal punto di vista fisico, determinando la distanza delle due sorgenti luminose puntiformi virtuali P_1 e P_2 e calcolando il modello di interferenza come sovrapposizione di onde circolari, in uscita da P_1 e P_2 .

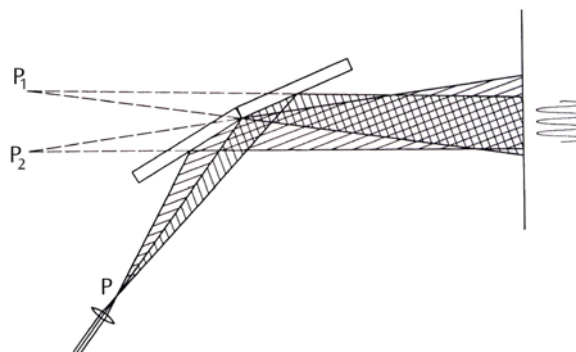


Fig. 2: principio di funzionamento dello specchio di Fresnel.

Lo specchio di Fresnel è composto da due specchi parziali ciascuno da 29 mm x 45 mm in vetro acrilico. Poiché negli esperimenti viene impostata un'incidenza della luce a strisce, si produce una riflessione totale e il vetro acrilico funge da specchio superficiale. Uno dei due specchi è applicato in modo saldo nell'alloggiamento, mentre l'altro specchio è regolabile con un'inclinazione compresa tra circa $-0,5^\circ$ e $+2^\circ$. Davanti ai due specchi è applicata una lastra di protezione in vetro acrilico, che non deve essere rimossa durante gli esperimenti. In tal modo si evitano contatti accidentali degli specchi. L'asta di supporto ha un diametro di 10 mm e una lunghezza tale per cui per il centro dello specchio si ottiene l'altezza standard di 150 mm.

3. Uso e manutenzione

- Lo specchio di Fresnel viene utilizzato con un'inclinazione della luce a strisce, ossia viene inclinato di circa 1° - 2° rispetto al fascio luminoso. Dopo avere regolato la sorgente luminosa in modo tale che i due specchi vengano illuminati praticamente con la stessa intensità, i due fasci luminosi riflessi possono essere impostati con una certa inclinazione reciproca, avvitando la vite a testa zigrinata ⑤.
- **Manutenzione:** lo specchio di Fresnel in linea di principio non richiede manutenzione. Per quanto riguarda la pulizia, lo specchio può essere pulito a umido (acqua con detergente). Se possibile, rimuovere la polvere dagli specchi solamente a secco con un pennello morbido. Eventualmente è possibile pulirli anche con una soluzione detergente e un panno morbido.
- **Conservazione:** La conservazione dovrebbe essere a prova di polvere, eventualmente applicare sopra una busta di plastica.

4. Esecuzione dell'esperimento e analisi

- Di seguito vengono descritte due strutture dell'esperimento. Nel paragrafo 4.1 viene presentata una struttura semplice e compatta, che determina frange di interferenza ampie e luminose, che però sinora non sono state valutate quantitativamente. Nel paragrafo 4.2 viene mostrata la struttura dell'esperimento "classico", che viene analizzata sulla base di un esempio.

4.1 Esperimento sull'interferenza compatto e qualitativo

- Sono necessari i seguenti apparecchi:
 - 1 x U10302 Banco ottico con profilo triangolare, 0,5 m di lunghezza
 - 1 x U10312 Cavaliere ottico, 120 mm di altezza, 50 mm di larghezza
 - 1 x U10311 Cavaliere ottico, 90 mm di altezza, 50 mm di larghezza
 - 2 x U10310 Cavaliere ottico, 60 mm di altezza, 50 mm di larghezza
 - 1 x U10331 Braccio di prolunga
 - 1 x U43001 Laser elio-neon
 - 1 x U10345 Specchio di Fresnel
 - 1 x lente di ingrandimento, ad es. $f = 5$ mm
 - 1 x U17125 Schermo di osservazione
- La struttura dell'esperimento è visibile in fig. 3. Lo specchio di Fresnel ha un'inclinazione di circa 1° rispetto al laser. La lente viene innanzitutto ulteriormente ruotata rispetto al fascio. Ruotando il laser nel cavaliere ottico il fascio viene impostato in modo che cada sui due specchi e che sullo schermo di osservazione si formino due punti con la stessa luminosità (eventualmente regolare leggermente l'inclinazione dello specchio serrando la vite a testa zigrinata ⑤). Quindi i due punti presenti sullo schermo vengono coperti serrando la vite a testa zigrinata. Se ora la lente viene orientata sul percorso dei raggi luminosi, sullo schermo dovrebbe già comparire un modello di inter-

ferenza, che viene maggiormente definito mediante una nuova regolazione del laser.



