

Esperienza n 1: LENTI

Lente sottile convergente biconvessa

Nella lente sottile i piani principali coincidono; essendo l'oggetto e l'immagine nello stesso mezzo (uguale indice di rifrazione), **i due fuochi hanno la stessa distanza dalla lente.**

Vale la seguente relazione: (f = distanza focale):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad \text{dove: } p \text{ è la distanza lente - oggetto}$$

q è la distanza lente - immagine

La costruzione geometrica è presentata in **fig.1**

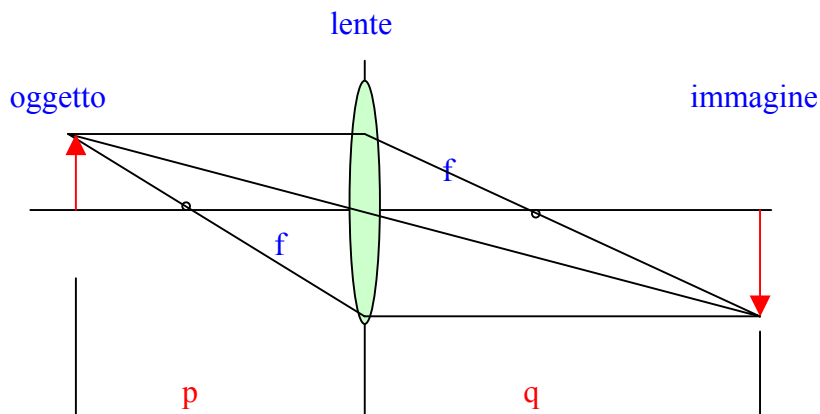


Fig.1 Costruzione geometrica dell'immagine di lente convergente

Misura della distanza focale di una lente convergente

Si ha a disposizione un banco ottico su cui possono scorrere i sostegni della lente e schermo come presentato in **fig.2**.

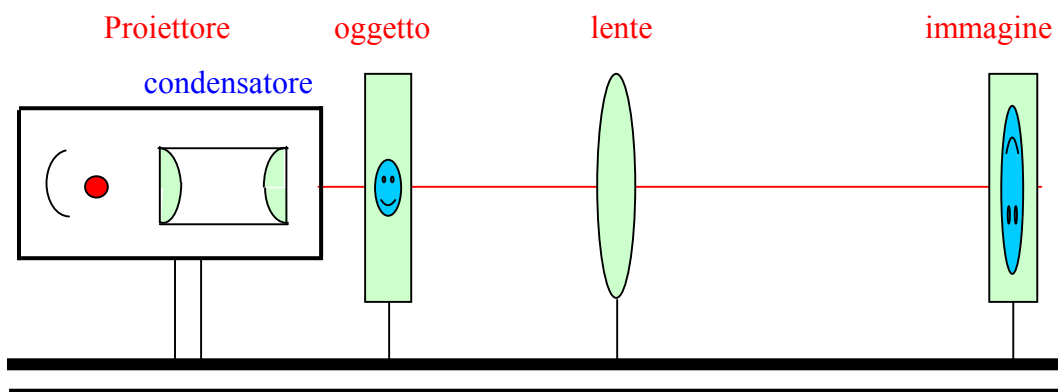


Fig. 2 Apparato per la misura del fuoco di una lente convergente

Il proiettore ha lo scopo di convogliare un grande flusso luminoso verso l'oggetto in esame ed è composto da una lampada alogena, un riflettore ed un condensatore ottico. Il condensatore ottico è composto da un sistema di 2 lenti piano convesse posto fra la lampadina e l'oggetto. Il riflettore aumenta il flusso luminoso convogliato nel condensatore.

Il proiettore illumina un oggetto e l'immagine è formata sullo schermo.

Misurare la distanza lente-oggetto e valutarne l'errore. Eseguire diverse misure della distanza lente – immagine **riposizionando** ogni volta lo schermo. Ricavare la distanza focale della lente.

Ruotare la lente di 180°, ripetere le misure e ricavare nuovamente la distanza focale della lente.

Analizzare i dati ottenuti e verificare che i risultati delle due misure siano in accordo all'interno degli errori statistici. Applicare il test di "Student" ai valori medi.

Misurare l'**ingrandimento** della lente per una certa distanza e verificare che vale:

$$G = \frac{q}{p}$$

Misura del fuoco di una lente divergente

Costruire un sistema ottico formato dalla lente positiva precedentemente usata e da una lente negativa (lente divergente di cui si vuole conoscere il fuoco) montando le lenti sullo stesso supporto in modo che siano più vicine possibile fra loro. Il sistema così formato deve essere convergente.

Ricavare la distanza focale della lente divergente usando la relazione

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_c} + \frac{1}{f_D}$$

dove f e' la distanza focale del sistema composto dalle due lenti, f_c e f_D sono rispettivamente le distanze focali della lente convergente e divergente. Valutare l'errore su f_D .

Esperienza n 2: PRISMA

Lo scopo dell'esperienza è la misura dell'indice di rifrazione di un prisma di plexiglass con il metodo dell'angolo limite.

L'apparato sperimentale è presentato in [fig. 1](#).

Il raggio di un **laser ad Elio - Neon di lunghezza d'onda di 0,632 μm** avente la potenza di **1 mW**, colpisce la faccia di un prisma, montato su una piattaforma rotante di buona precisione (mezzo primo). Osservando il fascio di luce uscente dal prisma si può ricavare la condizione di angolo limite quando, ruotando la piattaforma, esso risulta parallelo alla superficie uscente (per angoli maggiori il raggio risulta totalmente riflesso all'interno del prisma).

Calcolo dell'indice di rifrazione di un prisma con il metodo dell'angolo limite

In [fig. 1](#) è rappresentato un raggio luminoso che incide la superficie del prisma nel punto **B** con angolo di incidenza i . Esso subisce una prima rifrazione in **B** passando dall'aria al plexiglass. Una seconda rifrazione avviene in **C** passando dal plexiglass all'aria.

Per la legge di Snell si ha: $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$ $\frac{\text{sen } r'}{\text{sen } i'} = \frac{1}{n}$

inoltre dai triangoli $\triangle BAC$ e $\triangle DBC$ si ha $\alpha = r + r'$

Per un angolo $i' = 90^\circ$, l'angolo r' diventa angolo limite e si può scrivere:

$$\text{sen } r'_{\text{lim}} = \frac{1}{n} = \text{sen}(\alpha - r) = \text{sen } \alpha \cos r - \cos \alpha \text{sen } r$$

sostituendo $\cos r = \sqrt{1 - \text{sen}^2 r}$ si ha:

$$n \text{sen } \alpha \sqrt{1 - \text{sen}^2 r} = 1 + n \cos \alpha \text{sen } r$$

e ricordando la legge di Snell:

$$n^2 \text{sen}^2 \alpha \left(1 - \frac{\text{sen}^2 i}{n^2} \right) = 1 + 2 \cos \alpha \text{sen } i + \cos^2 \alpha \text{sen}^2 i$$

$$n = \frac{1}{\text{sen } \alpha} \sqrt{1 + 2 \cos \alpha \text{sen } i + \text{sen}^2 i}$$

