Misura della lunghezza d'onda della luce con gli anelli di Newton

Obiettivo

Osservare gli anelli di Newton prodotti dall'interferenza della luce riflessa tra una lente piano-convessa e una lastra di vetro e, se le immagini e i dati geometrici lo consentono, stimare la lunghezza d'onda della luce utilizzata. L'attività permette anche di valutare i limiti di misura con uno smartphone.

Materiali disponibili e condizioni necessarie

Lente piano-convessa (o lente convessa appoggiata con la faccia curva sulla lastra); • lastra di vetro piana; calibro; smartphone con fotocamera; supporto stabile per il telefono e per la sorgente, se disponibili.

Importante: per calcolare una lunghezza d'onda assoluta serve conoscere il raggio di curvatura R della superficie curva della lente. Se il valore non è inciso sulla lente e non è fornito dal laboratorio, il solo calibro non basta normalmente a determinarlo con buona precisione. In tal caso l'esperimento resta utile per osservare e analizzare gli anelli, ma il valore assoluto di λ sarà solo possibile se si riesce a stimare R con una misura geometrica adeguata o si recupera il dato dal docente/scheda dello strumento.

Per vedere anelli ben contrastati serve una sorgente il più possibile monocromatica (per esempio un LED colorato). Con luce bianca si possono vedere anelli colorati, ma non si ottiene una singola lunghezza d'onda senza isolare una componente spettrale.

Premessa teorica

La lente e la lastra racchiudono un sottile strato d'aria di spessore variabile. La luce riflessa dalle due superfici dell'intercapedine interferisce, creando anelli chiari e scuri. In condizioni ideali, al centro si osserva una macchia scura in luce riflessa.

Per una lente con raggio di curvatura R, quando lo spessore d'aria è piccolo rispetto a R:

$$t \approx r^2/(2R)$$

Per gli anelli scuri in luce riflessa, idealmente $2t = m\lambda$. Combinando le relazioni si ottiene:

$$r_m^2 = m\,\lambda\,R \quad \text{e quindi } \lambda = r_m^2/(mR)$$

Poiché il diametro $D_m = 2r_m$, è spesso più comodo misurare i diametri:

$$D_m^2 = 4\,R\,\lambda\,m$$

Usando due anelli scuri di ordine m e n si può eliminare l'eventuale errore di centratura:

$$\lambda = (D_n^2 - D_m^2) \,/\, [4\,R\,(n - m)]$$

In alternativa, si può tracciare il grafico D_m^2 in funzione di m. Se la retta ha pendenza a, allora $\lambda = a/(4R)$.

Procedura sperimentale

Preparazione. Pulite delicatamente la lastra e la superficie della lente. Appoggiate la lente sulla lastra senza premere: evitate di spostarla durante le misure.
Illuminazione. Illuminate l'apparato con un LED colorato, se disponibile. Provate a illuminare dall'alto e osservate la luce riflessa. Regolate posizione e angolo della sorgente per aumentare il contrasto.

Fotografia. Fissate lo smartphone sopra l'apparato, con la fotocamera il più possibile perpendicolare alla lastra. Evitate zoom digitale, inclinazioni e movimento. Toccate sullo schermo per mettere a fuoco; se possibile bloccate fuoco ed esposizione.

Calibrazione dell'immagine. Fotografate nello stesso piano un riferimento di lunghezza nota, oppure includete nella foto una scala millimetrata posta sul piano della lastra. Il calibro può servire a verificare una distanza nota, ma non mettete le sue ganasce sulla zona degli anelli. Senza una scala nello stesso piano, i pixel non possono essere convertiti con affidabilità in millimetri.

Scelta degli anelli. Aprite la fotografia e individuate il centro approssimativo. Scegliete anelli scuri ben visibili, non troppo vicini al centro né al bordo dell'immagine. Numerateli in modo coerente, partendo dal primo anello scuro distinguibile; registrate l'ordine m assegnato.

Misura dei diametri. Per ogni anello misurate il diametro passando per il centro: potete misurare due distanze opposte dal bordo al bordo e farne la media. Se un'app consente di leggere distanze in pixel, annotate i diametri in pixel e convertiteli con il fattore di calibrazione. Ripetete la lettura almeno due volte.

Analisi. Calcolate D^2 per ogni anello. Se conoscete R, ricavate λ con la formula a due anelli oppure, meglio, dalla pendenza del grafico D^2 contro m. Confrontate i risultati ottenuti scegliendo coppie diverse di anelli.

Nota pratica: se gli anelli non sono visibili, provate una sorgente più puntiforme o un'illuminazione diversa, riducete i riflessi ambientali e stabilizzate il telefono. Non forzate la lente sulla lastra: la pressione può modificare il contatto e la figura d'interferenza.

Tabella delle osservazioni

Annotate il colore/sorgente usata e come avete calibrato la fotografia.

Sorgente/colore	Scala di calibrazione	Fattore (mm/pixel)	R della lente (m) e origine del dato
_____	_____	_____	_____

Misure dei diametri degli anelli scuri:

Ordine m	Diametro 1	Diametro 2	Diametro medio D (mm)	D^2 (mm^2)
___	_____	_____	_____	_____
___	_____	_____	_____	_____
___	_____	_____	_____	_____
___	_____	_____	_____	_____
___	_____	_____	_____	_____
___	_____	_____	_____	_____

Unità da usare in modo coerente: per esempio, convertite i diametri in metri prima di calcolare λ in metri. Se D è espresso in mm e R in m, convertite D^2 da mm^2 a m^2.

