

Laboratorio di Fisica 3

Ottica 1 B - Misura della costante di Rydberg

1) – Introduzione

La presente esperienza ha due scopi: il primo è di valutare la risoluzione dello strumento di misura, uno spettroscopio a reticolo, nella misura delle linee emesse da lampade spettrali; il secondo è quello di determinare la costante di Rydberg dalla misura della lunghezza d'onda delle righe di emissione dell'idrogeno riferendosi all'equazione (1) per i livelli energetici dell'idrogeno:

$$(1) \quad E_n = -1/2 (Z^2 e^2) / (n^2 a_0)$$

dove il raggio di Bohr è $a_0 = \hbar^2 / m e^2$.

Materiale a disposizione:

- spettroscopio a reticolo di diffrazione
- lampada al mercurio
- lampada all'idrogeno
- lampada al sodio

Lo strumento di misura è uno spettroscopio a reticolo nella configurazione “classica” riportata in figura 1). E' costituito da un telescopio di raccolta della luce, equipaggiato da una fenditura d'ingresso, che raccoglie la luce emessa dalla sorgente da analizzare e la convoglia sull'elemento dispersivo che, nel nostro caso, è un reticolo di diffrazione in riflessione.

La radiazione proveniente dal reticolo viene raccolta da un secondo telescopio di osservazione che è montato su un goniometro ed è in grado di ruotare rispetto al reticolo.

Sia il telescopio di raccolta che quello di osservazione consentono di regolare il fuoco e permettono all'osservatore di vedere l'immagine della fenditura a fuoco.

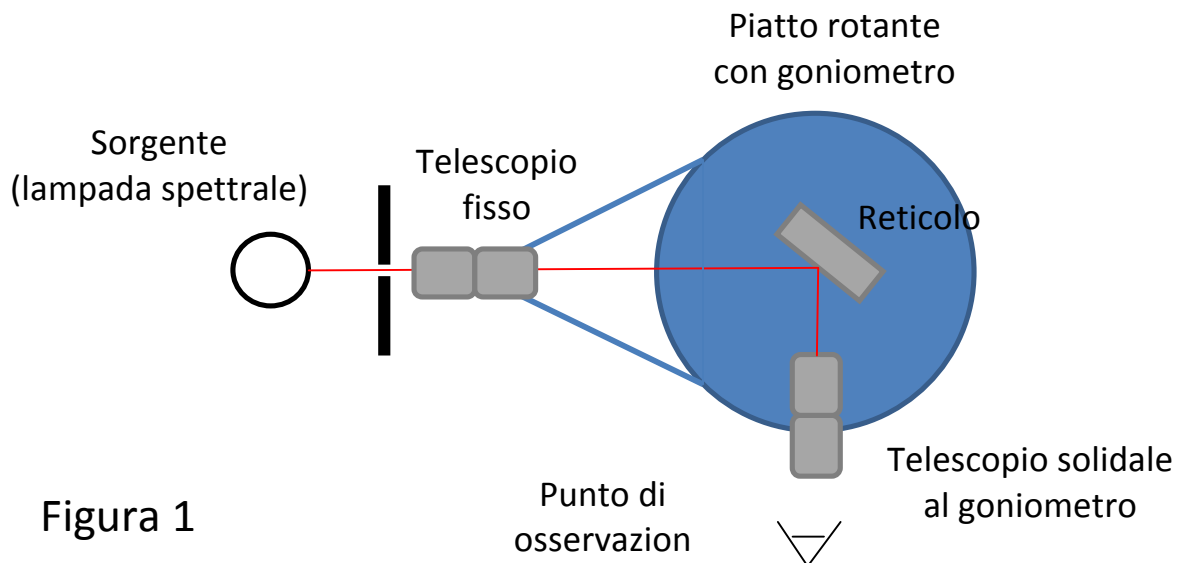


Figura 1

Le lampade spettrali a disposizione hanno funzioni diverse nell'esperienza; la lampada al mercurio viene utilizzata per regolare la geometria dei telescopi e determinare il riferimento nel goniometro, la lampada ad idrogeno viene utilizzata per la misura della costante di Rydberg e quella al sodio viene utilizzata per controllare la risoluzione spettrale dello strumento.