Fig. 3: Struttura dell'esperimento "Esperimento sull'interferenza compatto"

4.2 Esperimento classico sull'interferenza

4.2.1 Struttura dell'esperimento

- Sono necessari i seguenti apparecchi:
 - 1 x U10302 Banco ottico con profilo triangolare, 0,5 m di lunghezza
 - 1 x U10312 Cavaliere ottico, 120 mm di altezza, 50 mm di larghezza
 - 1 x U10311 Cavaliere ottico, 90 mm di altezza, 50 mm di larghezza
 - 2 x U10310 Cavaliere ottico, 60 mm di altezza, 50 mm di larghezza
 - 1 x U43001 Laser elio-neon
 - 1 x U10345 Specchio di Fresnel
 - 1 x lente di ingrandimento, ad es. $f = 5$ mm
 - 1 x U17104 Lente convessa, $f = 200$ mm
- La struttura dell'esperimento è visibile in fig. 4. Innanzitutto vengono montati il laser e la lente di ingrandimento che vengono allineati in modo tale che il fascio laser ingrandito dalla lente si sviluppi quasi parallelamente al banco ottico. Il percorso del laser può essere reso visibile con un foglio di carta. Non guardare direttamente nel fascio! Successivamente viene montato lo specchio di Fresnel con un'inclinazione di circa 1 - 2° rispetto al laser.
- Serrando la vite a testa zigrinata ⑤ adesso dovrebbe essere possibile regolare un'immagine sullo schermo posto ad una distanza di 2 - 3 m, che in linea di principio corrisponde alla fig. 5. A sinistra, accanto al modello di interferenza, sarà visibile anche un settore chiaro, che deriva dalla luce che cade accanto agli specchi. Oltre alle frange del modello di interferenza effettivo saranno visibili, in base alla qualità e alla pulizia del laser e della lente, anche altre frange di interferenza e altri anelli. È possibile una leggera limitazione del tipo di frange che verranno prodotte effettivamente dagli specchi, registrando la vite a testa zigrinata ⑤. Solo le frange, che durante tale operazione modificano la loro larghezza, sono frange di interferen-

za “corrette”. La loro distanza dovrebbe essere regolabile con un margine di circa 1 – 4 mm.



Fig. 4: Struttura dell'esperimento “Esperimento classico sull'interferenza”. Posizione dei componenti (bordo di sinistra del cavaliere ottico): laser: 0 mm, lente $f = 5$ mm: 150 mm, specchio di Fresnel: 220 mm, lente $f = 200$ mm (solo montata, se viene misurata la distanza delle sorgenti luminose virtuali): circa 380 mm. L'immagine di interferenza viene ottenuta su uno schermo (o una parete chiara) con una distanza compresa tra 2 e 3 m.

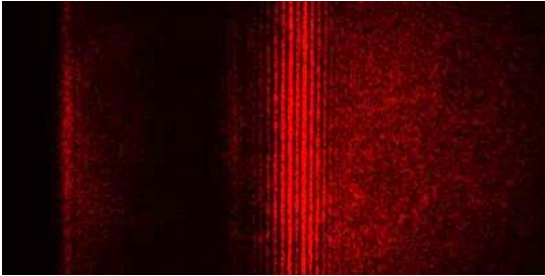


Fig. 5: Immagine di interferenza sullo schermo di osservazione. Sul bordo di sinistra si può riconoscere un'altra frangia chiara, che deriva dalla luce che cade accanto agli specchi.

4.2.2 Esecuzione dell'esperimento

- Durante un esperimento viene innanzitutto determinata la distanza D delle frange di interferenza. Se ad esempio la distanza tra 7 valori massimi è pari a 24 ± 1 mm, allora $D = 3,43$ mm.
- Successivamente viene montata la lente da 200 mm e, se necessario, viene leggermente spinta, fino a quando sullo schermo compaiono due punti luminosi evidenti, che hanno una distanza di circa 3 - 15 mm (la luce che cade accanto allo specchio produce un terzo punto ad una distanza maggiore ancora più a sinistra). Può essere eventualmente vantaggioso per la misurazione, se i punti luminosi hanno dimensioni leggermente superiori rispetto a quelle minime della lente messa a fuoco. In questo esempio la distanza dei punti luminosi è pari a $A = 6,8$ mm ed è stata determinata con un calibro a corsoio.
- L'ultima dimensione necessaria per l'analisi è la distanza b esistente tra la lente da 200 mm e lo schermo di osservazione ($b = 2700$ mm).