Modo di procedere:

ATTENZIONE: Non guardare dentro al LASER

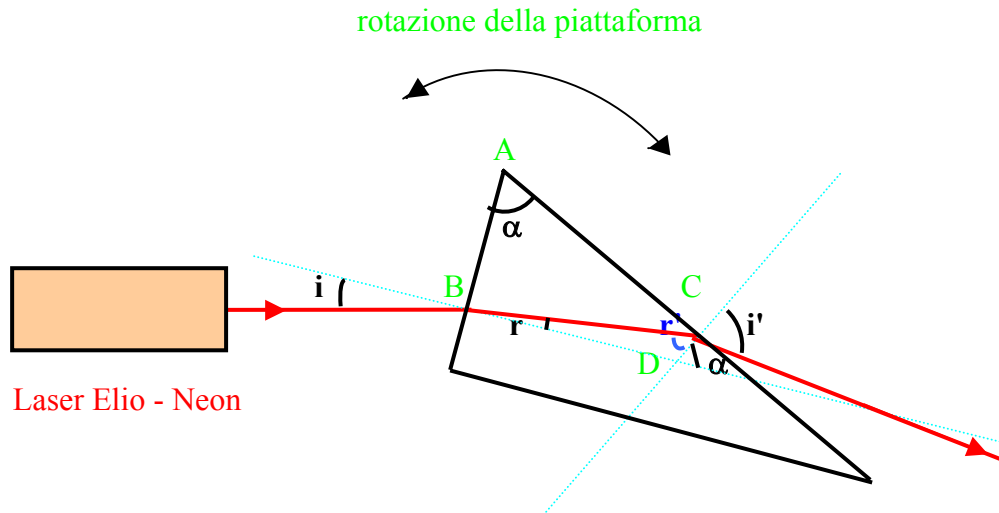


Fig. 1: Schema dell'apparato

1. Acceso il laser, verificare che il punto di incidenza del raggio luminoso sul prisma sia in corrispondenza dell'asse di rotazione della piattaforma. Eventualmente regolarne la posizione.
2. Orientare la faccia del prisma in modo che l'angolo di incidenza del raggio laser sia zero. In questa condizione il raggio riflesso deve sovrapporsi con quello incidente. Se necessario modificare l'inclinazione della faccia del prisma agendo sulle viti che determinano la posizione orizzontale della piattaforma rotante.
3. Rilevare la posizione angolare della piattaforma corrispondente all'angolo $i = 0$ e valutare l'incertezza della misura dal risultato di misure ripetute.
4. Ruotando il prisma in senso orario cercare la posizione del prisma alla quale il raggio emerge parallelo all'ipotenusa e poi scompare subito. In questa situazione l'angolo di incidenza nel passaggio plexiglass-aria è $r' = \text{angolo limite} = \arcsen(1/n)$. Rilevare la posizione angolare. Osservare che la valutazione della posizione alla quale il raggio luminoso scompare è imprecisa e soggettiva. Ripetere questa misura qualche decina di volte.
5. Valutare con un test del χ^2 se la distribuzione della frequenze dell'angolo si possa considerare normale. Calcolare valore medio e deviazione standard.
6. **Calcolare**, sottraendo l'angolo misurato al punto 3, l'angolo di incidenza i ed il suo errore.

7. Calcolare l'indice di rifrazione della materia di cui è fatto il prisma (plexiglass) tenendo conto che:

$$n = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\sin^2 i + 2 \sin i \cdot \cos \alpha + 1}$$

essendo $\alpha = 60^\circ$ e i l'angolo di incidenza per cui $i' = 90^\circ$

8. Calcolare l'errore su n trascurando l'incertezza sull'angolo α

Esperienza n 3: **COEFFICIENTE di ESTINZIONE di un LIQUIDO** **LEGGE di MALUS, RETICOLO di DIFFRAZIONE**

Coefficiente di estinzione di un liquido

Scopo dell'esperienza è verificare la legge che regola l'attenuazione di un fascio luminoso in un mezzo assorbente.

Un fascio luminoso di intensità I_0 , entrando in un mezzo subisce un'attenuazione che è proporzionale al tratto percorso Δx ed all'intensità I nel punto x . Si può scrivere:
 $\Delta I = -KI(x)\Delta x$ dove K è la costante di proporzionalità

Passando a quantità infinitesime si ottiene

$$dI = -KI(x)dx$$

Integrando

$$\int \frac{dI}{I} = -K \int dx + \text{cost.}$$

ed imponendo che per $x = 0$ l'intensità del fascio luminoso sia I_0 si ottiene la legge:

$$I(x) = I_0 e^{-Kx}$$

il significato fisico di K , che come **dimensioni** è l'inverso di una lunghezza, si può ricavare scegliendo uno spessore di liquido X tale che sia $X = 1/K$. Allora la $I(X)$

diventa:

$$I(X) = \frac{I_0}{e}$$

cioè l'inverso di K rappresenta quello spessore di liquido che riduce l'intensità di e volte.

L'apparato sperimentale è presentato in fig. 1

E' composto da un proiettore che genera un fascio di luce bianca, da una lente collimatrice che concentra l'energia luminosa all'interno del cilindro contenente il liquido in esame e da una fotocellula. Quest'ultima genera una corrente elettrica **proporzionale all'intensità del fascio di luce che la ha colpita**. Data la sua grande sensibilità, e' possibile che la fotocellula generi una corrente di fondo dovuta alla luce che non passa nel liquido, ma diffusa dalle pareti della stanza.

La misura si effettua con un microamperometro digitale a 6 cifre, con la sensibilità di 10 nanoampere.

E' disponibile un calibro per misurare l'altezza del liquido dentro al cilindro.

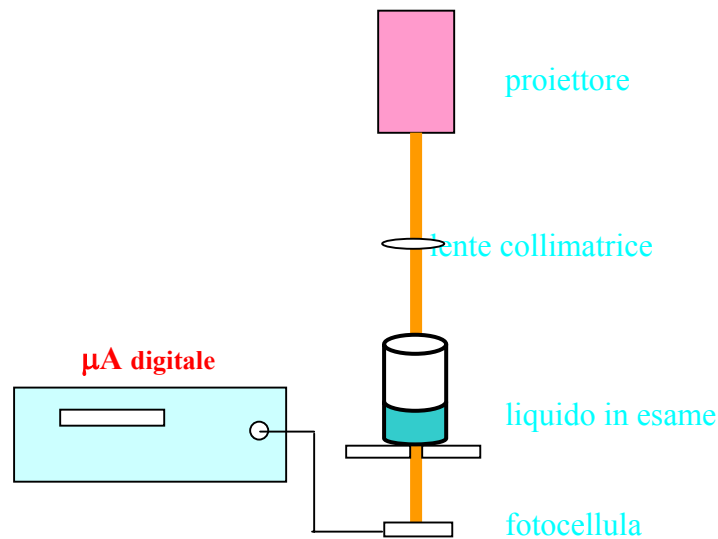


Fig. 1 Apparato per la misura del coefficiente di estinzione di un liquido

Modo di procedere

- Verificare che il microamperometro misuri $I = 0$ quando la sorgente luminosa è spenta oppure prendere nota del valore letto e poi sottrarre questo valore dai valori ricavati nelle varie misure.

