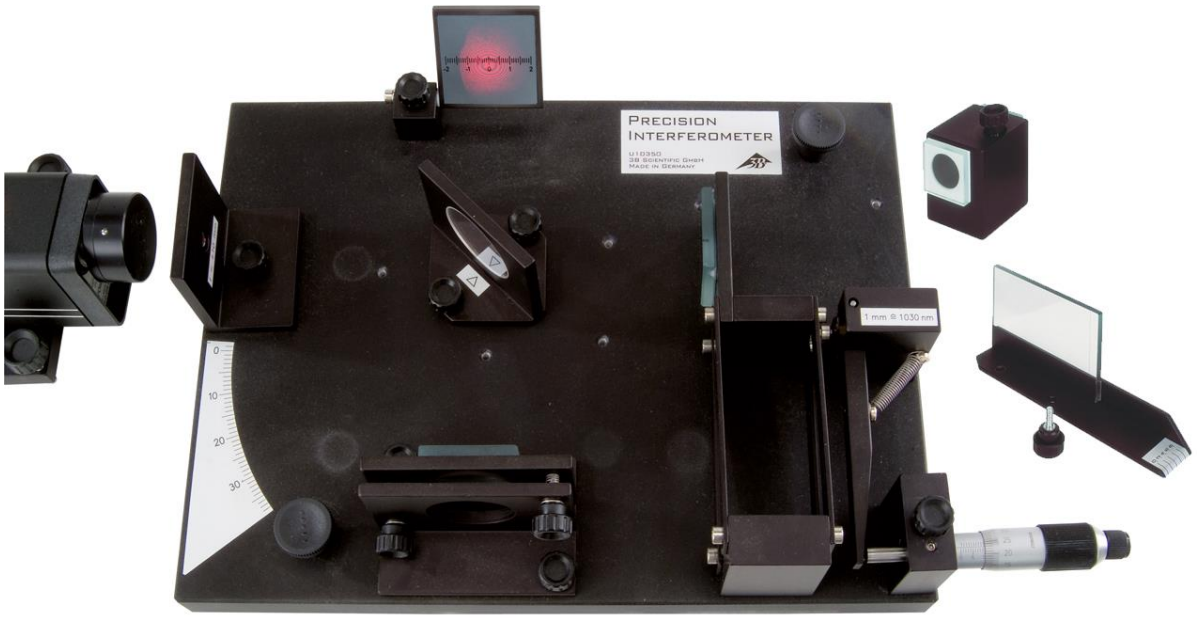
3B SCIENTIFIC® PHYSICS

...going one step further

1002651 Interferometro
1002652 Set aggiuntivo per l'interferometro

Istruzioni per l'uso

11/15 MH



1. Norme di 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), correspondenti 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.

