

U10350 Präzisionsinterferometer

U10351 Ergänzungssatz

Bedienungsanleitung

11/04 MH



Inhaltsverzeichnis

1. Lieferumfang, Bezeichnung der Komponenten
2. Sicherheitshinweise
3. Einleitung, technische Daten
4. Bedienungshinweise und Wartung
5. Michelson Interferometer
 - 5.1 Standardversuch
 - 5.1.1 Versuchsaufbau
 - 5.1.2 Durchführung der Messungen
 - 5.1.3 Versuchsauswertung
 - 5.2 Brechzahl von Glas
 - 5.2.1 Versuchsaufbau
 - 5.2.2 Durchführung der Messungen
 - 5.2.3 Versuchsauswertung
- 5.3 Brechzahl von Luft
 - 5.3.1 Versuchsaufbau
 - 5.3.2 Durchführung der Messungen
 - 5.3.3 Versuchsauswertung
6. Twyman-Green Interferometer
 - 6.1 Versuchsaufbau
 - 6.2 Versuchsdurchführung und Interpretation der Beobachtungen
7. Fabry-Perot Interferometer
 - 7.1 Versuchsaufbau
 - 7.2 Durchführung der Messungen
 - 7.3 Versuchsauswertung

1 Lieferumfang, Bezeichnung der Komponenten

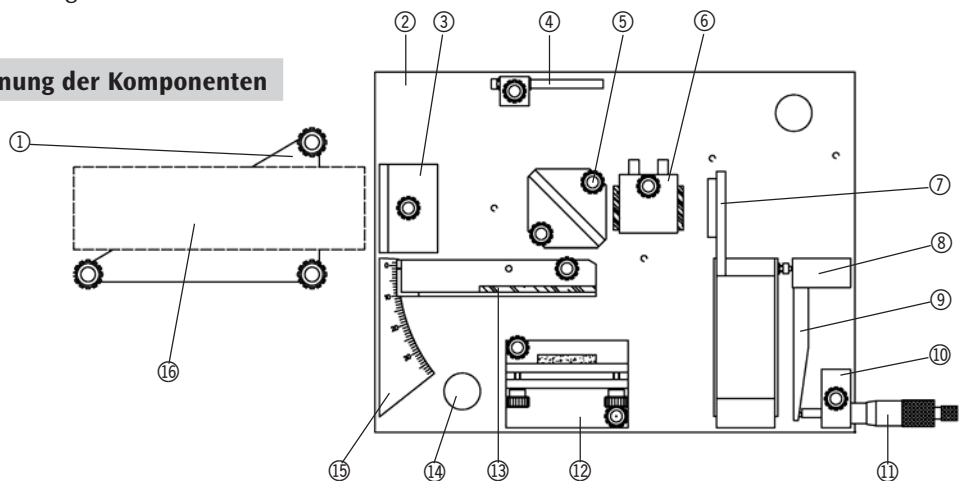


Fig. 1: Lieferumfang, Bezeichnung der Komponenten

- | | | | | |
|---|------------------------------|--|-------------------------|--------------------|
| ① Laserträger | ② Grundplatte | ③ Aufweitungslinse | ④ (Beobachtungs-)Schirm | ⑤ Strahlenteiler |
| ⑥ Vakuumzelle
(im Ergänzungssatz) | ⑦ Fein verstellbarer Spiegel | ⑧ Exzenter mit Kalibrierschild | ⑨ Exzenterarm | ⑩ Mikrometerhalter |
| ⑪ Mikrometer | ⑫ Justierbarer Spiegel | ⑬ Glasplatte auf Halter
(im Ergänzungssatz) | ⑭ Trageknopf | ⑮ Winkelskala |
| ⑯ Laser (nicht im Lieferumfang enthalten) | | ⑰ Stabiler Kunststoffbehälter (nicht abgebildet) | | |

2. Sicherheitshinweise

- Das Interferometer sollte mit einem He-Ne-Laser der Klasse 2 betrieben werden. Ein direkter Blick in den Strahl des Lasers kann zu Netzhautverbrennungen führen und ist unbedingt zu vermeiden. Die dem Laser beiliegenden Sicherheitsvorschriften sind strikt einzuhalten!
- Das Interferometer ist auf einem stabilen Tisch oder an einem anderen geeigneten Ort so aufzustellen, dass es nicht herunterfallen und durch sein Gewicht Personen verletzen kann.
- Die Trageknöpfe ⑭ dienen dazu, das Interferometer anzuheben, um sicher unter die Grundplatte greifen zu können.
- Der maximal zulässige Druck in der Vakuumzelle ⑥ beträgt 200 kPas (2 bar) entsprechend 100 kPas (1 bar) Überdruck. Bei Beschädigungen des Zellen-glasses wie z. B. Kratzern oder Rissen ist die Vakuumzelle sofort außer Betrieb zu nehmen und reparieren zu lassen. Bei Versuchen mit Überdruck ist sicherzustellen, dass sich keine Personen im Explosionsbereich der Zelle aufhalten. Gegebenenfalls Schutzbrille verwenden.

3. Einleitung, technische Daten

- Im Jahre 1881 führte A. Michelson (1852 - 1931) einen Versuch durch, in dem ein Lichtstrahl mittels Strahlenteiler in zwei Strahlen aufgeteilt wurde (vgl. auch Fig. 2). Die beiden Strahlen wurden von Spiegeln reflektiert und in dem Strahlenteiler wieder überlagert, wodurch es bei unterschiedlichen Weglängen zwischen den beiden Strahlen zur Interferenz (Auslöschung oder Verstärkung) kommt. Da auch unterschiedliche Lichtgeschwindigkeiten in den beiden Teilstrahlen zur Interferenz führen würden, konnte mit dem Versuchsaufbau gezeigt werden, dass kein „Äther“ bzw. „Ätherwind“ existiert, da ja der Teilstrahl mit Rückenwind schneller sein müsste als derjenige mit Seitenwind. Neben dem Nachweis der Nichtexistenz eines Äthers kann ein Interferometer zur Messung von Lichtwellenlängen bzw. bei bekannter Wellenlänge zur Messung sehr kurzer Strecken eingesetzt werden, was u. a. bei der Prüfung der Oberflächengüte optischer Bauteile wichtig ist.
- Diese klassischen Versuche und einige weitere können auch mit dem Präzisionsinterferometer durchgeführt werden. Im einzelnen sind dies:
 1. Michelson Interferometer
 2. Fabry-Perot Interferometer
 3. Bestimmung der Brechzahl von Glas *
 4. Bestimmung der Brechzahl von Luft **
 5. Twyman-Green Test für optische Bauteile (qualitativ, nicht quantitativ) *

* mit Ergänzungssatz (Vakuumzelle und Glasplatte auf drehbarem Halter)

** mit Ergänzungssatz und Vakuumpumpe

- Dank der vorgegebenen Komponenten-Positionen ist ein schneller Umbau zur Durchführung der verschiedenen Versuche möglich.

• Beschreibung und technische Daten

- Schwere, biegesteife, große Grundplatte für präzise und reproduzierbare Messungen: 245x330x25 mm, 5,5 kg
- Große optische Bauteile für klare und scharfe Interferenzbilder: (40 mm Ø bzw. 40x40 mm)
- Oberflächenspiegel: Durchlass 15%, Reflexion 85% bei senkrechtem Strahleinfall.
- Äußerst planer Strahlenteiler: Vorderseite $1/10 \lambda$, Rückseite $1/4 \lambda$. Durchlass 50%, Reflexion 50% bei 45° Einfallswinkel, Rückseite entspiegelt.
- Bedienerfreundliche Spiegelverstellung durch Exzenter-Untersetzung von ca. 1:1000 (ein Teilstrich am Mikrometer entspricht einem Spiegelweg von ca. 10 nm) bei einer fertigungsbedingten Genauigkeit von $\pm 30\%$. Das nach der Fertigung gemessene Verhältnis von Mikrometerverstellung zu Spiegelverstellung ist auf dem Kalibrierschild z.B. mit $1 \text{ mm} \triangleq 830 \text{ nm}$ angegeben. Unter Verwendung dieser Angabe sollte die Wellenlängenmessung auf mindestens $\pm 5\%$ (Linearitätsabweichung und sonstige Fehler) genau sein.
- Durch den in der Neigung verstellbaren, reflektierenden Beobachtungsschirm lassen sich die Experimente auch bei Tageslicht (keine direkte Sonneneinstrahlung) durchführen.

4. Bedienungshinweise und Wartung

- **Lasermontage:** Zunächst ist der Laser auf den Laserträger zu montieren. Da der Laserträger für verschiedene Laser konzipiert ist, hat er drei Bohrungen für Senkschrauben (M5 oder M6) von denen normalerweise nur eine benötigt wird. Die für den jeweiligen Laser richtige Bohrung ergibt sich aus dem Schwerpunkt des Lasers und seinen Befestigungsmöglichkeiten. Nach der Montage sollte der Schwerpunkt des Lasers in etwa über der mittleren Bohrung liegen. Die erforderliche Höhe des Lichtstrahls über der Arbeitsplatte beträgt 60 - 62 mm. Wenn der Verstellbereich der Rändelschrauben nicht ausreichen sollte, ist ein geeigneter Distanzring o. ä. unter dem Laser zu montieren. Die Länge der Befestigungsschraube ist so auszuwählen, dass das Lasergehäuse bzw. innere Laserteile nicht zerstört werden. Dazu wird zweckmäßigerweise zuerst die maximal mögliche Einschraubtiefe der Schraube in die Laseraufnahme bestimmt und dann eine Schraube ausgewählt, deren Gewinde um ca. 2 mm weniger weit aus dem Laserträger heraussteht (beigefügt sind eine Schraube und eine Vierkantmutter, die in gängige Nuten passen).
- **Strahlenteiler:** Das Glas des Strahlenteilers ist auf einer Seite entspiegelt und auf der anderen Seite mit einer zu 50% durchlässigen Beschichtung versehen, die mit einem Dreieck gekennzeichnet ist,

welches auch bei den gezeichneten Versuchsaufbauten eingetragen ist.

- **Transport, Aufbewahrung:** Wie im Auslieferungszustand sollte der Exzenterarm ⑨ zum Transport und zur Aufbewahrung immer am Sockel des fein verstellbaren Spiegels ⑦ anliegen, um Druckstellen am präzisionsgedrehten Exzenter zu vermeiden.
- **Exzenterreinigung und –wartung:** Der aus Messing gedrehte Exzenter drückt auf eine polierte Stahlkugel am Halter des fein verstellbaren Spiegels. Durch Staub oder andere Verunreinigungen kann es vorkommen, dass die Spiegelverstellung nicht mehr gleichmäßig sondern „ruckelig“ vonstatten geht. In diesem Fall ist der Exzentersockel ⑩ abzuschrauben (die Schraubenköpfe befinden sich auf der Unterseite der Grundplatte ②) und der Messing-Exzenter sowie die Stahlkugel zu reinigen. Dazu sollte ein weicher Lappen verwendet werden, der ggf. mit Waschbenzin, Aceton o.ä. getränkt ist. Bei der Montage des Exzenters ist darauf zu achten, dass ein leichter Druck auf die Stahlkugel ausgeübt wird. Nach der Montage ist ein Tropfen harzfreies Öl (Nähmaschinen- oder Waffenöl) auf die Berührungsstelle zwischen Exzenter und Stahlkugel zu geben.
- **Reinigung der optischen Komponenten aus Glas:** Die Oberflächenspiegel, der Strahlenteiler, die Aufweitungslinse und die Scheiben der Vakuumzelle können mit einem weichen Lappen, der ggf. mit Ethanol (Spiritus) getränkt ist, vorsichtig abgewischt werden. Dabei darf nicht unter Druck gerieben werden! Besser ist es, mit viel Ethanol und wenig Kraft zu arbeiten. Die Glasplatte auf dem Halter ⑬ sollte nur trocken abgewischt werden (ggf. anhauen), da sonst der Klebefilm-Streifen (Twyman-Green Versuch) abgelöst werden kann.

5. Michelson Interferometer

5.1 Standardversuch

5.1.1 Versuchsaufbau

- Der Aufbau der Komponenten auf der Grundplatte ist in Fig. 2 dargestellt. Bei der folgenden Beschreibung des Aufbaus wird davon ausgegangen, dass alle Grundeinstellungen vorgenommen werden müssen.
- He-Ne-Laser an den Laserträger schrauben (s. a. Bedienungshinweise, Lasermontage) und ungefähr gerade vor die Aufweitungslinse stellen.
- Justierbaren Spiegel und Strahlenteiler entfernen und Aufweitungslinse gerade auf der Grundplatte befestigen.
- Den Laser so einstellen, dass der vom fein verschiebbaren Spiegel reflektierte Strahl zentrisch zurück auf die Aufweitungslinse fällt.
- Rändelschraube der Aufweitungslinse lösen und die Linse um etwa 90° aus dem Laserstrahl schwenken.
- Justierbaren Spiegel montieren und mit den Einstellschrauben so justieren, dass der Abstand zwi-

schen der Spiegelträgerplatte und dem eigentlichen Träger rundum gleich ist (5 - 6 mm).

- Den Strahlenteiler mit der teilreflektierenden Seite in Richtung Winkelteilung zunächst lose anschrauben und innerhalb der engen möglichen Grenzen so verdrehen, dass die beiden hellsten auf dem Beobachtungsschirm sichtbaren Punkte in etwa auf einer vertikalen Linie liegen. Dann den Strahlenteiler festschrauben.
- Mit den Einstellschrauben des justierbaren Spiegels diesen solange verstellen, bis sich die beiden hellsten Punkte auf dem Schirm exakt decken. Dabei sollte jetzt schon Interferenz stattfinden, die sich durch ein Flimmern bemerkbar macht.
- Aufweitungslinse wieder in den Strahl drehen und in der Position festschrauben, die ein etwa mittiges Bild (bezüglich der Helligkeit, nicht der Interferenzringe) auf dem Schirm ergibt. Den Schirm so gegenüber der Vertikalen neigen, dass sich für den Beobachter ein optimal helles und klares Bild ergibt.
- Den justierbaren Spiegel noch minimal nachstellen, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu erhalten.

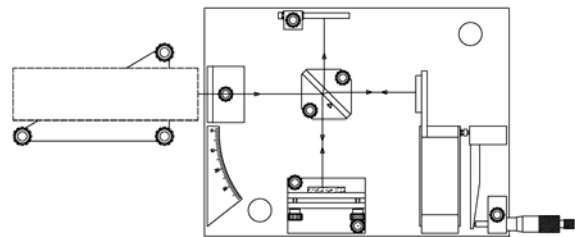


Fig. 2: Versuchsaufbau Michelson Interferometer

- Bei diesem Aufbau sind die Lichtlaufzeiten nahezu gleich lang, was zu großen, gut beobachtbaren Abständen der Interferenzringe führt. Dadurch bedingt kommt es aber auch zu einer elliptischen Verzerrung der Ringe (auch bei exakt gleichen Lichtlaufzeiten der Mittelpunktsstrahlen ergeben sich noch Interferenzmuster auf dem Schirm, die dann hyperbelförmig sind). Um nahezu kreisrunde Ringe zu erhalten, kann der Strahlenteiler um 180° gedreht werden.

5.1.2 Durchführung der Messungen

- Die Mikrometerschraube gegen den Uhrzeigersinn bis ca. 25 mm herausdrehen und dann langsam bis auf 20 mm zurückdrehen, um Messungenauigkeiten zu vermeiden, die bei der Umkehr der Drehrichtung auftreten.
- Die Mikrometerschraube langsam weiter im Uhrzeigersinn drehen und dabei die Anzahl m der entstehenden Ringe zählen. Zur Beurteilung, ob ein vollständiger Ring entstanden ist, kann die auf den Beobachtungsschirm aufgedruckte Skala verwendet werden. Während der Messungen sollte möglichst keine Atemluft in die Lichtstrahlen gelangen, da sich Luftdichteänderungen direkt

durch „laufende“ Interferenzringe bemerkbar machen.

- Nachdem mindestens 20 Ringe (je mehr, desto genauer ist die Messung) gezählt wurden, wird die Mikrometerschraube abgelesen und das Ergebnis I_M notiert.
- Um mögliche Fehler beim Zählen der Ringe beurteilen zu können, sollten die Schritte 1 - 3 mindestens 3-mal wiederholt werden.

5.1.3 Versuchsauswertung

- Wurden beispielsweise bei der ersten Messung $m = 30$ Ringe gezählt und $20 \text{ mm} - I_M = 11,76 \text{ mm}$ gemessen, dann ergibt sich unter Berücksichtigung der Untersetzung von beispielsweise 1:830 ein Spiegelweg von $I_S = 9761 \text{ nm}$ und damit die Lichtwellenlänge zu:

$$\lambda = \frac{2 I_S}{m} = 651 \text{ nm}$$

- Die Ergebnisse aller Messungen sollten bei sorgfältiger Versuchsdurchführung um nicht mehr als 2 % vom Mittelwert abweichen. Werden größere Abweichungen festgestellt, kann eine Reinigung des Exzenters erforderlich sein (siehe Abschnitt 3, Exzenterreinigung und -wartung).
- Das Messergebnis der Wellenlänge sollte auf mindestens $\pm 5\%$ genau sein. Eine Überprüfung ist mit einem Laser bekannter Wellenlänge (He-Ne-Laser: $\lambda = 632,8 \text{ nm}$) möglich.

5.2 Brechzahl von Glas

5.2.1 Versuchsaufbau

- Der Versuchsaufbau entspricht zunächst dem Standardversuch (siehe Abschnitt 5.1.1). Dann wird die Glasplatte mit Drehhalter gemäß Fig. 3 in den vorderen Teilstrahl eingebracht und der justierbare Spiegel wird noch minimal nachgestellt, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu erhalten.

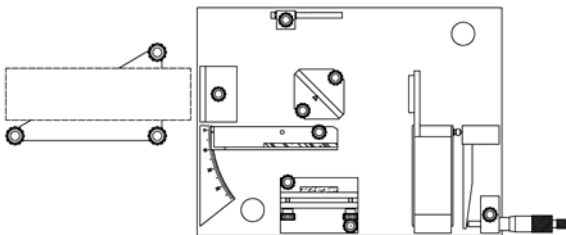


Fig. 3: Versuchsaufbau zur Messung der Brechzahl von Glas

- Wenn die Glasplatte jetzt im Bereich um 0° etwas vor- und zurückgedreht wird, sollte der Übergang von entstehenden zu verschwindenden Interferenzringen genau bei 0° liegen. Wenn dies nicht der Fall ist, dann steht der Strahlenteiler nicht exakt im 45° Winkel zum fein verschiebbaren Spiegel. Da eine vollkommen exakte Ausrichtung des Strahlenteilers praktisch unmöglich ist, wird der Winkel ϕ_0 notiert, bei dem der Übergang von ent-

stehenden zu verschwindenden Interferenzringen stattfindet. Bei der Auswertung wird dieser Winkel vom Messwert ϕ_M abgezogen um den tatsächlichen Drehwinkel ϕ zu erhalten.

5.2.2 Durchführung der Messungen

- Vom Winkel ϕ_0 ausgehend wird die Glasplatte langsam gedreht. Dabei wird die Anzahl m der verschwindenden Ringe gezählt. Je größer der Drehwinkel wird, desto kleiner wird die Winkeländerung, die zum Verschwinden eines Ringes führt. Daher ist zur Zählung von mehr als ca. 20 Ringen eine sehr ruhige Hand erforderlich.