4.2.3 Analisi dell'esperimento

- Come già spiegato sulla base della fig. 2, l'immagine di interferenza può essere interpretata come sovrapposizione della luce di due sorgenti luminose puntiformi P_1 e P_2 . Affinché sullo schermo di osservazione si formi un valore massimo di inten-

sità, il ritardo ottico d esistente tra due raggi, in uscita da P_1 e P_2 , deve corrispondere esattamente alla lunghezza d'onda λ o a un multiplo intero di λ . Con le grandezze definite in fig. 6 si ottiene

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

e

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi \quad (2)$$

- Con angoli φ sufficientemente piccoli si ha $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Inoltre se $d = \lambda$ (primo valore massimo), ne consegue dalle equazioni 1 e 2:

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

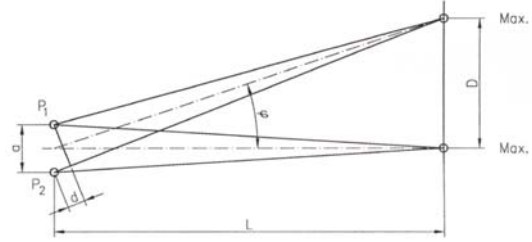


Fig. 6: Formazione di valori massimi dell'intensità, se $d = n \lambda$ (n è un numero intero).

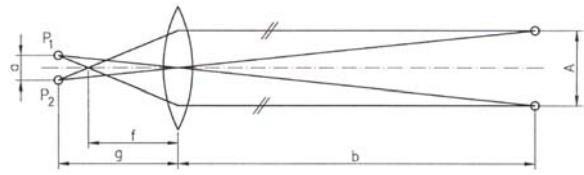


Fig. 7: Determinazione della distanza a delle sorgenti luminose puntiformi virtuali con l'utilizzo di una lente (ad es. $f = 200$ mm). Vengono misurate le distanze A e b .

- La determinazione della distanza a delle sorgenti luminose puntiformi virtuali è rappresentata in fig. 7. Applicando il teorema di Thales si ottengono direttamente i due rapporti

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

e

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f} \quad (5)$$

- Equiparando le due equazioni per l'eliminazione di a/A e la definizione in base a g si ottiene

$$g = \frac{bf}{b-f} \quad (6)$$

- Se ciò viene inserito nell'equazione 4, può essere determinato a ed essere inserito nell'equazione 3. La lunghezza L che ancora manca nell'equazione 3 si ottiene, in base alla fig. 7, dalla somma delle due distanze g e b . Inserendo tutto ciò nell'equazione 3, si ottiene:

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- Per l'esempio si ottiene $\lambda = 640$ nm, che corrisponde adeguatamente all'indicazione del costruttore per il laser utilizzato (632,8 nm).

U10345 Espejo de Fresnel

Instrucciones de uso

11/04 MH



Fig. 1: Componentes

- ① Placa de protección de vidrio acrílico
- ② Mango, 10 mm de diámetro, de acero fino
- ③ Corredera óptica (no forma parte del volumen de suministro)
- ④ Caja de aluminio anodizado, negra
- ⑤ Tornillo moleteado para ajuste del espejo
- ⑥ Superficie del espejo de vidrio acrílico negro

Con el espejo de Fresnel se pueden realizar experimentos sobre interferencia de luz monocromática coherente, para lo cual, por medio de los dos espejos, se pueden generar dos fuentes virtuales de luz a partir de una, con el resultado de que las dos interfieren entre sí.

1. Aviso de seguridad

- ¡Si se emplea un rayo láser, se deben observar estrictamente las notas de seguridad indicadas, por ejemplo, no oponer la vista a la trayectoria del rayo!
- Durante el experimento, ninguno de los observadores se debe sentir encandilado.

2. Descripción

La idea de Fresnel, esto es, provocar interferencia de ondas luminosas por medio de dos espejos, está representada en la Fig. 2. La luz emitida por una fuente puntual P (rayo láser paralelo, con lente antepuesta) se refleja por dos espejos de manera que ambas radiaciones parciales se superpongan e interfieran entre sí. La evaluación del experimento se puede llevar a cabo de una manera clara, tanto matemática como físicamente, para lo cual se determina la distancia entre las fuentes puntuales de luz P_1 y P_2 , y se calcula como superposición el patrón de interferencia de las ondas circulares que parte de P_1 y P_2 .

