

Laboratorio di Fisica 3

Misura della costante di Rydberg

Introduzione

La presente esperienza ha come scopo la determinazione della costante di Rydberg utilizzando la misura delle lunghezze d'onda delle righe di emissione dell'idrogeno nel visibile. I livelli energetici dell'idrogeno (E_n) nell'approssimazione di Bohr (ed utilizzando il SI) possono essere espressi dall'equazione:

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 n^2 a_B}$$

dove m è la massa dell'elettrone ed a_B è il raggio di Bohr, cioè il raggio dell'orbita a minima energia:

$$a_B = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2}$$

Esplicitando il raggio di Bohr si ottiene:

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{me^4}{(2\epsilon_0)^2 \hbar^2 n^2}$$

La differenza energetica tra due livelli dell'idrogeno, indicati nell'equazione con n_1 e n_2 (con $n_1 > n_2$) si può quindi scrivere come:

$$\Delta E_{n_1, n_2} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

da cui, utilizzando $E = \frac{hc}{\lambda}$, si ottiene l'equazione di Rydberg:

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

dove Ry è la costante di Rydberg. Questa equazione lega la lunghezza d'onda delle radiazioni emesse dall'atomo di idrogeno alle transizioni tra livelli energetici corrispondenti a numeri quantici determinati.

Le serie dell'idrogeno sono individuate dal valore di n_1 e comprendono transizioni che corrispondono ad un intervallo di lunghezze d'onda come indicato in Tabella 1.

Da questi valori si capisce che solo le transizioni di Balmer sono nel visibile (400-700 nm).

Tabella 1

n₁	Serie	Limite minimo con n₂ = infinito (nm)	Limite massimo con n₂ = n₁+1 (nm)
1	Lyman	91	122
2	Balmer	365	656
3	Paschen	821	1875
4	Brackett	1459	4051
5	Pfund	2280	7460
6	Humphreys	3283	12370

Le righe più intense della serie di Balmer sono quelle mostrate in Tabella 2.

Tabella 2

n₁	n₂	λ(nm)
2	5	434
2	4	486
2	3	656

Procedimento

Materiale utilizzato per la raccolta dei dati:

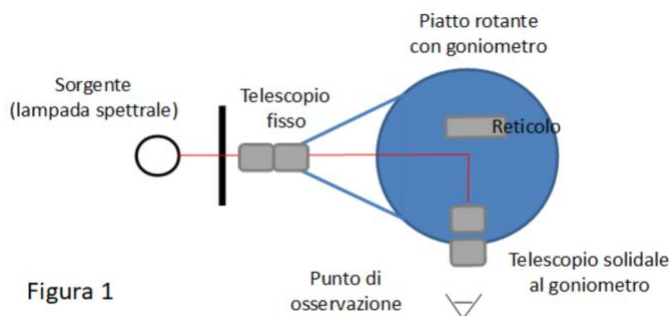
- spettroscopio a reticolo di diffrazione
- lampada all'idrogeno

Lo strumento di misura è uno spettroscopio a reticolo nella configurazione “classica” mostrata in Figura 1. È 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. La luce uscente dal telescopio di osservazione viene raccolta da una telecamera che permette di visualizzare l'immagine sullo schermo del computer.

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.

Per la misura della costante di Rydberg come sorgente si utilizza una lampada ad idrogeno mentre per la calibrazione si utilizza una lampada al mercurio.



Le lunghezze d'onda della radiazione emessa si ottengono tramite la misura degli angoli di diffrazione che si producono su un reticolo di passo "d" attraverso la nota relazione:

$$d(\sin \theta_i - \sin \theta_{d,m}) = m\lambda$$

dove θ_i è l'angolo di incidenza, $\theta_{d,m}$ è l'angolo di diffrazione per l'ordine m (con $m=0, 1, \dots$). Il significato dei vari simboli viene chiarito in Figura 2 in cui sono indicate la diffrazione di ordine $m=0$ in azzurro, e la diffrazione di ordine $m=1$ della riga verde, in verde. Gli angoli misurati sono quelli indicati con α .