5.2.3 Versuchsauswertung

- Mit dem Winkel ϕ (z. B. $5,4^\circ$), der gemessenen Ringzahl m (z. B. 20), der Wellenlänge λ (in Luft) des verwendeten Lasers (z. B. 633 nm) und der Dicke der Glasscheibe t (hier 4 mm) ergibt sich nach Andrews¹⁾ die Brechzahl n_G des Glases zu:

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos\phi) + \left(\frac{m^2\lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos\phi) - m\lambda} = 1,55$$

- Beim Vergleich eigener Ergebnisse mit Literaturwerten ist immer zu berücksichtigen, dass die Brechzahl wellenlängenabhängig ist und entsprechend nur Werte bei gleichen Wellenlängen verglichen werden dürfen.

5.3 Brechzahl von Luft

5.3.1 Versuchsaufbau

- Der Versuchsaufbau entspricht zunächst dem Standardversuch (siehe Abschnitt 5.1.1) mit der Änderung, dass für diesen Versuch zweckmäßigerweise die teilreflektierende Schicht des Strahlenteilers nach rechts hinten zeigt. Dann wird die Vakuumpumpe gemäß Fig. 4 in den rechten Teilstrahl eingebracht und der justierbare Spiegel wird noch minimal nachgestellt, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu erhalten.

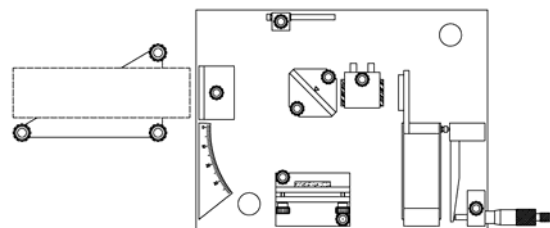


Fig. 4: Versuchsaufbau zur Messung der Brechzahl von Luft

5.3.2 Durchführung der Messungen

- Die Vakuumpumpe wird an die Vakuumpumpe angeschlossen und der angezeigte Druck p wird notiert. Dann wird die Zelle langsam evakuiert und die Anzahl m der verschwindenden Ringe wird gezählt. In regelmäßigen Abständen werden der Druck und die zugehörige Anzahl notiert. Wenn der minimale Druck erreicht ist (bei einer einfachen Handpumpe ca.

1) C. L. Andrews, Optics of the Electromagnetic Spectrum, Prentice-Hall, 1960

10 kPas), wird die Vakuumzelle wieder mit Luft gefüllt. Jetzt kann noch eine Messreihe bei Überdruck (bis max. 200 kPas entsprechend 1 bar Überdruck) durchgeführt werden.

5.3.3 Versuchsauswertung

- Beim Druck $p = 0$ ist die Brechzahl $n(p = 0) = 1$. Mit zunehmendem Druck steigt die Brechzahl gemäß

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p$$

an.

- Zur Ermittlung der Brechzahl beim Normaldruck ist also zunächst die Steigung $\Delta n / \Delta p$ zu bestimmen. In erster Näherung gilt:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

- Dabei ist m die Anzahl der entstehenden bzw. verschwindenden Ringe, λ ist die Lichtwellenlänge und l_z ist die innere Länge der Vakuumzelle (hier 41 mm). Wurde also beispielsweise bei einer Druckabsenkung um $\Delta p = 90$ kPas das zugehörige $\Delta m = 25$ bestimmt, dann ergibt sich $\Delta n / \Delta p = 2,14 \times 10^{-9}$ 1/Pas.
- Demnach beträgt die Brechzahl von Luft bei Umgebungsdruck (100 kPas) also $n = 1,00021$. In der Literatur²⁾ ist $n = 1,00029$ zu finden.

6. Twyman-Green Interferometer

- Mit diesem Versuch kann die Oberflächengüte optischer Bauteile bestimmt werden. Normalerweise wird unter einem Twyman-Green Interferometer ein Interferometer verstanden, bei dem der (Laser-) Lichtstrahl aufgeweitet und parallel ist. Zum qualitativen Verständnis des Funktionsprinzips kann aber auch – wie bei den bisherigen Versuchen – aufgeweitetes aber nicht paralleles Licht verwendet werden.

6.1 Versuchsaufbau

- Als Beispiel für eine schlechte optische Oberfläche wird ein transparenter Klebefilm verwendet, der auf einer Glasplatte aufgeklebt ist und beim normalen Durchschauen durchaus homogen aussieht.
- Der Versuchsaufbau entspricht zunächst dem Standardversuch (siehe Abschnitt 5.1.1). Dann wird die Glasplatte mit Drehhalter gemäß Fig. 5 in den vorderen Teilstrahl eingebracht und der justierbare Spiegel wird noch minimal nachgestellt, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu erhalten.

6.2 Versuchsdurchführung und Interpretation der Beobachtungen

- Auf der rechten Seite des Beobachtungsschirms

sind, ebenso wie bei Versuch 5.1, gleichmäßige Interferenzringe zu sehen. Auf der linken Seite hingegen sind die Ringe ausgefranst und teilweise befinden sich in eigentlich dunklen Bereichen helle Punkte und umgekehrt. Da aus Versuch 5.2 bekannt ist, dass bereits sehr kleine Schichtdickenänderungen (in Versuch 5.2 durch Drehen der Glasplatte erreicht) zur Verschiebung der Interferenzringe führen, liegt hier die Vermutung nahe, dass die Störungen in den Ringen auf die ungleichmäßige, hügelige Oberfläche des Klebefilms zurückzuführen sind.

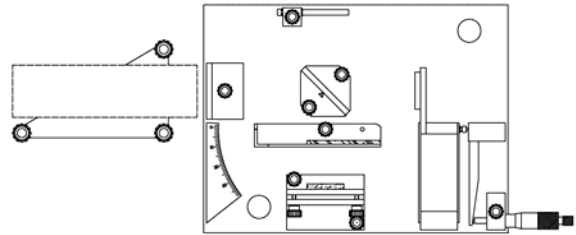


Fig. 5: Versuchsaufbau zur Messung der Oberflächengüte optischer Bauteile

7. Fabry-Perot Interferometer

7.1 Versuchsaufbau

- Der Aufbau der Komponenten auf der Grundplatte ist in Fig. 6 dargestellt. Bei der folgenden Beschreibung des Aufbaus wird davon ausgegangen, dass alle Grundeinstellungen vorgenommen werden müssen.
- He-Ne-Laser an den Laserträger schrauben (s. a. Bedienungshinweise, Lasermontage) und ungefähr gerade vor die Aufweitungslinse stellen.
- Justierbaren Spiegel und Aufweitungslinse entfernen und den Laser leicht um die vertikale Achse gedreht vor die Grundplatte stellen. Dann die Neigung des Lasers so justieren, dass der auf den Laser zurückreflektierte Teilstrahl auf gleicher Höhe mit dem ausgesendeten Strahl liegt. Wenn jetzt der Laser wieder gerade vor die Grundplatte gestellt wird, sollten sich zwei Punkte auf dem Beobachtungsschirm zeigen, die durch eine Nachjustierung zur Deckung zu bringen sind.
- Aufweitungslinse in den Strahlengang bringen und ggf. die Strahlhöhe durch gleichmäßiges Drehen aller 3 Rändelschrauben justieren. Danach ggf. nochmals zu 2. zurückkehren. (Jetzt sind evtl. bereits schwache Interferenzringe auf dem Schirm zu sehen, da die eigentlich durchlässige Glasseite des fein verstellbaren Spiegels auch minimale Reflexionen aufweist.)
- Aufweitungslinse wieder um etwa 90° aus dem Laserstrahl schwenken.
- Justierbaren Spiegel sehr vorsichtig montieren. Der Abstand zwischen den beiden Spiegeln sollte etwa 2 mm betragen.

2) H. Stöcker, Taschenbuch der Physik, Deutsch, 1998

- Den justierbaren Spiegel so einstellen, dass alle Punkte und ggf. Interferenzmuster auf dem Beobachtungsschirm zusammenfallen.
- Aufweitungslinse wieder in den Strahl drehen und in der Position festschrauben, die ein etwa mittiges Bild (bezüglich der Helligkeit, nicht der Interferenzringe) auf dem Schirm ergibt. Den Schirm so gegenüber der Vertikalen neigen, dass sich für den Beobachter ein optimal helles und klares Bild ergibt.
- Den justierbaren Spiegel noch minimal nachstellen, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu erhalten.

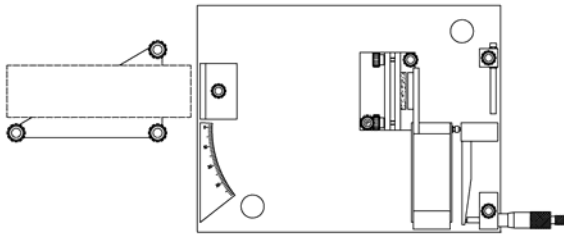


Fig. 6: Versuchsaufbau Fabry-Perot Interferometer

7.2 Durchführung der Messungen

- Die Mikrometerschraube gegen den Uhrzeigersinn bis ca. 25 mm herausdrehen und dann langsam bis auf 20 mm zurückdrehen, um Messungenauigkeiten zu vermeiden, die bei der Umkehr der Drehrichtung auftreten.
- Die Mikrometerschraube langsam weiter im Uhrzeigersinn drehen und dabei die Anzahl m der entstehenden Ringe zählen.
- Nachdem mindestens 20 Ringe gezählt wurden, wird die Mikrometerschraube abgelesen und das Ergebnis l_M notiert.
- Um mögliche Fehler beim Zählen der Ringe beurteilen zu können, sollten die Schritte 1 - 3 mindestens 3-mal wiederholt werden.

7.3 Versuchsauswertung

- Wurden beispielsweise $m = 40$ Ringe gezählt und $20 \text{ mm} - l_M = 15,13 \text{ mm}$ gemessen, dann ergibt sich ein Spiegelweg (Exzenter 1:830) von $l_S = 12560 \text{ nm}$ und damit die Lichtwellenlänge zu (siehe auch Erläuterungen in Abschnitt 5.1.3):

$$\lambda = \frac{2l_S}{m} = 628 \text{ nm}$$

U10350 Precision interferometer U10351 Supplementary kit

Instructions sheet

11/04 MH



Table of contents

1. Scope of delivery, component designations
2. Safety instructions
3. Introduction, technical data
4. Operating instructions and maintenance
5. Michelson's interferometer
 - 5.1 Standard experiment
 - 5.1.1 Experiment setup
 - 5.1.2 Measurement procedure
 - 5.1.3 Experiment evaluation
 - 5.2 Refractive index of glass
 - 5.2.1 Experiment setup
 - 5.2.2 Measurement procedure
 - 5.2.3 Experiment evaluation
 - 5.3 Refractive index of air
 - 5.3.1 Experiment setup
 - 5.3.2 Measurement procedure
 - 5.3.3 Experiment evaluation
6. Twyman-Green interferometer
 - 6.1 Experiment setup
 - 6.2 Experiment procedure and interpretation of the observations
7. Fabry-Perot interferometer
 - 7.1 Experiment setup
 - 7.2 Measurement procedures
 - 7.3 Experiment evaluation

1 Scope of delivery, component designations

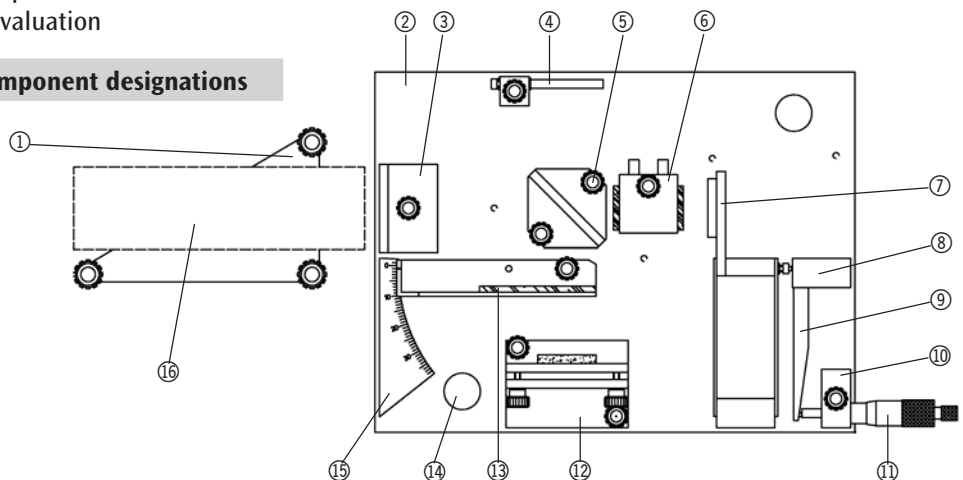


Fig. 1: Scope of delivery

- | | | | | |
|--|----------------------------|---|------------------------|---------------------|
| ① Laser holder | ② Base plate | ③ Diverging lens | ④ (Observation) screen | ⑤ Beam splitter |
| ⑥ Vacuum cell
(in supplementary kit) | ⑦ Finely adjustable mirror | ⑧ Eccentric with calibration plate | ⑨ Eccentric arm | ⑩ Micrometer holder |
| ⑪ Micrometer | ⑫ Adjustable mirror | ⑬ Glass plate on holder
(in supplementary kit) | ⑭ Lifting knob | ⑮ Angle scale |
| ⑯ Laser (not contained in scope of delivery) | | ⑰ Robust plastic container (not depicted) | | |

2. Safety instructions

- The interferometer should be operated with a class 2 type He-Ne laser. Any viewing directly into the beam of the laser can lead to retinal burns and must be categorically avoided. The safety instructions accompanying the laser must be strictly adhered to!
- The interferometer is to be set up on a stable bench or some other suitable location so that it cannot fall down and injure someone by virtue of its weight.
- The lifting knobs ⑭ are used to tilt the interferometer to get a secure hold underneath the base plates.
- The maximum permissible pressure in the vacuum cell ⑥ amounts to 200 kPa (2 bar) corresponding to 100 kPa (1 bar) over atmospheric. In the case of damage to the cell glass, scratches or cracks for example, then use of the vacuum cell should cease immediately and it should be sent for repair. In experiments using pressure over atmospheric, make sure that no one is located in the cell's explosion radius. If necessary wear protective goggles.

3. Introduction, technical data

- In 1881 A. Michelson (1852 - 1931) conducted an experiment in which a light beam was divided into two rays using a beam splitter (cf. Fig. 2). The two beams were reflected back by mirrors and superimposed again inside the beam splitter. Differing path lengths give rise to interference (canceling or reinforcement) between the two beams. If the velocity of light were to differ between the two segments of the beam, this would also lead to interference. That fact made it possible using this experimental arrangement to prove that there was no such thing as an "ether" (a medium for light propagation as hypothesized at the time of the original experiment), since motion through the ether would cause an "ether wind" making a light beam traveling in the direction of the "wind" travel more quickly than one traveling at right angles to it. Apart from verifying the non-existence of an ether, the interferometer can be used for the measurement of wavelengths or, if the wavelength is known, for measuring very short distances. Among other things, this is very important in testing the surface quality of optical components.
- These classical experiments and several others can also be performed using the precision interferometer. In detail these include:
 1. Michelson's Interferometer
 2. Fabry-Perot's Interferometer
 3. Determination of the refractive index of glass *
 4. Determination of the refractive index of air **
 5. Twyman-Green test for optical components (qualitative test, not quantitative) *

* with supplementary kit (vacuum cell and glass plate mounted on revolving holder)

** with supplementary kit and vacuum pump

- Thanks to the predefined component positions, the equipment can be rapidly reconfigured to conduct different experiments.

• Description and technical data

- Large, heavy, rigid base plate for precise and reproducible measurements: 245 x 330 x 25 mm, 5.5 kg.
- Large optical components for clear and sharply-defined interference patterns: (40 mm Ø and 40 x 40 mm)
- Surface-coated mirror: transmission coefficient 15%, reflection 85% for perpendicular ray incidence.
- Extremely planar beam splitter: front side $1/10 \lambda$, rear side $1/4 \lambda$. Transmission 50%, reflection 50% at 45° angle of incidence, rear side anti-glare coating.
- User-friendly mirror adjustment using an eccentric scale reduction of approx. 1:1000 (a scale mark on the micrometer corresponds to a mirror displacement of approx. 10 nm) for a manufacturing accuracy of $\pm 30\%$. The ratio of micrometer adjustment to mirror adjustment as measured upon manufacture is specified on the calibration plate, e.g. $1 \text{ mm} \triangleq 830 \text{ nm}$. Using this specification the wavelength measurement should be accurate to at least $\pm 5\%$ (notwithstanding linear aberration and other flaws).
- Due to the adjustable inclination of the reflecting observation screen it is also possible to conduct these experiments in normal daylight conditions (but not in direct sunlight).

4. Operating instructions and maintenance

- **Laser assembly:** At first the laser has to be mounted on the laser holder. As the laser holder has been designed to accommodate various types of lasers, it has three drill holes for flat-head screws (M5 or M6) although normally only one is needed. The corresponding drill hole for the respective laser is determined by the laser's center of gravity and its fastening options. After assembly, the laser's center of gravity should be located approximately above the center drill hole. The required height of the light beam should be around 60 - 62 mm above the working surface. If the adjustment range of the knurled screws should prove insufficient, mount the laser on top of a suitable spacing washer or similar. The length of the fastening screw has been selected so that the laser housing, i.e. internal laser components cannot be damaged. Accordingly, it is expedient to first determine the screw's maximum possible penetration depth into the laser housing and then select a screw where the thread sticks out of the laser holder by approx. 2 mm less (included are a bolt and a square nut which fits into conventional grooves).
- **Beam splitter:** The glass of the beam splitter is anti-glare coated on one side and provided with a coating allowing 50% transmission on the other side.

The transmitting side is distinguished by a triangle that is also shown on the sketched experiment setups.

- **Transport, storage:** The eccentric arm ⑨ should lie on the base of the finely adjustable mirror ⑦ as on delivery so as to avoid any pressure points developing on the precision-turned eccentric mechanism.
- **Eccentric cleaning and maintenance:** The turned brass eccentric presses against a polished steel sphere in the holder for the finely adjustable mirror. Dust or other impurities can make the normally smooth mirror adjustment uneven or “jerky”. In this case unscrew the eccentric base ⑧ (the screw heads are located on the underside of the base plate ②) and clean the brass eccentric as well as the steel sphere. Use a soft rag soaked in petroleum ether, acetone or something similar. When mounting the eccentric make sure that there is a slight pressure being exerted on the steel sphere. After assembly is completed apply a drop of resin-free oil (sewing machine or gun oil) to the contact point between the eccentric and the steel sphere.
- **Cleaning optical components made of glass:** The surface mirrors, the beam splitter, the diverging lens and the windows of the vacuum cell can be cleaned by carefully wiping them using a soft rag dipped in ethanol (white spirit). Do not press too hard while wiping! It is better to do the work using a lot of ethanol and very little force. The glass plate on the holder ⑬ should only be wiped clean with a dry rag (if necessary just breathe on it), as otherwise the adhesive foil strip (Twyman-Green experiment) can come off.

5. Michelson Interferometer

5.1 Standard experiment

5.1.1 Experiment setup

- The setup of the components on the base plate is shown in Fig. 6. It is assumed in the following description of the setup that all the basic settings have to be made in advance.
- Screw the He-Ne laser into its holder (see instructions for assembling laser) and place it so that it is more or less straight in front of the diverging lens.
- Remove the adjustable mirror and beam splitter and fasten the diverging lens straight on the base plate.
- Set the laser so that beam reflected back from the finely adjustable mirror strikes the diverging lens right in the center.
- Loosen the knurled screw of the diverging lens and pivot the lens out of the laser beam by approx. 90°.
- Mount the adjustable mirror and adjust it with the setting screws so that the distance between the plate holding the mirror and the plate holding the screws is just about even all round (5 - 6 mm).