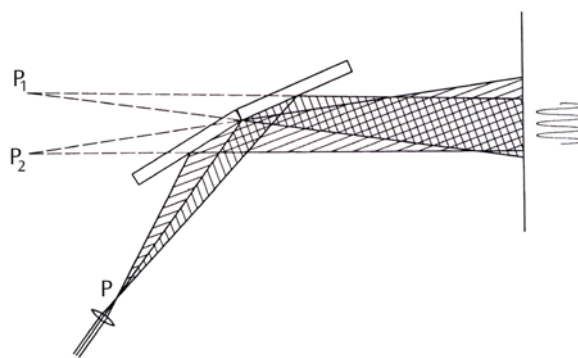


Fig. 2: Principio de funcionamiento del espejo de Fresnel

El espejo de Fresnel se compone de dos espejos grandes, de 29 mm x 45 mm, de vidrio acrílico. Dado que durante la experimentación se produce una incidencia de luz rasante, se obtiene una reflexión total, y el vidrio acrílico opera como espejo reflector de superficie. Uno de los dos espejos se aloja fijamente en la carcasa, mientras que el otro se puede ajustar en una inclinación de aprox. $-0,5^\circ$ a $+2^\circ$. Delante de los espejos, se ha interpuesto una placa de vidrio acrílico, la cual no se debe retirar durante la realización de los experimentos. De esta manera, se evita un contacto no deseado de los espejos. La barra soporte tiene 10 mm de diámetro y se ha establecido su longitud de manera que, en relación al centro de los espejos, se obtenga una altura estándar de 150 mm.

3. Servicio y mantenimiento

- El espejo de Fresnel opera por medio de luz rasante, para lo cual tiene una inclinación de aproximadamente 1° a 2° en relación al rayo de luz. Una vez que se ha ajustado la fuente de luz, de manera que la luz incida sobre ambos espejos, con igual intensidad, se puede ajustar entre sí la inclinación de ambos haces de luz reflejados girando el tornillo moleteado ⑤.
- **Mantenimiento:** En principio, el espejo de Fresnel no necesita mantenimiento. Para su limpieza, se lo puede frotar con un paño húmedo (agua con agente de limpieza.) De ser necesario, el espejo sólo se debe limpiar de polvo con un pincel suave. Dado el caso, también se puede limpiar con algún agente de limpieza soluble y un paño suave.
- **Almacenamiento:** Se debe guardar en un lugar libre de polvo, eventualmente se lo debe cubrir introduciéndolo dentro de una bolsa de plástico.

4. Ejecución del experimento y evaluación

- A continuación se describen dos montajes experimentales. En el apartado 4.1 se presenta un montaje sencillo y compacto, con el que se obtienen franjas de interferencia anchas y claras; no obstante, este montaje no ha sido evaluado cuantitativamente hasta ahora. En el apartado 4.2 se muestra el montaje del experimento “clásico” y se lo evalúa a partir de un ejemplo.

4.1 Experimento compacto y cualitativo de interferencia

- Se necesita el siguiente equipo:
 - 1 x U10302 banco óptico, perfil triangular, 0,5 m de longitud
 - 1 x U10312 corredera óptica, 120 mm de alto, 50 mm de ancho
 - 1 x U10311 corredera óptica, 90 mm de alto, 50 mm de ancho
 - 2 x U10310 corredera óptica, 60 mm de alto, 50 mm de ancho
 - 1 x U10331 brazo de prolongación
 - 1 x U43001 láser de He y Ne
 - 1 x U10345 espejo de Fresnel
 - 1 lente de ensanchamiento, p. ej. $f = 5$ mm
 - 1 x U17125 pantalla de proyección
- En la Fig. 3 se puede observar el montaje experimental. El espejo de Fresnel está inclinado aproximadamente 1° en relación al láser. La lente está, en primer lugar, inclinada todavía a partir del haz de luz. Al girar el láser en la corredera óptica, se ajusta el rayo de manera que incida sobre ambos espejos y se obtengan puntos de igual claridad sobre la pantalla de proyección (dado el caso, puede ser necesario ajustar en algo la inclinación del espejo, girando el tornillo moleteado ⑤). A continuación, girando el tornillo moleteado, se consigue que, sobre la pantalla, ambos puntos se cubran. Si ahora se gira la lente hacia la trayectoria del rayo, aparecerá entonces un patrón de interferencia sobre la pantalla, el cual se puede volver más nítido si se ajusta aún más el láser.



Fig. 3: Montaje experimental “Experimento compacto de interferencia”

4.2 Experimento clásico de interferencia

4.2.1 Montaje experimental

- Se necesita el siguiente equipo:
 - 1 x U10302 banco óptico, perfil triangular, 0,5 m de longitud
 - 1 x U10312 corredera óptica, 120 mm de alto, 50 mm de ancho
 - 1 x U10311 corredera óptica, 90 mm de alto, 50 mm de ancho
 - 2 x U10310 corredera óptica, 60 mm de alto, 50 mm de ancho
 - 1 x U43001 láser de He y Ne
 - 1 x U10345 espejo de Fresnel
 - 1 lente de ensanchamiento, p. ej. $f = 5$ mm
 - 1 U17104 lente convexa, $f = 200$ mm
- En la Fig. 4 se puede observar el montaje experimental. En primer lugar, se monta el láser y la lente de ensanchamiento ajustándolos de manera que el rayo láser ensanchado por la lente tenga una trayectoria aproximadamente paralela con relación al banco óptico. Para ello, la trayectoria del láser se puede hacer visible por medio de una hoja de papel. ¡No se debe interponer la vista directamente en la trayectoria del rayo! A continuación, se monta el espejo de Fresnel con una inclinación de aproximadamente 1° a 2° en relación al láser.
- Girando el tornillo moleteado ⑤, debe ser posible ajustar ahora una imagen sobre la pantalla, colocada a una distancia de 2 a 3 m, que corresponda, en principio, a la Fig. 5. A la izquierda del patrón de interferencia, debe ser posible observar todavía un área clara, resultante de la luz que pasa por los espejos. Junto a las franjas del verdadero patrón de interferencia, debe ser todavía posible observar otras franjas de interferencia, lo cual depende de la calidad y la limpieza del láser y del lente. Es muy sencillo limitar las franjas producidas efectivamente por los espejos ajustando el tornillo moleteado ⑤. Sólo aquellas franjas que durante el ajuste varían de ancho son “verdaderas” franjas de interferencia. Su ajuste debe ser posible en una distancia de aproximadamente 1 a 4 mm.