2. Fornitura, Definizione dei componenti

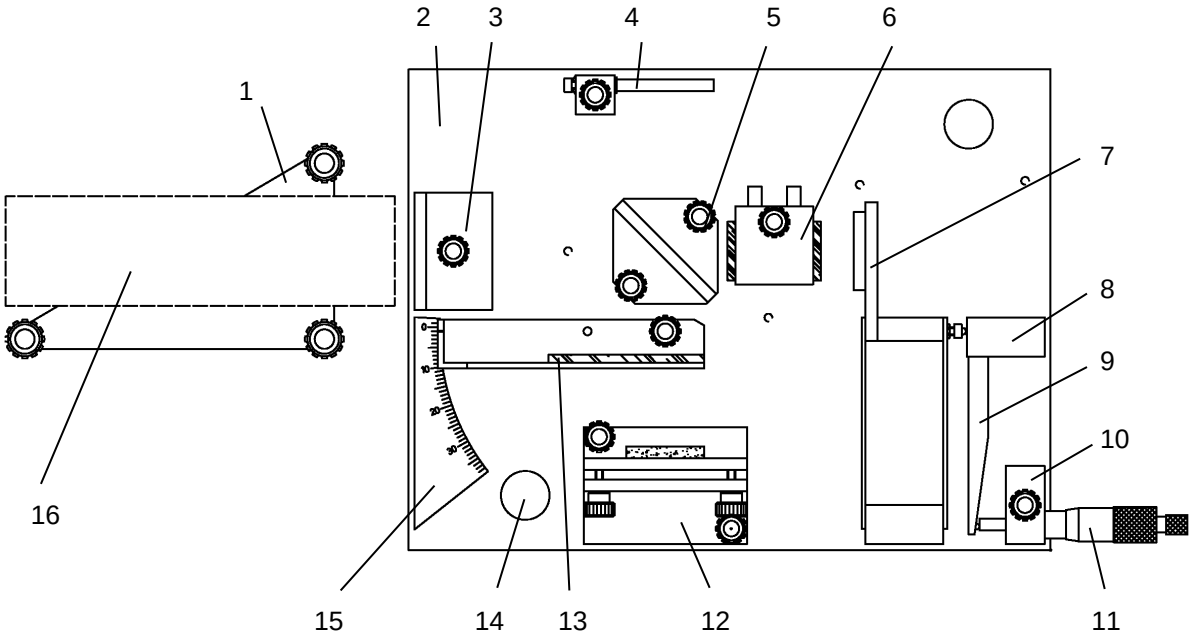


Fig. 1 Fornitura

1 Supporto laser
2 Piastra di base
3 Lente di ingrandimento
4 Schermo (di osservazione)
5 Separatore di raggi
6 Cella a vuoto (nel set aggiuntivo per l'interferometro)
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 set aggiuntivo per l'interferometro)
14 Manopola di trasporto
15 Scala angolare
16 Laser (non fornito in dotazione)
Contenitore in plastica stabile (non raffigurato)

3. Descrizione

Nel 1881 A. Michelson 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 set aggiuntivo per l'interferometro (cella a vuoto e lastra di vetro su supporto girevole)
** con set aggiuntivo per l'interferometro e pompa per vuoto.

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

4. Dati tecnici

- Piastra di base pesante, resistente alla pressione e di grandi dimensioni per misurazioni precise e riproducibili: 245 x 330 x 25 mm³, 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 λ, lato posteriore 1/4 λ. 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 ±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 mm ≙ 830 nm. Utilizzando questa indicazione la misurazione della lunghezza d'onda dovrebbe avere una precisione di almeno ± 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).

5. 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 sola-

mente essere pulita a secco (eventualmente soffiavri sopra), poiché in caso contrario la striscia di adesivo (esperimento di Twyman-Green) può staccarsi.

6. Esperimenti

6.1 Interferometro di Michelson

6.1.1 Struttura dell'esperimento

Sono necessari i seguenti apparecchi:

1	Interferometro	1002651
1	Laser elio-neon	1003165

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 il 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 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 di interferenza al centro dello schermo.

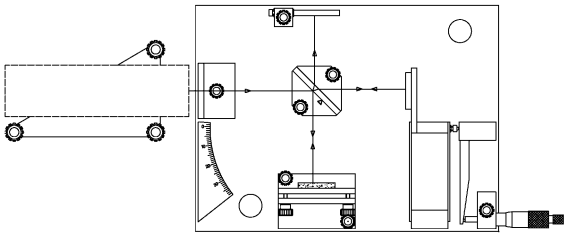


Fig. 2 Struttura dell'esperimento dell'interferometro di Michelson

- 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°.

6.1.2 Esecuzione dell'esperimento

- 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. 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.

6.1.3 Analisi dell'esperimento

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

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

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 5, Pulizia e manutenzione dell'eccentrico). Il risultato della misurazione della lunghezza d'onda dovrebbe avere una precisione di almeno ± il 5%. È possibile una verifica con un laser, la cui lunghezza d'onda è nota (laser elio- neon: λ = 632,8 nm).

6.2 Indice di rifrazione del vetro

6.2.1 Struttura dell'esperimento

Sono necessari i seguenti apparecchi:

1	Interferometro	1002651
1	Laser elio-neon	1003165
1	Set aggiuntivo per l'interferometro	1002652

La struttura dell'esperimento corrisponde inizialmente all'esperimento standard (ved. paragrafo 6.1.1). 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.

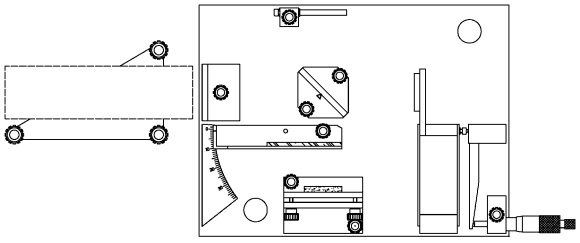


Fig. 3 Struttura dell'esperimento per la misurazione dell'indice di rifrazione del vetro.

- Se la piastra di vetro viene ora leggermente ruotato 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 quel 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.

6.2.2 Esecuzione dell'esperimento

- 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 una anello. Pertanto per il conteggio di più di 20 anelli circa è necessaria una mano molto precisa.

