

Spettroscopia

Alessandro Costanzo Ciano, Matricola: 654532

Luca Palumbo, Matricola: 639750

Alessandro Tassoni, Matricola: 637374

1 Misura costante di Rydberg

1.a Obiettivo

La presente esperienza si propone di determinare la costante di Rydberg attraverso la misurazione delle lunghezze d'onda delle righe di emissione dell'idrogeno nel visibile. La differenza energetica tra due livelli energetici dell'idrogeno (seguendo l'approccio di Bohr) può essere espressa in termini della costante di Rydberg, che collega la lunghezza d'onda delle radiazioni emesse dall'idrogeno alle transizioni tra livelli energetici.

Righe più intense della serie di Balmer.

n_1	n_2	λ [nm]
2	5	434
2	4	486
2	3	656

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

Le transizioni osservate in questa esperienza sono quelle della serie di Balmer, le uniche osservabili nel visibile. Per questo è stato utilizzato uno spettroscopio a reticolo di diffrazione, con questo è stato possibile misurare le lunghezze d'onda e determinare la costante di Rydberg con una regressione lineare.

1.b Metodo

Lo strumento utilizzato è uno spettroscopio a reticolo, composto da un telescopio di raccolta della luce con una fenditura d'ingresso e un elemento dispersivo, il reticolo di diffrazione in riflessione. La radiazione dispersa viene raccolta da un secondo telescopio di osservazione montato su un goniometro, che consente di visualizzare le righe spettrali.

1.b.1 Calibrazione con lampada al mercurio

Come calibrazione è stata utilizzata una lampada al mercurio, le cui lunghezze d'onda erano note. In particolare si è determinato il passo reticolare del reticolo dalla seguente relazione nota.

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

Sapendo che la riga di ordine 1 verde del mercurio si trova a $\lambda = 546.074$, si ha un passo $d = (833.2 \pm 0.4)$ nm.

Angoli di diffrazione e lunghezze d'onda del mercurio.

Riga del Mercurio (ordine)	Posizione angolare	Posizione angolare relativa all'incidenza	λ [nm]
Zero (incidenza)	$(168.58 \pm 0.2)^\circ$		
Riflessione (0)	$(212.42 \pm 0.2)^\circ$	$(43.84 \pm 0.2)^\circ$	
Verde (1)	$(264.70 \pm 0.2)^\circ$	$(96.12 \pm 0.02)^\circ$	546.1
Viola1 (1)	$(254.23 \pm 0.2)^\circ$	$(85.65 \pm 0.02)^\circ$	404.6
Viola2 (1)	$(254.48 \pm 0.2)^\circ$	$(85.90 \pm 0.02)^\circ$	407.7
Blu (1)	$(256.58 \pm 0.2)^\circ$	$(88.00 \pm 0.02)^\circ$	435.8
Giallo1 (1)	$(266.89 \pm 0.2)^\circ$	$(98.31 \pm 0.02)^\circ$	576.9
Giallo2 (1)	$(267.05 \pm 0.2)^\circ$	$(98.45 \pm 0.02)^\circ$	579.0
Viola (2)	$(282.98 \pm 0.2)^\circ$	$(114.39 \pm 0.02)^\circ$	406
Blu (2)	$(287.30 \pm 0.2)^\circ$	$(118.72 \pm 0.02)^\circ$	435.8
Verde (2)	$(303.03 \pm 0.2)^\circ$	$(134.44 \pm 0.02)^\circ$	546.1

Utilizzando il valore noto di tutte le righe si è inoltre effettuato un fit (fig. 1) lasciando come unico parametro libero il passo reticolare, ottenendo un valore ampiamente compatibile con il precedente di $d = (833.8 \pm 0.4)$ nm, con un chi quadro ridotto $\chi^2_{rid} = 9.3$.

