

# Ottica 1

Gruppo BN

Federico Belliardo, Marco Costa, Lisa Bedini

16 marzo 2017

## 1 Scopo dell'esperienza

Questa esperienza si divide in due parti: A e B. La parte A è dedicata al calcolo della lunghezza d'onda del sodio, mentre nella parte B attraverso l'osservazione della luce emessa da tre lampade diverse si è misurato il passo reticolare dello spettroscopio a reticolo, la costante di Rydberg e la separazione del doppietto del sodio.

## 2 Materiale occorrente

- Lampada al cadmio;
- Lampada al sodio;
- Lampada al mercurio;
- Lampada a idrogeno;
- Elemento dispersivo A: prisma;
- Elemento dispersivo B: reticolo;
- Supporto con goniometro integrato;

Inoltre avremo a disposizione due telescopi, uno di raccolta della luce dotato di fenditura per regolare l'intensità del fascio, e uno di osservazione solidale a un supporto mobile dotato di goniometro, per misurare la posizione del telescopio rispetto all'elemento dispersivo. Tali telescopi presentano una croce nera sulla lente che indica il centro della stessa, in questo modo è possibile avere un punto di riferimento per effettuare le misure. Il goniometro utilizzati nella parte A e B hanno una risoluzione di  $1'$  e  $0,5'$  rispettivamente.

## 3 Parte A - Descrizione esperimento

**Lampada al cadmio** Per tarare l'apparato strumentale si è posta la lampada al cadmio in modo da allineare le fenditure, della lampada stessa e del telescopio di raccolta. Abbiamo regolato l'apertura del diaframma al minimo così da avere l'incertezza minima, quindi abbiamo posizionando l'elemento dispersivo con un angolo di almeno  $60^\circ$  rispetto alla direzione del telescopio di raccolta e osservato le righe di emissione del cadmio, di colori rosso, verde, azzurro e viola. Come ultima cosa abbiamo ruotato lentamente il prisma per trovare l'angolo di minima dispersione per la riga verde<sup>1</sup>, cioè l'angolo di inversione del moto delle righe dello spettro che si osserva muovendo il prisma. Non abbiamo eseguito una misura dell'angolo  $\alpha_0$  al quale viene focalizzato il fascio (come sarà invece eseguito nella prossima parte) poiché risulta essere una costante additiva inessenziale nella nostra analisi dati. Si è dunque eseguita la calibrazione spettrale, note le lunghezze d'onda delle principali righe di emissione del cadmio. Abbiamo misurato l'angolo di osservazione di ciascuna riga<sup>2</sup> (vedi tabella 1) e eseguito un fit lineare  $y = ax + b$  nel grafico  $\alpha$  vs  $1/\lambda$  ottenendo come parametri  $a = -3250 \pm 40 \frac{^\circ}{\text{nm}}$  e  $b = 148.1 \pm 0.1^\circ$  e  $\chi^2 = 23/2$ . Il  $\chi^2$  ottenuto è alto a causa del fatto che la curva di calibrazione lineare in funzione di  $\frac{1}{\lambda}$  è solo un'approssimazione, in realtà si ha comportamento molto più complesso per il prisma. I dati raccolti si trovano in tabella 1 mentre in figura 2 è presente il grafico con il fit.

Per eseguire i fit di tutta la relazione si è la funzione *curvefit* della libreria *pylab* con l'opzione *absolute sigma = "true"*.

<sup>1</sup>Perché ha la lunghezza d'onda più vicina a quella del sodio.

<sup>2</sup>In tutta la relazione ogni misura angolare riportata è intesa come media delle tre misure eseguite dai tre componenti del gruppo. Come errore si è preso il massimo fra quello di lettura sulla scala graduata del nonio e la semidispersione dei valori letti.

Colore	$\lambda$ (nm)	$\alpha$ (°)
Rosso	$643.8 \pm 0.1$	$143^\circ 1' \pm 1'$
Verde	$508.643 \pm 0.001$	$141^\circ 45' \pm 1'$
Azzurro	$480.0 \pm 0.1$	$141^\circ 19' \pm 1'$
Viola	$467.8 \pm 0.1$	$141^\circ 5' \pm 1'$

Tabella 1: Righe di emissione del cadmio con relativa posizione angolare.