Attenzione ! Le lampade devono essere accese diversi minuti prima del loro utilizzo al fine di stabilizzarne l'intensità di emissione.

L'esperienza è suddivisa in 3 fasi.

2) – Fasi dell'esperienza

- Fase 1 - Regolazione della geometria dei telescopi

Si posiziona la sorgente luminosa, la lampada al mercurio in questa fase, ben allineata rispetto alla direzione di raccolta e si ruota il telescopio di osservazione fino a vedere l'ordine zero del reticolo (riflessione speculare).

A questo punto si blocca la posizione del telescopio e si agisce sul fuoco dei telescopi fino ad osservare un'immagine nitida della fenditura.

Si sblocca nuovamente e si ruota il goniometro fino ad osservare una delle righe del primo ordine di diffrazione. Righe intense sono, in sequenza per angolo di incidenza decrescente, viola, verde, rosso e un doppietto giallo. Controllare, con piccoli movimenti dell'obiettivo, che tutte le linee intense siano ben a fuoco.

- Fase 2 - Calibrazione dello strumento

È la fase più importante. Una calibrazione mal eseguita o non sufficientemente accurata porta ad una determinazione errata delle lunghezze d'onda emesse dall'idrogeno (serie di Balmer) e del sodio. La calibrazione si svolge in due passi:

Passo 1 - Determinazione dello "zero" del goniometro

Lo spettroscopio ha un goniometro dotato di nonio ventesimale che permette di leggere $\frac{1}{3}$ di grado diviso in 20 parti e quindi $\frac{1}{60}$ di grado ovvero $1'$ d'arco. Poiché il nonio ha anche le mezze divisioni la risoluzione massima è $0.5'$ d'arco.

Attenzione ! l'immagine che si osserva è un rettangolo luminoso che ha una larghezza che dipende dall'apertura della slitta d'ingresso. Discutete le condizioni di lavoro scelte in termini di larghezza della fenditura, intensità trasmessa ed errore di misura sull'angolo determinato dalla larghezza finita della riga osservata.

Per determinare lo zero del goniometro si deve rimuovere l'intera torretta che ospita il reticolo di diffrazione e portare il telescopio di osservazione di fronte a quello di raccolta

in modo che l'insieme sorgente – telescopio di raccolta – telescopio di osservazione siano allineati.

Attenzione ! Non si tocchi il reticolo con le dita, né si cerchi di muoverlo agendo sulla vite! A questo punto si legge il goniometro. Il valore di α_0 letto sarà lo “zero” del goniometro e tutte le letture successive α saranno riferite a questo valore:

$$\alpha_i = \alpha_{\text{letto}} - \alpha_0$$

Passo 2 - Misura del passo reticolare

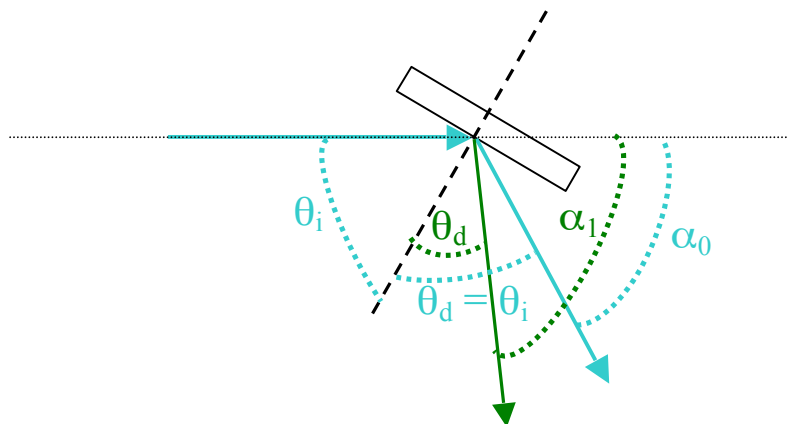
Si rimonti la torretta che ospita il reticolo in modo che l'angolo di incidenza (figura 2) sia approssimativamente maggiore di 60° e la quota sia tale da allineare la lente del telescopio con la superficie del reticolo; da questo momento il reticolo non deve essere più mosso. Si determinino prima la posizione dell'ordine zero (misura di θ_0) e, successivamente, la riga verde ($\lambda = 546.074 \text{ nm}$) del mercurio al primo ordine di diffrazione (misura di θ_1). Si utilizzino la relazione del reticolo