Fig. 4: Montaje experimental "Experimento clásico de interferencia" Posición de los componentes (borde izquierdo de la corredera óptica): Láser: 0 mm, lente $f = 5$ mm: 150 mm, espejo de Fresnel 220 mm, lente $f = 200$ mm (sólo montado, si se mide la distancia de las fuentes de luz virtuales): aprox. 380 mm. La imagen de interferencia se mantiene sobre una pantalla (o una pared clara) que se encuentre a una distancia de 2 a 3 m.

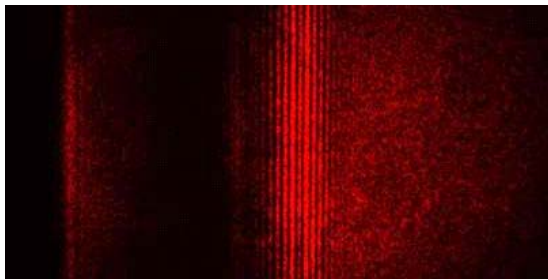


Fig. 5: Imagen de interferencia sobre la pantalla de proyección. En el borde izquierdo, se puede reconocer todavía una franja clara, resultante de la luz que pasa por los espejos.

4.2.2 Ejecución del experimento

- Durante un experimento se determina, en primer lugar, la distancia D entre las franjas de interferencia. Si, por ejemplo, la distancia entre 7 valores máximos es de 24 ± 1 mm, entonces $D = 3,43$ mm.
- A continuación, se monta la lente de 200 mm y, dado el caso, se la desplaza hasta que aparezcan sobre la pantalla dos puntos luminosos que tengan una distancia entre sí de 3 a 15 mm (la luz que pasa por los espejos genera un tercer punto a una gran distancia hacia la izquierda). Para la medición es aquí eventualmente más ventajoso que los puntos luminosos tengan un tamaño mayor que el mínimo obtenido si las lentes se han ajustado nítidamente. En este ejemplo, la distancia de los puntos luminosos es de $A = 6,8$ mm y, en este caso, fue determinada por medio de un calibre.
- La última magnitud necesaria para la evaluación es la distancia b entre la lente de 200 mm y la pantalla de proyección ($b = 2700$ mm).

4.2.3 Evaluación del experimento

- Como ya se mencionó a partir de la Fig. 2, la imagen de interferencia se puede interpretar como la superposición de la luz de dos fuentes luminosas puntuales P_1 y P_2 . Para que sobre la pantalla de proyección se genere un máximo de intensidad, la diferencia de trayectorias d , entre dos rayos producidos por P_1 y P_2 , debe corresponder exactamente a la longitud de onda λ o a un número entero múltiplo de λ . A partir de las magnitudes definidas en la Fig. 6 se obtiene:

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

y

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi \quad (2)$$

- Si los ángulos φ son suficientemente pequeños, entonces $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Si, además, $d = \lambda$ (primer valor máximo), a partir de las ecuaciones 1 y 2, se obtiene:

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

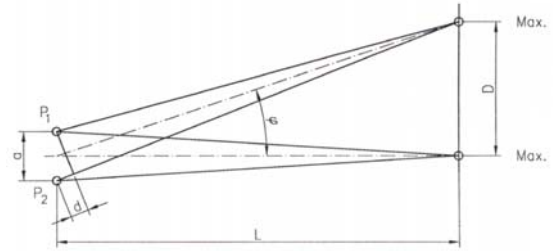


Fig. 6: Origen del valor máximo de intensidad, si $d = n \lambda$ (n es un número entero).

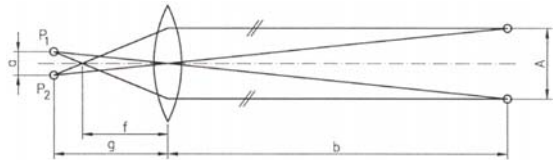


Fig. 7: Determinación de la distancia a de la fuente puntual virtual con la utilización de una lente (p. ej. $f = 200$ mm). Se miden las distancias A y b .