- Accendere la sorgente luminosa
- Mettere nel contenitore una piccola quantità del liquido in esame, misurarne il livello X_1 con il calibro e leggere sul microamperometro l'intensità della corrente I_{X1}
- Aggiungere liquido, misurare il livello X_2 , leggere la corrente
- Ripetere il punto precedente, fino ad aver messo nel contenitore tutto il liquido
- Graficare la corrente in funzione dell'altezza del liquido.
- Calcolare K e il suo errore con due coppie di valori $X_i, I(X_i)$ attraverso la formula:

$$K = \frac{\ln[I(X_1)] - \ln[I(X_2)]}{X_2 - X_1} = \frac{\ln\left(\frac{I(X_1)}{I(X_2)}\right)}{X_2 - X_1}$$

- Usare tutti i valori $X_i, I(X_i)$ per ricavare K con il metodo del "best fit" sapendo che l'attenuazione dell'intensità luminosa è un esponenziale
- Discutere l'errore sistematico nei risultati finali.

Legge di MALUS, polarizzazione, diffrazione

- a) Disporre sul banco ottico il filtro analizzatore, far incidere su di esso la luce del laser e osservare la luce trasmessa mentre lo si ruota di 360 gradi. Notare i due massimi e i due zeri di luce, indici del fatto che la luce del laser è polarizzata linearmente
- b) Misurare ogni 10°, attraverso la corrente generata da una fotocellula, l'intensità luminosa trasmessa dal filtro. Graficare il risultato e ricavare la legge di Malus
- c) Inserire tra sorgente e analizzatore una lamina birifrangente a "quarto d'onda". Per una posizione generica della lamina la polarizzazione del raggio luminoso risulta ellittica. Ruotando l'analizzatore osservare le posizioni dei massimi e dei minimi e l'assenza di zeri di luce. Massimi e minimi corrispondono rispettivamente al semiasse maggiore o minore dell'ellisse.
- d) Cercare e annotare le posizioni della lamina che corrispondono all'asse ottico parallelo e perpendicolare al piano di vibrazione del vettore elettrico del raggio laser. Poiché, in questo caso, il raggio uscente dalla lamina rimane polarizzato linearmente, conviene procedere come segue: togliere la lamina dal percorso del raggio luminoso; posizionare l'analizzatore in modo che sullo schermo si osservi uno zero di luce; inserire di nuovo la lamina e, se l'intensità sullo schermo non è più zero, ruotare la lamina senza muovere l'analizzatore, fino a che si ritrova la posizione di buio. Ruotare la lamina di 90° e verificare che di nuovo la luce risulta polarizzata linearmente
- e) Ricavare dalle informazioni ottenute al punto d) la posizione della lamina che produce polarizzazione circolare e verificarlo.
- f) Osservare le immagini di diffrazione facendo incidere la luce laser sulla fenditura regolabile e sul capello fissato al supporto.

Misura della lunghezza d'onda del laser con il reticolo di diffrazione.

Come è noto, per il massimo di ordine n , la relazione fra lunghezza d'onda λ , il passo del reticolo p e l'angolo ϑ sotto cui il massimo è visto dal reticolo è: $p \sin \vartheta = n \lambda$.

Montare il reticolo (passo = 10 μm) su un supporto ed osservare sullo schermo i massimi di vari ordini.

Misurare più volte gli angoli corrispondenti al massimo del primo ordine ($p \sin \vartheta = \lambda$), e ricavare la lunghezza d'onda della luce valutando anche il relativo errore. Ripetere la misura con un altro massimo, scelto dal lato opposto rispetto al massimo di ordine zero.

Calcolare nuovamente la lunghezza d'onda della luce. Confrontare i due risultati e applicare il test di [Student](#).

Specchi di Fresnel

- a) Illuminare gli specchi con un raggio radente, in modo che la zona illuminata si ripartisca in parti uguali o quasi rispetto allo spigolo di intersezione degli specchi.
- b) Regolare accuratamente le due viti in modo che le superfici degli specchi si intersechino effettivamente nello spigolo. Verificare che non rimanga un "gradino" tra gli specchi.
- c) Variare con la massima delicatezza l'angolo tra gli specchi agendo sulla vite esterna (lontano dallo spigolo) fino a vedere distintamente le frange di interferenza sullo schermo.

Esperienza n 4: POLARIMETRO di LAURENT

Lo scopo dell'esperienza è determinare la concentrazione di una soluzione di acqua e zucchero, conoscendo il potere rotatorio dello zucchero, lo spessore di soluzione attraversato dalla luce e l'angolo di cui è ruotato il piano di polarizzazione della luce che ha attraversato la soluzione.

Lo strumento usato è il polarimetro di Laurent.

Per ottenere un'altissima sensibilità, il polarimetro è dotato, in una metà del campo visivo, di una lamina tagliata a mezz'onda per la luce monocromatica incidente.

In fig. 1 è presentato l'apparato.

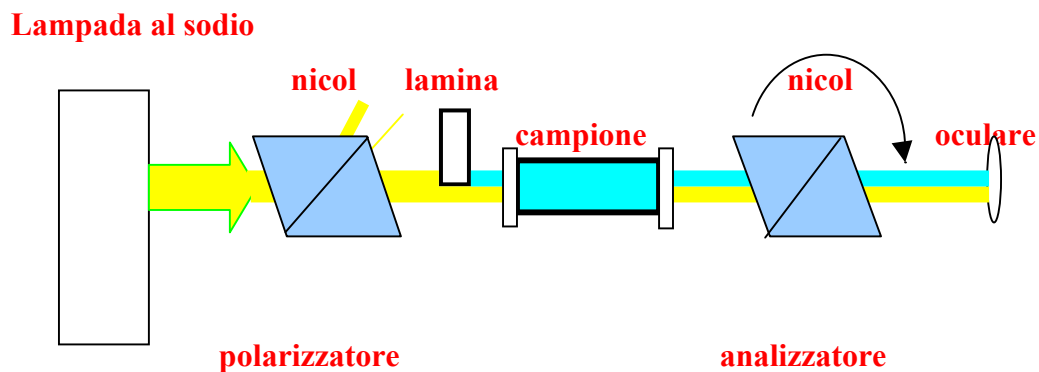
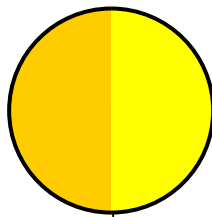


Fig.1 Polarimetro di Laurent



campo sinistro campo destro

Fig. 2 Immagine che appare guardando nell'oculare

Una lampada al sodio (che genera luce monocromatica) illumina un Nicol; il fascio straordinario esce polarizzato linearmente e per metà entra direttamente nel liquido campione. L'altra metà attraversa anche la lamina a mezz'onda. I due raggi, entrambi polarizzati linearmente ma con un diverso angolo di polarizzazione, vengono analizzati dal secondo nicol.

