

Gli spettri di emissione delle sorgenti luminose

Scopo dell'esperimento

Lo scopo dell'esperimento è quello di confrontare lo spettro di diverse sorgenti luminose di uso comune. In particolare sarà analizzato in modo quantitativo lo spettro di emissione di una lampada ad idrogeno, per determinare il valore della costante di Rydberg attraverso le lunghezze d'onda delle prime righe luminose visibili della serie di Balmer.

Materiali e strumenti

- Spettrometro Spectra-1 della Kvant (range 360-940 nm, risoluzione $< 2\text{nm}$) con cavo flessibile in fibra ottica flessibile per ricevere il segnale ottico



Fig. 1 Spettrometro collegato al PC mediante cavo USB

- Alimentatore ad alta tensione per lampade a gas
- Lampada a gas idrogeno, lampade ad incandescenza, lampade a basso consumo, sorgenti led e laser.



Fig. 2 Sorgenti luminose: lampada a gas, ad incandescenza, a basso consumo, diodi laser e LED

- Software di acquisizione dati *Spectrometer* della Kvant.

Breve richiamo teorico

Nel 1885 lo scienziato svizzero Balmer scoprì per via empirica che le lunghezze d'onda delle righe visibili nello spettro dell'idrogeno si ottengono dalla formula:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (\text{serie di Balmer})$$

dove $R_H = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ è una costante di proporzionalità e n è un numero naturale > 2 .

In seguito furono osservate nello spettro dell'idrogeno nuove serie di righe nella zona infrarossa e in quella ultravioletta. Lo scienziato svedese Rydberg scoprì che tutte le righe spettrali si ottengono da una legge più generale espressa dalla formula seguente:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (\text{legge di Rydberg-Ritz})$$

dove $R_H = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ è la costante di Rydberg, m e n sono due numeri naturali con $n > m$.

Nella legge di Rydberg, ponendo $m = 2$ si ottiene la serie di Balmer (righe visibili), ponendo $m = 1$ si ottengono le righe nella regione dell'ultravioletto (serie di Lyman), per $m > 2$ si ottengono le righe nell'infrarosso (serie di Paschen, serie di Brackett, serie di Pfund).

La legge empirica di Rydberg si può dedurre dalla teoria di Bohr, lo scienziato danese che nel 1913 propose un modello atomico in cui gli elettroni ruotano intorno al nucleo su orbite circolari i cui raggi possono avere soltanto un insieme discreto di valori. In queste orbite permesse gli elettroni non irradiano e possiedono un'energia ben definita, che per l'idrogeno, è espressa dalla formula:

$$E(n) = -\frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

dove $n = 1, 2, \dots$ è il *numero quantico principale* corrispondente all' n -esima orbita permessa

$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ è la massa dell'elettrone, $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ è la carica elettrica dell'elettrone

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ è la costante dielettrica del vuoto, $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ è la costante di Planck.