- First loosely fit the beam splitter without tightening the screws so that its partially reflecting side is in the direction of the angle scale, adjusting it within narrow limits so that the two brightest points visible on the observation screen are located on or almost on a vertical line. Once this is achieved the screws of the beam splitter are tightened down.
- Move the adjustable mirror with its adjusting screws until the two brightest points on the screen overlap each other precisely. This should already lead to interference, which is noticeable because of the flickering.
- Turn the diverging lens back into the beam and secure it in position so that the image is close to the middle of the screen (i.e. the bright part of the pattern should be centered not the interference rings). Tilt the screen away from the vertical enough so that the observer sees the brightest and clearest image.
- Now readjust the mirror again so that the interference rings are in the center of the screen.

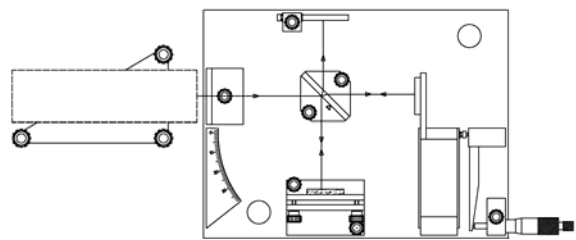


Fig. 2: Experiment setup for the Michelson interferometer

- In the setup the light propagation times are practically equal, leading to large, clearly discernible distances between the interference rings. However this also causes elliptical distortion of the rings (even identical propagation times for the beams at the mid point result in hyperbolic interference patterns on the screen). In order to obtain near circular rings the beam splitter can be rotated by 180°.
- #### 5.1.2 Performing measurements
- Unscrew the micrometer screw counter clockwise out to approx. 25 mm and then slowly screw it back in clockwise to 20 mm. This avoids measurement inaccuracies which may arise when the direction of rotation is reversed.
 - Slowly turn the micrometer screw further in clockwise and at the same time count the number n of rings produced. To judge whether a complete ring has been produced, you can use the scale printed on the observation screen. During the measurements keep your breath away from the light beams as much as possible because changes to air density are immediately discernible as “moving” interference rings.
 - After at least 20 rings have been counted (the more rings, the more accurate the measurement), read

off the micrometer value and note down the result l_M .

- To be able to discern any errors in counting the rings, steps 1-3 should be repeated at least 3 times.

5.1.3 Experiment evaluation

- If, for example, during initial measurement $m = 30$ rings were counted and $20 \text{ mm} - l_M = 11.76 \text{ mm}$ is the measured distance then, for gearing of 1:830, the path distance to the mirror is found to be $l_s = 9761 \text{ nm}$ and therefore the wavelength is:

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 651 \text{ nm}$$

- Assuming the experiments are performed with care the results of all the measurements should deviate from the mean value by no more than 2%. If greater deviations are discovered then the eccentric may need cleaning (see Section 3, eccentric cleaning and maintenance).
- The measurement result for the wavelength should be accurate to at least $\pm 5\%$. It is also possible to perform a check using a laser with a known wavelength (He-Ne Laser: $\lambda = 632.8 \text{ nm}$).

5.2 Refractive index of glass

5.2.1 Experiment setup

- The experiment setup initially corresponds to the standard experiment setup (see Section 5.1.1). Subsequently the glass plate with the revolving holder is mounted in the portion of beam at the front as shown in Fig. 3. The adjustable mirror is then minimally readjusted until the interference rings are positioned in the middle of the screen.

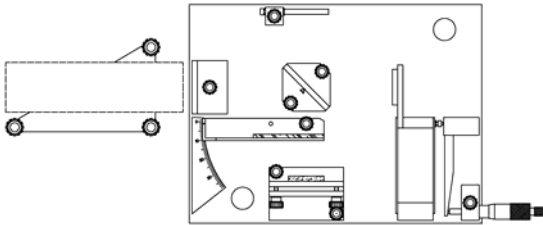


Fig. 3: Experiment setup for measuring the refractive index of glass

- If the glass plate is now rotated slightly back and forth around the region of 0° , the transition between when interference rings appear and disappear should be precisely at 0° . If this is not the case, then the beam splitter is not positioned precisely at a 45° angle with respect to the finely adjustable mirror. However, since a completely precise alignment of the beam splitter is practically impossible, note down the angle ϕ_0 at which the transition between when interference rings appear and disappear does take place. During the evaluation this angle is subtracted from the measured value ϕ_M to obtain the actual rotation angle ϕ .

5.2.2 Measurement procedure

- The glass plate is slowly rotated starting from the angle ϕ_0 . In the course of this action the number

of rings is counted as they disappear. The larger the angle rotated the smaller the change in angle that causes a ring to disappear. Consequently you need to have a very steady hand to count more than approx. 20 rings.

5.2.3 Experiment evaluation

- Taking the angle ϕ (e.g. 5.4°), the measured number of rings m (e.g. 20), the wavelength λ (in air) of the laser being used (e.g. 633 nm) and the thickness of the glass disk t (here 4 mm) we obtain from Andrews' expression¹⁾ the refractive index n_G of glass:

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos\phi) + \left(\frac{m^2\lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos\phi) - m\lambda} = 1.55$$

- When comparing your own results with those found in the literature always bear in mind that the refractive index is a function of the wavelength and consequently only values for the same wavelengths are comparable.

5.3 Refractive index of air

5.3.1 Experiment setup

- The experiment setup corresponds initially to the standard experiment setup (see Section 5.1.1) with the only change that here it is expedient to have the partially reflecting surface of the beam splitter pointing to the right and rearwards. The vacuum cell is now placed in the right-hand beam as in Fig. 4 and the adjustable mirror is minimally adjusted again to bring the interference rings into the center of the screen.

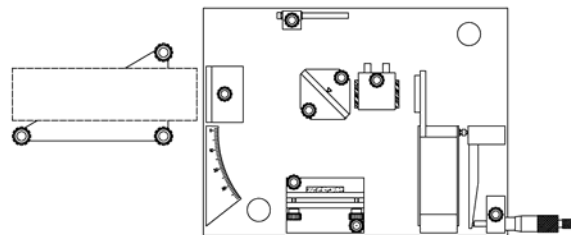


Fig. 4: Experiment setup for measuring refractive index of air

5.3.2 Measurement procedure

- Connect the vacuum pump to the vacuum cell and note down the displayed pressure p . Then slowly evacuate the cell and count the number of rings m as they disappear. The number of rings that have disappeared for a certain pressure is recorded at regular pressure intervals. When the minimum pressure has been reached (about 10 kPa for a simple hand pump), the vacuum cell is filled with air again. A set of measurements can now be made for pressure over atmospheric (up to max. 200 kPa corresponding to 1 bar over atmospheric).

1) C. L. Andrews, Optics of the Electromagnetic Spectrum, Prentice-Hall, 1960

5.3.3 Experiment evaluation

- At pressure $p = 0$ the refractive index $n(p = 0) = 1$. For increasing pressure, the refractive index increases according to the following equation:

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

- Therefore, to determine the refractive index at normal air pressure, the gradient $\Delta n / \Delta p$ must be derived first. To a first approximation:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

- In this case m is the number of rings appearing or disappearing, λ is the wavelength of the light and l_z is the internal length of the vacuum cell (here 41 mm). If, for example, for a pressure $\Delta p = 90$ kPa, a corresponding value of $\Delta m = 25$ is determined, then $\Delta n / \Delta p = 2.14 \times 10^{-9}$ 1/Pa.
- This means that the refractive index of air at atmospheric pressure (100 kPa) is $n = 1.00021$. This compares to a value of $n = 1.00029$ as quoted in the literature²⁾.

6. Twyman-Green Interferometer

- This experiment determines the surface quality of optical components. Normally a Twyman-Green interferometer is considered to be one where one (laser) beam is diverging and the other parallel. In order to understand the principle, however, it is possible to use a diverging but not a parallel beam (as in the previous experiments).

6.1 Experiment setup

- As an example of a poor optical surface, transparent sticky tape is used. The tape is glued to a glass plate and appears homogeneously transparent when peered through in the normal way.
- The experiment setup is initially the same as that of the standard experiment (see Section 5.1.1). Thereafter the glass plate with rotating holder introduced into the beam at front as in Fig. 5. The adjustable mirror is then minimally readjusted so that the interference rings appear in the middle of the screen.

6.2 Experiment procedure and evaluation of observations

- On the right-hand side of the observation screen, regular interference rings can be seen as in Experiment 5.1. On the left-hand side, however, the rings are fuzzy and bright points appear in what are really dark regions and vice versa. Since we know from Experiment 5.2 that even tiny changes in the thickness of coatings (accomplished in Experiment 5.2 by rotating the glass plate) can cause the interference rings to shift, the implication is

that the distortion in the rings can be explained by the bumpy, uneven surface of the sticky tape.

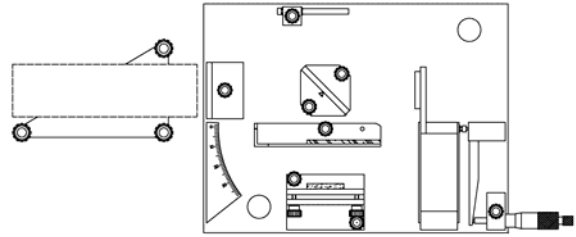


Fig. 5: Experiment setup for measuring the surface quality of optical components

7. Fabry-Perot Interferometer

7.1 Experiment setup

- The setup of the components on the base plate is shown in Fig. 6. It is assumed in the following description of the setup, that all the basic settings have to be made in advance.
- Screw the He-Ne laser into its holder (see above instruction for assembling laser) and position it so that it is more or less straight in front of the diverging lens.
- Remove the adjustable mirror and the diverging lens and place the laser in front of the base plate so that it is slightly turned about a vertical axis. Then adjust the inclination of the laser so that part of the beam that is reflected back onto the laser is at the same height as the emitted beam. If the laser is now turned straight in front of the base plate again, two points appear on the screen. Adjustments should then be made to cause the two points to coincide.
- Place the diverging lens in the beam and, if necessary, adjust the height of the beam by turning all three knurled screws by the same amount. Then return to the second one as required. (It may be that weak interference rings are apparent on the screen since even the ostensibly transparent side of the glass of the finely adjustable mirror also reflects the beam slightly.)
- Turn the diverging by 90° again so that it is out of the beam.
- Mount the adjustable mirror with great care. The distance between the two mirrors should be about 2 mm.
- Set up the adjustable mirror so that all the points and any interference patterns coincide on the screen.
- Turn the diverging lens back into the beam and secure it in position so that the image is in the middle of the screen (i.e. the bright part of the beam should be centered not the interference rings). Tilt the screen away from the vertical enough so that the observer sees the brightest and clearest image.

2) H. Stöcker, Taschenbuch der Physik, Deutsch, 1998

- Make more slight adjustments to the adjustable mirror to bring the interference rings to the center of the screen.

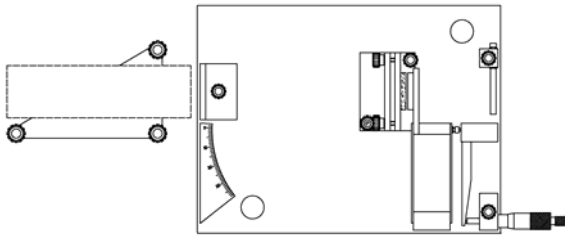


Fig. 6: Experiment setup for Fabry-Perot interferometer

7.2 Measurement procedure

- Unscrew the micrometer screw counter clockwise out to approx. 25 mm and then slowly screw it back in clockwise to 20 mm. This avoids measurement inaccuracies which may arise when the direction of rotation is reversed. Unscrew the micrometer screw counter clockwise out to approx.

25 mm and then slowly screw it back in clockwise to 20 mm. This avoids measurement inaccuracies which may arise when the direction of rotation is reversed.

- Slowly turn the micrometer screw further in clockwise and at the same time count the number m of rings produced.
- After at least 20 rings have been counted, read off the micrometer value and note down the result l_M .
- To avoid any errors in counting the rings, steps 1-3 should be repeated at least three times.

7.3 Experiment evaluation

- If, for example, the number of rings counted is $m = 40$ and $20 \text{ mm} - l_M = 15.13 \text{ mm}$ is the measured distance, the beam path to the mirror (eccentric = 1:830) is $l_s = 12560 \text{ nm}$ so that the wavelength is (see explanation in section 5.1.3):

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 628 \text{ nm}$$

U10350 Interféromètre de précision

U10351 Jeu complémentaire

Manuel d'utilisation

11/04 MH



Sommaire

1. Eléments fournis, désignation des composants
2. Consignes de sécurité
3. Introduction, caractéristiques techniques
4. Manipulation et entretien
5. Interféromètre de Michelson
 - 5.1 Expérience standard
 - 5.1.1 Montage de l'expérience
 - 5.1.2 Réalisation des mesures
 - 5.1.3 Evaluation de l'expérience
 - 5.2 Indice de réfraction du verre
 - 5.2.1 Montage de l'expérience
 - 5.2.2 Réalisation des mesures
 - 5.2.3 Evaluation de l'expérience
- 5.3 Indice de réfraction de l'air
 - 5.3.1 Montage de l'expérience
 - 5.3.2 Réalisation des mesures
 - 5.3.3 Evaluation de l'expérience
6. Interféromètre de Twyman-Green
 - 6.1 Montage de l'expérience
 - 6.2 Réalisation de l'expérience et interprétation des observations
7. Interféromètre de Fabry-Perot
 - 7.1 Montage de l'expérience
 - 7.2 Réalisation des mesures
 - 7.3 Evaluation de l'expérience

1 Eléments fournis, désignation des composants

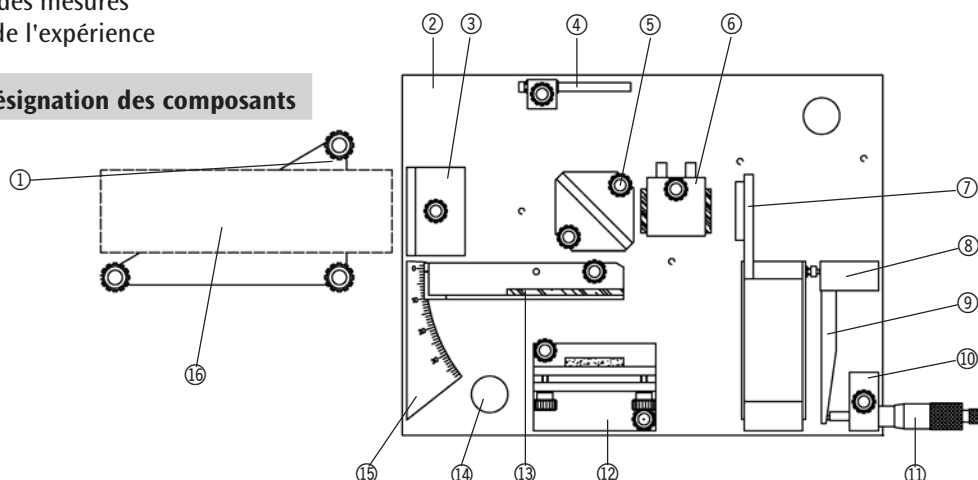


Fig. 1: Eléments fournis, désignation des composants

- | | | | | |
|--|--|---|-------------------------|------------------------|
| ① Support de laser | ② Plaque de base | ③ Lentille de divergence | ④ Ecran (d'observation) | ⑤ Diviseur de rayon |
| ⑥ Cellule à vide
(dans le jeu compl.) | ⑦ Miroir à réglage
de précision | ⑧ Excentrique avec plaque
de calibration | ⑨ Bras d'excentrique | ⑩ Porte-micromètre |
| ⑪ Micromètre | ⑫ Miroir ajustable | ⑬ Plaque de verre sur support
(dans le jeu complémentaire) | ⑭ Bouton porteur | ⑮ Graduation angulaire |
| ⑯ Laser (non fourni) | ⑰ Boîtier plastique robuste (non illustré) | | | |

2. Consignes de sécurité

- L'interféromètre doit être exploité avec un laser au He-Ne de classe 2. Un regard direct dans le rayon du laser peut provoquer des brûlures de la rétine et doit impérativement être évité. Respecter rigoureusement les prescriptions de sécurité du laser !
- Placer l'interféromètre sur une table stable ou à un autre endroit approprié, de telle sorte qu'il ne pourra tomber ni que personne ne pourra être blessé par son poids.
- Avec les boutons porteurs ⑭, on peut soulever l'interféromètre pour saisir celui-ci par le bas.
- La pression maximale admissible dans la cellule à vide ⑥ s'élève à 200 kPas (2 bars), ce qui correspond à une surpression de 100 kPas (1 bar). En cas d'endommagement du verre de la cellule, comme par ex. des rayures ou des fissures, mettre immédiatement hors service et faire réparer la cellule. En cas d'expériences avec de la surpression, s'assurer que personne ne se trouve dans la zone explosible de la cellule. Le cas échéant, porter des lunettes de protection.

3. Introduction, caractéristiques techniques

- En 1881, A. Michelson (1852 - 1931) réalisa une expérience au cours de laquelle un faisceau lumineux fut divisé en deux au moyen d'un diviseur de rayon (cf. Fig. 2). Les deux rayons furent réfléchis par des miroirs, puis de nouveau superposés dans le diviseur, ce qui, en présence de distances différentes, entraîna une interférence entre les deux rayons (suppression ou amplification). Comme différentes vitesses de lumière dans les deux rayons partiels entraîneraient également une interférence, cette expérience a pu montrer qu'il n'existe pas d'« éther », car le rayon partiel ayant le vent dans le dos devrait être plus rapide que celui avec le vent de côté. Outre la justification de l'inexistence d'un éther, un interféromètre peut servir à mesurer la longueur d'ondes lumineuses ou, si la longueur d'onde est connue, à mesurer de très courtes distances, ce qui est important entre autres pour contrôler la qualité superficielle de composants optiques.
- Ces expériences classiques et bien d'autres encore peuvent également être réalisées avec l'interféromètre de précision :
 1. Interféromètre de Michelson
 2. Interféromètre de Fabry-Perot
 3. Détermination de l'indice de réfraction du verre *
 4. Détermination de l'indice de réfraction de l'air **
 5. Essai Twyman-Green pour composants optiques (qualitatif, pas quantitatif) *

* avec jeu complémentaire (cellule à vide et plaque en verre sur support pivotant)

** avec jeu complémentaire et pompe à vide

- Grâce aux positions prédéfinies des composants, on peut rapidement transformer les montages pour effectuer les différentes expériences.

Description et caractéristiques techniques

- Grande plaque de base lourde et rigide pour des mesures précises et reproductibles : 245 x 330 x 25 mm, 5,5 kg.
- Grands composants optiques pour des images d'interférence claires et nettes : (\varnothing 40 mm / 40 x 40 mm).
- Miroir de surface : passage 15%, réflexion 85% en cas d'incidence verticale.
- Diviseur de rayon extrêmement plan : face avant $1/10 \lambda$, face arrière $1/4 \lambda$. Passage 50%, réflexion 50% avec un angle d'incidence de 45° , face arrière antireflet.
- Ajustage aisé du miroir par démultiplication d'excentrique d'env. 1:1000 (un trait sur le micromètre correspond à un parcours de miroir d'env. 10 nm) avec une précision de fabrication de $\pm 30\%$. Le rapport mesuré après fabrication entre l'ajustage du micromètre et celui du miroir est indiqué sur la plaque de calibrage, par ex. $1 \text{ mm} \triangleq 830 \text{ nm}$. Avec cette valeur, la précision de mesure des longueurs d'ondes doit être d'au moins $\pm 5\%$ (écart de linéarité et autres erreurs).
- L'écran d'observation réfléchissant et réglable dans son inclinaison permet de réaliser les expériences également à la lumière du jour (pas de rayonnement solaire direct).