L'occhio, osservando all'interno dell'oculare, vede due campi illuminati in modo diverso (Fig.2). Ruotando l'analizzatore di 360° si vede cambiare l'illuminazione dei

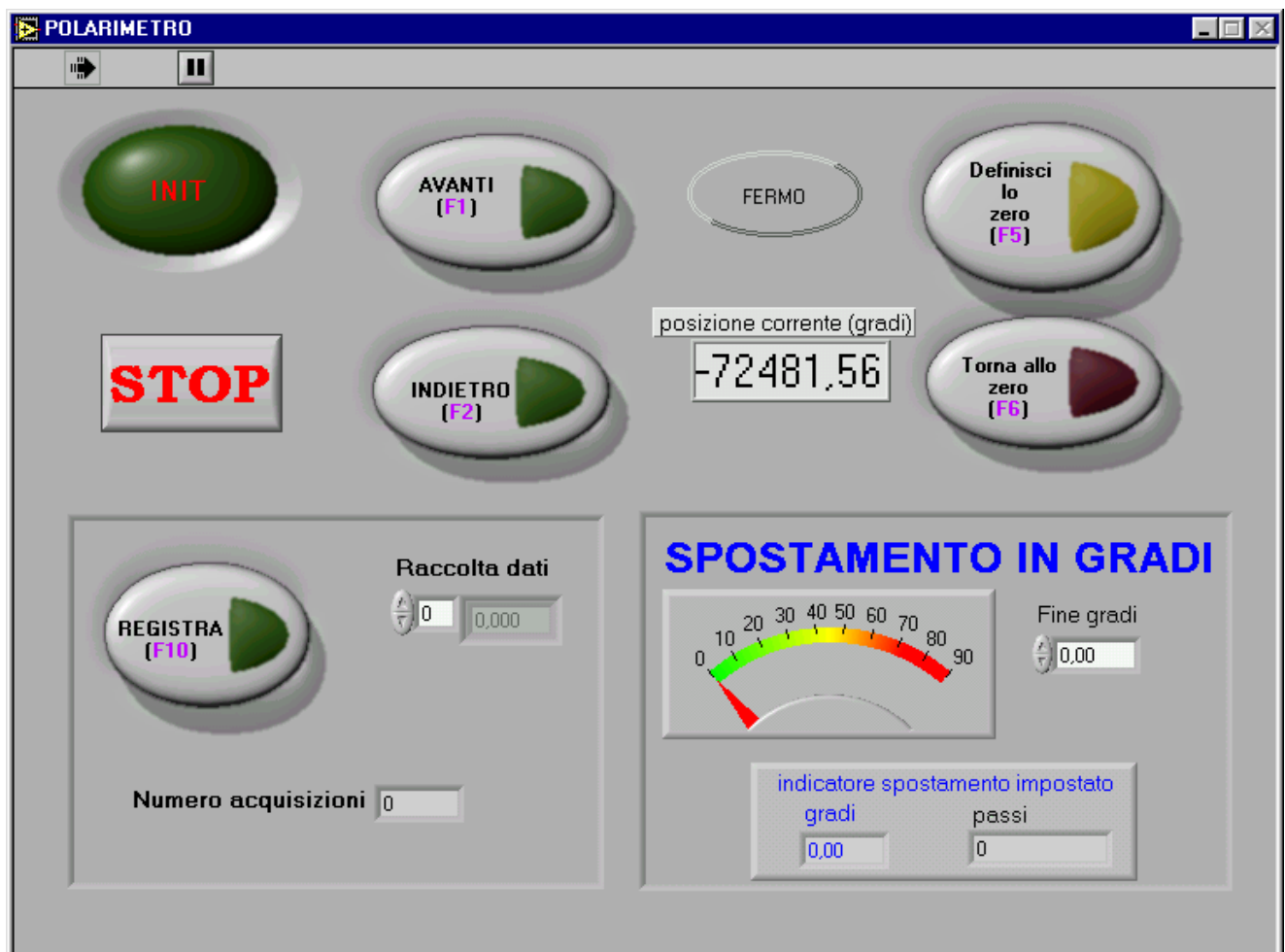
due campi. Si possono individuare due posizioni in cui i due campi sono ugualmente fortemente illuminati e due posizioni in cui sono debolmente ed ugualmente illuminati. Quest'ultimo angolo è quello che va utilizzato per massimizzare la sensibilità della misura.




Modo di procedere

Accendere la lampada monocromatica al sodio. Verificare che la provetta contenente il liquido non sia inserita. Regolare l'oculare in modo da vedere un'immagine nitida. Aggiustare la posizione relativa della lampada in modo che l'illuminazione delle due metà del campo visivo siano illuminate il più uniformemente possibile (non necessariamente la lampada va messa molto vicina all'ingresso del polarimetro), specialmente nelle zone adiacenti alla linea di separazione.

L'acquisizione dei dati di questa esperienza è fatta attraverso il PC, con un programma scritto da Diego Faso che usa il pacchetto software "Labview" della National Instruments. Il programma si chiama "POLARIMETRO", può essere caricato direttamente dal desktop e serve a pilotare una slitta circolare collegata meccanicamente allo strumento.

Caricando il programma compare il pannello in figura:



- Cliccare sul pulsante di “start”. 
- L’instestazione del pannello sparisce e si stabilisce la comunicazione con il motore della slitta.
- Attendere che l’indicatore in alto a sinistra sul pannello si accenda.
- Quando l’indicatore passa da  a  il programma e’ pronto a pilotare la slitta
- La slitta puo’ essere comandata da mouse o da tastiera (i tasti da usare sono indicati in viola su ogni pulsante).

Differenza tra l’uso del mouse e della tastiera

Queste differenze riguardano solo i tasti “AVANTI” e “INDIETRO”:

- **Con il mouse:** il pulsante rimane schiacciato finche’ si tiene premuto il tasto del mouse.
- **Con la tastiera:** la prima pressione del tasto aziona il pulsante; premendo nuovamente il tasto si disattiva il pulsante (non tenere il tasto premuto).

NB: Evitare che i due pulsanti siano attivi simultaneamente!

Funzionamento del programma

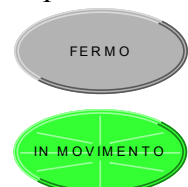
Ogni volta che il tasto “AVANTI” viene premuto la slitta ruota in senso orario di un angolo uguale al numero di gradi impostato in basso a destra nel pannello (il pulsante “INDIETRO” funziona in modo analogo):



Spostando la lancetta si puo’ impostare lo spostamento con una precisione di 5° , mentre il controllo per la regolazione fine ha una precisione di $0,01^\circ$.

Lo spostamento impostato viene indicato sotto i controlli (lo spostamento in passi indica il numero di passi del motore passo-passo).


Durante lo spostamento si accende il corrispondente led sul pannello:



La posizione corrente puo' essere letta in tempo reale.

