

# 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 la lunghezza d'onda e le coordinate RGB del colore della riga luminosa più intensa, corrispondente alla transizione elettronica 3-2 nella serie di Balmer.

## Materiali e strumenti

- Spettrometro Spectra-1 della Kvant (range 360-940 nm, risoluzione < 2nm) 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.
- Software di analisi dati *Origin 8*.

## 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:

$$E(n) = -\frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

dove  $n = 1, 2, 3, \dots$  è il *numero quantico principale* corrispondente all' $n$ -esima orbita permessa,  $m$  è la massa dell'elettrone ( $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ),  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  è la carica elettrica dell'elettrone,  $\varepsilon_0$  è la costante dielettrica del vuoto ( $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ ),  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  è la costante di Planck.

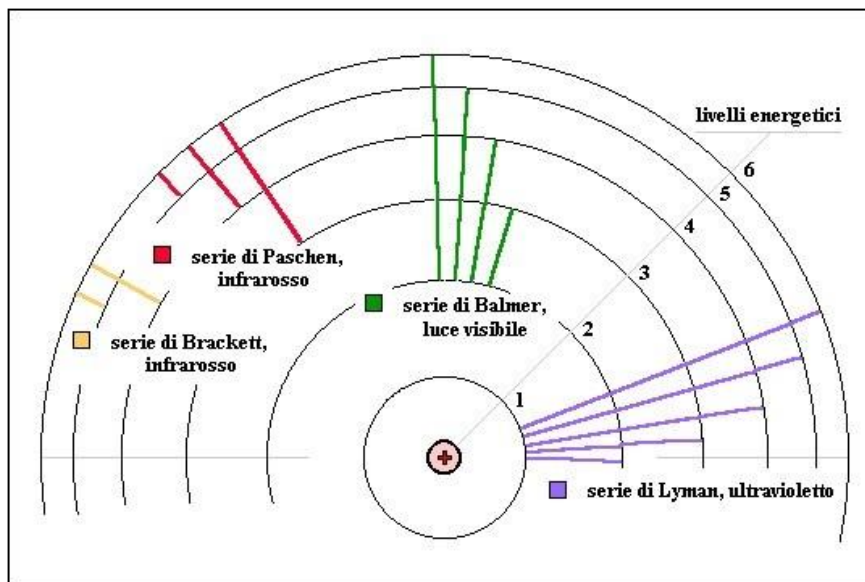


Fig. 3 Righe di emissione dell'idrogeno secondo il modello atomico di Bohr

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 ( $\Delta E$ ) 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:

$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = \frac{f_{nm}}{c} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

dove  $c = 2.998 \cdot 10^8$  m/s è la velocità della luce nel vuoto,

$$R_H = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ è la costante di Rydberg}$$

### ***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*, impostare il campo *Scans to average* al valore 10, selezionare il campo *Show peaks* e *Fill chart* e avviare la misura cliccando sul tasto "Record spectrum", quindi cliccare sulla *freccia verde in basso*. Si dovrebbe ottenere uno spettro simile a quello mostrato nella figura seguente:

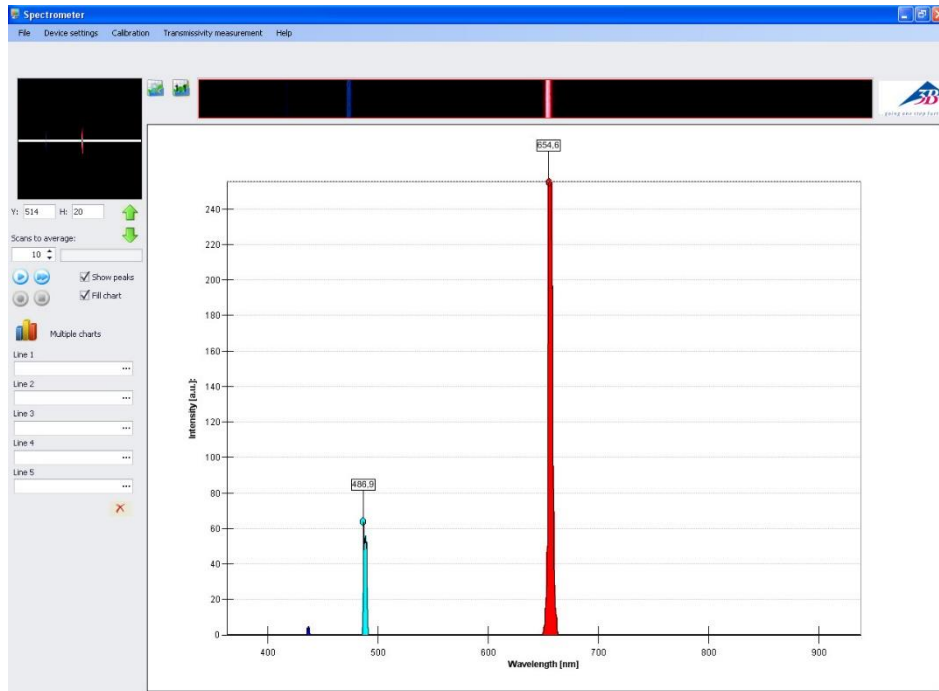


Fig. 5 Spettro di emissione della lampada ad idrogeno

- Salvare l'immagine dello spettro (facendo un *Print Screen*) ed esportare il file di testo con i dati sperimentali (intensità e lunghezza d'onda) mediante il menù *File*→*Export*.
- Spegnerne l'alimentatore della lampada ad idrogeno e aspettare che essa si raffreddi per circa 15 minuti prima di estrarla e rimetterla a posto.
- Aprire il programma *Origin* ed importare il file di testo relativo allo spettro della lampada ad idrogeno (menù *File*→*Import*→*Import Wizard*, selezionare il *file ASCII*, cliccare 4 volte sul tasto *Next*, selezionare come *Delimiter* il *Tab* e come *Numeric Separator* il valore 1000,00 quindi cliccare sul tasto *Finish*).
- Selezionare nella finestra *Book1* le due colonne con i dati sperimentali, quindi costruire lo spettro mediante il menù *Plot*→*Line*; si dovrebbe ottenere un grafico simile a quello della figura seguente:

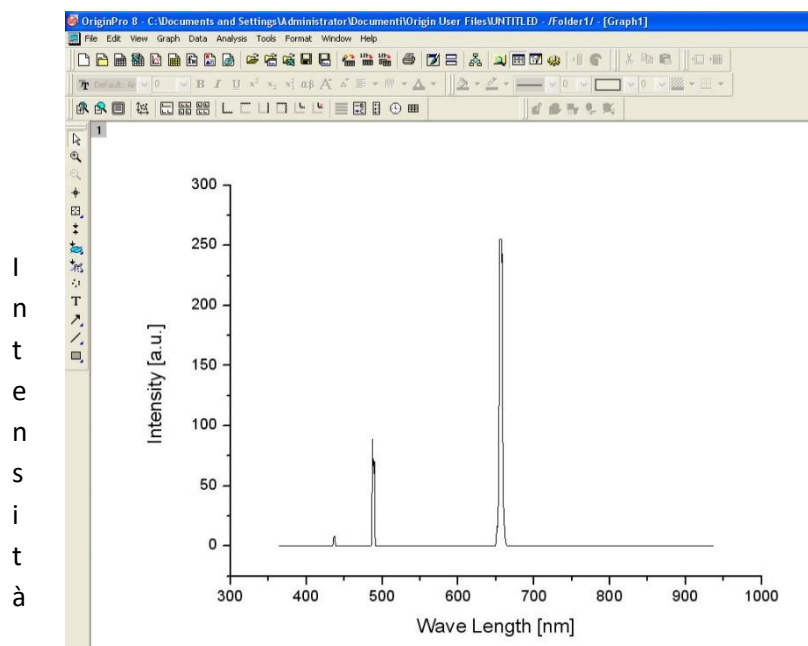


Fig. 6 Grafico dello spettro di emissione della lampada a idrogeno

- Nel grafico suddetto si vedono i tre picchi caratteristici della lampada ad idrogeno: le operazioni successive consistono nel determinare la lunghezza d'onda corrispondente a tali picchi con la relativa