4. Manipulation et entretien

- **Montage du laser** : monter d'abord le laser sur son support. Comme ce support est conçu pour différents lasers, il propose trois alésages pour vis à tête conique (M5 ou M6), bien qu'un seul suffise normalement. L'alésage convenant au laser est déterminé par le centre de gravité du laser et ses possibilités de fixation. Lorsque le laser est monté, son centre de gravité doit se situer à peu près au-dessus de l'alésage du milieu et le rayon lumineux à 60 - 62 mm au-dessus de la plaque de travail. Si la zone de réglage des vis moletées ne suffit pas, monter par exemple une bague d'écartement appropriée sous le laser. Choisir la longueur de la vis de fixation de telle sorte que le boîtier du laser et les parties internes du laser ne soient pas endommagés. Pour cela, déterminer d'abord la profondeur de vissage maximale de la vis dans le logement du laser, puis choisir une vis dont le filet dépasse d'env. 2 mm de moins du support (une vis et un écrou à quatre pans adapté aux rainures usuelles sont fournis).
- **Diviseur de rayon** : le verre du diviseur présente une face antireflet et, identifié par un triangle (également appliqué pour les montages marqués), un revêtement perméable à 50% sur l'autre face.
- **Transport, rangement** : comme lors de son état à la livraison, le bras d'excentrique ⑨ doit toujours

reposer sur le socle du miroir à réglage fin ⑦ lors du transport et du rangement, pour éviter ainsi des impacts sur l'excentrique de précision.

- **Nettoyage et entretien de l'excentrique** : l'excentrique usiné au laiton s'appuie sur une bille en acier polie du support du miroir à réglage fin. La présence de poussière ou d'autres impuretés risque de gripper le réglage du miroir. Dans ce cas, dévisser le socle d'excentrique ⑧ (les têtes de vis se trouvent sous la plaque de base ②) et l'excentrique en laiton ainsi que la bille en acier. A cet effet, utiliser un chiffon doux, éventuellement imbibé de ligroïne, d'acétone, etc. Lors du montage de l'excentrique, veiller à ce qu'une légère pression soit exercée sur la bille en acier. Après le montage, verser une goutte d'huile sans résine (huile pour armes ou machines à coudre) sur le point de contact entre l'excentrique et la bille en acier.
- **Nettoyage des composants optiques en verre** : le miroir de surface, le diviseur de rayon, la lentille de divergence et les plaques de la cellule à vide peuvent être essuyés avec précaution avec un chiffon doux, éventuellement imbibé d'éthanol. Essuyer sans exercer de pression ! Il est préférable de travailler avec beaucoup d'éthanol et peu de force. N'essuyer la plaque en verre sur le support ⑬ qu'avec un chiffon sec (en embuant éventuellement le verre), la bande adhésive (expérience Twyman-Green) risquant sinon de se détacher.

5. Interféromètre de Michelson

5.1 Expérience standard

5.1.1 Montage de l'expérience

- Le montage des composants sur la plaque de base est illustré dans la figure 2. La description suivante sous-entend que tous les réglages de base doivent encore être réalisés.
- Visser le laser au He-Ne sur son support (cf. manuel d'utilisation, montage du laser) et le placer à peu près droit devant la lentille de divergence.
- Retirer le miroir ajustable et le diviseur de rayon, puis fixer la lentille de divergence bien droit sur la plaque de base.
- Régler le laser de sorte que le rayon réfléchi par le miroir à réglage fin retourne au centre de la lentille de divergence.
- Desserrer la vis moletée de la lentille de divergence et écarter la lentille d'env. 90° du rayon laser.
- Monter le miroir orientable et l'ajuster avec les vis de réglage de telle sorte que l'écart entre la plaque de support du miroir et le support à proprement parler soit environ identique sur tout le pourtour (5 - 6 mm).
- Visser sans le serrer le diviseur avec la face partiellement réfléchissante orientée vers la division angulaire et le tourner dans les limites données de telle sorte que les deux points les plus clairs apparaissant à l'écran d'observation se situent

environ sur une même ligne verticale. Puis, serrer le diviseur.

- Avec les vis de réglage du miroir ajustable, tourner ce dernier, jusqu'à ce que les deux points les plus clairs à l'écran se couvrent exactement. Une interférence, reconnaissable à un vacillement, devrait déjà apparaître.
- Tourner de nouveau la lentille de divergence dans le rayon et la visser dans la position qui permet d'obtenir à l'écran une image à peu près centrée (quant à la clarté, et non aux anneaux d'interférence). Incliner l'écran dans l'axe vertical pour obtenir une image claire et nette.
- Ajuster encore une fois le miroir pour que les anneaux d'interférences se situent au centre de l'écran.

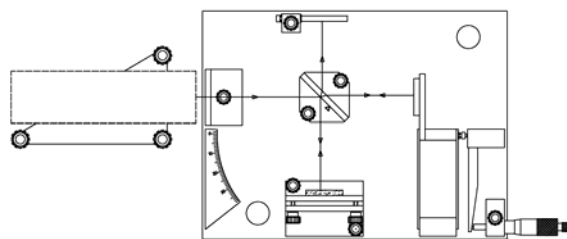


Fig. 2 : Interféromètre de Michelson

- Les temps du faisceau de lumière sont pratiquement identiques, ce qui permet d'obtenir de grands écarts des anneaux d'interférence, faciles à observer. Mais il en résulte aussi une déformation elliptique des anneaux (des modèles d'interférence hyperboliques apparaissent sur l'écran, même si les rayons centraux sont de durées parfaitement identiques). Pour obtenir des anneaux à peu près circulaires, on peut tourner le diviseur à 180°.

5.1.2 Réalisation des mesures

- Dévisser d'env. 25 mm la vis du micromètre dans le sens horaire contraire, puis revenir lentement en arrière jusqu'à 20 mm pour éviter des imprécisions de mesure apparaissant lors de l'inversion du sens de rotation.
- Continuer à tourner la vis dans le sens horaire, tout en comptant le nombre m d'anneaux qui apparaissent. Pour apprécier si un anneau complet s'est formé, utiliser la graduation imprimée sur l'écran d'observation. Pendant les mesures, éviter que de l'air de respiration accède dans les rayons lumineux, car les modifications de la densité d'air se répercutent directement par des anneaux « courants ».
- Après avoir compté au moins 20 anneaux (plus il y en a, plus la mesure sera précise), lire la vis du micromètre et noter le résultat I_m .
- Pour relever d'éventuelles erreurs lors du comptage des anneaux, répéter au moins trois fois les pas 1 à 3.

5.1.3 Evaluation de l'expérience

- Si par exemple on relève au cours de la première mesure $m = 30$ anneaux et $20 \text{ mm} - I_M = 11,76 \text{ mm}$, compte tenu d'une démultiplication de par exemple 1:830, on obtient un parcours de miroir $I_S = 9761 \text{ nm}$ et ainsi la longueur d'onde lumineuse suivante :

$$\lambda = \frac{2 I_S}{m} = 651 \text{ nm}$$

- Si l'expérience est réalisée soigneusement, les résultats de toutes les mesures ne doivent pas diverger de plus de 2% de la valeur moyenne. Si les écarts sont plus importants, il peut s'avérer nécessaire de nettoyer l'excentrique (cf. paragraphe 3, Nettoyage et entretien de l'excentrique).
- La précision des mesures de la longueur d'onde doit être d'au moins $\pm 5\%$. Une vérification est possible avec un laser de longueur d'onde connue (laser au He-Ne : $\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

5.2 Indice de réfraction du verre

5.2.1 Montage de l'expérience

- Le montage est d'abord similaire à celui de l'expérience standard (cf. 5.1.1). Puis, la plaque en verre avec le support pivotant est placée dans le rayon partiel avant (fig. 3) et le réglage du miroir ajustable est légèrement affiné pour que les anneaux d'interférence restent bien au centre de l'écran.

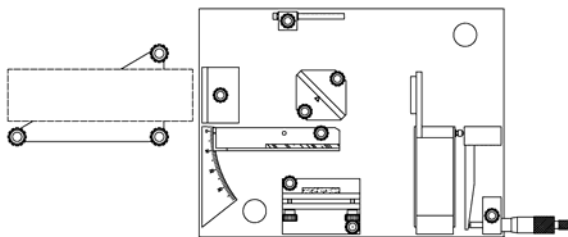


Fig. 3 : Montage pour la mesure de l'indice de réfraction du verre

- Lorsque la plaque en verre est légèrement tournée en avant ou en arrière autour de 0° , la transition des anneaux apparaissant aux anneaux disparaissant doit se situer très exactement à 0° . Si ce n'est pas le cas, cela signifie que le diviseur ne se trouve pas exactement dans un angle de 45° par rapport au miroir à réglage fin. Comme une orientation parfaitement exacte du diviseur est pratiquement impossible, on note l'angle ϕ_0 où a lieu cette transition. Dans cette position, cet angle est déduit de la valeur de mesure ϕ_M pour obtenir l'angle de pivotement réel ϕ .

5.2.2 Réalisation des mesures

- On tourne la plaque en verre à partir de l'angle ϕ_0 . On compte le nombre m d'anneaux disparaissant. Plus l'angle pivotant est grand, moins la modification de l'angle qui entraîne la disparition d'un anneau est importante. Aussi est-il nécessaire d'avoir du doigté pour compter un peu plus d'une vingtaine d'anneaux.

5.2.3 Evaluation de l'expérience

- Avec l'angle ϕ (par ex. $5,4^\circ$), le nombre d'anneaux mesuré m (par ex. 20), la longueur d'onde λ (dans l'air) du laser utilisé (par ex. 633 nm) et l'épaisseur de la plaque en verre t (dans ce cas 4 mm), on obtient selon Andrews¹⁾ l'indice de réfraction n_G du verre :

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos\phi) + \left(\frac{m^2\lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos\phi) - m\lambda} = 1,55$$

- Lorsqu'on compare ses propres résultats avec ceux mentionnés dans la littérature, il faut toujours tenir compte que l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde et qu'on ne peut comparer entre elles les valeurs de mêmes longueurs d'ondes.

5.3 Indice de réfraction de l'air

5.3.1 Montage de l'expérience

- Le montage est d'abord similaire à celui de l'expérience standard (cf. 5.1.1), à la différence près que, pour des raisons pratiques, la couche partiellement réfléchissante du diviseur est orientée en arrière vers le côté droit. Puis, la cellule à vide est placée dans le rayon partiel droit (fig. 4) et le réglage du miroir ajustable est légèrement affiné pour que les anneaux d'interférence restent bien au centre de l'écran.

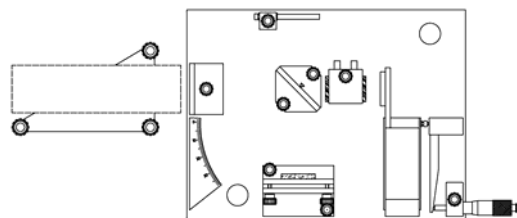


Fig. 4 : Montage pour la mesure de l'indice de réfraction de l'air

5.3.2 Réalisation des mesures

- Brancher la pompe à vide à la cellule à vide et noter la pression p affichée. Puis, faire le vide dans la cellule et compter le nombre m d'anneaux disparaissant. Noter à intervalles réguliers la pression et le nombre correspondant. Lorsque la pression minimale est atteinte (pour une pompe à main simple, env. 10 kPas), la cellule à vide est de nouveau remplie d'air. A présent, on peut encore effectuer une série de mesures à surpression (jusqu'à max. 200 kPas, correspondant à 1 bar de surpression).

5.3.3 Evaluation de l'expérience

- Avec une pression $p = 0$ l'indice de réfraction est $n(p = 0) = 1$. L'indice augmente au fur et à mesure qu'augmente la pression, selon l'équation :

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

1) C. L. Andrews, Optics of the Electromagnetic Spectrum, Prentice-Hall, 1960

- Pour déterminer l'indice de réfraction à pression normale, il faut donc déterminer d'abord l'augmentation $\Delta n / \Delta p$. Pour première approximation, on a l'équation suivante :

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

- Ce faisant, m est le nombre d'anneaux apparaissant / disparaissant, λ a longueur d'onde lumineuse et l_z la longueur intérieure de la cellule à vide (dans ce cas 41 mm). Par exemple, si pour une chute de pression de $\Delta p = 90$ kPas, on détermine $\Delta m = 25$, on obtient $\Delta n / \Delta p = 2,14 \times 10^{-9}$ 1/Pas.
- Ainsi l'indice de réfraction de l'air à pression ambiante (100 kPas) est donc $n = 1,00021$. Dans la littérature²⁾, on trouve $n = 1,00029$.

6. Interféromètre de Twyman-Green

- Cette expérience permet de déterminer la qualité superficielle de composants optiques. Normalement, on entend par interféromètre de Twyman-Green un appareil dont le rayon lumineux (laser) est élargi et parallèle. Pour une compréhension qualitative du principe de fonctionnement, on peut, comme avec les expériences réalisées jusqu'à maintenant, aussi utiliser une lumière élargie, mais non parallèle.

6.1 Montage de l'expérience

- Pour illustrer une surface optique de mauvaise qualité, on utilise un ruban adhésif transparent collé sur une plaque en verre et qui semble parfaitement homogène lorsqu'on regarde à travers elle.
- Le montage est d'abord similaire à celui de l'expérience standard (cf. 5.1.1). Puis, la plaque en verre avec le support pivotant est placée dans le rayon partiel avant (fig. 3) et le réglage du miroir ajustable est légèrement affiné pour que les anneaux d'interférence restent bien au centre de l'écran.

6.2 Réalisation de l'expérience et interprétation des observations

- A droite de l'écran d'observation, comme pour l'expérience 5.1, on trouve des anneaux d'interférence réguliers. A gauche en revanche, les anneaux sont effilochés et dans des zones pourtant sombres, on trouve des points clairs et inversement. Comme nous savons depuis l'expérience 5.2 que de très faibles modifications de l'épaisseur de couche suffisent déjà pour entraîner un déplacement des anneaux d'interférences (expérience 5.2, par rotation de la plaque en verre), on peut supposer que les défauts des anneaux proviennent de la surface irrégulière et bosselée du ruban adhésif.

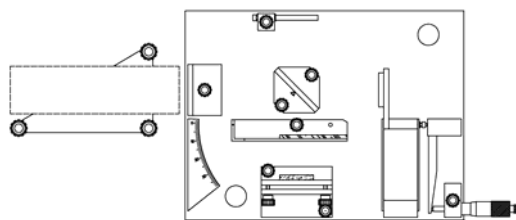


Fig. 5 : Montage pour la mesure de la qualité superficielle de composants optiques

7. Interféromètre de Fabry-Perot

7.1 Montage de l'expérience

- Le montage des composants sur la plaque de base est illustré dans la figure 6. La description suivante sous-entend que tous les réglages de base doivent encore être réalisés.
- Visser le laser au He-Ne sur son support (cf. manuel d'utilisation, montage du laser) et le placer à peu près droit devant la lentille de divergence.
- Retirer le miroir ajustable et la lentille de divergence, puis placer devant la plaque de base le laser légèrement tourné sur son axe vertical. Ensuite, ajuster l'inclinaison du laser de telle sorte que le rayon partiel réfléchi sur le laser se situe à la même hauteur que le rayon émis. A présent, si le laser est remis bien droit devant la plaque de base, l'écran d'observation devrait présenter deux points qu'il est possible, par un nouveau réglage, de faire coïncider.
- Placer la lentille de divergence dans la marche du rayon et, le cas échéant, ajuster la hauteur du faisceau en tournant uniformément les trois vis moletées. Puis, le cas échéant, retourner au point 2. (A présent, on peut déjà voir sur l'écran de faibles anneaux d'interférence, car la face en verre translucide du miroir à réglage fin présente également de très faibles réflexions.)
- Ecarter de nouveau la lentille de divergence d'env. 90° du rayon laser.
- Monter avec beaucoup de précaution le miroir ajustable. L'écart entre les deux miroirs doit s'élever à environ 2 mm.
- Régler le miroir ajustable de telle sorte que tous les points et, le cas échéant, le modèle d'interférence se rencontrent sur l'écran d'observation.
- Tourner de nouveau la lentille de divergence dans le rayon et la visser dans la position qui permet d'obtenir à l'écran une image à peu près centrée (quant à la clarté, et non aux anneaux d'interférence). Incliner l'écran dans l'axe vertical pour obtenir une image claire et nette.
- Ajuster encore une fois le miroir pour obtenir les anneaux d'interférences au centre de l'écran.

2) H. Stöcker, Taschenbuch der Physik, Deutsch, 1998

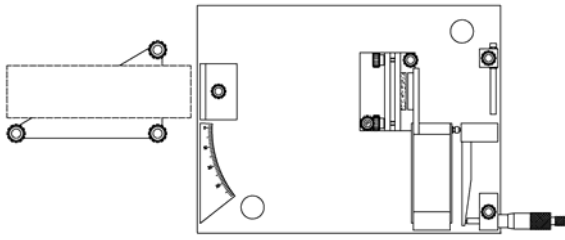


Fig. 6 : Montage de l'interféromètre de Fabry-Perot

7.2 Réalisation des mesures

- Dévisser d'env. 25 mm la vis du micromètre dans le sens horaire contraire, puis revenir lentement en arrière jusqu'à 20 mm pour éviter des imprécisions de mesure apparaissant lors de l'inversion du sens de rotation.

- Continuer à tourner la vis dans le sens horaire, tout en comptant le nombre m d'anneaux qui apparaissent.
- Après avoir compté au moins 20 anneaux, lire la vis du micromètre et noter le résultat l_M .
- Pour relever d'éventuelles erreurs lors du comptage des anneaux, répéter au moins trois fois les pas 1 à 3.