1. Fissare lo zero con il pulsante "Definisci lo zero": sara' possibile ritornare a questa posizione in qualunque momento con il pulsante "Ritorna allo zero". (lo zero va definito una volta sola ed e' conveniente che sia lo zero meccanico).
2. Con passi di 10° osservare le due meta' del campo ottico e annotare le posizioni di uguale illuminazione, in particolare quella in condizioni di penombra (poca luce)
3. Posizionarsi nell'intorno di quest'ultima e arrivare alla posizione di uguale illuminazione con spostamenti piccoli ($0,2^\circ$).Acquisire la posizione premendo il tasto "acquisizione" .
4. Eseguire delle misure ripetute allontanandosi dalla posizione di uguale illuminazione e ritornandovi a piccoli passi. Ogni volta acquisire la posizione. Quando il numero di acquisizioni e' sufficiente premere "STOP"
5. Il computer chiede se si vogliono salvare i dati acquisiti su file. Notare che:

Se rispondete di no i dati possono essere ancora recuperati dall'indicatore "raccolta dati" (vanno pero' copiati a mano!).

All'inizio dell'acquisizione successiva (pressione del tasto di "start"  tutti i dati di "raccolta dati" vengono cancellati).

Se decidete di salvare i dati il file puo' essere aperto con "EXCELL" per l'elaborazione.

6. Inserire la provetta, ritrovare la posizione di uguale illuminazione e iniziare la nuova misura...NON RIDEFINIRE PIU' LO ZERO.

Note:

Durante l'acquisizione il pannello non puo' essere chiuso.

L'acquisizione puo' essere fermata solo azionando il pulsante "STOP".

Se si usa il mouse bisogna premere sul led dei pulsanti: se si preme sulla scritta il pulsante non viene azionato.

Riportare i risultati su un istogramma e verificare con il test del χ^2 che gli istogrammi siano compatibili con una distribuzione gaussiana.

Ricavare l'angolo α di cui e' stato ruotato il piano di polarizzazione dalla differenza tra le misure in 6) ed in 4)

Calcolare la concentrazione c della soluzione sapendo che

$$\alpha = k c l$$

dove: k (potere rotatorio dello zucchero) = $1036 \pm 2 \text{ }^\circ/\text{m}$

$$l \text{ (lunghezza del tubicino)} = 20 \pm 0,02 \text{ cm.}$$

Calcolare lo scarto quadratico medio della distribuzione ottenuta e lo scarto della media aritmetica. Confrontare con la sensibilità dello strumento.

Facoltativo: ripetere la misura di α usando le posizioni di massimo o di minimo su una delle due meta'campo. Verificare che la distribuzione gaussiana che ne risulta è allargata rispetto alla misura a massima sensibilità.

Il polarimetro usato si chiama di "Laurent" dal nome del suo inventore e massimizza la sensibilità dello strumento per due motivi:

- Con la lamina a mezz'onda si eseguono misure di paragone diretto fra l'illuminazione dei due campi, cioè si procede ad una misura "differenziale"
- La misura viene fatta con poca illuminazione, dove l'occhio ha la massima sensibilità. L'occhio umano ha infatti sensibilità logaritmica all'illuminazione, ed è quindi in grado di apprezzare meglio variazioni di luce se l'oggetto si trova in penombra.

Lamina a mezz'onda

La lamina a mezz'onda è costruita con un cristallo birifrangente (quarzo). Essa ha uno spessore tale che le componenti del vettore elettrico (parallela e perpendicolare all'asse ottico della lamina), entrate con la stessa fase ne escano sfasate di π , come presentato in fig. 3., dove l'asse ottico della lamina è supposto verticale:

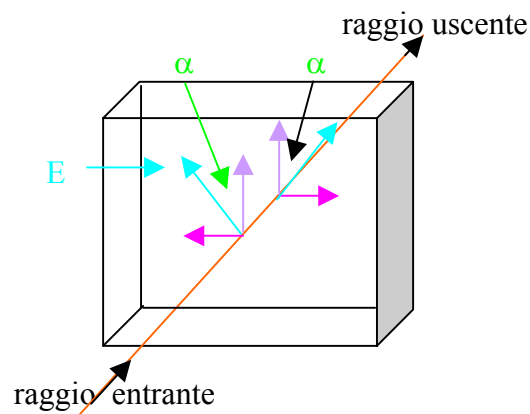


Fig. 3: Lamina a mezz'onda: il campo elettrico dell'onda uscente è ruotato di 2α rispetto a quello entrante

Consideriamo un raggio di luce polarizzato linearmente che entra nella lamina, con vettore elettrico E a un angolo α rispetto all'asse ottico della lamina (vedi figura). Per la proprietà del cristallo birifrangente le due componenti del vettore elettrico (parallela e perpendicolare all'asse ottico) si propagano con velocità diverse. Il cristallo presenta infatti per queste due direzioni indici di rifrazione diversi: n_1 ed n_2 . All'uscita della

lamina le due componenti si ricompongono e il piano di polarizzazione risulta ruotato di 2α . (vedi Bussetti: Esperimentazioni di Fisica).

Prisma di Nicol

Il prisma di Nicol è composto da due prismi di cristallo di calcite separati da una colla (balsamo del Canada $n = 1.55$) che presenta un indice di rifrazione intermedio fra i due indici di rifrazione della calcite (per il raggio ordinario l'indice di rifrazione è $n = 1.66$, per quello straordinario l'indice di rifrazione è $n = 1,49$). Raggio ordinario e raggio straordinario corrispondono alle componenti del campo elettrico parallela e perpendicolare all'asse ottico del prisma.

Un raggio di luce monocromatico entrando nel primo prisma viene così scomposto in due raggi: il raggio ordinario viene riflesso, per riflessione totale, sulla superficie di separazione dei due prismi, mentre il raggio straordinario esce dal Nicol avendo subito una piccola deviazione. Essendo rimasta una sola componente, il raggio è polarizzato linearmente. Per ottenere questo risultato il prisma ha un angolo di 68° come presentato in fig. 4.

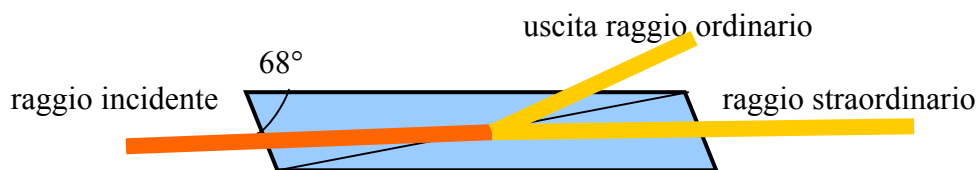


Fig. 4 Prisma di Nicol

Esperienza n 5: SPETTROSCOPIO

Lo scopo dell'esperienza è di ricavare la curva di calibrazione in lunghezza d'onda di uno spettroscopio e con essa misurare le righe di assorbimento di alcune sostanze e la banda di lunghezza d'onda di trasmissività di alcuni filtri (facoltativo).

Lo spettroscopio di Kirchhoff e Bunsen in dotazione è disegnato nelle sue parti essenziali in [fig. 1](#).

