

Effetto Zeeman

Docente: dott. Garfagnini, dott. Lunardon
Gruppo 14

Anno accademico 2019/20

- Aidin Attar - 1170698 - aidin.attar@studenti.unipd.it
- Ema Baci - 1171107 – ema.baci@studenti.unipd.it
- Alessandro Bianchetti – 1162147 – alessandro.bianchetti@studenti.unipd.it

SCOPO DELL'ESPERIENZA: STUDIO DELL'EFFETTO ZEEMAN PER ATOMO DI NEON, STIMA DEL FATTORE DI LANDÈ



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Descrizione dell'apparato

L'apparato sperimentale si compone di una lampada al Neon, capace di emettere radiazione elettromagnetica associata principalmente a transizioni tra 3p e 2p. In particolare siamo interessati alla transizione da $\lambda = 585.3$ nm. Tale lampada è inserita all'interno di una cavità magnetica, per cui ci si aspetta la comparsa di righe di emissione: tuttavia, considerando la polarizzazione delle righe, possiamo "sopprimere" la transizione centrale orientando il campo magnetico in modo longitudinale alla linea di osservazione, in modo tale da vedere solo le due righe marginali.

Il raggio di luce emessa passa quindi per una lente condensante, necessaria per concentrare quanto più possibile il fascio, che passa quindi per una fenditura e successivamente attraverso un prisma, necessario per ruotare di 90 deg la luce e dividerla nelle sue componenti principali.

A questo punto i raggi incidono sulla lamina di Lummer-Gehrcke, dispositivo interferenziale ad alta risoluzione, in modo quasi radente (faremo in seguito una stima dell'angolo di incidenza) e il fascio emergente viene infine focalizzato sul dispositivo ottico di lettura (un CCD monodimensionale) attraverso la lente di camera.

L'acquisizione dei dati è avvenuta tramite l'interfaccia di controllo dell'apparato, che permette di controllare le diverse componenti appena citate.

Per l'analisi dati sono stati utilizzati programmi scritti in c++, root ed Excel.

Compendio di teoria

L'esperienza è incentrata sull'identificare e misurare lo splitting Zeeman dei livelli di energia e confrontarli con le previsioni teoriche. L'effetto Zeeman è il fenomeno che si verifica nel momento in cui gli atomi di una certa sostanza vengono sottoposti a un campo magnetico esterno, che suddivide i livelli energetici permessi per gli elettroni. In tal modo confrontando lo spettro della prima riga di transizione ($\lambda = 585.3$ nm, associata ai termini spettroscopici $^1S^0 \rightarrow ^1P^1$) a campo magnetico spento e a campo acceso vedremo il biforcarsi delle campane in due ulteriori picchi. Misurando la distanza che separa i due picchi causati dalla presenza del campo, otterremo il doppio dello splitting $\Delta\lambda_{Zee}$.

In particolare, si sceglie la transizione indicata sopra perché connette stati con spin nullo e con $\Delta L = 1$, per cui ci assicura l'effetto Zeeman cosiddetto *normale*, cioè quello previsto anche dalla teoria classica, dove il fattore giro-magnetico presente nella formula generale (effetto Zeeman *anomalo*) sarà dunque semplicemente $g_l = 1$. Pertanto

$$\Delta E_{Zee} = g_l m \mu_B B = \pm \mu_B B \quad (1)$$

dato che nel nostro caso le due proiezioni del momento angolare totale dello stato di arrivo possibili sono $m = \pm 1$ (0 è escluso grazie all'orientazione del campo magnetico, come accennato sopra).

Inoltre

$$\Delta\lambda_{Zee} = \frac{\lambda^2}{hc} \Delta E_{Zee} \quad (2)$$

rappresenta la formula con cui confronteremo il dato sperimentale ricavato.

Inoltre da opportuni fit dei picchi ricaveremo una stima della larghezza delle campane, da cui ricaveremo il potere risolvibile come rapporto

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (3)$$

che sarà ben coperto dalla risoluzione dell'apparato, cioè dalla risoluzione offerta dalla lamina di Lummer-Gehrcke, che segue l'ordine del rapporto L/λ , dove L è la lunghezza della lamina. Un altro parametro importante della lamina è il *range di lunghezza d'onda utile* $\Delta\lambda_{r.u.}$, che rappresenta la massima differenza tra due lunghezze d'onda tale che i due massimi consecutivi restino distinguibili. In particolare

$$\Delta\lambda_{r.u.} = \frac{\lambda^2}{2d} \frac{\sqrt{n^2 - \sin(i)^2}}{n^2 - \sin(i)^2 - n\lambda \frac{dn}{d\lambda}} \quad (4)$$

dove la derivata $dn/d\lambda$ è stata ottenuta fittando alcuni punti $n(\lambda)$ rappresentativi dell'andamento dell'indice di rifrazione della lamina in funzione della lunghezza d'onda. Nello specifico si è scelto il modello della legge di Cauchy ffermandosi al primo ordine:

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (5)$$

ottenendo il seguente andamento:

I parametri del fit sono :

$$A = 1.4997 \pm 0.0009 \quad B = (42 \pm 3) 10^4 \quad m^2$$

Per $\lambda = 585.3$ nm si ottiene quindi :

$$n(\lambda) = 1.512 \pm 0.001$$

$$\frac{dn}{d\lambda} = (-4.19 \pm 0.03) \cdot 10^{-5}$$

Aquisizione dati

Calibrazione Prima di procedere con la presa dati si è eseguita una calibrazione dell'apparato; in particolare occorre regolare la posizione della sorgente rispetto all'apertura della fenditura. Il primo passaggio è stato quindi impostare l'apertura della fenditura a $24\mu m$ ed acquisire un primo spettro a lamina disinserita, con il CCD orizzontale. Zoomando sui primi 3/4 picchi dello spettro, saremo in grado di individuare il nostro picco di interesse. Successivamente si è regolata ulteriormente la posizione della sorgente cercando quella che massimizzi l'intensità e la forma del picco di interesse. Si è quindi fissata la posizione del CCD a 0.93 mm e impostato l'apertura della fenditura a $18\mu m$. Infine si sono regolate le posizioni della lente focale e della lente condensante, scegliendo come posizioni ottimali rispettivamente 15.36 mm e 14.62 mm.