- La determinación de la distancia a de la fuente puntual virtual se representa en la Fig. 7. Al aplicar el teorema de Tales se obtienen directamente ambas relaciones:

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

y

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f} \quad (5)$$

- Al equiparar ambas ecuaciones, con el fin de eliminar a/A y despejar g , se obtiene como resultado:

$$g = \frac{bf}{b-f} \quad (6)$$

- Si esto se introduce en la ecuación 4, se puede determinar el valor de a e introducirlo en la ecuación 3. La longitud L , todavía faltante en la ecuación 3, se obtiene, de acuerdo con la Fig. 7, de la suma de ambas distancias g y b . Al introducir todo en la ecuación 3 se tiene como resultado:

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- Para este ejemplo se obtiene $\lambda = 640$ nm, lo cual concuerda bastante bien con las indicaciones del fabricante del láser empleado (632,8 nm).

U10345 Espelho de Fresnel

Instruções para o uso

11/04 MH

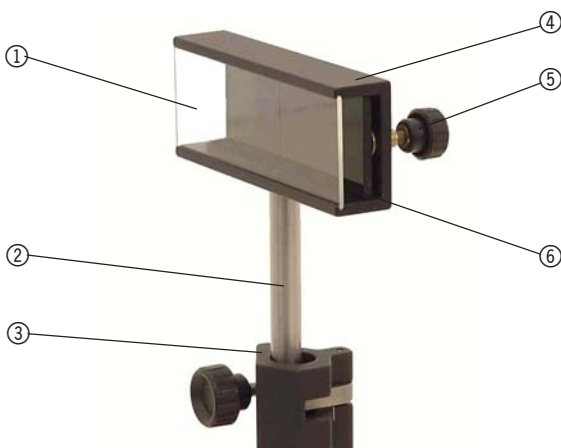


Fig. 1: componentes

- ① Vidro de proteção de acrílico
- ② Barra, 10 mm de diâmetro, de aço fino
- ③ Cavalete ótico (não incluído no fornecimento)
- ④ Armação de alumínio anodizado preto
- ⑤ Parafuso para ajustar o espelho
- ⑥ Espelhos de superfície de acrílico preto

Com o espelho de Fresnel podem ser realizadas experiências com a interferência na luz monocromática coerente, sendo que através dos dois espelhos uma fonte luminosa se transforma em duas fontes luminosas virtuais, as quais então interferem.

1. Indicações de segurança

- Ao utilizar um laser, deve-se respeitar estritamente as regras de segurança, por exemplo, nunca olhe diretamente para o feixe!
- Durante as experiências, nenhum observador deve se sentir ofuscado.

2. Descrição

A ideia de Fresnel de levar fontes luminosas a interferir por meio de dois espelhos está representada na ilustração 2. A luz emitida a partir do ponto luminoso P (feixe laser paralelo com lente prévia) é refletida por dois espelhos de tal forma que os dois feixes parciais se sobrepõem e interferem um com o outro. A análise dos resultados da experiência pode ser efetuada matematicamente de modo simples, ou fisicamente de modo compreensível, determinando-se a distância entre os dois pontos luminosos virtuais P_1 e P_2 , e calculando-se o padrão de interferência como sobreposição de ondas circulares emitidas por P_1 e P_2 .

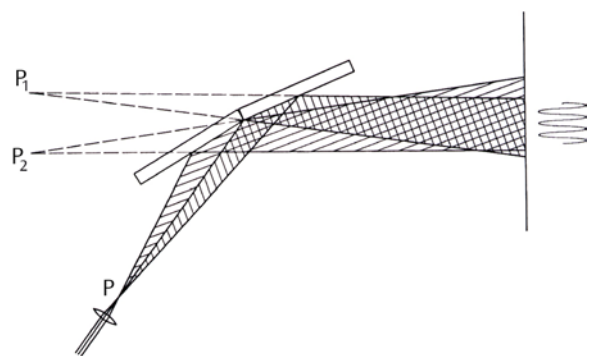


Fig. 2: princípio de funcionamento do espelho de Fresnel.

O espelho de Fresnel consiste em dois espelhos parciais de acrílico transparente de 29 mm x 45 mm cada um. Sendo que nas experiências instala-se um feixe luminoso enviesado, assim chega-se à reflexão total e o acrílico age como um espelho de superfície. Um dos espelhos está fixo na armação, enquanto que o outro é ajustável numa faixa de aprox. $-0,5^\circ$ até $+2^\circ$. Na frente dos espelhos encontra-se uma placa de proteção de acrílico, a qual não precisa ser retirada para se executar a experiência. Assim são evitados contatos involuntários com os espelhos. A barra de apoio tem um diâmetro de 10 mm e está calculada no seu comprimento para que resulte uma altura padrão do centro do espelho de 150 mm.