7.3 Evaluation de l'expérience

- Par exemple, si l'on a compté $m = 40$ anneaux et mesuré $20 \text{ mm} - l_M = 15,13 \text{ mm}$, on obtient un parcours du miroir (excentrique 1:830) de $l_s = 12560 \text{ nm}$ et ainsi la longueur d'onde lumineuse (voir aussi les explications au paragraphe 5.1.3) :

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 628 \text{ nm}$$

U10350 Interferometro di precisione

U10351 Kit aggiuntivo

Istruzioni per l'uso

11/04 MH



Indice

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 Fornitura, Definizione dei componenti 2 Avvertenze per la sicurezza 3 Introduzione, Dati tecnici 4 Avvertenze per l'uso e manutenzione 5 Interferometro di Michelson <ul style="list-style-type: none"> 5.1 Esperimento standard <ul style="list-style-type: none"> 5.1.1 Struttura dell'esperimento 5.1.2 Esecuzione delle misurazioni 5.1.3 Analisi dell'esperimento 5.2 Indice di rifrazione del vetro <ul style="list-style-type: none"> 5.2.1 Struttura dell'esperimento 5.2.2 Esecuzione delle misurazioni 5.2.3 Analisi dell'esperimento | <ul style="list-style-type: none"> 5.3 Indice di rifrazione dell'aria <ul style="list-style-type: none"> 5.3.1 Struttura dell'esperimento 5.2.2 Esecuzione delle misurazioni 5.3.3 Analisi dell'esperimento 6 Interferometro di Twyman-Green <ul style="list-style-type: none"> 6.1 Struttura dell'esperimento 6.2 Esecuzione dell'esperimento e interpretazione delle osservazioni 7 Interferometro di Fabry-Perot <ul style="list-style-type: none"> 7.1 Struttura dell'esperimento 7.2 Esecuzione delle misurazioni 7.3 Analisi dell'esperimento |
|--|---|

1 Fornitura, Definizione dei componenti

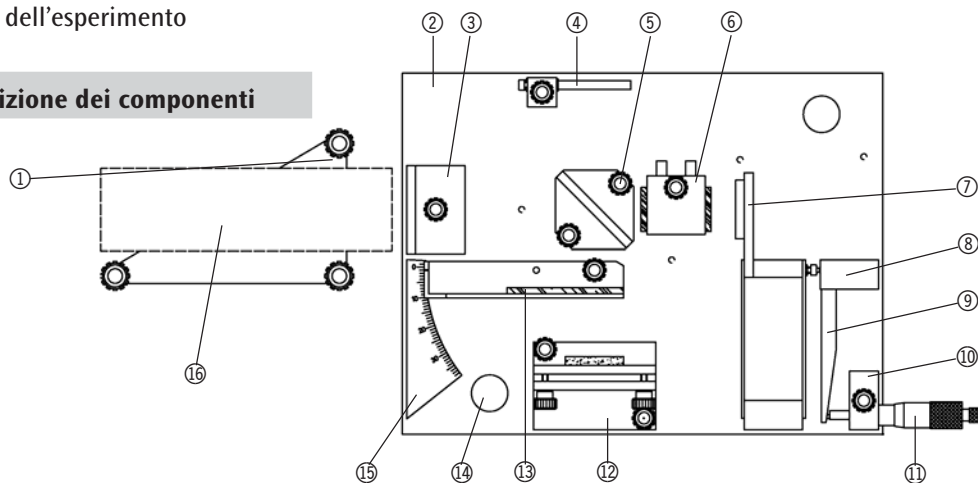


Fig. 1: Fornitura

- | | | | | |
|---|--|---|-----------------------------|------------------------------|
| ① Supporto laser | ② Piastra di base | ③ Lente di ingrandimento | ④ Schermo (di osservazione) | ⑤ Separatore di raggi |
| ⑥ Cella a vuoto
(nel kit aggiuntivo) | ⑦ Specchio regolabile
in modo preciso | ⑧ Eccentrico con targhetta
di calibrazione | ⑨ Braccio dell'eccentrico | ⑩ Supporto del
micrometro |
| ⑪ Micrometro | ⑫ Specchio regolabile | ⑬ Lastra di vetro su supporto
(nel kit aggiuntivo) | ⑭ Manopola di trasporto | ⑮ Scala angolare |
| ⑯ Laser (non fornito in dotazione) | | ⑰ Contenitore in plastica stabile (non raffigurato) | | |

2. Avvertenze per la sicurezza

- L'interferometro dovrebbe essere utilizzato con un laser elio-neon della classe 2. Guardare direttamente il fascio del laser può causare una bruciatura della retina: evitare assolutamente! Le disposizioni di sicurezza allegate al laser devono essere rigorosamente rispettate!
- L'interferometro deve essere collocato su un piano stabile o un altro luogo adatto, in modo che non cada ferendo con il suo peso eventuali persone.
- Le manopole di trasporto ⑭ servono a sollevare l'interferometro, per poterlo afferrare in modo sicuro sotto la piastra di base.
- La pressione max. ammessa nella cella a vuoto ⑥ è di a 200 kPas (2 bar), corrispondenti a 100 kPas (1 bar) di sovrappressione. In caso di danneggiamento del vetro della cella, come ad es. graffi o incrinature, la cella a vuoto deve essere messa immediatamente fuori servizio e fatta riparare. In caso di esperimenti condotti in presenza di sovrappressione accertarsi che nella zona di esplosione della cella non siano presenti persone. Se necessario, utilizzare occhiali protettivi.

3. Introduzione, Dati tecnici

- Nel 1881 A. Michelson (1852-1931) condusse un esperimento nel quale un fascio luminoso veniva tagliato in due mediante un separatore di raggi (cfr. anche fig. 2). I due fasci furono riflessi da specchi e nuovamente sovrapposti nel separatore di raggi: in tal modo lunghezze del percorso diverse tra i due raggi producono interferenza (estinzione o amplificazione). Dato che anche velocità della luce diverse nei due fasci parziali determinerebbero un'interferenza, è stato possibile dimostrare con la struttura dell'esperimento che non esiste alcun "etere" e/o "vento di etere", poiché effettivamente il fascio parziale con il vento alle spalle dovrebbe essere più veloce del fascio con il vento laterale. Oltre alla dimostrazione dell'inesistenza dell'etere, un interferometro può essere utilizzato per la misurazione di lunghezze di onde luminose e/o in caso di lunghezza d'onda conosciuta per la misurazione di percorsi estremamente brevi, aspetto importante tra l'altro nel controllo della qualità superficiale dei componenti ottici.
- Questi esperimenti classici e alcuni altri possono essere eseguiti anche con l'interferometro di precisione. Nello specifico si tratta di:
 1. Interferometro di Michelson
 2. Interferometro di Fabry-Perot
 3. Determinazione dell'indice di rifrazione del vetro*
 4. Determinazione dell'indice di rifrazione dell'aria**
 5. Test di Twyman-Green per i componenti ottici (qualitativo, non quantitativo)*

* con il kit aggiuntivo (cella a vuoto e lastra di vetro su supporto girevole)

** con kit aggiuntivo e pompa per vuoto

- Le posizioni preimpostate dei componenti permettono una rapida trasformazione per l'esecuzione di diversi esperimenti.

Descrizione e dati tecnici

- Piastra di base pesante, resistente alla pressione e di grandi dimensioni per misurazioni precise e riproducibili: 245 x 330 mm x 25 mm, 5,5 kg.
- Componenti ottici di grandi dimensioni per immagini di interferenza chiare e a fuoco: (40 mm Ø e/o 40 x 40 mm).
- Specchio superficiale: trasmittanza 15%, riflessione 85% con incidenza verticale del fascio.
- Separatore di raggi estremamente piatto: lato anteriore $1/10 \lambda$, lato posteriore $1/4 \lambda$. Trasmittanza 50%, riflessione 50% con angolo di incidenza di 45° , lato posteriore antiriflesso.
- Facile regolazione dello specchio mediante la riduzione dell'eccentrico di circa 1:1000 (una lineetta del micrometro corrisponde a un percorso dello specchio di circa 10 nm) con una precisione, intrinseca alla produzione, di $\pm 30\%$. Il rapporto, misurato dopo la produzione, tra la regolazione del micrometro e la regolazione dello specchio è indicata sulla targhetta di calibrazione, ad es. con $1 \text{ mm} \triangleq 830 \text{ nm}$. Utilizzando questa indicazione la misurazione della lunghezza d'onda dovrebbe avere una precisione di almeno $\pm 5\%$ (deviazione di linearità e altri errori).
- Mediante lo specchio di osservazione riflettente e regolabile nell'inclinazione gli esperimenti possono essere eseguiti anche in presenza della luce del giorno (nessuna luce diretta del sole).

4. Avvertenze per l'uso e manutenzione

- **Montaggio del laser:** innanzitutto montare il laser sul relativo supporto. Essendo tale supporto concepito per vari tipi di laser, è dotato di tre fori per viti a testa svasata (M5 o M6), di cui normalmente solo uno è necessario. Il foro corretto per il relativo laser è determinato dal baricentro del laser e dalle sue possibilità di fissaggio. Dopo il montaggio il baricentro del laser dovrebbe trovarsi indicativamente sopra il foro centrale. L'altezza necessaria del fascio luminoso sul piano di lavoro è di 60 - 62 mm. Se il range di regolazione delle viti a testa zigrinata non dovesse essere sufficiente, montare un anello distanziale opportuno, o un elemento simile, sotto il laser. La lunghezza della vite di fissaggio deve essere scelta in modo tale che l'alloggiamento del laser e/o i componenti interni del laser non vengano distrutti. A tale scopo viene innanzitutto opportunamente determinata la profondità max. possibile di avvitatura della vite nel supporto del laser, quindi viene scelta una vite, la cui filettatura fuoriesce di circa 2 mm in meno dal supporto del laser (sono forniti in dotazione una vite e un dado quadro, adatti alle normali scanalature).

- **Separatore di raggi:** il vetro del separatore di raggi su un lato è antiriflesso e sull'altro lato è dotato di un rivestimento trasparente al 50%, contrassegnato con un triangolo che appare anche nei disegni delle strutture dell'esperimento.
- **Trasporto, conservazione:** durante le operazioni di trasporto e conservazione il braccio dell'eccentrico ⑨, dovrebbe sempre trovarsi sullo zoccolo dello specchio regolabile in modo preciso ⑦, come al momento della consegna, per evitare punti di pressione sull'eccentrico con rotazione di precisione.
- **Pulizia e manutenzione dell'eccentrico:** l'eccentrico in ottone ruotato preme su una sfera in acciaio lucidato sul supporto dello specchio regolabile in modo preciso. A causa della polvere o di altre impurità la regolazione dello specchio può non essere più omogenea ma procedere "scatti". In questo caso svitare lo zoccolo dell'eccentrico ⑧ (le teste delle viti si trovano sul lato inferiore della piastra di base ②) e pulire l'eccentrico in ottone e la sfera d'acciaio. A tale scopo si dovrebbe utilizzare un panno morbido, eventualmente imbevuto di benzina solvente, acetone o prodotti simili. Durante il montaggio dell'eccentrico fare attenzione a esercitare una pressione leggera sulla sfera d'acciaio. Dopo il montaggio versare una goccia di olio privo di resina (olio per macchine da cucire o olio per armi) nel punto di contatto tra l'eccentrico e la sfera d'acciaio.
- **Pulizia dei componenti ottici in vetro:** gli specchi superficiali, il separatore di raggi, la lente d'ingrandimento e le lastre della cella a vuoto possono essere puliti con cautela con un panno morbido, eventualmente imbevuto di etanolo (alcool). Non sfregare esercitando pressione! È preferibile l'utilizzo di un quantitativo superiore di etanolo e l'impiego di minor forza. La lastra di vetro sul supporto ⑬ dovrebbe solamente essere pulita a secco (eventualmente soffiarsi sopra), poiché in caso contrario la striscia di adesivo (esperimento di Twyman-Green) può staccarsi.

5. Interferometro di Michelson

5.1 Esperimento standard

5.1.1 Struttura dell'esperimento

- La struttura dei componenti sulla piastra di base è rappresentata in fig. 2. Nella descrizione della struttura che segue si presume che tutte le impostazioni di base siano state effettuate.
- Avvitare il laser elio-neon al relativo supporto (ved. anche avvertenze per l'uso, montaggio del laser) e posizionarlo all'incirca proprio davanti alla lente d'ingrandimento.
- Rimuovere lo specchio regolabile e il separatore di raggi e fissare la lente d'ingrandimento proprio sulla piastra di base.
- Regolare il laser in modo tale che il fascio riflesso dallo specchio regolabile in modo preciso ricada in posizione centrale sulla lente d'ingrandimento.

- Allentare la vite a testa zigrinata della lente d'ingrandimento e ruotare la lente di circa 90° rispetto al fascio laser.
- Montare lo specchio regolabile e regolarlo con le viti di registro in modo tale che la distanza tra la piastra di supporto dello specchio e il supporto effettivo sia la stessa tutt'intorno (5 - 6 mm).
- Inizialmente avvitare leggermente il separatore di raggi con il lato parzialmente riflettente in direzione della ripartizione angolare e ruotarlo all'interno degli stretti limiti possibili in modo tale che i due punti più chiari presenti sullo schermo di osservazione si trovino praticamente su una linea verticale. Quindi avvitare saldamente il separatore di raggi.
- Con le viti di registro dello specchio regolabile, regolare quest'ultimo fino a quando i due punti più chiari presenti sullo schermo si coprono in modo esatto. Dovrebbe già essersi prodotta interferenza, che è riconoscibile per lo sfarfallamento.
- Ruotare nuovamente la lente d'ingrandimento nel fascio e avvitare saldamente nella posizione, che produce un'immagine praticamente centrale (in riferimento alla luminosità, non agli anelli di interferenza) sullo schermo. Inclinare lo schermo verso le verticali in modo da ottenere un'immagine con luminosità e chiarezza ottimali per l'osservatore.
- Regolare nuovamente di pochissimo lo specchio regolabile, per ottenere gli anelli di interferenza al centro dello schermo.

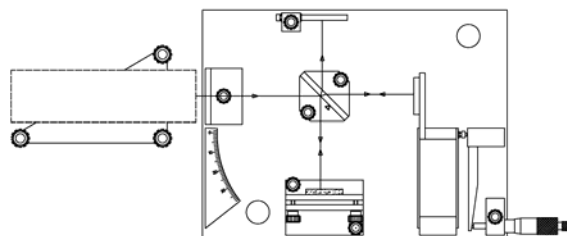


Fig. 2: Struttura dell'esperimento dell'interferometro di Michelson

- Con questa struttura i tempi di transito della luce sono praticamente identici, determinando in tal modo distanze grandi e ben osservabili tra gli anelli di interferenza. In queste condizioni si produce però anche una distorsione ellittica degli anelli (anche in caso di tempi di transito della luce esattamente identici dei fasci puntiformi centrali si producono modelli di interferenza sullo schermo a forma di iperbole). Per ottenere anelli praticamente circolari, il separatore di raggi può essere ruotato di 180° .

5.1.2 Esecuzione delle misurazioni

- Svitare in senso antiorario la vite del micrometro fino a circa 25 mm, quindi riavvitare lentamente fino a 20 mm, per evitare imprecisioni di misurazione, che compaiono invertendo il senso di rotazione.

- Serrare di nuovo lentamente la vite del micrometro in senso orario contando il numero m degli anelli che si formano. Per valutare se si è formato un anello completo, può essere utilizzata la scala stampata sullo schermo di osservazione. Durante le misurazioni non dovrebbe possibilmente arrivare aria nei fasci luminosi, poiché potrebbero rendersi subito visibili alterazioni della densità dell'aria dovute direttamente ad anelli di interferenza "correnti".
- Dopo avere contato almeno 20 anelli (più sono, più risulterà precisa la misurazione), viene letta la vite del micrometro e viene annotato il risultato l_M .
- Per potere valutare eventuali errori durante il conteggio degli anelli, le fasi 1-3 dovrebbero essere ripetute almeno 3 volte.

5.1.3 Analisi dell'esperimento

- Se ad esempio durante la prima misurazione m si sono contati 30 anelli e si è ottenuta la seguente misurazione $20 \text{ mm} - l_M = 11,76 \text{ mm}$, allora tenendo conto di una riduzione ad esempio di 1:830 si ottiene un percorso dello specchio pari a $l_s = 9761 \text{ nm}$ e in tal modo la lunghezza dell'onda luminosa è:

$$\lambda = \frac{2 l_s}{m} = 651 \text{ nm}$$

- In caso di esecuzione accurata dell'esperimento i risultati di tutte le misurazioni non dovrebbero scostarsi di oltre il 2 % dal valore medio. Se vengono determinati scostamenti superiori, può essere necessario pulire l'eccentrico (ved. paragrafo 3, Pulizia e manutenzione dell'eccentrico).
- Il risultato della misurazione della lunghezza d'onda dovrebbe avere una precisione di almeno \pm il 5%. È possibile una verifica con un laser, la cui lunghezza d'onda è nota (laser elio- neon: $\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

5.2 Indice di rifrazione del vetro

5.2.1 Struttura dell'esperimento

- La struttura dell'esperimento corrisponde inizialmente all'esperimento standard (ved. paragrafo 5.1.1). Successivamente la piastra di base viene applicata con il supporto girevole, come da fig. 3, nel fascio parziale anteriore e lo specchio regolabile viene di nuovo regolato di pochissimo, per ottenere gli anelli di interferenza al centro dello schermo.

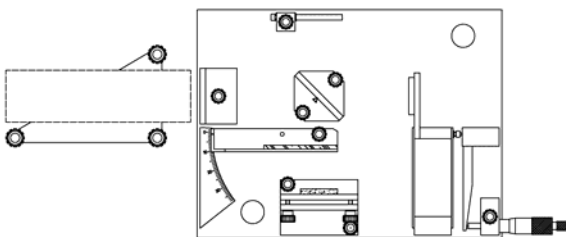


Fig. 3: Struttura dell'esperimento per la misurazione dell'indice di rifrazione del vetro

- Se la piastra di vetro viene ora leggermente ruotata avanti e indietro nel range intorno a 0° , il passaggio dagli anelli di interferenza che si formano a quelli che scompaiono dovrebbe trovarsi esattamente intorno a 0° . In caso contrario, il separatore di raggi non forma esattamente un angolo di 45° rispetto allo specchio regolabile in modo preciso. Poiché un allineamento perfettamente esatto del separatore di raggi è praticamente impossibile, viene annotato l'angolo ϕ_0 nel qual ha luogo il passaggio dagli anelli di interferenza che si formano a quelli che scompaiono. Durante l'analisi questo angolo viene sottratto dal valore misurato ϕ_M per ottenere l'effettivo angolo di rotazione ϕ .

5.2.2 Esecuzione delle misurazioni

- Partendo dall'angolo ϕ_0 viene lentamente ruotata la piastra di vetro, mentre viene contato il numero m degli anelli che scompaiono. Più aumenta l'angolo di rotazione, più si rimpicciolisce la variazione dell'angolo, che determina la scomparsa di un anello. Pertanto per il conteggio di più di 20 anelli circa è necessaria una mano molto precisa.

5.2.3 Analisi dell'esperimento

- Con l'angolo ϕ (ad es. $5,4^\circ$), il numero di anelli misurati m (ad es. 20), la lunghezza dell'onda λ (nell'aria) del laser utilizzato (ad es. 633 nm) e lo spessore della lastra di vetro t (in questo caso 4 mm) si ottiene secondo Andrews¹⁾ l'indice di rifrazione n_G del vetro:

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos\phi) + \left(\frac{m^2\lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos\phi) - m\lambda} = 1,55$$

- Confrontando i proprio risultati con i valori della letteratura si deve sempre tenere conto che l'indice di rifrazione dipende dalla lunghezza d'onda e quindi possono essere confrontati solo valori in presenza delle stesse lunghezze d'onda.

5.3 Indice di rifrazione dell'aria

5.3.1 Struttura dell'esperimento

- La struttura dell'esperimento corrisponde inizialmente all'esperimento standard (ved. paragrafo 5.1.1) con un'unica modifica: per per questo esperimento lo strato parzialmente riflettente del separatore di raggi è opportunamente rivolto verso destra e all'indietro. Quindi la cella a vuoto viene applicata, come da fig. 3, nel fascio parziale di destra e lo specchio regolabile viene di nuovo regolato di pochissimo, per ottenere gli anelli di interferenza al centro dello schermo.

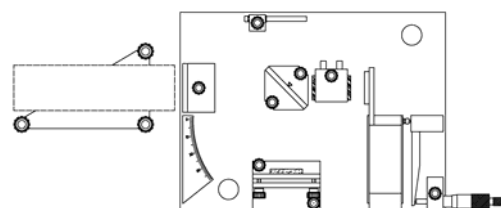


Fig. 4: Struttura dell'esperimento per la misurazione dell'indice di rifrazione dell'aria

1) C. L. Andrews, Optics of the Electromagnetic Spectrum, Prentice-Hall, 1960

5.3.2 Esecuzione delle misurazioni

- La pompa per vuoto viene collegata alla cella a vuoto e viene annotata la pressione visualizzata p . Quindi la cella viene lentamente evacuata e viene contato il numero m degli anelli che scompaiono. La pressione e il relativo numero vengono annotati a intervalli regolari. Se viene raggiunta la pressione minima (con una semplice pompa a mano circa 10 kPas), la cella a vuoto viene nuovamente riempita di aria. Ora può essere ancora eseguita una serie di misurazioni in presenza di sovrappressione (fino a max. 200 kPas, corrispondenti a 1 bar di sovrappressione).

5.3.3 Analisi dell'esperimento

- Con una pressione $p = 0$ l'indice di rifrazione è $n(p = 0) = 1$. Con l'aumento della pressione, aumenta l'indice di rifrazione in base a:

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

- Per la determinazione dell'indice di rifrazione in presenza di pressione normale deve essere innanzitutto determinato l'incremento $\Delta n / \Delta p$. Con la prima approssimazione si ha:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

- dove m è il numero degli anelli che si formano e/o che scompaiono, λ è la lunghezza dell'onda luminosa e l_z è la lunghezza interna della cella a vuoto (in questo caso 41 mm). Pertanto se ad esempio con una diminuzione della pressione di $\Delta p = 90$ kPas è stato determinato il relativo $\Delta m = 25$, allora si ottiene $\Delta n / \Delta p = 2,14 \times 10^{-9}$ 1/Pas.
- Ne consegue che l'indice di rifrazione dell'aria in presenza di pressione ambiente (100 kPas) è pari a $n = 1,00021$. Nella letteratura²⁾ si trova $n = 1,00029$.