6.2.3 Analisi dell'esperimento

- Con l'angolo ϕ (ad es. 5,4°), il numero di anelli misurati *m* (ad es. 20), la lunghezza dell'onda λ (nel'aria) del laser utilizzato (ad es. 633 nm) e lo spessore della lastra di vetro *t* (in questo caso 4 mm) 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.

6.3 Indice di rifrazione dell'aria

6.3.1 Struttura dell'esperimento

Sono necessari i seguenti apparecchi:

1	Interferometro	1002651
1	Laser elio-neon	1003165
1	Set aggiuntivo per l'interferometro	1002652
1	Pompa manuale per vuoto	1012856
1	Tubo di silicone	1002622

La struttura dell'esperimento corrisponde inizialmente all'esperimento standard (ved. Paragrafo 6.1.1) 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. 4, 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.

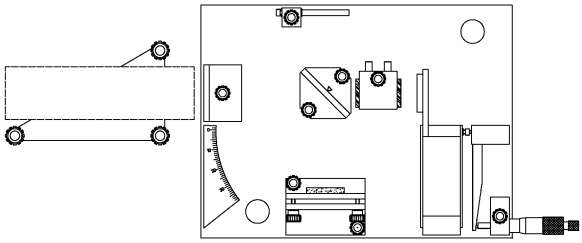


Fig. 4 Struttura dell'esperimento per la misurazione dell'indice di rifrazione dell'aria.

6.3.2 Esecuzione dell'esperimento

- 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).

6.3.3 Analisi dell'esperimento

- Con una pressione $p = 0$ l'indice di rifrazione è $n = 1$. 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:

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

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:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = 2{,}14 \times 10^{-9} \frac{1}{\text{Pas}}$$

- Ne consegue che l'indice di rifrazione dell'aria in presenza di pressione ambiente (100 kPas) è pari a $n = 1{,}00021$. Nella letteratura si trova $n = 1{,}00029$.

6.4 Twyman-Green Interferometer

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.

6.4.1 Struttura dell'esperimento

Sono necessari i seguenti apparecchi:

1	Interferometro	1002651
1	Laser elio-neon	1003165
1	Set aggiuntivo per l'interferometro	1002652
1	Nastro	

- 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 6.1.1). 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.

6.4.2 Esecuzione dell'esperimento

- Sul lato di destra dello schermo di osservazione possono essere visti, allo stesso modo dell'esperimento 6.1, 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 6.2 è noto che già alterazioni minime dello spessore dello strato (nell'esperimento 6.2 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.

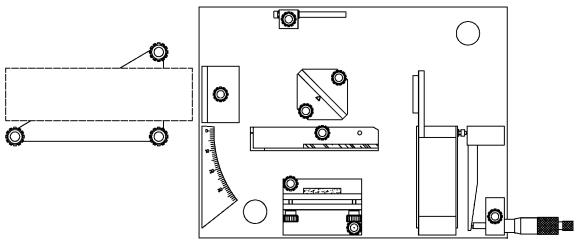


Fig. 5 Struttura dell'esperimento per la misurazione della qualità della superficie di componenti ottici.

6.5 Fabry-Perot Interferometer

6.5.1 Struttura dell'esperimento

Sono necessari i seguenti apparecchi:

1	Interferometro	1002651
1	Laser elio-neon	1003165

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 die raggi luminosi, ed eventualmente, regolare l'altezza del fascio serrando in modo regolare tutte e 3 le viti a testa zigrinata. Quindi, se necessario, ritornare 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.

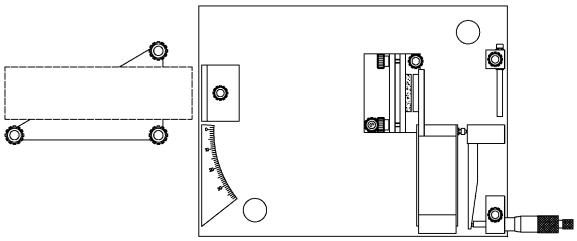


Fig. 6 Struttura dell'esperimento con l'interferometro di Fabry-Perot.

6.5.2 Esecuzione dell'esperimento

- 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.

6.5.3 Analisi dell'esperimento

- Se ad esempio sono stati contati m = 40 anelli e si è misurato 20 mm – l_M = 15,13 mm, si ottiene un percorso dello specchio (eccentrico 1:830) pari a l_S = 12560 nm e in tal modo la lunghezza dell'onda luminosa (ved. anche le spiegazioni nel paragrafo 6.1.3):

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

© Copyright 2015 3B Scientific GmbH