incertezza. Cliccare su *Analysys* → *Spectroscopy* → *Integrate Multiple Peaks* → *Open Dialog*, dovrebbe apparire una schermata tipo quella seguente:

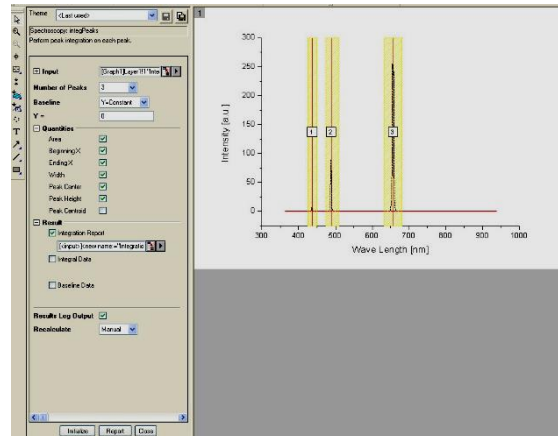


Fig. 7 Finestra di analisi dello spettro mediante Origin

- Selezionare il numero dei picchi da esaminare (3 in questo caso), cliccare sul tasto *Report*, poi sul tasto *Close*, quindi cliccare su *Integration Report1* nella finestra *Book1*: compariranno nella tutte le informazioni cercate, come mostrato nella figura seguente:

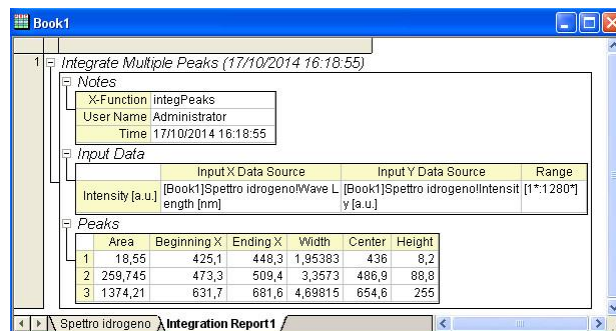


Fig. 8 Finestra di Origin con i risultati dell'analisi spettroscopica dei picchi

- Annotare i valori delle lunghezze d'onda (colonna *Center*) e delle relative incertezze (colonna *Width*) dei tre picchi visualizzati (attenzione i valori sono espressi in *nanometri*!).
- Confrontare i valori sperimentali suddetti con quelli teorici calcolabili 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  $R_H = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$  è la costante di Rydberg,  $n$  è un numero naturale maggiore di 2:

$n = 3$  corrisponde alla transizione elettronica  $3 \rightarrow 2$

$n = 4$  corrisponde alla transizione elettronica  $4 \rightarrow 2$

$n = 5$  corrisponde alla transizione elettronica  $5 \rightarrow 2$

- Ripetere le operazioni precedenti per acquisire gli spettri delle altre sorgenti luminose (lampade ad incandescenza, lampade a basso consumo, sorgenti led e laser), salvare le immagini degli spettri ed esportare il file di testo con i dati sperimentali.

## Conclusioni

- Mediante un convertitore online (<http://lsrtools.1apps.com/wavetorgb/>) determinare le esatte coordinate RGB del colore della riga luminosa più intensa corrispondente alla transizione  $3 \rightarrow 2$ , e annotarle nel report dell'esperimento.
- Confrontare qualitativamente gli spettri delle diverse sorgenti luminose, mettendo in evidenza analogie e differenze.