6. Interferometro di Twyman-Green

- Con questo esperimento può essere determinata la qualità superficiale dei componenti ottici. Normalmente per interferometro di Twyman-Green si intende un interferometro nel quale il fascio luminoso (laser) è ampliato e parallelo. Per comprendere qualitativamente il principio di funzionamento può però essere utilizzata, come negli esperimenti visti sinora, anche luce ampliata ma non parallela.

6.1 Struttura dell'esperimento

- Come esempio di superficie ottica di pessima qualità viene impiegata una pellicola adesiva trasparente, che viene incollata su una lastra di vetro e che a una semplice osservazione appare assolutamente omogenea.
- La struttura dell'esperimento corrisponde inizialmente all'esperimento standard (ved. paragrafo 5.1.1). Successivamente la piastra di base viene

applicata con il supporto girevole, come da fig. 5, nel fascio parziale anteriore e lo specchio regolabile viene di nuovo regolato di pochissimo, per ottenere gli anelli di interferenza al centro dello schermo.

6.2 Esecuzione dell'esperimento e interpretazione delle osservazioni

- Sul lato di destra dello schermo di osservazione possono essere visti, allo stesso modo dell'esperimento 5.1, anelli di interferenza omogenei. Sul lato di sinistra invece gli anelli risultano sfilacciati e in parte sono presenti in settori effettivamente scuri punti luminosi e viceversa. Poiché dall'esperimento 5.2 è noto che già alterazioni minime dello spessore dello strato (nell'esperimento 5.2 ottenute mediante la rotazione della lastra di vetro) determinano uno spostamento degli anelli di interferenza, è ovvio supporre che le anomalie presenti negli anelli devono essere ricondotte alla superficie irregolare e con dislivelli della pellicola adesiva.

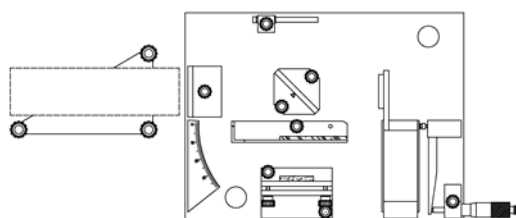


Fig. 5: Struttura dell'esperimento per la misurazione della qualità della superficie di componenti ottici

7. Interferometro di Fabry-Perot

7.1 Struttura dell'esperimento

- La struttura dei componenti sulla piastra di base è rappresentata in fig. 6. Nella descrizione della struttura che segue si presume che tutte le impostazioni di base siano state effettuate.
- Avvitare il laser elio-neon al relativo supporto (ved. anche avvertenze per l'uso, montaggio del laser) e posizionarlo all'incirca davanti alla lente d'ingrandimento.
- Rimuovere lo specchio regolabile e la lente d'ingrandimento e portare il laser, leggermente ruotato intorno all'asse verticale, davanti alla piastra di base. Quindi regolare l'inclinazione del laser, in modo che il fascio parziale riflesso nuovamente sul laser si trovi alla stessa altezza del fascio inviato. Se ora il laser viene nuovamente posizionato proprio davanti alla piastra di base, dovrebbero comparire sullo schermo di osservazione due punti, che devono essere coperti mediante una nuova regolazione.
- Portare la lente d'ingrandimento sul percorso dei raggi luminosi, ed eventualmente, regolare l'altezza del fascio serrando in modo regolare tutte e 3 le viti a testa zigrinata. Quindi, se necessario, ritorna-

2) H. Stöcker, Taschenbuch der Physik, Deutsch, 1998

re nuovamente al punto 2. (Ora si dovrebbero vedere sullo schermo anelli di interferenza già deboli, poiché il lato del vetro effettivamente trasparente dello specchio regolabile in modo preciso presenta anche riflessioni minime).

- Orientare di nuovo la lente d'ingrandimento di circa 90 ° rispetto al fascio laser.
- Montare con molta cautela lo specchio regolabile. La distanza tra i due specchi dovrebbe essere di circa 2 mm.
- Impostare lo specchio regolabile in modo tale che tutti i punti ed eventualmente il modello di interferenza coincidano sullo schermo di osservazione.
- Ruotare nuovamente la lente d'ingrandimento nel fascio e avvitarla saldamente nella posizione, che produce un'immagine praticamente centrale (in riferimento alla luminosità, non agli anelli di interferenza) sullo schermo. Inclinare lo schermo verso le verticali in modo da ottenere un'immagine con luminosità e chiarezza ottimali per l'osservatore.
- Regolare nuovamente di pochissimo lo specchio regolabile, per ottenere gli anelli dell'interferenza al centro dello schermo.

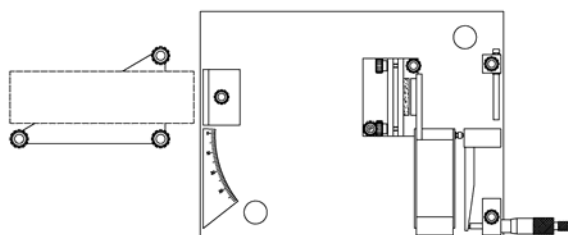


Fig. 6: Struttura dell'esperimento con l'interferometro di Fabry-Perot

7.2 Esecuzione delle misurazioni

- Svitare in senso antiorario la vite del micrometro fino a circa 25 mm, quindi riavvitarla lentamente fino a 20 mm, per evitare imprecisioni di misurazione, che compaiono invertendo il senso di rotazione.
- Serrare di nuovo lentamente la vite del micrometro in senso orario contando il numero m degli anelli che si formano.
- Dopo avere contato almeno 20 anelli, viene letta la vite del micrometro e viene annotato il risultato l_M .
- Per potere valutare eventuali errori durante il conteggio degli anelli, le fasi 1-3 dovrebbero essere ripetute almeno 3 volte.

7.3 Analisi dell'esperimento

- Se ad esempio sono stati contati $m = 40$ anelli e si è misurato $20 \text{ mm} - l_M = 15,13 \text{ mm}$, si ottiene un percorso dello specchio (eccentrico 1:830) pari a $l_s = 12560 \text{ nm}$ e in tal modo la lunghezza dell'onda luminosa (ved. anche le spiegazioni nel paragrafo 5.1.3):

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 628 \text{ nm}$$

U10350 Interferómetro de precisión

U10351 Equipo complementario

Instrucciones de uso

11/04 MH



Índice

- 1 Volumen de suministro, denominación de los componentes
- 2 Aviso de seguridad
- 3 Introducción, datos técnicos
- 4 Operación y mantenimiento
- 5 Interferómetro de Michelson
 - 5.1 Experimento estándar
 - 5.1.1 Montaje experimental
 - 5.1.2 Ejecución de las mediciones
 - 5.1.3 Evaluación del experimento
 - 5.2 Índice de refracción del vidrio
 - 5.2.1 Montaje experimental
 - 5.2.2 Ejecución de las mediciones
 - 5.2.3 Evaluación del experimento
 - 5.3 Índice de refracción del aire
 - 5.3.1 Montaje experimental
 - 5.3.2 Ejecución de las mediciones
 - 5.3.3 Evaluación del experimento
- 6 Interferómetro de Twyman-Green
 - 6.1 Montaje experimental
 - 6.2 Ejecución del experimento e interpretación de las observaciones
- 7 Interferómetro de Fabry-Perot
 - 7.1 Montaje experimental
 - 7.2 Ejecución de las mediciones
 - 7.3 Evaluación del experimento

1. Volumen de suministro, denominación de los componentes

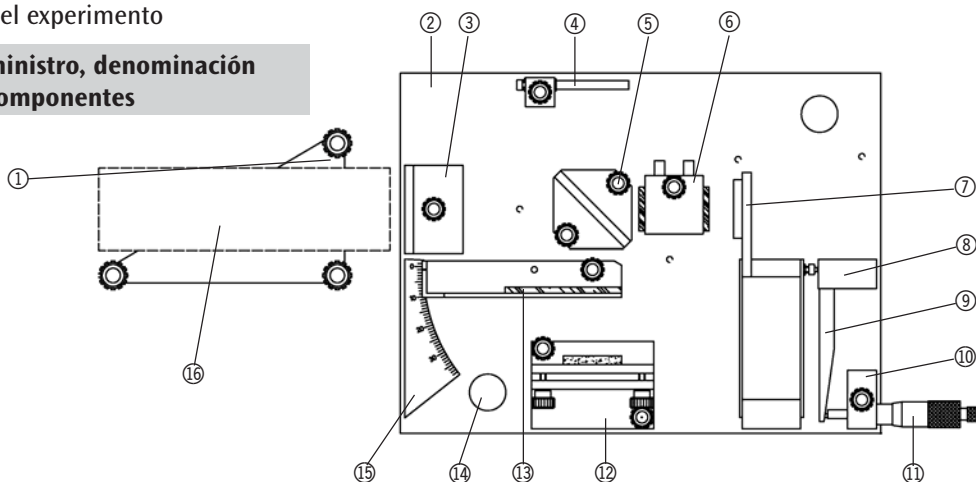


Fig. 1: Volumen de suministro

- | | | | | |
|--|--|---|----------------------------|--------------------------|
| ① Portador de láser | ② Placa base | ③ Lente de ensanchamiento | ④ Pantalla (de proyección) | ⑤ Divisor de haces |
| ⑥ Celda de vacío (del equipo compl.) | ⑦ Espejo de ajuste fino | ⑧ Excéntrico con placa de calibración | ⑨ Brazo del excéntrico | ⑩ Soporte del micrómetro |
| ⑪ Micrómetro | ⑫ Espejo ajustable | ⑬ Placa de vidrio sobre soporte (del equipo complementario) | ⑭ Botón portador | ⑮ Escala angular |
| ⑯ Láser (no forma parte del volumen de suministro) | ⑰ Caja estable de plástico (no visible en la imagen) | | | |

2. Aviso de seguridad

- El interferómetro se debe operar con un láser de He y Ne de la clase 2. Se debe evitar en lo absoluto mirar directamente hacia el rayo láser pues esto puede ocasionar quemaduras en la retina. ¡Las normas de seguridad adjuntas al láser se deben observar de manera estricta!
- El interferómetro se debe emplazar sobre una mesa estable, o en cualquier otro lugar adecuado, de manera que se evite una caída del aparato, lo cual podría provocar heridas en las personas debido al peso del equipo.
- El botón portador ⑭ sirve para elevar el interferómetro, para de esta manera tener un acceso seguro, por debajo, hacia la placa base.
- La máxima presión permitida en la celda de vacío ⑥ es de 200 kPas (2 bar) lo que corresponde a 100 kPas (1 bar) de sobrepresión. En caso de daños presentes en el vidrio de la celda, como por ejemplo rayaduras o grietas, se debe retirar inmediatamente del funcionamiento la celda de vacío, con fines de reparación. En los experimentos con sobrecarga se debe asegurar que ninguna persona se encuentre dentro del área de explosión de la celda. Dado el caso, se debe usar gafas de protección.

3. Introducción, datos técnicos

- En el año 1881, A. Michelson (1852 - 1931) llevó a cabo un experimento en el que un rayo de luz se dividió en dos por medio de un divisor de haces (véase también Fig. 2). Los dos haces fueron reflejados por espejos y superpuestos nuevamente en el divisor de haces, lo cual provoca la formación de interferencias si se tienen diferentes longitudes de onda entre ambos haces (extinción o mayor intensidad). Dado que también diferentes velocidades de luz podrían conducir a la aparición de dicha interferencia entre ambos haces, con este montaje experimental se puede demostrar que no existe el «éter» ni la «materia etérea», puesto que el haz con viento a favor debería ser más rápido que el que soporta viento de través. Además de servir para la comprobación de la no existencia del éter, un interferómetro también se puede emplear para la medición de longitudes de ondas luminosas y, ante longitudes de onda conocidas, para la medición de distancias muy cortas, lo cual, entre otras cosas, es importante para la comprobación de la calidad de superficie de los componentes ópticos.
- Este experimento clásico, así como algunos otros, se puede llevar a cabo por medio del interferómetro de precisión. En detalle, se trata de lo siguiente:
 1. Interferómetro de Michelson
 2. Interferómetro de Fabry-Perot
 3. Determinación del índice de refracción del vidrio*
 4. Determinación del índice de refracción del aire**
 5. Test de Twyman-Green para componentes ópticos (cualitativo, no cuantitativo)*

* con equipo complementario (celda de vacío y placa base sobre soporte giratorio)

** con equipo complementario y bomba de vacío

- Gracias a las posiciones predeterminadas de los componentes, se posibilita un rápido montaje de los diferentes experimentos.

Descripción y datos técnicos

- Placa base de gran tamaño, pesada, rígida a la flexión, para mediciones precisas y reproducibles: 245x330x25 mm, 5,5 kg.
- Componentes ópticos de gran tamaño para imágenes de interferencia claras y nítidas. (40 mm Ø ó bien 40x40 mm).
- Espejo de superficie: Paso de radiación de 15%, reflexión 85% ante rayos de incidencia perpendicular.
- Divisor de haces extremadamente plano: Lado frontal $1/10 \lambda$, lado posterior $1/4 \lambda$. Paso de radiación de 50%, reflexión 50% con ángulo de incidencia de 45° , lado posterior antirreflexivo.
- Ajuste del espejo cómodo para el usuario, gracias a apoyo excéntrico de aprox. 1:1000 (una marca en el micrómetro corresponde a un desplazamiento del espejo de aprox. 10 nm) con una precisión dependiente de la fabricación de $\pm 30\%$. La relación del ajuste del micrómetro, medida tras la fabricación, para el ajuste del espejo, se encuentra indicada en la placa de calibración, por ejemplo, con $1 \text{ mm} \triangleq 830 \text{ nm}$. Si se utiliza esta indicación, la medición de longitudes de onda debe tener una precisión mínima de $\pm 5\%$ (desviación de linealidad y otros errores).
- Por medio de la pantalla de proyección de inclinación ajustable, con capacidad de reflexión, también se pueden realizar experimentos a la luz del día (sin radiación solar directa).

4. Operación y mantenimiento

- **Montaje del láser:** En primer lugar, se debe montar el láser en el portador de láser. Dado que el portador ha sido concebido para diferentes tipos de láser, posee tres perforaciones para tornillos avellanados (M5 ó M6), de los cuales, normalmente, sólo se necesita uno. La perforación correcta para el láser dado se determina a partir del centro de gravedad del láser y de sus posibilidades de fijación. Después del montaje, el centro de gravedad del láser se debe encontrar un poco por encima de la perforación media. La altura necesaria sobre la placa de trabajo del rayo de luz es de 60 - 62 mm. Si el rango de ajuste de los tornillos moleteados no resulta suficiente, se debe montar un anillo distanciador, u otro elemento similar, por debajo del láser. La longitud de los tornillos de fijación se debe seleccionar de manera que ni la carcasa del láser ni sus componentes internos se destruyan. Para ello, en primer lugar, se determina necesariamente la máxima profundidad posible de inserción de los tornillos en el alojamiento de láser y, a continuación, se selecciona un tornillo cuya rosca sobresalga menos de aprox. 2 mm del portador de

láser (el suministro incluye un tornillo y una rosca de cuatro cantos adecuadas para las ranuras comunes).

- **Divisor de haces:** El cristal del divisor de haces es antirreflexivo en uno de sus lados y, por el otro, está provisto de una capa 50% transparente, la cual está rotulada por medio de un triángulo, el cual también aparece en las ilustraciones de los arreglos experimentales.
- **Transporte, almacenamiento:** Al igual que en el estado de suministro, para el transporte y almacenamiento, el brazo del excéntrico ⑨ se debe encontrar siempre en el zócalo del espejo de ajuste fino ⑦, de esta manera se evitan puntos de presión sobre el excéntrico con giro de precisión.
- **Limpieza y mantenimiento del excéntrico:** El excéntrico de latón torneado hace presión sobre una bola de acero pulida del soporte del espejo de ajuste fino. Ante la presencia de polvo u otras impurezas, puede ocurrir que el ajuste del espejo no sea ya homogéneo sino que se vaya «hacia atrás». En este caso, se debe desatornillar el zócalo del excéntrico ⑩ (las cabezas de los tornillos se encuentran por debajo de la placa base ②) para limpiar el excéntrico de latón así como la bola de acero. Para el efecto, se debe emplear un paño suave, humedecido, dado el caso, con gasolina de lavado, acetona, u otro elemento similar. Durante el montaje del excéntrico se debe observar que se ejerza una leve presión sobre la bola de acero. Después del montaje se debe aplicar una gota de aceite libre de resina (aceite de máquina de coser o de armas) en el punto de contacto entre el excéntrico y la bola de acero.
- **Limpieza de los componentes ópticos de vidrio:** El espejo de superficie, el divisor de haces, la lente de ensanchamiento y las placas de la celda de vacío se pueden frotar con un paño suave, el cual, dado el caso, puede estar humedecido en etanol (alcohol). ¡Al hacerlo no se debe frotar ejerciendo presión! Resulta mejor trabajar con mucho alcohol y poco esfuerzo. La placa de vidrio que se encuentra sobre el soporte ⑬ sólo se debe limpiar en seco (dado el caso, soplar sobre ella), puesto que de lo contrario se despegarían las franjas de película adhesible (experimento de Twyman-Green).

5. Interferómetro de Michelson

5.1 Experimento estándar

5.1.1 Montaje experimental

- El montaje de los componentes sobre la placa base está representado en la Fig. 2. En la siguiente descripción del montaje, se parte del supuesto de que se deben llevar a cabo todos los ajustes básicos.
- Atornillar el láser de He y Ne al portaláser (véase instrucciones de servicio para el montaje de láser) y colocarlo aproximadamente derecho delante de la lente de ensanchamiento.
- Retirar el espejo ajustable y el divisor de haces y

fijar la lente de ensanchamiento derecha sobre la placa base.

- Ajustar el láser de manera que el rayo reflejado por el espejo de ajuste fino retorne al centro de la lente de ensanchamiento.
- Aflojar el tornillo moleteado de la lente de ensanchamiento e inclinar la lente apartándola aproximadamente 90° del rayo láser.
- Montar el espejo ajustable y ajustarlo con los tornillos de ajuste de manera que la distancia entre la placa portadora del espejo y el soporte propiamente dicho sea igual en todo el perímetro (5 a 6 mm).
- En principio, atornillar levemente el divisor de haces, con el lado reflector en dirección de la división angular, y girarlo dentro de los límites más estrechos posibles para que los puntos más claros que se visualizan en la pantalla de proyección se encuentren, aproximadamente, en línea vertical. A continuación atornillar fijamente el divisor de haces.
- Mover el espejo ajustable por medio de los tornillos de ajuste hasta que los dos puntos más claros que se observan en la pantalla se cubran exactamente. Aquí ya se debe presentar interferencia, lo cual se puede notar por un centelleo.
- Girar nuevamente la lente de ensanchamiento hacia el rayo y atornillarla fijamente en la posición en la que se forma una imagen aproximadamente central en la pantalla (en relación a la claridad, no a los aros de interferencia). Inclinar la pantalla frente a las verticales de manera que el observador pueda visualizar una imagen luminosa y clara.
- Ajustar todavía de manera mínima el espejo de manera que los aros de interferencia se encuentren en la mitad de la pantalla.