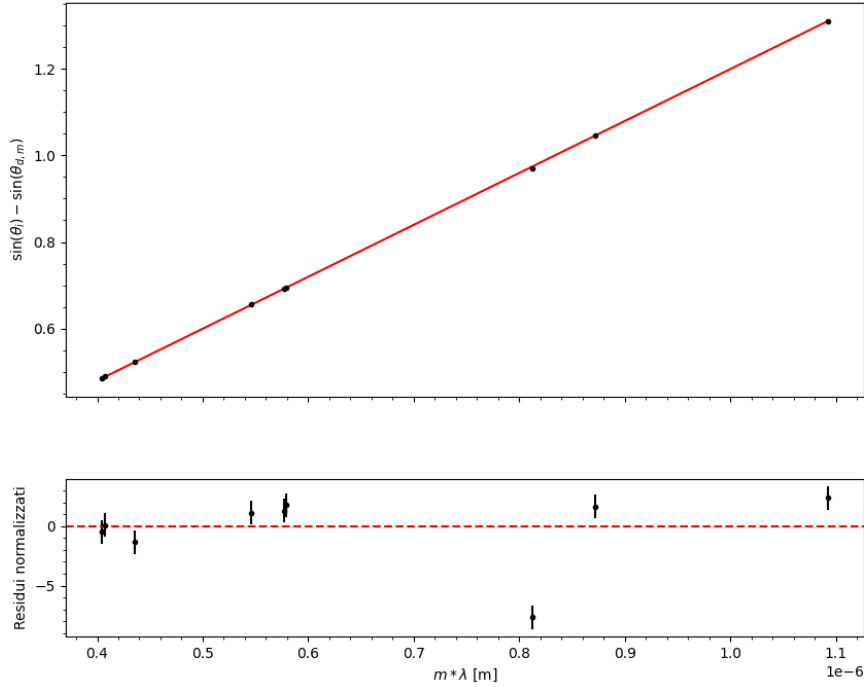


Figura 1: Fit di calibrazione del mercurio.

1.c Misura

Sostituita la lampada al mercurio con quella all'idrogeno, si sono individuati gli angoli di diffrazione e le lunghezze d'onda relative, ricavate grazie al valore del passo reticolare trovato al punto precedente.

Angoli di diffrazione e lunghezze d'onda dell'Idrogeno.

Riga dell'Idrogeno (ordine)	Posizione angolare	Posizione angolare relativa all'incidenza	λ [nm]
Zero (incidenza)	$(168.53 \pm 0.02)^\circ$		
Riflessione (0)	$(197.70 \pm 0.02)^\circ$	$(29.17 \pm 0.02)^\circ$	
Blu (1)	$(246.58 \pm 0.2)^\circ$	$(78.05 \pm 0.02)^\circ$	434.1 ± 0.3
Azzurro (1)	$(250.53 \pm 0.2)^\circ$	$(82.00 \pm 0.02)^\circ$	486.4 ± 0.4
Rosso (1)	$(262.68 \pm 0.2)^\circ$	$(94.25 \pm 0.02)^\circ$	655.7 ± 0.4

Effettuando infine un fit (fig. 2) per l'eq. 1 si ottiene una costante di Rydberg $R = (1.0974 \pm 0.0005) m^{-1}$ (compatibile con quello atteso di $1.097373 m^{-1}$), con un $\chi^2_{rid} = 1.9$.

Infine si sono effettuate analogamente le misure del doppietto del Sodio, che risultano compatibili con le previsioni di 589.0 nm e 589.6 nm rispettivamente.

Angoli di diffrazione e lunghezze d'onda del Sodio.

Riga del Mercurio (ordine)	Posizione angolare	Posizione angolare relativa all'incidenza	λ [nm]
Zero (incidenza)	$(168.48 \pm 0.2)^\circ$		
Riflessione (0)	$(199.72 \pm 0.2)^\circ$	$(31.23 \pm 0.2)^\circ$	
Giallo1 (1)	$(259.23 \pm 0.2)^\circ$	$(90.74 \pm 0.02)^\circ$	589.0 ± 0.4
Giallo2 (1)	$(259.28 \pm 0.2)^\circ$	$(90.79 \pm 0.02)^\circ$	589.7 ± 0.4

I risultati coerenti mostrano che sicuramente la precisione nella misura delle lunghezze d'onda precedenti è minore di 0.6 nm (la distanza tra le due righe del Sodio).