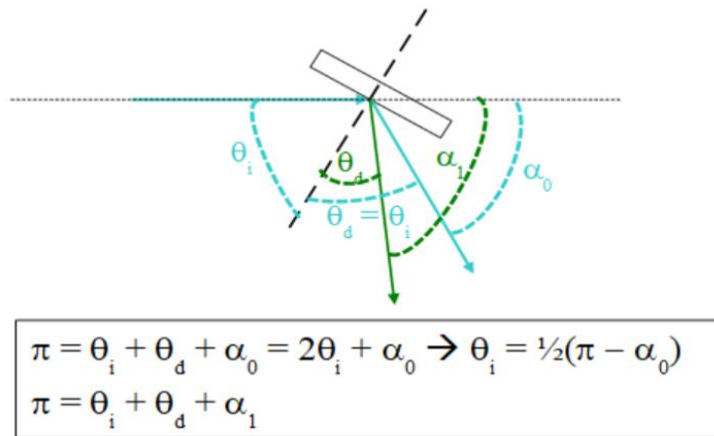


Figura 2

Gli angoli¹ α sono riferiti ad uno zero appropriatamente definito ($\beta_{\text{azzeramento}}$) che corrisponde all'angolo tra lo zero del goniometro e la direzione della luce diretta. Per trovarlo è necessario togliere la torretta che ospita il reticolo (l'intera torretta, non il solo reticolo!). Si suggerisce di indicare gli angoli riferiti allo zero del goniometro con la lettera β e gli angoli (che si utilizzano nelle formule sopra) con la lettera α dove $\alpha = \beta - \beta_{\text{azzeramento}}$. **E' importante che nella relazione riportate una tabella con tutti gli angoli α e β che misurate ed i relativi errori.**

Il numero di ordini di diffrazione visibili dipende dall'angolo di incidenza della luce sul reticolo. Se montiamo il dispositivo quasi radente (cioè parallelo alla luce incidente), con il reticolo a disposizione è possibile vedere tutto il secondo ordine e anche alcune righe del terzo ordine. Verificate di vedere almeno tutto il secondo ordine.

Determinazione del passo reticolare

¹ La misura degli angoli viene fatta con il goniometro che è fornito di un nonio. Se non vi ricordate come utilizzare il nonio consultate il file nonio.pdf

Una prima misura del passo reticolare si ottiene utilizzando la posizione angolare 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). Il passo reticolare d è quindi determinato da:

- i valori misurati dell'angolo della diffrazione di ordine 1 per la riga verde;
- il valore noto della lunghezza d'onda verde.

Una parte del gruppo stimi immediatamente il passo reticolare da questa misura, in modo da avere una verifica della correttezza del metodo di misura con un docente. Nel frattempo una persona misuri le posizioni delle righe principali (quelle della scheda della lampada) del mercurio per almeno due ordini di diffrazione. Queste misure verranno usate nella relazione per una verifica della legge della diffrazione.

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. Se le operazioni sono state svolte correttamente, a luce ambientale spenta, si può 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)
- a seguire, con la stessa sequenza tutto il secondo ordine.

Utilizzando il passo reticolare e la misura dell'angolo di diffrazione si determinino le lunghezze d'onda associate alle linee individuate. Da queste misure ricavare il ricavare il valore della costante di Rydberg e confrontarlo con il valore atteso e discutere la precisione della misura.

[Nota: ricordate di utilizzare i dati relativi a tutti gli ordini di diffrazione visibili].

b)- Misure con la lampada al sodio

Si utilizzi ora la lampada al sodio e si osservi la posizione angolare delle righe di emissione del doppietto del sodio a tutti gli ordini di diffrazioni visibili. 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).

[Nota: ricordate di utilizzare i dati relativi a tutti gli ordini di diffrazione visibili]

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.