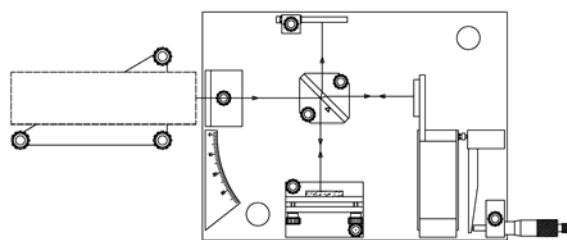


Fig. 2: Montaje experimental interferómetro de Michelson

- En este montaje los tiempos de paso de luz son casi iguales, lo que conduce a la aparición de distancias amplias y perfectamente observables entre los aros de interferencia. No obstante, condicionado por esto, también se produce una distorsión elíptica de los aros (también para tiempos de paso de luz exactamente iguales de los haces centrales se obtienen patrones de interferencia en la pantalla, con forma hiperbólica). Se puede girar 180° el divisor de haces para obtener aros casi circulares.

5.1.2 Ejecución de las mediciones

- Girar hacia fuera el tornillo micrométrico, en sentido antihorario, hasta aprox. 25 mm y luego volver a atornillarlo hasta 20 mm, para evitar imprecisiones de medida las cuales aparecen al variar el sentido giro.
- Volver a girar lentamente el tornillo micrométrico en sentido horario y contar la cantidad m de aros que aparecen. Para juzgar si ha aparecido un aro completo, se puede emplear la escala impresa sobre la pantalla de observación. Durante la medición, en lo posible, no debe entrar aire de la respiración en la trayectoria de los rayos, puesto que las modificaciones de la densidad del aire se vuelve directamente perceptibles por medio de aros de interferencia «errantes».
- Una vez que se hayan contado por lo menos 20 aros (mientras mayor sea la cantidad mayor será la exactitud de la medición) se lee la indicación en el tornillo micrométrico y se anota el resultado I_M .
- Para poder evaluar los posibles errores en el conteo de los aros, se deben repetir los pasos 1 – 3 por lo menos 3 veces.

5.1.3 Evaluación del experimento

- Si, por ejemplo, durante la primera medición se contó un número de aros $m = 30$, y se obtuvo como resultado $20 \text{ mm} - I_M = 11,76 \text{ mm}$, entonces se obtiene, tomando en cuenta una reducción de, por ejemplo 1:830, un desplazamiento de espejo de $I_S = 9761 \text{ nm}$ y, por tanto, la longitud de onda es igual a:

$$\lambda = \frac{2 I_S}{m} = 651 \text{ nm}$$

- Los resultados de todas las mediciones no deben desviarse más allá del 2 % si se realiza una cuidadosa ejecución del experimento. Si se determinan grandes divergencias, puede ser necesaria una limpieza del excéntrico (véase apartado 3, limpieza y mantenimiento del excéntrico).
- El resultado de medición de longitud de onda debe tener una exactitud de, por lo menos $\pm 5\%$. Es posible realizar una comprobación con un láser de longitud de onda conocida (láser de He y Ne: $\lambda = 632,8 \text{ nm} = 632,8 \text{ nm}$).

5.2 Índice de refracción del vidrio

5.2.1 Montaje experimental

- El montaje experimental corresponde, en principio, al del experimento estándar (véase apartado 5.1.1). A continuación, se lleva la placa de vidrio con el soporte giratorio, de acuerdo con la Fig. 3, hacia el haz parcial delantero y se vuelve a ajustar mínimamente el espejo, para visualizar los aros de interferencia en el centro de la pantalla.

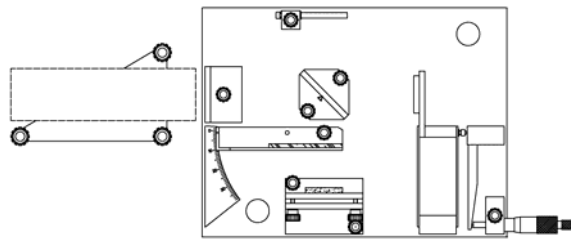


Fig. 3: Montaje experimental para la medición del índice de refracción del cristal

- Si ahora la placa de vidrio gira de ida y vuelta en un rango de aproximadamente 0° , el paso entre los aros de interferencia que aparecen y los que desaparecen, debe encontrarse exactamente a 0° . Si éste no es el caso, entonces el divisor de haces no se encuentra exactamente en un ángulo de 45° en relación al espejo de ajuste fino. Dado que es prácticamente imposible obtener una alineación exactamente perfecta del divisor de haces, se anota el ángulo ϕ_0 , en el que se origina el paso de los aros de interferencia que aparecen y los que desaparecen. Para la evaluación se resta este ángulo del valor de medida ϕ_M para obtener el ángulo de giro ϕ real.

5.2.2 Ejecución de las mediciones

- Se gira lentamente la placa de vidrio, partiendo del ángulo ϕ_0 . Al hacerlo, se cuenta el número m de aros que desaparecen. Mientras mayor sea el ángulo de giro, menor será la modificación angular que conduce a la desaparición de un aro. Por esta razón, para llegar a contar algo más de 20 aros se necesita obrar con un pulso manual seguro.

5.2.3 Evaluación del experimento

- Por medio del ángulo ϕ (p. ej. $5,4^\circ$), la cantidad m de aros medidos (p. ej. 20), la longitud de onda λ (en el aire) del láser empleado (p. ej. 633 nm) y la densidad del cristal t (en este caso, 4 mm) se obtiene, según el índice de Andrews¹⁾, el índice de refracción n_G del vidrio:

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos\phi) + \left(\frac{m^2\lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos\phi) - m\lambda} = 1,55$$

- Si se comparan los resultados propios con los indicados por la literatura, se debe tener siempre en cuenta que el índice depende de la longitud de onda, y que, correspondientemente, sólo se deben comparar valores en la misma longitud de onda.

5.3 Índice de refracción del aire

5.3.1 Montaje experimental

- En principio, el montaje experimental corresponde al del experimento estándar (véase también el apartado 5.1.1) con la diferencia de que para este

1) C. L. Andrews, Optics of the Electromagnetic Spectrum, Prentice-Hall, 1960

experimento, necesariamente, la capa reflectora del divisor de haces debe estar dirigida hacia la derecha. A continuación, se lleva la celda de vacío hacia el haz parcial derecho, de acuerdo con la Fig. 4, y el espejo ajustable se reajusta mínimamente para que los aros de interferencia aparezcan en la mitad de la pantalla.

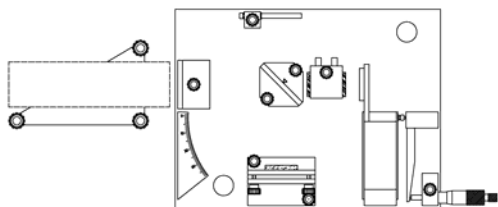


Fig. 4: Montaje experimental para la medición del índice de refracción del aire

5.3.2 Ejecución de las mediciones

- La bomba de vacío se conecta a la celda de vacío y se anota la presión visualizada p . A continuación, se evacua lentamente la celda y se realiza el conteo del número m de aros que desaparecen. Se anota la presión y la cifra correspondiente en periodos regulares de tiempo. Cuando se ha alcanzado la presión mínima (aprox. 10 kPas, con una bomba de mano sencilla), se vuelve a llenar de aire la celda de vacío. Ahora se puede realizar una serie de medición con sobrepresión (hasta máx. 200 kPas lo que corresponde a 1 bar de sobrepresión).

5.3.3 Evaluación del experimento

- Con una presión $p = 0$, el índice de refracción es $n(p = 0) = 1$. Si la presión aumenta, el índice de refracción asciende de acuerdo con:

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

- Para la determinación del índice de refracción bajo presión normal, se debe determinar, en primer lugar, el incremento $\Delta n / \Delta p$. Para la primera alimentación es válido:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

- En donde m es la cantidad de aros emergentes o la de los que desaparecen, λ es la longitud de onda e l_z es la longitud interior de la celda de vacío (en este caso, 41 mm). Si, por ejemplo, para una disminución de presión de alrededor de $\Delta p = 90$ kPas se determinó la correspondiente $\Delta m = 25$, entonces se obtiene $\Delta n / \Delta p = 2,14 \times 10^{-9}$ 1/Pas.
- Por tanto, el índice de refracción del aire bajo presión ambiental (100 kPas) es igual a $n = 1,00021$. En la literatura²⁾ se encuentra el valor $n = 1,00029$.

6. Interferómetro de Twyman-Green

- Con este experimento se puede determinar la calidad de superficie de los componentes ópticos. Normalmente, se conoce como interferómetro de Twyman-Green un interferómetro en el que el rayo luminoso (láser) es ensanchado y paralelo. Para la comprensión cualitativa del principio de funcionamiento, se puede emplear también – como se ha hecho en los experimentos realizados hasta ahora – un haz de luz ensanchado pero no paralelo.

6.1 Montaje experimental

- A manera de superficie óptica defectuosa, se emplea una película adhesiva transparente, la cual se encuentra pegada sobre una placa de cristal y que, a simple vista, parece completamente homogénea.
- El montaje experimental corresponde, en principio, al del experimento estándar (véase apartado 5.1.1). A continuación, se lleva la placa de vidrio, con el soporte giratorio, de acuerdo con la Fig. 5, hacia el haz parcial delantero y se vuelve a ajustar mínimamente el espejo, para visualizar los aros de interferencia en el centro de la pantalla.

6.2 Ejecución del experimento e interpretación de las observaciones

- En el lado derecho de la pantalla se observan, al igual que en el experimento 5.1, aros de interferencia homogéneos. Por el contrario, en el lado izquierdo, los aros presenta deformaciones y, parcialmente, se encuentran puntos claros en las áreas propiamente oscuras y viceversa. Dado que por el experimento 5.2 es conocido que incluso muy pequeñas variaciones de la densidad de una superficie (lo que se logró en el experimento 5.2 al girar la placa de vidrio) conducen a un desplazamiento de los aros de interferencia, se debe suponer que, aquí, las distorsiones de los aros se deben a la superficie no homogénea y montañosa de la película adhesiva.

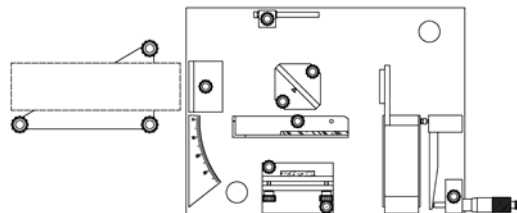


Fig. 5: Montaje experimental para medición de la calidad de superficie de componentes ópticos

2) H. Stöcker, Taschenbuch der Physik, Deutsch, 1998

7. Interferómetro de Fabry-Perot

7.1 Montaje experimental

- El montaje de los componentes sobre la placa base está representado en la Fig. 6. En la siguiente descripción del montaje, se parte del supuesto de que se deben llevar a cabo todos los ajustes básicos.
- Atornillar el láser de He y Ne al portaláser (véase instrucciones de servicio para el montaje de láser) y colocarlo aproximadamente derecho delante de la lente de ensanchamiento.
- Retirar el espejo ajustable y la lente de ensanchamiento y colocar el láser delante de la placa base con un leve giro alrededor del eje vertical. A continuación, ajustar la inclinación del láser de manera que el haz parcial reflejado de retorno en el láser se encuentre a la misma altura del haz emitido. Si ahora se vuelve a colocar el láser en posición recta delante de la placa base, se deben observar dos puntos en la pantalla de proyección, los cuales se deben ajustar hasta que se cubran.
- Llevar la lente de ensanchamiento a la trayectoria del rayo y, dado el caso, ajustar la altura del rayo girando homogéneamente los 3 tornillos moleteados. A continuación, dado el caso, volver al paso 2. (Ahora, eventualmente, ya se pueden ver débiles aros de interferencia en la pantalla, dado que el lado del cristal propiamente transparente del espejo de ajuste fino también presenta mínimas reflexiones).
- Girar otra vez aproximadamente 90° la lente de ensanchamiento desde el rayo láser.
- Montar el espejo ajustable con sumo cuidado. La distancia entre los dos espejos debe ser de aproximadamente 2 mm.
- Colocar el espejo ajustable de manera que todos los puntos y, dado el caso el patrón de interferencia, se junten sobre la pantalla de proyección.
- Girar nuevamente la lente de ensanchamiento hacia el rayo y atornillarla fijamente en la posición en la que se forma una imagen aproximadamente central en la pantalla (en relación a la claridad, no a los aros de interferencia). Inclinar la pantalla frente a las verticales de manera que el observador pueda visualizar una imagen luminosa y clara.

- Ajustar todavía de manera mínima el espejo de manera que los aros de interferencia se encuentren en la mitad de la pantalla.

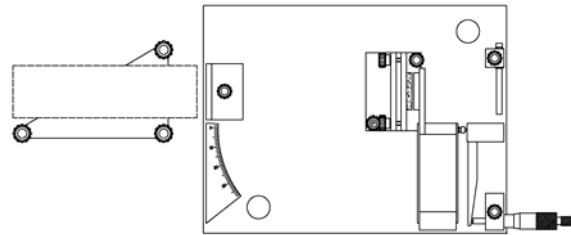


Fig. 6: Montaje experimental interferómetro de Fabry-Perot

7.2 Ejecución de las mediciones

- Girar hacia fuera el tornillo micrométrico, en sentido antihorario, hasta aprox. 25 mm, y luego volver a atornillarlo hasta 20 mm, para evitar imprecisiones de medida, las cuales aparecen al variar el sentido giro.
- Volver a girar lentamente el tornillo micrométrico en sentido horario y contar la cantidad m de aros que aparecen.
- Una vez que se hayan contado por lo menos 20 aros, se lee el valor indicado en el tornillo micrométrico y se anota el resultado obtenido para l_m .
- Para poder evaluar los posibles errores en el conteo de los aros, se deben repetir los pasos 1 - 3 por lo menos 3 veces.

7.3 Evaluación del experimento

- Si, por ejemplo, se contó un número de aros $m = 40$ y se midió $20 \text{ mm} - l_m = 15,13 \text{ mm}$, entonces se obtiene un desplazamiento de espejo (excéntrico 1:830) de $l_s = 12560 \text{ nm}$ y, por tanto, una longitud de onda (véase también la explicación del apartado 5.1.3):

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 628 \text{ nm}$$

U10350 Interferômetro de precisão

U10351 Kit complementar

Manual de instruções

11/04 MH



Índice de matéria

- 1 Fornecimento, descrição dos componentes
- 2 Indicações de segurança
- 3 Introdução, dados técnicos
- 4 Instruções de uso e manutenção
- 5 Interferômetro de Michelson
 - 5.1 Experiência padrão
 - 5.1.1 Montagem da experiência
 - 5.1.2 Execução das medições
 - 5.1.3 Análise da experiência
 - 5.2 Índice de refração do vidro
 - 5.2.1 Montagem da experiência
 - 5.2.2 Execução das medições
 - 5.2.3 Análise da experiência
- 5.3 Índice de refração do ar
 - 5.3.1 Montagem da experiência
 - 5.3.2 Execução das medições
 - 5.3.3 Análise da experiência
- 6 Interferômetro de Twyman-Green
 - 6.1 Montagem da experiência
 - 6.2 Execução da experiência e interpretação do que foi observado
- 7 Interferômetro de Fabry-Perot
 - 7.1 Montagem da experiência
 - 7.2 Execução das medições
 - 7.3 Análise da experiência

1. Fornecimento, descrição dos componentes

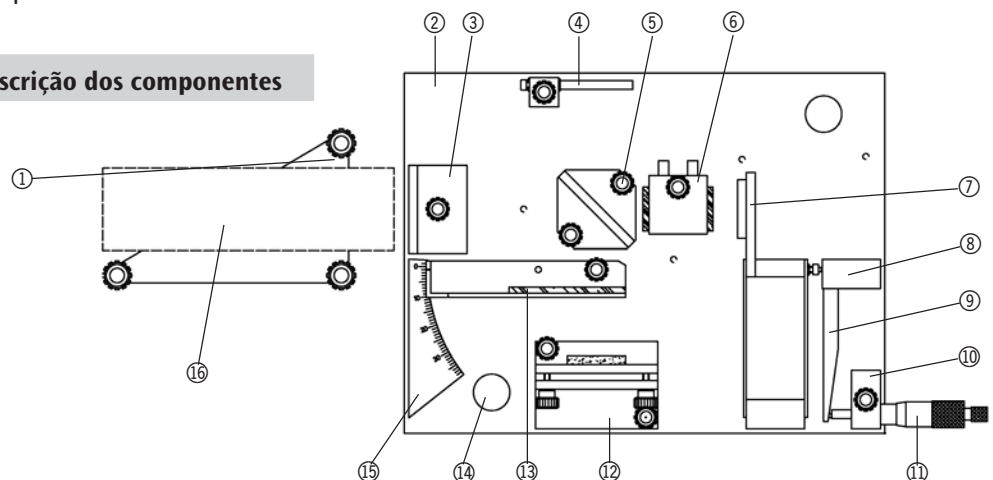


Fig. 1: fornecimento

- | | | | | |
|--|-----------------------------|---|-------------------------|----------------------------|
| ① Suporte para laser | ② Placa base | ③ Lente de ampliação | ④ Tela (de observação) | ⑤ Conductor de feixe |
| ⑥ Célula de vácuo
(no kit complementar) | ⑦ Espelho de
ajuste fino | ⑧ Excêntrico com etiqueta
de calibragem | ⑨ Braço do excêntrico | ⑩ Suporte do
micrômetro |
| ⑪ Micrômetro | ⑫ Espelho ajustável | ⑬ Placa de vidro sobre suporte
(no kit complementar) | ⑭ Punho para transporte | ⑮ Escala angular |
| ⑯ Laser (não incluído no fornecimento) | | ⑰ Caixa de armazenamento de matéria plástica resistente (não reproduzida) | | |

2. Indicações de segurança

- O interferômetro deve ser utilizado com um laser He-Ne de classe 2. Olhar diretamente para o feixe do laser pode levar a queimaduras da retina e não deve acontecer. As regras de segurança que acompanham o laser devem ser estritamente respeitadas!
- O interferômetro deve ser montado sobre uma mesa estável ou um outro lugar apropriado de modo a que não possa cair e eventualmente ferir alguém com o seu peso.
- Os punhos de transporte ⑭ servem para levantar o interferômetro de forma a poder pegar a placa base com segurança.
- A pressão máxima admitida na célula de vácuo ⑥ é de 200 kPas (2 bar), correspondendo a 100 kPas (1 bar) de sobrepressão. Em caso de danos no vidro da célula, como por exemplo, arranhões e fissuras, deve-se interromper o uso da célula e enviá-la ao conserto. Em experiências com a sobrepressão, deve-se assegurar-se de que nenhuma pessoa se encontra no raio de explosão da célula nesse momento. Caso necessário, utilize óculos de proteção.

3. Introdução dados técnicos

- No ano de 1881, A. Michelson (1852 - 1931) realizou uma experiência na qual um feixe era dividido em dois feixes por meio de um condutor de feixe (veja também Fig. 2). Os dois feixes foram refletidos por espelhos e sobrepostos no condutor de feixe, sendo que no caso de diferenças de comprimentos de onda entre os feixes ocorre interferência (redução ou fortalecimento). Posto que diferentes velocidades da luz nos dois feixes levariam à interferência, pode-se demonstrar com a experiência que não existia o “éter”, ou “vento etéreo”, já que o feixe com vento a favor seria então mais rápido que o feixe com vento lateral. Além da comprovação de que o éter não existe, o interferômetro pode ser utilizado para medir comprimentos de onda da luz, ou quando o comprimento de onda é conhecido, para a medição de distâncias extremamente curtas, o que é de suma importância, entre outros, no campo da verificação da qualidade de superfícies na construção de peças ótica.
- Estas experiências clássicas e mais outras podem também ser realizadas com o interferômetro de precisão. Em detalhe, estas são:
 1. Interferômetro de Michelson
 2. Interferômetro de Fabry-Perot
 3. Determinação do índice de refração do vidro *
 4. Determinação do índice de refração do ar **
 5. Teste de Twyman-Green para componentes óticos (qualitativo, não quantitativo) *

* com kit complementar (célula de vácuo e placa de vidro sobre suporte giratório)

** com kit complementar e bomba de vácuo

- Graças às posições pré-determinadas dos componentes, a alteração na montagem para as diferentes experiências, é fácil e rápida de ser realizada.