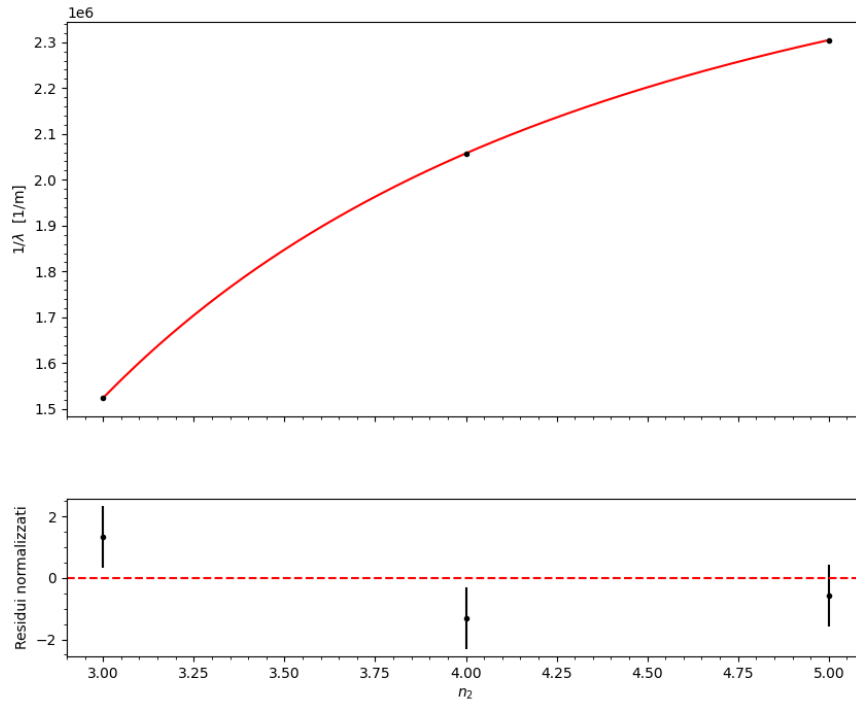


Figura 2: Fit dai dati dell'Idrogeno per determinare R.

2 Misura λ della riga gialla del sodio

2.a Obiettivo

Si vuole determinare la lunghezza d'onda di una riga spettrale emessa dal sodio.

2.b Metodo

2.b.1 Calibrazione con lampada al cadmio

Si è rimossa la torretta contenente il prisma così da identificare la posizione di incidenza, che risulta $\theta_i = 342.28^\circ \pm 0.02^\circ$. (l'incertezza sulle letture del nonio è di $1/60$ di grado, ossia circa 0.02 gradi).

Poi si è montata la torretta con il prisma e orientato l'angolo di incidenza leggermente superiore a 60° . Dopo aver osservato il gruppo di righe emesse dal cadmio nella regione visibile, abbiamo ruotato lentamente la torretta con il prisma per trovare la posizione di minima deviazione delle righe.

Abbiamo quindi determinato le posizioni angolari delle righe del cadmio rispetto alla posizione di incidenza.

Riga del Cadmio	Posizione angolare	Posizione angolare relativa all'incidenza	λ [nm]
Blu	$(292.68 \pm 0.02)^\circ$	$(-49.02 \pm 0.03)^\circ$	467.8
Azzurro	$(292.90 \pm 0.02)^\circ$	$(-48.80 \pm 0.03)^\circ$	480.0
Verde	$(293.33 \pm 0.02)^\circ$	$(-48.37 \pm 0.03)^\circ$	508.6
Rosso	$(294.58 \pm 0.02)^\circ$	$(-47.12 \pm 0.03)^\circ$	643.8

2.b.2 Misura

Si è a questo punto sostituito la lampada al cadmio con quella al sodio. Si è misurato nuovamente l'angolo di incidenza senza torretta: $\theta_i = (342.42 \pm 0.02)^\circ$. Poi si è misurato la riga (o per meglio dire le righe) di emissione gialla. La misura risulta $\theta'_g = (294.233 \pm 0.02)^\circ$. Sottraendo l'angolo di incidenza si ha $\theta_g = \theta'_g - \theta_i = (48.18 \pm 0.03)^\circ$.

2.c Analisi

Utilizzando i dati raccolti per la calibrazione si è effettuato un fit lineare (modello $f = Ax + B$), mettendo sulle ascisse $1/\lambda$ e sulle ordinate la posizione angolare relativa all'incidenza espressa in radianti.

Tabella 1: Risultati del fit

Parametro	Valore	Correlazione
A	$(-55.9 \pm 0.9) \text{ rad} \times \text{nm}$	-0.99
B	$(-0.745 \pm 0.002) \text{ rad}$	