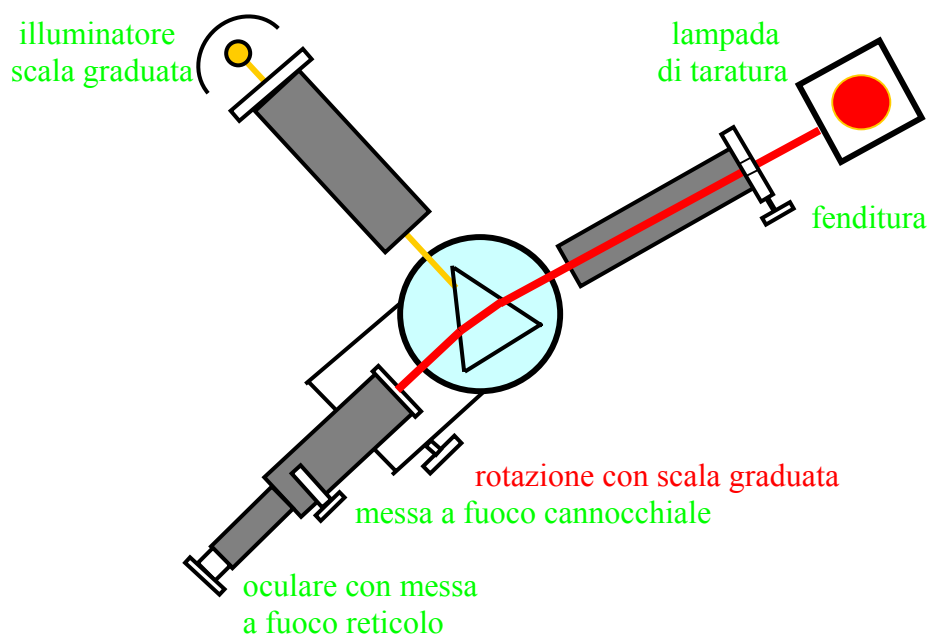


Fig. 1 Spettroscopio di Kirchhoff e Bunsen

Strumentazione in dotazione:

- Spettroscopio di Kirchhoff e Bunsen
- Lampada al mercurio per la taratura
- Lampada al sodio per la taratura
- Ampolla con ipoazotite
- Ampolla con cloruro di didimio (liquido bianco)
- Serie di filtri ottici

Modo di procedere per la messa a fuoco

- a) Mettere a fuoco l'oculare sulla croce di riferimento (croce di sant'Andrea). Per vedere bene il reticolo e' necessario avere molta luce: usare una lampada a spettro

continuo oppure aprire la fenditura in modo da avere molta luce. Il reticolo si mette a fuoco spostando avanti e indietro la lente dell'oculare

- b) Mettere a fuoco le righe dello spettro della lampada a vapori di sodio, manovrando la cremagliera comandata dalla vite con testa a tamburo (messa a fuoco del cannocchiale). **Per avere righe nette a questo punto occorre stringere la fenditura.** La lettura della posizione di una qualsiasi riga va effettuata dopo che questa è stata centrata sull'incrocio dei fili del reticolo. La lettura può essere effettuata sulla scala esterna, oppure sulla scala interna, che in questo caso deve essere illuminata, e la comodità di lettura va a scapito della precisione.

Misure

1. Riconoscere le righe spettrali della lampada al sodio e assegnare a ogni riga la lunghezza d'onda corrispondente. Rilevare inoltre per ogni riga la posizione dello spettroscopio
2. Fare la stessa cosa per la lampada al mercurio
3. Costruire la curva di taratura mettendo sulle ascisse il valore letto sullo spettroscopio e sulle ordinate la corrispondente lunghezza d'onda (unico grafico per le 2 lampade!!)
4. Valutare l'incertezza di lettura della posizione delle linee spettrali, quindi eseguire un "fit" con il metodo dei minimi quadrati usando diverse funzioni: **retta, polinomio di secondo grado, iperbole**, giudicando quale è la migliore approssimazione.
5. Utilizzando la sorgente luminosa a spettro continuo (lampada con il filamento di tungsteno), misurare le posizioni di **alcune** righe di assorbimento (visibili come bande nere sullo spettro continuo) dell'ipoazotite e del cloruro di didimio contenuti nelle rispettive ampole, quindi mediante la curva di taratura risalire alle corrispondenti lunghezze d'onda di assorbimento.
6. Valutare la banda passante di alcuni filtri, mettendoli fra la lampada e la fenditura.

Lunghezze d'onda campione: lampada a vapori di sodio

λ in $\mu = 10^{-6}\text{m}$	colore
0,6158 debole	Rosso *
0,5893 intensissima	Giallo *
0,5682 intensa	giallo – verde
0,5151 debole	verde
0,4980 intensa	verde – azzurra *
0,4750 debolissima	blu *

(*): valor medio di λ per doppietti di righe non distinguibili con questo strumento

Lunghezze d'onda campione: lampada a vapori di mercurio

λ in $\mu = 10^{-6}\text{m}$	colore
0,5791 intensa	giallo
0,5770 intensa	giallo
0,5461 intensa	Verde-giallo
0,497 debole	verde - azzurro
0,492 medio-intensa	verde - azzurro
0,4358 intensa	blu
0,422 debolissima	viola
0,420 debole	viola

Esperienza n 6: COSTANTE di PLANCK

Un quanto di luce di energia $E = hv$ che incida sulla superficie di un metallo, può cedere la sua energia ad un elettrone di conduzione prossimo alla superficie. Se tale energia è superiore all'energia di estrazione (U) dell'elettrone dal metallo, ossia se $E > U$, l'elettrone può passare nello spazio esterno con una energia cinetica che, al massimo, potrà essere :

$$\frac{1}{2} mv^2 = hv - U$$

con m massa e v velocità dell'elettrone uscente dal metallo (**effetto fotoelettrico**).

Per osservare l'effetto fotoelettrico si usa un'ampolla di vetro in cui:

- è stato fatto il vuoto
- si è messo un fotocatodo a base di cesio (il cesio ha un potenziale di estrazione molto basso)
- si è inserito un anello come anodo.

Illuminando il fotocatodo si ha un passaggio di elettroni dal fotocatodo all'anodo. Un **nanoamperometro** ha sensibilità sufficiente a misurare questa corrente.

Disponendo di due sorgenti di luce monocromatica di frequenze ν_1 e ν_2 , si può ottenere una relazione fra le frequenze delle luci usate e le energie cinetiche, in cui non compare più l'energia di estrazione U :

$$h(\nu_1 - \nu_2) = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2) \quad (1)$$

Applicando una tensione sufficientemente negativa all'anodo rispetto al fotocatodo, la differenza di energia cinetica può essere valutata individuando il campo elettrico in grado di "fermare" gli elettroni.

Quando la tensione di controcampo V_c è tale da respingere anche gli elettroni più veloci non si avrà più passaggio di corrente. In questa situazione:

$$eV_c = \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{con } e \text{ carica dell'elettrone}$$

Sostituendo nella (1) si ottiene:

$$h(\nu_1 - \nu_2) = e(V_{1c} - V_{2c})$$

Conoscendo le frequenze e avendo misurato le tensioni di controcampo, di qui si può ricavare la costante di Planck.