3. Operação e manutenção

- O espelho de Fresnel é operado com um feixe luminoso enviesado, sendo que o espelho está inclinado num ângulo de aprox. 1° a -2° com relação ao feixe. Depois que a fonte luminosa tenha sido ajustada de forma que ambos espelhos estejam iluminados com a mesma intensidade, pode-se modificar o ângulo de inclinação dos feixes entre eles girando-se o parafuso de ajuste ⑤.
- **Manutenção:** em princípio, o espelho de Fresnel não necessita manutenção. Para a limpeza, pode-se limpá-lo com um pano úmido (água com detergente caseiro). O espelho deve ser, sempre que possível, desempoeirado só a seco com um pincel suave. Caso necessário, pode-se também efetuar a limpeza com uma solução de detergente num pano suave.
- **Armazenamento:** o armazenamento deve ocorrer num local livre de poeira, de preferência com uma capa protetora de plástico esticada por cima do aparelho.

4. Execução da experiência e análise de resultados

- A seguir estão duas experiências descritas. No capítulo 4.1 é apresentada uma montagem simples e compacta, o qual leva a largas bandas claras de interferência mas que ainda não foram analisadas quantitativamente. No capítulo 4.2 é mostrada a experiência “clássica” e por meio de um exemplo, esta é analisada.

4.1 Experiência de interferência qualitativa compacta

- Os seguintes aparelhos são necessários:
 - 1 x U10302 Banco ótico com perfil de três arestas, 0,5 m de comprimento
 - 1 x U10312 Cavalete ótico, 120 mm de altura, 50 mm de largura
 - 1 x U10311 Cavalete ótico, 90 mm de altura, 50 mm de largura
 - 2 x U10310 Cavalete ótico, 60 mm de altura, 50 mm de largura
 - 1 x U10331 Braço de alongamento
 - 1 x U43001 Laser He-Ne
 - 1 x U10345 Espelho de Fresnel
 - 1 x Lente de ampliação, por ex. $f = 5$ mm
 - 1 x U17125 Tela de observação
- A montagem da experiência pode ser vista na ilustração 3. O espelho de Fresnel está numa inclinação de aprox. 1° em relação ao laser. A lente está fora do feixe no início. Girando o laser no cavalete ótico, ajusta-se o feixe de tal forma que ele incide nos dois espelhos e surgem dois pontos luminosos de igual luminosidade na tela de observação (caso seja necessário, pode-se alterar a inclinação do espelho por meio do parafuso de ajuste ⑤). Logo, leva-se os dois pontos a se sobrepor na tela de observação girando o parafuso de ajuste. Quando agora, a lente é colocada no eixo do feixe, deveria aparecer uma imagem de interferência, a qual pode ficar ainda mais focalizada com um ajuste posterior do laser.



Fig. 3: montagem do ensaio “Experiência compacta de interferência”

4.2 Experiência clássica de interferência

4.2.1 Montagem da experiência

- Os seguintes aparelhos são necessários:
 - 1 x U10302 Banco ótico com perfil de três arestas, 0,5 m de comprimento
 - 1 x U10312 Cavalete ótico, 120 mm de altura, 50 mm de largura
 - 1 x U10311 Cavalete ótico, 90 mm de altura, 50 mm de largura
 - 2 x U10310 Cavalete ótico, 60 mm de altura, 50 mm de largura
 - 1 x U43001 Laser He-Ne
 - 1 x U10345 Espelho de Fresnel
 - 1 x Lente de ampliação, por ex. $f = 5$ mm
 - 1 x U17104 Lente convexa, $f = 200$ mm
- A montagem da experiência pode ser vista na Fig. 4. Primeiro monta-se o laser e a lente de ampliação e estes são orientados de modo a que o feixe laser ampliado ao passar pela lente tenha um percurso paralelo ao cavalete ótico. O percurso do feixe pode então ser visualizado utilizando uma folha de papel. Não olhe diretamente para o feixe! A seguir, monta-se o espelho de Fresnel num ângulo de inclinação de aprox. 1 a 2° em relação ao laser.
- Girando o parafuso de ajuste ⑤ deveria surgir agora uma imagem que pode ser ajustada sobre a tela a 2 - 3 m de distância, a qual, no geral, corresponde à ilustração 5. À esquerda, ao lado do desenho da imagem da interferência, será vista mais uma área clara, que é originado pela luz que incide além dos espelhos. Ao lado das listras do próprio desenho da imagem da interferência, dependendo da qualidade e do estado de limpeza do laser e do espelho, podem ser vistas outras listras e anéis. Uma definição de qual são as listras realmente produzidas pelos espelhos é fácil de se obter girando o parafuso de ajuste ⑤. Só as listras que modificam a sua largura são “verdadeiras” listras de interferência. A sua distância deve poder ser ajustada numa faixa de aprox. 1 a 4 mm.