$$(2) \quad d(\sin \theta_i - \sin \theta_d) = m\lambda$$

e le relazioni geometriche (vedi figura 2)

$$(3) \quad \begin{aligned} \theta_i &= \frac{1}{2}(\pi - \alpha_0) \\ \theta_d &= \pi - \theta_i - \alpha_i \end{aligned}$$

Il passo reticolare d è determinato dai i valori misurati degli angoli e quello noto di λ .



$$\begin{aligned} \pi &= \theta_i + \theta_d + \alpha_0 = 2\theta_i + \alpha_0 \rightarrow \theta_i = \frac{1}{2}(\pi - \alpha_0) \\ \pi &= \theta_i + \theta_d + \alpha_1 \end{aligned}$$

Figura 2)

- Fase 3

a)- determinazione delle righe di emissione dell'idrogeno

Si sostituisca la lampada al mercurio con quella ad idrogeno; è importante posizionare la lampada in modo da avere la massima intensità all'ordine zero (senza toccare le distanze focali predeterminate dei telescopi); il posizionamento della lampada può essere migliorato una volta che si siano individuate le righe (meno intense) del primo ordine di diffrazione. Si determinino le lunghezze d'onda associate alle linee individuate. Se le operazioni sono state svolte correttamente, a luce ambientale spenta, si dovrebbe poter individuare la seguente sequenza al diminuire dell'angolo di riflessione:

- doppietto viola (poco intenso)
- linea azzurra (intensa)
- doppietto verde (debole)
- linea rossa (moderatamente intensa)
- linea rossa (intensa)
- doppietto viola (molto debole) 2° ordine
- linea azzurra (intensa) 2° ordine

Utilizzando l'equazione di Rydberg

$$(4) \quad \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

che lega la lunghezza d'onda associata alle transizioni ai numeri quantici dei livelli energetici dell'idrogeno nell'approssimazione di Bohr, e utilizzando i valori riportati in tabella 1 per i valori limite delle serie dell'idrogeno, si trovino le coppie (n_1, n_2) che determinano i valori di λ stimati col valore nominale della costante che meglio approssimano quelli da voi misurati con l'equazione del reticolo.

n_1	n_2	Serie	Limite (nm)
1	∞	Lyman	91
2	∞	Balmer	365
3	∞	Paschen	821
4	∞	Brackett	1459
5	∞	Pfund	2280
6	∞	Humphreys	3283

Tabella 1

Si tenga presente che le linee visibili più intense appartengono alla serie di Balmer (cfr. tabella 2)

n_1	n_2	$\lambda(\text{nm})$
2	5	434

2	4	486
2	3	656

Tabella (2)

Una volta determinate le coppie (n_1, n_2) per le transizioni osservate, si provi ad estrarre la costante di Rydberg “misurata” utilizzando un fit ai valori sperimentali di λ , n_1 e n_2 dell’equazione (4). Si stimi l’errore su questa misura.

b)- Misure con la lampada al sodio

Si utilizzi ora la lampada al sodio e si osservi la posizione angolare, al primo ordine di diffrazione, delle righe di emissione del doppietto del sodio. La distanza tra le due righe è nota essere 0.6 nm; si utilizzi questo dato per stimare la precisione sulla misura di lunghezze d’onda ottenibile con lo spettroscopio a disposizione e si confronti il valore ottenuto con gli errori stimati sulla lunghezza d’onda propagando l’errore sulle misure angolari al punto a).

Infine si confronti la misura del doppietto del sodio osservato con lo spettrometro a reticolo e con quello a prisma. Si commentino le differenze osservate.

IMPORTANTE ! Al fine di valutare l’errore sistematico associato al metodo di misura, è bene che ogni misura, a partire da quella dell’angolo di riferimento, sia ripetuta da ciascun studente del gruppo, in modo da poter confrontare i valori centrali di ciascuna grandezza misurata.