Si dispone di:

- alimentatore stabilizzato da 20 V
- 1 tester digitale
- fotocellula
- 1 picoamperometro
- pila da 3 V per controcampo
- serie di led con le seguenti caratteristiche:

Led	Colore	λ picco (nm)
1757	blu	430
9985	blu	470
9856	Verde	524
9457	Verde puro	562
9334	Giallo	590
9328	Arancio	590
9362	Arancio	612
9407	Rosso H.E.	623
9441	Rosso	644

L'apparato, rappresentato in **fig. 1**, e' già montato in una scatola metallica per schermare dalla luce ed eventuali rumori elettromagnetici che falserebbero la misura.

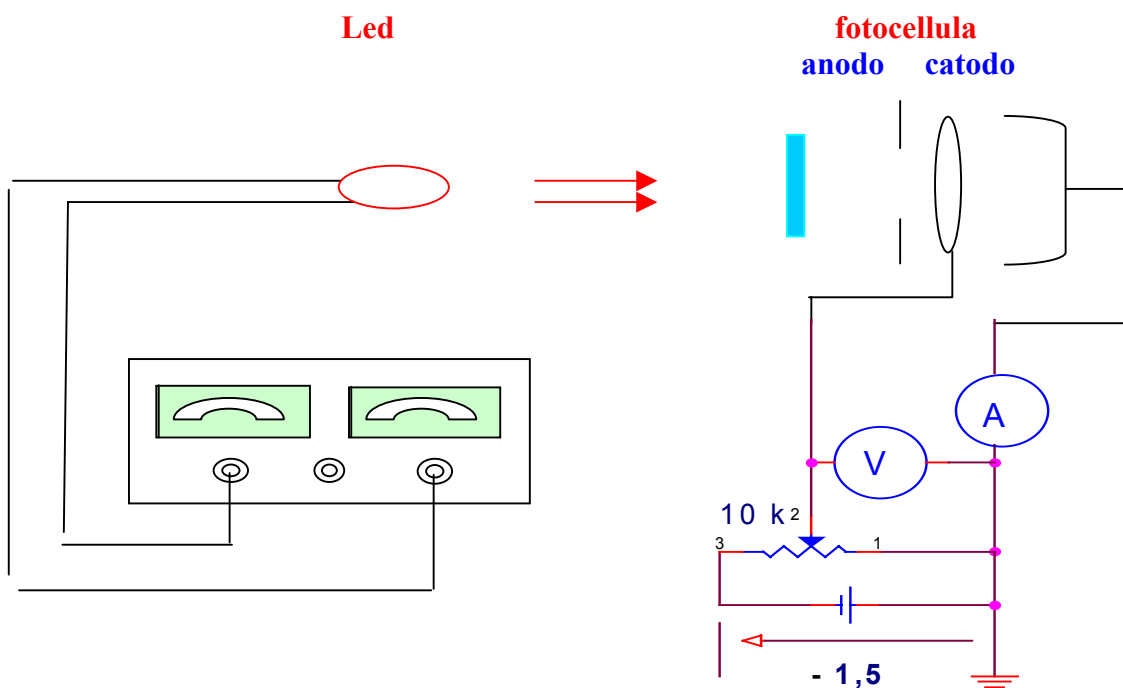


Fig. 1 Apparato per ricavare la costante di Planck

I morsetti sul retro della scatola **non** vanno usati se non con la presenza di un assistente (questi morsetti servono a riscaldare l'anello di anodo e fare evaporare gli atomi di cesio che possono essersi depositati per evaporazione dal catodo). La corrente necessaria per questa operazione è di 1,2 A per una durata massima di 20 secondi. La necessità di questa operazione è rivelata da una corrente inversa elevata, ma prima assicurarsi che la luce non colpisca direttamente l'anodo sistemando in modo opportuno gli schermi posti davanti alla fotocellula.

Per misurare la corrente che passa nella fotocellula si utilizza il picoamperometro che va impostato nel modo seguente:

sensibilità' 0,1pA (00.XXXXnA)

AVG on

MEDM on

A zero on

ZCHK abilitato

Per misurare la tensione di controcampo si fa uso di un tester digitale a 4 cifre.

La pila da 3 V va tenuta collegata anche dopo la fine della misura e la fotocellula va lasciata a tensione 3 V. **Il picoamperometro va lasciato sempre acceso.**

Misure

Misurare prima di tutto, con lo spettrofotometro Avaspec gli spettri di emissione dei vari led. Per ogni led individuare la lunghezza d'onda media e calcolare la frequenza corrispondente.

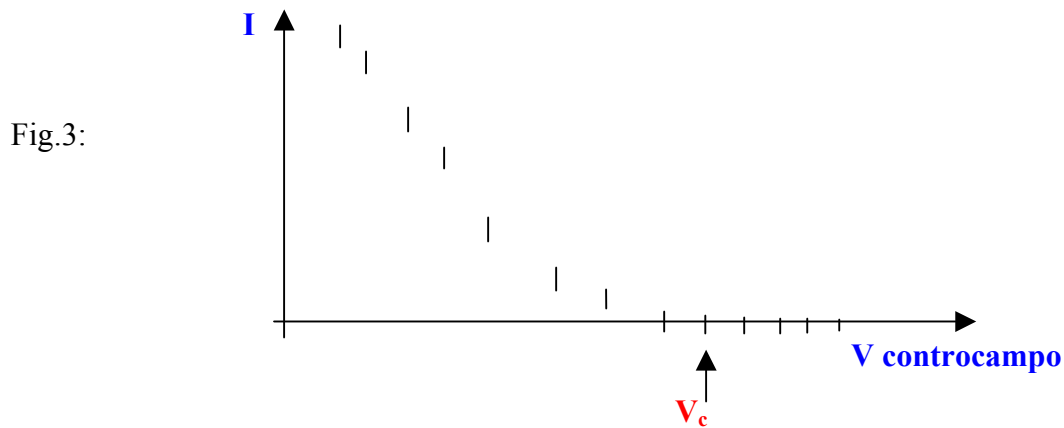
Inserire nell'apposito supporto un led e misurare il passaggio di corrente nella fotocellula

$V_{\text{contro campo}}$	I_{anodo}
0,1	----
0,2	----
----	----

Si consiglia di mettere subito il controcampo (tensione negativa sull'anodo) e prendere dati da zero a 3 V ogni 100 mV fino a quando la corrente inizia ad essere negativa, poi ogni 4-500 mV. Per alcune frequenze è necessario iniziare da valori più alti della tensione perché per $V=0$ il picoamperometro dà "overflow".

Prendere nota della tensione di controcampo V_0 che manda a zero la corrente.

Graficare la corrente **I** in funzione della tensione di controcampo (vedi Fig.3):



Per un certo valore di controcampo V_c la corrente diventa (quasi) costante: puo' diventare zero o un po' negativa. Per valutare V_c far passare una retta per gli ultimi 4-5 punti e individuare il punto in cui la retta si scosta dai dati. Valutare l'errore su questo punto (sarà sicuramente molto grande).

Eseguire la stessa operazione per tutti i led disponibili.

Costruire i grafici di V_c e di V_0 come funzione della frequenza ν dei led. Per ogni punto riportare il relativo errore.