Fig. 4: montagem do ensaio “Experiência clássica de interferência”. Posição dos elementos (aresta esquerda do cavalete óptico): laser: 0 mm; lente $f= 5$ mm: 150 mm; espelho de Fresnel: 220 mm; lente $f= 200$ mm (só montado quando a distância da fonte luminosa virtual é medida): aprox. 380 mm. A imagem da interferência será visível de 2 a 3 m de distância sobre uma tela (ou numa parede clara).

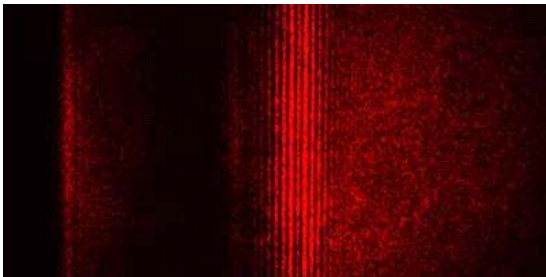


Fig. 5: imagem de interferência na tela de observação. Na margem esquerda vê-se mais uma listra clara, a qual é originada pela luz que incide fora do espelho.

4.2.2 Execução da experiência

- Ao iniciar a experiência, primeiro determina-se a distância D das listras de interferência. Caso, por exemplo, a distância entre 7 a máxima de 24 ± 1 mm, então $D = 3,43$ mm.
- Depois, monta-se a lente de 200-mm e, caso necessário, ajusta-se-a até que duas manchas luminosas claras a aprox. 3 - 15 mm uma da outra apareçam sobre a tela (a luz que passa do espelho gera uma terceira mancha mais longe, à esquerda). Neste caso, pode ser vantajoso que as manchas luminosas sejam maiores do que o tamanho mínimo quando a lente está focalizada. Neste exemplo, a distância das manchas luminosas $A = 6,8$ mm e foi determinada com calibrador.
- A última grandeza ainda necessária para o cálculo é a distância b entre a lente de 200-mm e a tela de observação ($b = 2700$ mm).

4.2.3 Cálculo da experiência

- Como já foi exposto graças à ilustração 2, a imagem de interferência pode ser interpretada como sobreposição de duas fontes luminosas pontuais P_1 e P_2 . Para que se obtenha um resultado de intensidade máxima na tela de observação, a diferença de passo d entre dois feixes originados em P_1 e P_2 tem que corresponder exatamente ao comprimento de onda λ ou ser um múltiplo inteiro de λ . Com as grandezas definidas na ilustração 6 resulta

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

e

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi . \quad (2)$$

- No caso de ângulos φ suficientemente pequenos é $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Além disso, seja $d = \lambda$ (primeira máxima). Das equações 1 e 2 resulta então:

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

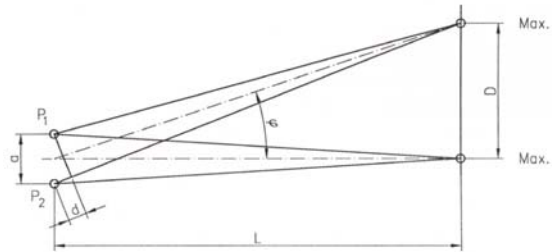
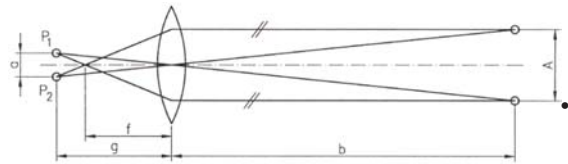


Fig. 6: formação da máxima de intensidade quando $d = n \lambda$ é válido (n é um número) inteiro).



Ilustr. 7: determinação da distância a das fontes luminosas pontuais com o uso de uma lente (por ex. $f = 200$ mm). As distâncias A e b são medidas.

- A determinação da distância entre as fontes luminosas pontuais está representada na ilustração 7. Utilizando-se a regra de feixes resultam diretamente ambas relações

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

e

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f} . \quad (5)$$

- A igualação de ambas equações para a eliminação de a/A e a solução por g resulta em

$$g = \frac{bf}{b-f} . \quad (6)$$

- Se isto for aplicado na equação 4, então pode-se determinar a e aplicar o valor na equação 3. O comprimento L que ainda falta na equação 3 resulta, conforme a ilustração 7, da soma das duas distâncias g e b . Aplicando-se tudo na equação 3 obtêm-se:

$$\lambda = \frac{ADF}{b^2}$$

- Para este exemplo, obtêm-se $\lambda = 640$ nm, o que coincide bem com a indicação do fabricante para o laser utilizado (632,8 nm).