Elaborazione dei dati

Metodo A – usando due anelli scuri

Scegliete due anelli con ordini m e n, abbastanza distanti da ridurre l'effetto dell'errore di lettura.
Convertite i diametri D_m e D_n in metri.
Calcolate: $\lambda = (D_n^2 - D_m^2) / [4R(n - m)]$.
Ripetete con almeno due coppie di anelli e confrontate i valori ottenuti.

Metodo B – grafico

Costruite una tabella con m e D_m^2 (in m^2), tracciate D_m^2 sull'asse verticale e m sull'asse orizzontale. La pendenza della retta è $a = 4R\lambda$; dunque $\lambda = a/(4R)$. Usare più anelli rende il risultato meno sensibile all'errore di una singola lettura.

Incertezze e limiti

Le principali fonti d'incertezza sono: identificazione del bordo degli anelli, scelta del centro, conversione pixel-mm, prospettiva della fotocamera, contrasto e spessore della figura luminosa, incertezza sul raggio R e possibile non-monocromaticità della sorgente.
Per la formula a due anelli, ponendo $\Delta D^2 = D_n^2 - D_m^2$ e $\Delta m = n - m$, $\lambda = \Delta D^2/(4R\Delta m)$.
Se si assume Δm esatto e le grandezze indipendenti, una stima relativa dell'incertezza è:

$$\mathbf{u(\lambda)/\lambda \approx \sqrt{\{ [u(\Delta D^2)/\Delta D^2]^2 + [u(R)/R]^2 \}}}$$

Una stima semplice per un singolo quadrato è $u(D^2) \approx 2D \cdot u(D)$. Per la differenza ΔD^2, $u(\Delta D^2) \approx \sqrt{[u(D_n^2)^2 + u(D_m^2)^2]}$. Questa propagazione è indicativa: se la calibrazione pixel-mm è incerta, tale incertezza influenza tutti i diametri e va considerata.
Limite essenziale: se R non è noto, non si può determinare λ in modo assoluto con le sole misure degli anelli. Si può comunque verificare la relazione lineare $D^2 \propto m$. Se R viene stimato con un metodo indipendente, riportate chiaramente il metodo e l'incertezza della stima.

Domande per gli studenti

1. Perché compaiono anelli chiari e scuri anche se la lente e la lastra sono trasparenti?
2. Perché il centro è idealmente scuro osservando la luce riflessa?
3. Perché è preferibile usare una sorgente quasi monocromatica invece della luce bianca?
4. Perché misurare il diametro di un anello è più utile che misurare una sola distanza dal centro?
5. Che cosa rappresenta la pendenza del grafico D^2 in funzione dell'ordine m?
6. Quali errori può introdurre una fotocamera inclinata rispetto alla lastra?
7. È possibile trovare la lunghezza d'onda assoluta se il raggio di curvatura R è sconosciuto? Spiegate.

Risposte attese dal docente

- Interferenza: le onde riflesse dalle due superfici dello strato d'aria si sovrappongono. La differenza di cammino e la differenza di fase determinano rinforzo o cancellazione.
- Centro scuro: nello strato d'aria al centro lo spessore è idealmente nullo. Una delle riflessioni introduce un salto di fase di mezza lunghezza d'onda, producendo interferenza distruttiva in riflessione.
- Luce monocromatica: una singola lunghezza d'onda produce un sistema di anelli più semplice. La luce bianca contiene molte lunghezze d'onda e produce anelli colorati sovrapposti.
- Diametro: una misura da un bordo all'altro, passando per il centro, riduce la dipendenza dall'esatta individuazione del centro. È utile mediare misure in direzioni diverse.
- Pendenza: nel grafico D^2 contro m la pendenza è $a = 4R\lambda$; quindi $\lambda = a/(4R)$, se R è noto.
- Prospettiva: l'inclinazione deforma le distanze e gli anelli circolari possono apparire ellittici. Anche la calibrazione in un piano diverso da quello degli anelli causa errori.
- R sconosciuto: no, non si ricava λ in modo univoco dal solo coefficiente angolare perché $a = 4R\lambda$ dipende dal prodotto $R\lambda$. Serve una misura indipendente di R.

Esempio di calcolo (puramente illustrativo)

Supponiamo che il raggio di curvatura noto sia R = 1,00 m e che si misurino $D_5 = 3{,}46$ mm e $D_{15} = 6{,}00$ mm. Convertendo in metri: $D_5 = 3{,}46 \times 10^{-3}$ m e $D_{15} = 6{,}00 \times 10^{-3}$ m.

$$\lambda = [(6{,}00 \times 10^{-3})^2 - (3{,}46 \times 10^{-3})^2] \,/\, [4 \times 1{,}00 \times (15 - 5)]$$
$$\lambda \approx 6{,}02 \times 10^{-7}\ \text{m} = 602\ \text{nm}.$$

Promemoria: la misura assoluta di λ richiede una sorgente identificabile come quasi monocromatica, una calibrazione affidabile dell'immagine e un valore ind
ipendente del raggio di curvatura R. Se uno di questi dati manca, dichiaratelo e distinguete l'osservazione qualitativa dalla misura quantitativa.

Rev.	Data
0	22.10.2026

Prof. Ing. Franco Maria Boschetto
franco.boschetto@tin.it
www.fmboschetto.it