Con il metodo dei minimi quadrati trovare nei due casi la retta che approssima meglio i punti trovati (retta di "best fit"): la pendenza della retta da' una misura della costante di Planck:

$$h = \frac{e(V_{1c} - V_{2c})}{\nu_1 - \nu_2}$$

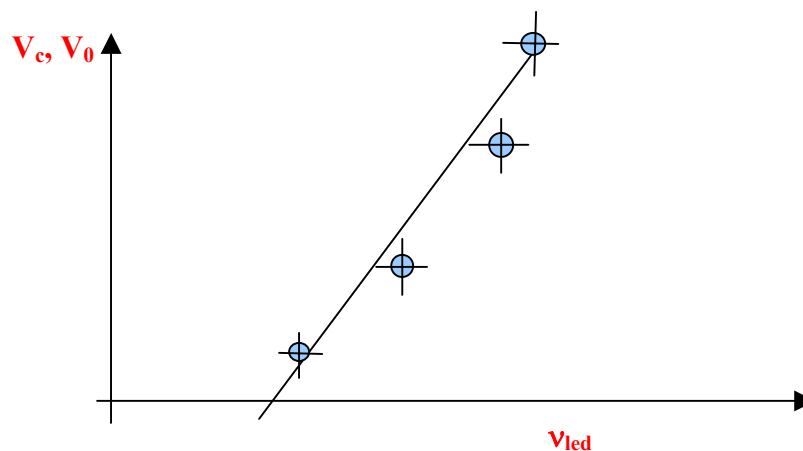


Fig. 4 Tensione di controcampo vs frequenza luce incidente

7. Interferometro di Michelson

Accendere il laser: se sullo schermo appaiono frange di interferenza a forma di cerchi concentrici interi, vuol dire che l'interferometro è centrato e si può passare subito alla misura. Altrimenti procedere al **centraggio dell'interferometro**:

Accendere il laser. Disporre il sistema in modo che il fascio laser colpisca al centro lo specchio mobile. È importante verificare che il fascio laser sia parallelo al piano dell'interferometro e sia perpendicolare allo specchio mobile (accertarsene osservando che il fascio torni dopo la riflessione esattamente sul foro da cui è uscito). Usare se necessario i piedini a vite del piano dell'interferometro e del piccolo banco ottico su cui è montato il laser.

Montare lo specchio fisso (o regolabile) nella sua sede. Il suo orientamento può essere modificato agendo sulle due viti nere (non su quella con la molla che serve per il suo smontaggio).

Montare il beam splitter (=separatore di fascio) al centro del sistema. Il suo posizionamento non è critico e l'inclinazione può essere trovata per tentativi. È sufficiente, a laser acceso, ruotare leggermente lo specchio fino a che il fascio riflesso sia al centro dello specchio fisso. In questa posizione il puntino del laser deve essere visibile sia al centro dello specchio mobile, sia riflesso all'ingresso dell'emettitore. Tutti i fasci laser a questo punto sono complanari e in squadra tra loro.

Attaccare lo schermo bianco nella sua sede (meglio ancora: osservare i fasci riflessi sul foglio bianco attaccato all'armadio). Appaiono due punti luminosi che si spostano toccando il beam splitter: metterlo in modo che siano il più vicini possibile. Agendo sulle viti nere, cercare di farli coincidere.

Il punto laser si presenta come un punto brillante attorniato da punti meno luminosi. I punti laser saranno tanto più piccoli quanto migliore è la qualità del laser. Attaccare la lente di focale 18 mm sul supporto. Sullo schermo appariranno le frange.

Muovere il micrometro MOLTO lentamente: le frange appariranno e scompariranno.

Tenere conto che una tacca sul micrometro corrisponde a $1/100$ mm: essendo divisa in 4 parti, ogni parte corrisponde a $25\mu\text{m}$. Ogni divisione della vite (palmer) corrisponde a $1\mu\text{m}$. Un giro completo della vite corrisponde a $25\mu\text{m}$.

Misura della lunghezza d'onda λ del laser

(pag. 11 del manuale)

Decidere (muovendo il micrometro) se fa piu' comodo contare le frange quando compaiono o quando scompaiono. Non invertire MAI il senso di rotazione per evitare il backlash meccanico (invertendo la direzione in cui si gira il micrometro, lo specchio per un po' non si muove).

Partire da una posizione del micrometro intermedia (a circa meta' corsa si ha la maggiore linearita' fra lettura sul micrometro e spostamento dello specchio). Registrare la posizione: le divisioni sulla scala graduata (tra un numero e l'altro) sono di 100 μm e ognuna e' divisa in 4 parti; un giro completo della vite corrisponde a una di queste 4 parti e quindi a 25 μm ; le divisioni sulla vite sono di 1 μm ciascuna.

Contare le frange (almeno 70) e registrare la nuova posizione. Ricavare λ dalla relazione:

$$\lambda = 2d/N$$

dove d e' lo spostamento dello specchio e N e' il numero di frange contate.

Ripetere la misura 3-4 volte.

Misura dell'indice di rifrazione dell'aria

(pag. 13 del manuale)

Montare l'apposita camerina, cui e' collegata la pompa, sul braccio mobile. Lo zero della scala graduata del braccio mobile deve coincidere con lo zero della scala sul piano dell'interferometro.

La figura di interferenza che si osserva in questa situazione puo' essere un po' distorta, ma deve essere simmetrica (circolare o ellittica) e deve essere completa. Se non lo e', provare ad agire sulle viti dello specchio fisso. Se le frange di interferenza non si vedono per niente, togliere la lente e rifare l'allineamento.

Agendo con delicatezza sulla pompa, togliere lentamente l'aria dalla camera e contare le frange che sono state inghiottite. Occorre partire da pressione atmosferica (ci si riporta a pressione atmosferica tirando la levetta) e per semplicita' supponiamo di riuscire a togliere tutta l'aria. A queste condizioni:

$$n_{\text{aria}} = 1 + N\lambda_{\text{vuoto}}/2d$$

N e' il numero di frange contate, d ($=3\text{cm}$) la profondita' della camerina e $\lambda_{\text{vuoto}} = 632,8 \text{ nm}$

Indice di rifrazione del vetro

(pag. 15 del manuale)

L'idea e' sempre quella di contare le frange in corrispondenza di una certa variazione di cammino ottico: qui si varia lo spessore del vetro variando l'angolo.

Montare la lastrina di vetro sul lato magnetizzato del braccio girevole. Posizionare il braccio in modo che lo zero del suo nonio sia allineato con lo zero del goniometro.

La figura di interferenza che si osserva in questa situazione puo' essere un po' distorta, ma deve essere simmetrica (circolare o ellittica) e deve essere completa. Se non lo e', provare ad agire sulle viti dello specchio fisso. Se le frange di interferenza non si vedono per niente, togliere la lente e rifare l'allineamento.

Ruotare LENTAMENTE il vetro agendo sul braccio girevole. Contare le frange (N) che passano andando da 0 gradi a un angolo θ (almeno 10 gradi).

L'indice di rifrazione del vetro si calcola tenendo conto dei cammini ottici in aria e in vetro, nel modo seguente:

$$n = [(2t - N\lambda)(1 - \cos\theta)] / [2t(1 - \cos\theta) - N\lambda]$$

λ = lunghezza d'onda nel vuoto = 632,8 nm e t = spessore del vetro