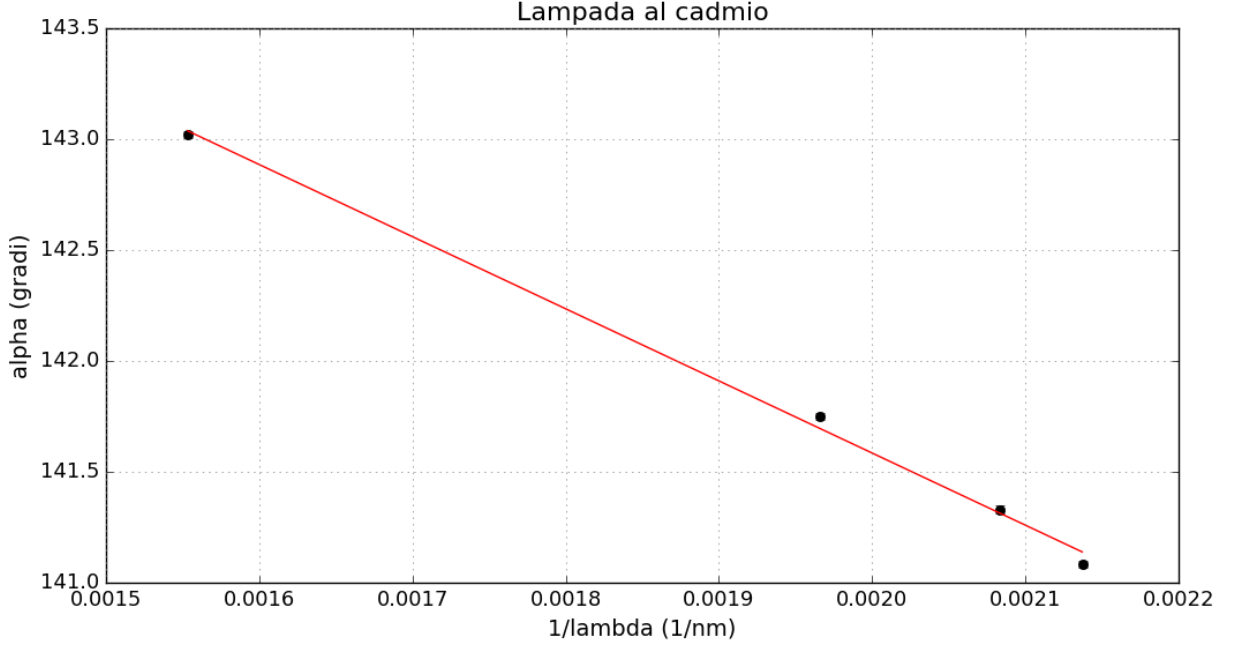


Figura 1: Grafico  $\alpha$  vs  $1/\lambda$  e *fit*.

**Lampada al sodio** Si è sostituita la lampada al cadmio con la lampada al sodio precedentemente accesa in modo che si stabilizzasse. Abbiamo individuato la riga<sup>3</sup> di emissione del sodio e misurata la sua posizione angolare, che risulta  $\alpha_{Na} = 142^\circ 35' \pm 1'$ . Usando le relazioni ricavate precedentemente dal *fit*, si calcola  $\lambda_{Na} = 590 \pm 10$  nm. Questo valore sarà confrontato con quello ottenuto usando il reticolo, elemento dispersivo con più potere risolutivo del prisma.

## 4 Parte B - Descrizione esperimento

**Lampada al mercurio** Come prima operazione si esegue la procedura per la taratura dell'apparato sperimentale. Si è rimosso il reticolo dal suo supporto e successivamente abbiamo posto la lampada al mercurio e i telescopi in modo da allineare il sistema aiutandoci con la croce nera disegnata sulla lente del telescopio. Successivamente abbiamo regolato l'ampiezza della fenditura e il fuoco dei telescopi. In queste condizioni si misura un angolo  $\alpha_0 = 169^\circ 45' \pm 1'$  sulla ghiera. D'ora in avanti tutte le misure di angoli saranno riportate come  $\alpha = \alpha_{lettura} - \alpha_0$ . Abbiamo posto il reticolo con un angolo di almeno  $60^\circ$  rispetto al telescopio di raccolta, quindi abbiamo controllato che le righe di interesse, quelle della serie di Balmer, fossero ben visibili.