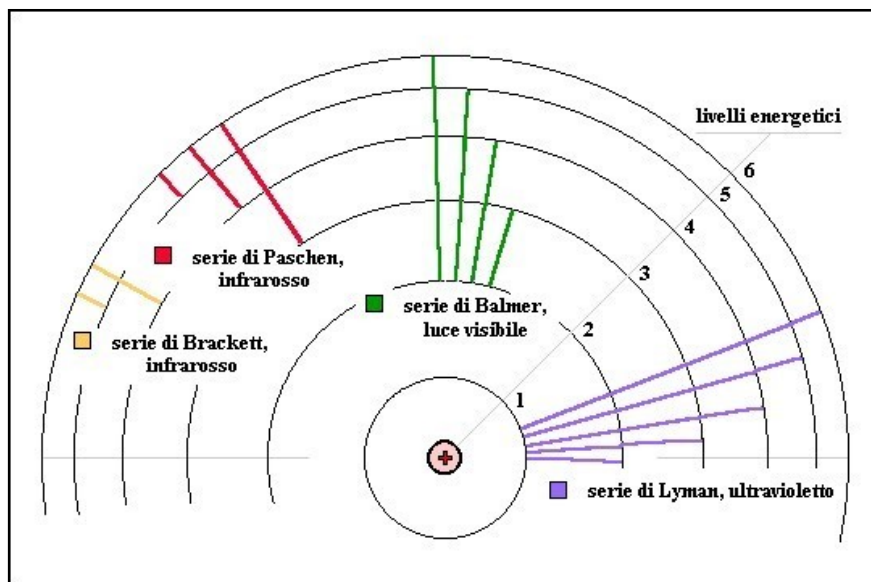


Fig. 3 Righe di emissione dell'idrogeno secondo il modello atomico di Bohr

Bohr ha ipotizzato che un gas attraversato da una corrente elettrica emette luce, perché l'energia elettrica fa saltare gli elettroni dalle orbite interne di minore energia a quelle più esterne aventi energia maggiore (*stato eccitato*); dopo un breve tempo (minore di 10^{-8} secondi) gli elettroni ritornano dall'orbita di numero quantico n ad una più interna di numero quantico $m < n$, emettendo la differenza di energia (ΔE) sotto forma di fotoni (quanti di luce) di frequenza:

$$f_{nm} = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E(n) - E(m)}{h}$$

dove f_{nm} sono le frequenze possibili delle righe spettrali corrispondenti alle transizioni tra le orbite permesse di numeri quantici n e m .

Combinando le due formule precedenti si ottengono le lunghezze d'onda delle righe spettrali dell'idrogeno:

$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = \frac{f_{nm}}{c} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

dove $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s è la velocità della luce nel vuoto,

$$R_H = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ è la costante di Rydberg}$$

Esecuzione dell'esperimento e analisi dati

- Inserire la lampada ad idrogeno nell'apposito alimentatore ad alta tensione (maneggiare la lampada con cura cercando di toccarla solo alle estremità).
- Accendere l'alimentatore che fornirà una differenza di potenziale di circa 5000 V e accenderà la lampada a scarica (ricordarsi di accendere con anticipo la lampada, perché richiede un tempo di circa 10 minuti per emettere uno spettro luminoso stabile e definitivo).
- Collegare la fibra ottica allo spettrometro e porre la sorgente davanti all'altro capo della fibra, che è tenuta ferma utilizzando l'apposita pinza, come si vede dalla seguente figura.

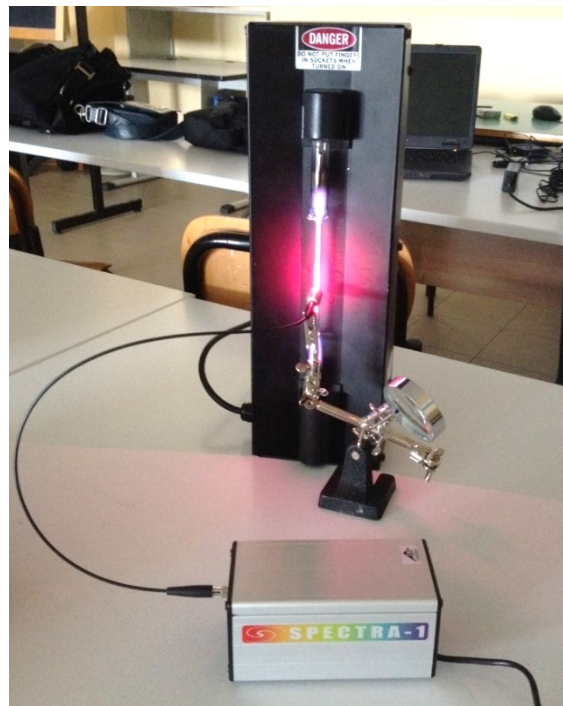


Fig. 4 Configurazione sperimentale per misurare lo spettro della lampada ad idrogeno

- Aprire il software *Spectrometer*, cliccare sul menù *Device Settings* e selezionare *Vimicro USB2.0 UVC PC Camera*.
- Se necessario cliccare sul menù *Calibration* e impostare i *Calibration Data* presenti nella parte inferiore dello spettrometro.
- Impostare il campo *Scans to average* al valore 10, selezionare il campo *Show peaks* e *Fill chart* e avviare la misura cliccando sul tasto “*Continually display Recorded spectrum*”, quindi cliccare sul pulsante *Axis Y autoscale*. Si dovrebbe ottenere uno spettro simile a quello mostrato nella figura seguente:

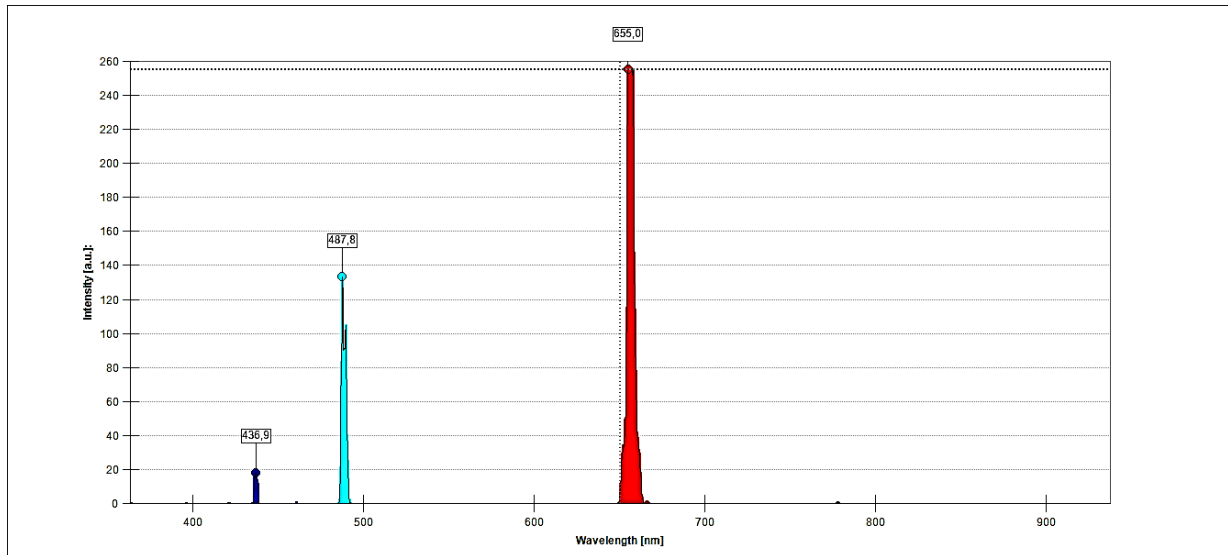


Fig. 5 Spettro di emissione della lampada ad idrogeno

- Salvare l'immagine dello spettro e annotare i valori delle lunghezze d'onda (con 4 cifre significative) dei 3 picchi caratteristici.
- Spegnere l'alimentatore della lampada ad idrogeno e aspettare che essa si raffreddi per circa 15 minuti prima di estrarla e rimetterla a posto.
- Usare i valori sperimentali ottenuti delle lunghezze d'onda (λ) dei picchi per calcolare la costante di Rydberg mediante la formula seguente:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (\text{serie di Balmer})$$

dove n è un numero naturale maggiore di 2 che corrisponde alle diverse transizioni elettroniche:

$n = 3$ corrisponde alla transizione elettronica 3-2 → riga di colore rosso

$n = 4$ corrisponde alla transizione elettronica 4-2 → riga di colore azzurro

$n = 5$ corrisponde alla transizione elettronica 5-2 → riga di colore violetto

- Ripetere le operazioni precedenti per acquisire gli spettri delle altre sorgenti luminose (lampade ad incandescenza, lampade a basso consumo, sorgenti led e laser) e salvare le immagini di tutti gli spettri.

Conclusioni

- Determinare il valore sperimentale della costante di Rydberg (R_{Hsp}) come media aritmetica dei valori ottenuti dalle righe presenti nello spettro (usare 4 cifre significative).

Tabella dei punteggi assegnati in base all'errore percentuale $e\%$ rispetto al valore di riferimento R_{Hrif}

$$e\% = 100 \cdot (R_{Hsp} - R_{Hrif}) / R_{Hrif}$$

Errore percentuale ($e\%$)	Punteggio
$e\% < 0,5\%$	400
$0,5\% \leq e\% < 1\%$	380
$1\% \leq e\% < 2\%$	360
$2\% \leq e\% < 3\%$	340
$3\% \leq e\% < 4\%$	320
$4\% \leq e\% \leq 5\%$	300
$e\% > 5\%$	150

- Confrontare qualitativamente gli spettri delle diverse sorgenti luminose, mettendo in evidenza analogie e differenze.