Campo magnetico spento

Dopo la calibrazione si è proseguito con l'acquisizione del primo spettro a campo magnetico spento: dopo aver selezionato il picco di interesse si è inserito la lamina di Lummer-Gehrcker, e, selezionato con i cursori il range dello scanning, si è ruotata il CCD in posizione verticale. Infine si è impostato un tempo di integrazione di 600 ms e si è avviato lo scanning, dopo aver salvato il file nell'opportuna cartella.

Analisi dello spettro Per procedere con l'analisi dello spettro, si è caricata ed eseguita su root la macro ReadZeemanImage.C++. Si è ottenuto quindi un istogramma bidimensionale, al quale si è sottratto il segnale di fondo riferendosi alla sua proiezione sull'asse x. Dopo aver sottratto il fondo, migliorando la nitidezza dell'immagine, si sono registrati i limiti della zona del segnale. In questo modo si è quindi ottenuta anche la proiezione di tale regione sull'asse y, in cui si osservano una serie di picchi, di cui si può migliorare la pulizia dell'immagine mediante un rebin.

Analisi dei picchi Per fornire un'analisi estesa dello spettro si è scelto di raggruppare i picchi in 6 terne di picchi consecutivi, e per ciascuna terna l'obiettivo è studiare le spaziature tra i picchi e caratterizzarne in qualche modo la larghezza. In particolare si è scelto di eseguire un fit gaussiano sui picchi per poter individuare con precisione l'ordinata di massimo e per poter dare una stima della larghezza del picco come FWHM.

Per prima cosa, studiamo l'andamento delle spaziature tra i picchi. Per ciascuna terna, si sono calcolate le due distanze tra i valori medi delle tre gaussiane, considerandone poi la media aritmetica Δx_{ru} , disponendo così di un valore univoco per ciascuna terna. In particolare ci si aspetta per queste distanze un andamento quadratico in funzione della posizione del CCD. Si è effettuata dunque un'interpolazione parabolica, con il fine di stimarne poi l'ordinata di vertice che costituirebbe la distanza minima efficace da usare per la stima corretta dell'angolo di incidenza i . Tale stima corretta di i permette di calcolare $\Delta \lambda_{ru}$ evitando l'approssimazione $i \approx \pi/2$. Maggiori dettagli sono riportati alla fine di questa sezione. Avendo a disposizione il valore medio della spaziatura tra i picchi per ciascuna terna, si è calcolato il fattore di calibrazione valido per quella regione di spettro, secondo il rapporto

$$F = \frac{\Delta \lambda_{ru}}{\Delta x_{ru}}. \quad (6)$$

Il fattore di calibrazione F rappresenta il fattore di conversione da pixel, ossia l'unità di misura caratteristica del CCD, in metri.

Stima dell'angolo di incidenza sulla lamina di Lummer-Gehrcker Si è accennato in precedenza che i raggi di luce incidono quasi radenti alla lamina. In particolare è possibile effettuare una stima precisa dell'angolo di incidenza. Occorre innanzitutto calcolare l'apertura angolare Δi , pari al rapporto $\Delta x_{ru}/f$, dove $f = 0.25$ m è la distanza focale della lente e il valore di Δx_{ru} è ottenuto dall'ordinata di vertice

del fit parabolico. Si precisa che per calcolare l'errore su tale minimo si è tenuto conto, nella propagazione degli errori, dei termini di covarianza tra i parametri del fit parabolico.

Successivamente si applica la relazione

$$\sin(2i) = -\frac{\lambda\sqrt{n^2-1}}{d\Delta i} \quad (7)$$

da cui si è potuto ottenere una stima dell'angolo i , in particolare

$$i = 1.568 \pm 0.003 \text{ rad} = (89.8 \pm 0.2)^\circ$$

Il valore è compatibile con l'approssimazione a 90° , e inserendolo in 4 si otterrà la miglior stima del range di lunghezza d'onda efficace usata nel calcolo dei fattori di calibrazione.

In particolare si è ottenuto

$$\Delta \lambda_{ru} = (0.04353 \pm 0.00008) \text{ nm}$$

Conclusioni

A Appendici

A.1 Costruzione dell’errore sulle misure

A.2 Tabella delle compatibilità

$$\lambda = \frac{|a-b|}{\sqrt{\sigma_a^2+\sigma_b^2}}$$

Compatibilità	
$0 \leq \lambda < 1$	Ottima
$1 \leq \lambda < 2$	Buona
$2 \leq \lambda < 3$	Accettabile
$3 \leq \lambda < 5$	Pessima
$\lambda \geq 5$	Non compatibile

Tabella 1: indicazioni lettura compatibilità

A.3 Dati sperimentali