Come ultima operazione si è calcolato il passo reticolare  $d$ . Per fare ciò abbiamo misurato l'angolo di ordine zero della riga verde e l'angolo della stessa riga al primo ordine, i due risultati sono:  $\alpha_V^0 = 58^\circ 8' \pm 2'$  e  $\alpha_V^1 = 106^\circ 7' \pm 2'$ . Da semplici considerazioni geometriche si ricavano le seguenti relazioni:

$$\theta_i = \frac{1}{2}(\pi - \alpha_V^0) = 61^\circ 56' \pm 2' \quad (1)$$

$$\theta_d = \pi - \theta_i - \alpha_1 = 12^\circ 56' \pm 3' \quad (2)$$

Quindi è possibile calcolare  $d$  sfruttando la relazione del reticolo

$$d(\sin\theta_i - \sin\theta_d) = m\lambda \quad (3)$$

<sup>3</sup>Un doppietto in realtà ma l'uso del prisma non consente tale risoluzione.

Si ottiene  $d = 840.2 \pm 0.5 \text{ nm}$  considerando nota la lunghezza d'onda del mercurio  $\lambda_{Hg} = 546.074 \pm 0.001 \text{ nm}$ . Dal valore di  $d$  si calcola il numero di righe per millimetro  $N = 1190 \pm 3$ , vicino ma non perfettamente in accordo con il valore nominale di 1200 (differisce da esso per  $3\Delta N$ ).

**Lampada a idrogeno** Si è sostituita la lampada a mercurio con quella a idrogeno, senza modificare l'apertura della fenditura del telescopio. Abbiamo quindi misurato la distanza angolare delle righe di emissione per calcolarne le lunghezze d'onda mediante la formula  $d(\sin \theta_i - \sin \theta_d) = m\lambda$ . I risultati sono riportati in tabella 2. Le righe verde e arancione non fanno parte dello spettro dell'idrogeno ma sono dovute ad impurità nella lampada pertanto i dati relativi a queste non saranno necessari nell'analisi dati, ma sono riportati nella tabella per completezza.

Colore	$\alpha$ ( $^\circ$ )	$\lambda$ (nm)
Viola	$98^\circ 2' \pm 1'$	$432 \pm 2 \text{ nm}$
Azzurro	$101^\circ 53' \pm 1'$	$486 \pm 2 \text{ nm}$
Verde (deb.)	$105^\circ 5' \pm 1'$	$531 \pm 2 \text{ nm}$
Arancio	$110^\circ 48' \pm 1'$	$613 \pm 2 \text{ nm}$
Rossa	$113^\circ 30' \pm 1'$	$653 \pm 1 \text{ nm}$

Tabella 2: Posizione angolare delle righe dell'idrogeno e lunghezza d'onda.

Lo spettro dell'idrogeno è descritto dall'equazione di Rydberg:

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

Per la serie di *Balmer*, quella con lunghezze d'onda nel visibile,  $n_1 = 2$ ; a questa serie appartengono la riga viola con  $n_2 = 5$ , quella azzurra con  $n_2 = 4$  e quella rossa con  $n_2 = 3$ . Si è effettuato un fit lineare a un parametro ottenendo un valore per la costante di Rydberg pari a  $R = 10.9 \pm 0.1 \frac{1}{\mu\text{m}}$  in accordo con il valore atteso pari a  $R = 10.968 \frac{1}{\mu\text{m}}$ , associato a questo fit abbiamo  $\chi^2 = 0.44/1$ .