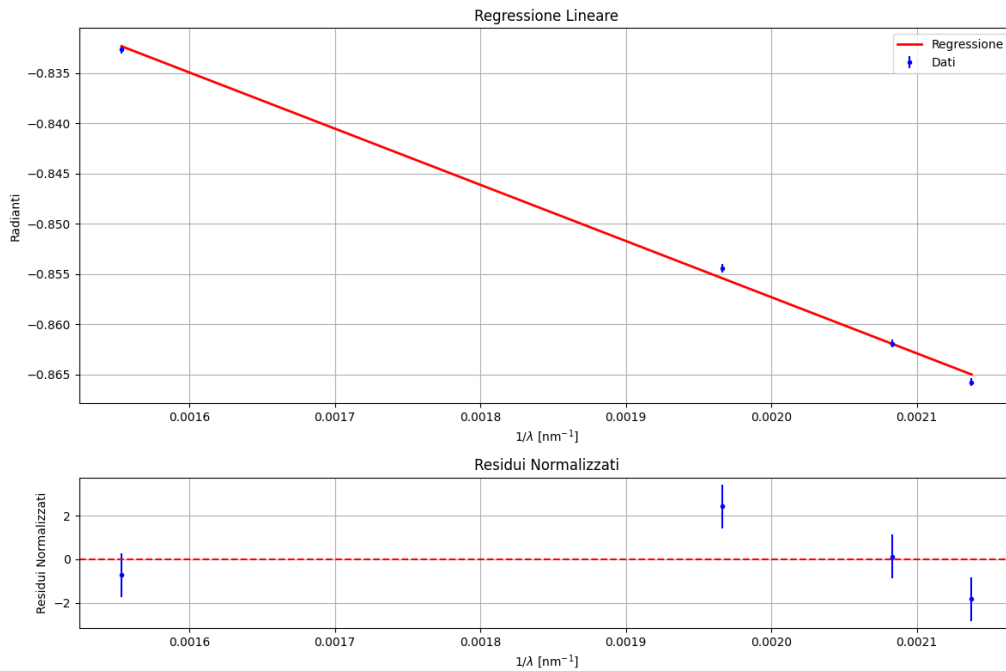


Figura 3: Fit di calibrazione

Adesso possiamo trovare il valore della lunghezza d'onda della riga di emissione gialla del sodio usando i risultati della calibrazione precedente:

$$\lambda_g = \frac{A}{\theta_g - B} = (585 \pm 3) \text{ nm}$$

Per valutare l'incertezza associata a λ_g si è tenuto conto della correlazione elevata tra i valori A e B della calibrazione.

2.d Spettrometro digitale

Si è usato uno spettrometro digitale per osservare lo spettro di emissione del sodio cercando di ottimizzare il rapporto segnale rumore. In figura 4 è riportato il grafico ottenuto tramite questo strumento. Si osserva però che la risoluzione di questo strumento non è sufficiente per poter osservare due righe di emissione distinte.

2.e Conclusione

La lunghezza d'onda che abbiamo ottenuto è $\lambda_g = (585 \pm 3) \text{ nm}$ che dista circa una sigma dal valore che ci aspettavamo di 589 nm.

3 Confronto delle misure del doppietto del Sodio

Possiamo infine constatare che sia precisione che accuratezza sono maggiori nel reticolo ottico, in cui le due righe potevano essere distinte piuttosto bene. Per quanto riguarda prisma e spettrometro digitale, con questi non è stato possibile fare alcuna distinzione tra le due righe per via di una scarsa sensibilità degli strumenti.

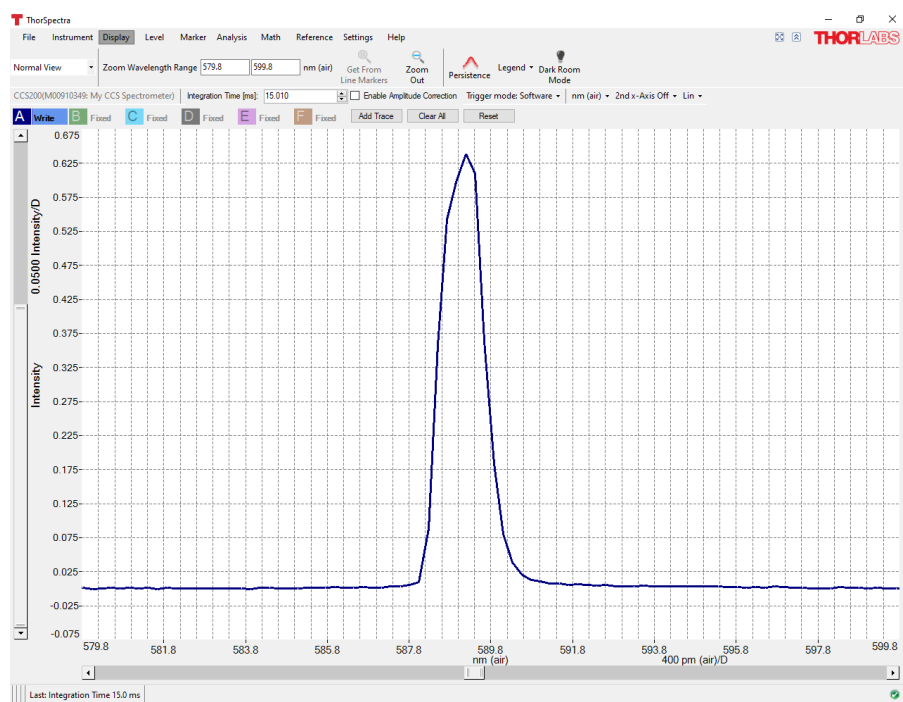


Figura 4: Figura dello spettrometro compatto