Descrição dados técnicos

- Placa base pesada, rígida, para medições precisas e reprodutíveis: 245x330x25 mm, 5,5 kg.
- Componentes óticos grandes para imagens de interferência claras e definidas: (40 mm Ø, ou seja 40x40 mm).
- Espelho de superfície: transparência 15%, reflexão 85% com o feixe incidindo perpendicularmente.
- Divisor de feixe extremamente plano: lado frontal $1/10 \lambda$, lado posterior $1/4 \lambda$. Transparência 50%, reflexão 50% com um ângulo de incidência de 45° , parte de trás não espelhada.
- Ajuste de fácil manuseio dos espelhos graças à transmissão do excêntrico de aprox. 1:1000 (uma marca no micrômetro corresponde a um movimento de aprox. 10 nm do espelho) com uma precisão determinada pelo modo de fabricação de $\pm 30\%$. A relação entre a posição no micrômetro e o ajuste do espelho que foi medida após a fabricação está indicada na placa de calibragem, por exemplo, como $1 \text{ mm} \triangleq 830 \text{ nm}$. Utilizando esta indicação a medição de onda deve-se chegar a uma precisão de no mínimo $\pm 5\%$ (desvio linear e outros fatores de erro).
- Graças à tela refletora de inclinação ajustável as experiências podem também ser executadas à luz do dia (sem incidência direta da luz solar).

4. Instruções de uso e manutenção

- **Montagem do laser:** primeiro deve-se montar o laser no seu suporte. Como o suporte para laser é feito para diferentes tipos de laser, ele tem três perfurações para parafusos de inserção (M5 ou M6), das quais geralmente só uma será útil. A perfuração certa para cada laser é identificada pelo ponto de equilíbrio do laser e suas possibilidades de fixação. Após a montagem, o ponto de equilíbrio do laser deveria estar aprox. sobre a perfuração mediana. A altura necessária do feixe sobre a placa de trabalho é de 60 a 62 mm. Quando a área de ajuste do parafuso de ajuste não for suficiente, deverá montar-se um anel distanciador apropriado, ou semelhante, por baixo do laser. O comprimento do parafuso de fixação deve ser escolhida de modo que a armação do laser ou componentes internos não sejam danificados. Para tal, deve-se primeiro verificar qual é a profundidade máxima de inserção do parafuso no orifício de recepção do laser, e logo escolhe-se o parafuso correspondente, cuja rosca deve sobressair uns 2 mm do suporte de laser (um parafuso e uma porca de quatro lados adaptada aos entalhes normais acompanham o conjunto).

- **Divisor de feixe:** O vidro do divisor de feixe é não espelhado de um lado e do outro lado está coberto com uma camada com uma transparência de 50%, a qual está indicada com um triângulo que também de encontra nas ilustrações das montagens.
- **Transporte, armazenamento:** como no estado em que é fornecido, o braço do excêntrico ⑨ deve sempre ser colocado na base do espelho de ajuste fino ⑦, para evitar de amassar o excêntrico de alta precisão.
- **Limpeza e manutenção do excêntrico:** o excêntrico, que é feito de latão, empurra uma esfera de aço polido no suporte do espelho de ajuste fino. Por causa de poeira e outras sujeiras pode acontecer que o ajuste do espelho não ocorra mais de modo contínuo, mas com “saltinhos”. Neste caso, deve-se desaparafusar o suporte do excêntrico ⑧ (as cabeças dos parafusos encontram-se na parte de baixo da placa base ②) e limpar o excêntrico de latão assim como a esfera de aço. Para tal, deve-se utilizar um pano suave, eventualmente umedecido com um pouco de gasolina de limpeza, acetona ou semelhante. Ao montar o excêntrico, deve-se garantir que uma leve pressão seja exercida sobre a esfera. Após a montagem, deve-se pôr uma gota de óleo lubrificante (para máquina de costura ou para armas) entre a esfera de aço e o excêntrico.
- **Limpeza dos componentes óticos de vidro:** o espelho de superfície, o condutor de feixe, a lente de ampliação e os discos da célula de vácuo podem ser limpos cuidadosamente com um pano suave, eventualmente umedecido com etanol (álcool caseiro). Ao efetuar a limpeza, nunca esfregar com força! É melhor trabalhar com muito etanol e pouca força. A placa de vidro sobre o suporte ⑬ deve ser limpa só a seco (ou muito pouco úmido), já que senão as listras de filme adesivo (experiência de Twyman-Green) podem ser descolados.

5. Interferômetro de Michelson

5.1 Experiência padrão

5.1.1 Montagem da experiência

- A montagem dos componentes sobre a placa base está representada na Fig. 2. Na descrição da montagem a seguir, parte-se do princípio que os ajustes de base devem ser realizados.
- Aparafusar o laser He-Ne no suporte para laser (veja também as instruções para o uso, montagem do laser) e colocar aproximadamente reto frente à lente de ampliação.
- Retirar o espelho ajustável e fixar a lente de ampliação de pé na placa base.
- Ajustar o laser de modo que o feixe refletido pelo espelho de ajuste fino incida de volta no centro da lente de ampliação.
- Soltar o parafuso de ajuste da lente de ampliação e girar a lente em aprox. 90° em relação ao feixe do laser.

- Montar o espelho ajustável e ajustar com o parafuso de ajuste para que a distância entre a placa espelhada e o próprio suporte seja por toda parte igual (5 - 6 mm).
- Aparafusar, primeiro frouxamente, o condutor de feixe com a parte espelhada para o lado da divisão angular e girá-lo dentro das limitadas possibilidades até que os dois pontos mais claros sobre a tela de observação estejam formados numa linha vertical. Logo, apertar para fixar o divisor de feixe.
- Regular o espelho de ajuste fino com o parafuso de ajuste até que os dois pontos claros na tela se sobreponham exatamente. Sendo que já deve observar-se uma interferência, a qual se manifesta numa cintilação.
- Voltar a fixar a lente de ampliação no feixe e apertar o parafuso na posição que produza uma imagem centrada na tela de observação (em relação à parte mais clara, não dos anéis de interferência). Inclinar a tela em direção ao observador até que resulte uma imagem clara e definida ideal para o observador.
- Ajustar ligeiramente novamente o espelho ajustável, para manter os anéis de interferência bem no meio da tela.

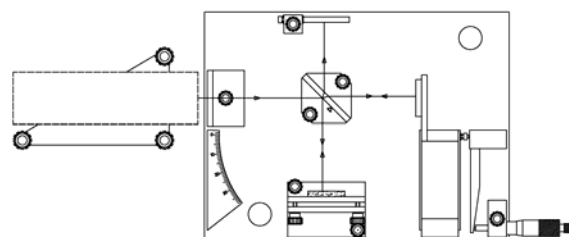


Fig. 2: montagem do interferômetro de Michelson

- As durações da luz nesta experiência são quase idênticas, o que produz distâncias grandes, claras entre os anéis de interferência. Assim porém, ocorre também uma distorção elíptica dos anéis (mesmo com durações de luz idênticas dos feixes centrais ainda surgem imagens de interferência em forma de hipérbole na tela). Para se obter anéis quase perfeitamente esféricos, o condutor de feixe pode ser girado em 180°.

5.1.2 Execução das medições

- Girar o parafuso micrométrico no sentido anti-horário até uns 25 mm para fora e logo voltar a aparafusar cuidadosamente até uns 20 mm, isto para evitar imprecisões que podem ocorrer ao mudar a direção da rotação.
- Girar novamente o parafuso micrométrico no sentido horário e ao fazê-lo, contar o número de anéis que se formam. Para julgar se um anel completo formou-se, pode se utilizar a escala apoiando-a na tela de observação. Durante a medição deve

evitar-se que o ar da respiração atravessasse o feixe, já que a variação na densidade do ar se traduziria imediatamente por anéis de interferência “em movimento”.

- Após de ter contado no mínimo 20 anéis (quantos mais houver, mais precisa será a medição), lê-se o valor no parafuso micrométrico e anota-se o resultado l_M .
- Para poder julgar de possíveis erros ao contar os anéis, deve-se repetir os passos 1 - 3 pelo menos 3 vezes.

5.1.3 Análise da experiência

- Se por exemplo, forem contados na primeira medição $m = 30$ anéis e medidos $20 \text{ mm} - l_M = 11,76 \text{ mm}$, então resulta, levando-se em conta uma redução de por exemplo 1:830, uma distância de espelho de $l_s = 9761 \text{ nm}$ e assim o comprimento de onda correspondente:

$$\lambda = \frac{2 l_s}{m} = 651 \text{ nm}$$

- O resultado de todas as medições, se as experiências forem levadas com cuidado, não deve desviar mais do que 2 % do valor médio. Caso forem observados desvios maiores, pode ser necessária a limpeza do excêntrico (veja parágrafo 3, limpeza e manutenção do excêntrico).
- A medição do comprimento de onda deve ter uma precisão de no mínimo $\pm 5\%$. Uma comprovação é possível caso for utilizado um laser com comprimento de onda conhecido (laser He-Ne: $\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

5.2 Índice de refração do vidro

5.2.1 Montagem da experiência

- A montagem da experiência corresponde num princípio à experiência padrão (veja parágrafo 5.1.1). Depois, coloca-se uma placa de vidro com suporte giratório no feixe parcial anterior como indicado na Fig. 3, e logo ajusta-se levemente o espelho ajustável para manter os anéis de interferência bem no meio da tela.

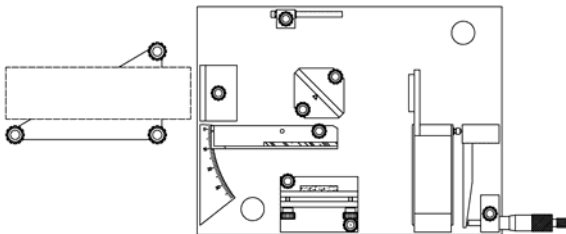


Fig. 3: montagem da experiência de medição do índice de refração do vidro

- Se o placade vidro for movido de um lado para o outro na faixa arredor dos 0° , o ponto de aparecimento e desaparecimento dos anéis de interferência deveria encontrar-se exatamente em 0° . Se este não for

o caso, então o condutor de feixe não se encontra exatamente num ângulo de 45° em relação ao espelho de ajuste fino. Sendo que um ajuste perfeito é impossível na prática, anota-se o ângulo ϕ_0 no qual ocorre a passagem de aparecimento a desaparecimento. No cálculo, deduz-se este ângulo do valor medido ϕ_M para se obter o verdadeiro ângulo de rotação ϕ .

5.2.2 Execução das medições

- Partindo do ângulo ϕ_0 , gira-se lentamente a placa de vidro. Ao fazê-lo, conta-se o número de anéis que desaparecem. Quanto maior for o ângulo de rotação, menor será a variação de ângulo necessária para que desapareça um anel. Por isso, para se chegar à contagem de mais de aprox. 20 anéis, será indispensável ter um pulso muito firme.

5.2.3 Análise da experiência

- Com o ângulo ϕ (por ex. $5,4^\circ$), o número de anéis contados m (por ex. 20), o comprimento de onda λ (no ar) do laser utilizado (por ex. 633 nm) e a espessura t da placa de vidro (neste caso 4 mm), obtém-se segundo Andrews¹⁾ o índice de refração n_G do vidro:

$$n_G = \frac{(2t - m\lambda)(1 - \cos\phi) + \left(\frac{m^2\lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos\phi) - m\lambda} = 1,55$$

- Ao comparar vários resultados com os valores padrão, deve-se sempre levar em conta que o índice de refração é dependente do comprimento de onda e portanto só valores obtidos a partir do mesmo comprimento de onda podem ser comparados.

5.3 Índice de refração do ar

5.3.1 Montagem da experiência

- A montagem da experiência corresponde num princípio à experiência padrão (veja parágrafo 5.1.1), com a diferença que para os fins desta experiência a parte parcialmente refletora do condutor de feixe está virada para trás. Logo coloca-se a célula de vácuo no feixe parcial direito conforme a Fig. 4 e o espelho de ajuste é novamente levemente ajustado para manter os anéis de interferência exatamente no meio da tela.

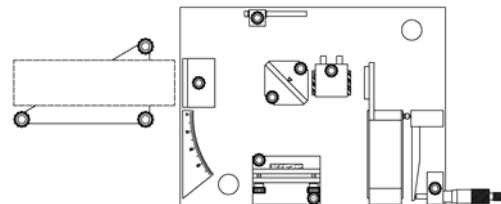


Fig. 4: montagem da experiência de medição do índice de refração do ar

5.3.2 Execução das medições

- A bomba de vácuo é conectada à célula de vácuo e a pressão p indicada é anotada. Logo evacua-se a

1 C. L. Andrews, Optics of the Electromagnetic Spectrum, Prentice-Hall, 1960

célula lentamente e conta-se o número m de anéis que desaparecem. A intervalos regulares anota-se a pressão e o número correspondente. Quando a pressão mínima for atingida (no caso de uma bomba manual simples aprox. 10 kPas), preenche-se a célula de novo com ar. Agora pode-se realizar ainda uma série de medições com sobrepressão (até no máximo 200 kPas correspondendo a uma sobrepressão de 1 bar).

5.3.3 Análise da experiência

- Com pressão $p = 0$ o índice de refração é $n(p = 0) = 1$. Com o aumento da pressão o índice aumenta conforme:

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

- Para se determinar o índice de refração sob pressão normal, então também deve-se primeiro determinar o aumento $\Delta n / \Delta p$. Numa primeira aproximação é válido:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{2l_z} \left| \frac{\Delta m}{\Delta p} \right|$$

- Sendo m o número de anéis desaparecendo ou aparecendo, λ é o comprimento de onda e l_z é o comprimento interno da célula de vácuo (aqui 41 mm). Caso, por exemplo, tenha sido determinado sob uma redução de pressão de aprox. $\Delta p = 90$ kPas o valor $\Delta m = 25$ correspondente, então obtém-se $\Delta n / \Delta p = 2,14 \times 10^{-9} \text{ 1/Pas}$.
- Em conseqüência, o índice de refração do ar sob uma pressão ambiente de (100 kPas) é $n = 1,00021$. Na literatura²⁾ encontra-se o valor $n = 1,00029$.

6. Interferômetro de Twyman-Green

- Com esta experiência, pode-se determinar a qualidade da superfície de componentes óticos. Normalmente, entende-se por interferômetro de Twyman-Green um interferômetro no qual o feixe luminoso do laser é ampliado e paralelo. Para uma compreensão qualitativa da experiência, pode-se no entanto, utilizar um feixe ampliado mas não paralelo.

6.1 Montagem da experiência

- Como exemplo de uma superfície ótica de má qualidade, utiliza-se um filme adesivo transparente que é colocado sobre uma placa de vidro e que a olho nu parece proporcionar uma transparência bem homogênea.
- A montagem da experiência corresponde num princípio à experiência padrão (veja parágrafo 5.1.1). Logo coloca-se a placa de vidro com o suporte rotativo no feixe parcial anterior conforme a Fig. 5 e o espelho de ajuste é novamente levemente ajustado para manter os anéis de interferência exatamente no meio da tela.

6.2 Execução da experiência e interpretação do que foi observado

- Do lado direito da tela de observação vêem-se, como na experiência 5.1, anéis de interferência regulares. Mas do lado esquerdo os anéis estão rasgados e em parte encontram-se pontos claros em partes que deveriam ser escuras e vice-versa. Já que ficou sabido pela experiência 5.2 que mesmo as menores variações na espessura (na experiência 5.2 obtidas pela rotação da placa de vidro) provocam desvios dos anéis de interferência, parece lógico que as deformações nos anéis são provocadas pela superfície irregular, calosa, do filme adesivo.

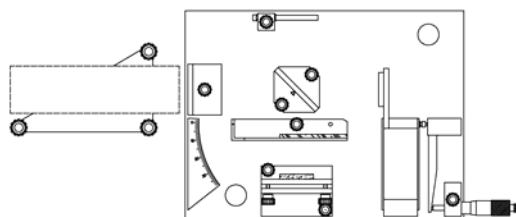


Fig. 5: montagem da experiência de medição da qualidade da superfície de componentes óticos

7. Interferômetro de Fabry-Perot

7.1 Montagem da experiência

- A montagem dos componentes sobre a placa base está representada na Fig. 6. Na descrição da montagem a seguir, parte-se do princípio que os ajustes de base devem ser realizados.
- Aparafusar o laser He-Ne no suporte para laser (veja também as instruções para o uso, montagem do laser) e colocar aproximadamente reto frente à lente de ampliação.
- Retirar o espelho ajustável e a lente de ampliação e colocar o laser girado levemente no eixo vertical na frente da placa base. Logo ajustar a inclinação do laser de modo que o feixe parcial refletido do laser esteja na mesma altura que o feixe emitido. Se o laser for colocado reto novamente frente à placa base devem aparecer dois pontos na tela de observação que podem ser levados a se sobrepor com um pequeno ajuste posterior.
- Colocar a lente de ampliação no percurso do feixe e se for necessário regular a altura dos feixes ajustando os 3 parafusos de modo regular. Depois, caso necessário, retornar a 2. (Eventualmente já aparecem agora uns anéis de interferência fracos sobre a tela, já que o fino vidro e em princípio transparente do próprio espelho de ajuste também produz reflexões mínimas.)
- Inclinarmos a lente de ampliação em 90° a partir do feixe laser.
- Montar muito cuidadosamente o espelho ajustável. A distância entre ambos espelhos deveria ser de aprox. 2 mm.

2) H. Stöcker, Taschenbuch der Physik, Deutsch, 1998

- Colocar o espelho ajustável de modo que todos os pontos ou imagens de interferência coincidam na tela de observação.
- Incliná-la lente de ampliação para o feixe e fixar na posição que produz uma imagem quase mediana (em relação à luminosidade, não aos anéis de interferência) na tela. Incliná-la tela frente às verticais até que seja gerada uma imagem luminosa e clara para o observador.
- Ajustar ligeiramente novamente o espelho ajustável, para manter os anéis de interferência bem no meio da tela.

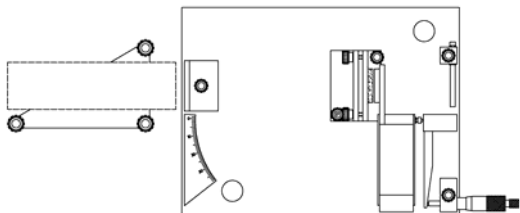


Fig. 6: montagem da experiência do interferômetro de Fabry-Perot

7.2 Execução das medições

- Girar o parafuso micrométrico no sentido anti-horário até uns 25 mm para fora e logo voltar a apa-

rafusar cuidadosamente até uns 20 mm, isto para evitar imprecisões que podem ocorrer ao mudar a direção da rotação.

- Girar novamente o parafuso micrométrico no sentido horário e ao fazê-lo, contar o número de anéis que se formam.
- Após de ter contado no mínimo 20 anéis (quantos mais houver, mais precisa será a medição), lê-se o valor no parafuso micrométrico e anota-se o resultado l_M .
- Para poder julgar de possíveis erros ao contar os anéis, deve-se repetir os passos 1 - 3 pelo menos 3 vezes.

7.3 Análise da experiência

- Se por exemplo, foram contados $m = 40$ anéis e medidos $20 \text{ mm} - l_M = 15,13 \text{ mm}$, então resulta um percurso de espelho (excêntrico 1:830) de $l_s = 12560 \text{ nm}$ e assim o comprimento de onda para (veja também os esclarecimentos no parágrafo 5.1.3):

$$\lambda = \frac{2l_s}{m} = 628 \text{ nm}$$