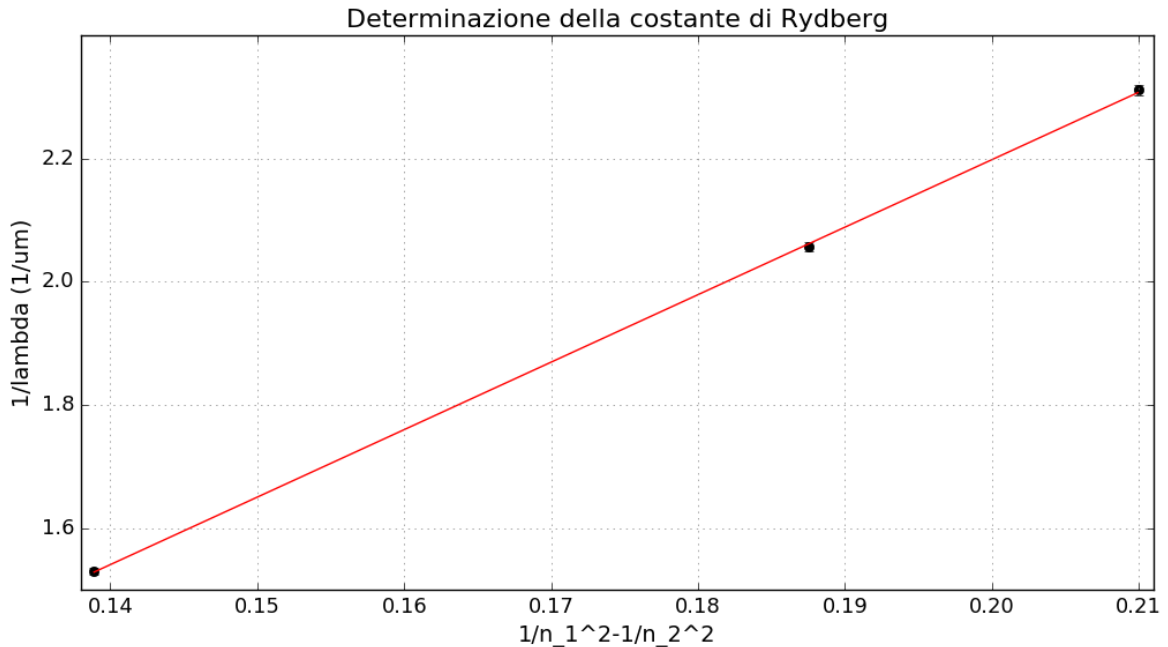


Figura 2: fit per determinare la costante di Rydberg.

**Lampada al sodio** Si è sostituita la lampada a idrogeno con quella al sodio per misurare la lunghezza d'onda del doppietto giallo e confrontare tale dato con quello ottenuto nella prima parte dell'esperienza. Al primo ordine di diffrazione abbiamo misurato i seguenti valori angolari  $\alpha_{Na,1} = 108^\circ 42' \pm 1'$  e  $\alpha_{Na,2} = 108^\circ 45' \pm 1'$ , quindi, sfruttando l'equazione del reticolo si ottiene la lunghezza d'onda  $\lambda_{Na,1} = 583.0 \pm 2 \text{ nm}$  e  $\lambda_{Na,2} = 583.8 \pm 2 \text{ nm}$ .

Abbiamo abusato delle regole sulle cifre significative perché in tutta l'analisi dati gli errori sono sempre stati sovrastimati, ma si voleva mostrare la separazione tra le righe spettrali stimata di  $0.8\text{ nm}$ , contro quella attesa di  $0.6\text{ nm}$ , i due valori sono molto vicini.

## 5 Conclusioni

Abbiamo ottenuto un'ottima stima della costante di Rydberg, con un errore inferiore all'1%. Anche la stima della lunghezza d'onda della luce gialla del sodio è sostanzialmente corretta rispetto al valore atteso di circa  $590\text{ nm}$ . Tuttavia l'errore è evidentemente sovrastimato e rende la misura compatibile con quella eseguita successivamente usando il prisma che è circa  $583\text{ nm}$  ma con un errore che la rende incompatibile con il valore noto. Si suppone che ciò sia dovuto ad un errore sistematico su  $d$  causato dall'errata determinazione degli angoli a cui si avevano l'ordine 0 e 1 della riga verde del mercurio. In effetti le lunghezze d'onda per la serie Balmer dell'idrogeno ottenute (tabella 2) risultano tutte inferiori di circa  $3\text{ nm}$  ai valori attesi<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>Si consulti ad esempio i valori riportati sul sito del NIST