

# LABORATORIO DI OTTICA, ELETTRONICA E FISICA MODERNA

## RELAZIONE DI LABORATORIO 1

### Spettrometro a reticolo

*Nicolò Cavalleri*

*Giacomo Lini*

*Davide Passaro*

#### Sommario

In questa relazione vengono riportate le procedure compiute per la misura di diverse grandezze fisiche caratteristiche di un sistema composto da un reticolo che presenta fenomeni di interferenza e diffrazione. Nello specifico, dato un reticolo, vengono determinate il suo passo – cioè la distanza tra due fenditure, a partire dallo spettro di emissione di una sostanza con lunghezza d'onda nota – il suo potere dispersivo e risolutivo – rispettivamente la distanza angolare tra due righe spettrali a un determinato ordine, e un indice della capacità dello strumento di risolvere in maniera precisa delle righe di dispersione. Data inoltre una lampada al Mercurio ( $Hg$ ), ne viene determinato lo spettro di emissione, con le lunghezze d'onda caratteristiche.

13 novembre 2016

# 1 Introduzione

Uno spettrometro a reticolo è un sistema fisico composto da una base fissa su cui sono disposte due strutture rotanti, collegate a un goniometro e dei noni per la misura di angoli. Al centro di questa struttura si trova un sostegno dove viene posto il reticolo, vale a dire una lastra di vetro con delle fenditure molto numerose e sottili. A questa piattaforma sono poi collegati un collimatore, cioè un dispositivo che “raddrizza” il fascio di luce rendendolo perpendicolare al reticolo, e un cannocchiale che consente di osservare lo spettro di emissione della luce incidente il reticolo. Avvicinando il collimatore a una lampada è possibile catturare la luce emessa dalla stessa e osservarne lo spettro di emissione.

Dal punto di vista matematico la relazione fondamentale nell’analisi di uno spettro di emissione di una determinata sostanza chimica è la seguente:

$$d \sin(\theta) = k \lambda \quad (1)$$

dove  $d$  rappresenta il passo del reticolo, cioè la distanza tra due fenditure vicine,  $\theta$  è l’angolo a cui si trova la linea caratteristica dello spettro di emissione,  $k$  è l’ordine a cui viene osservata lo spettro di emissione, e  $\lambda$  è la lunghezza d’onda della radiazione luminosa emessa. Chiaramente a diverse lunghezze d’onda corrispondono anche diverse intensità di emissione, che sperimentalmente si osservano in maniera intuitiva a partire dalla luminosità delle righe di emissione. La relazione matematica che sta alla base di questo fenomeno è la seguente:

$$I(\theta) \propto \frac{\sin^2(m \frac{d}{\lambda} \pi \sin \theta)}{\sin^2(\frac{d}{\lambda} \pi \sin \theta)} \quad (2)$$

dove  $m$  è il numero di fessure del reticolo che sono investite dalla luce.

L’equazione (1), con gli strumenti a disposizione è caratterizzata dal fatto di avere due incognite,  $\lambda$  e  $d$ . Questo fatto può essere ovviato andando a osservare lo spettro di emissione di una lampada che emette a lunghezze d’onda note. Nel caso specifico è stato utilizzato il “doppietto di sodio”, cioè una lampada la cui emissione è caratterizzata da due lunghezze d’onda specifiche  $\lambda_1 = 589.0 \cdot 10^{-9} m$  e  $\lambda_2 = 589.6 \cdot 10^{-9} m$  corrispondenti a due righe gialle separate e molto vicine nello spettro. Risolvendo (1) rispetto a  $d$  è possibile dunque determinare il passo del reticolo, che da incognita diventa un termine noto, con errore associato. A questo punto la relazione (1) garantisce di poter determinare le lunghezze d’onda dello spettro di emissione di un determinato elemento chimico, nel caso in questione del Mercurio ( $Hg$ ).

# 2 Strumentazione

Per estrarre i valori della distanza delle fenditure e i valori delle lunghezze d’onda è stata usata la seguente strumentazione:

**Una lampada al sodio** Questa lampada è stata utilizzata per misurare il passo del reticolo di rifrazione. La scelta di questa lampada è dovuta al fatto che presentava lunghezze d’onda note, ben chiare e ben separabili ad ordini alti.

**Una lampada al mercurio** Usata, al contrario della precedente, per la misura delle lunghezze d’onda dei principali fasci di luce dello spettro del mercurio.

**Un reticolo di diffrazione** Strumento servito per deviare i raggi di luce provenienti dalle lampade. Il reticolo era dotato di 300 fenditure al millimetro per un totale di 2.4 millimetri. Questo dato è stato verificato tramite lo studio dello spettro del sodio.

**Uno spettrometro** Principale strumento utilizzato. Lo spettrometro è servito per la misura degli angoli sottesi dai fasci di luce deviati dal reticolo. Questo era composto da quattro parti:

**Un collimatore** Componente utilizzata per collimare i raggi provenienti dalla lampada. Il collimatore era fisso alla base dello spettrometro, senza possibilità di movimento. Per la messa a punto del collimatore erano presenti due viti. Una per regolare il fuoco del collimatore e una per variare l'apertura della fenditura dalla quale entrava la luce.

**Un piatto** Utilizzato come sostegno per il reticolo a diffrazione. Il piatto era posto parallelamente al piano di lavoro ed era dotato di due pinze verticali per impedire il movimento al reticolo. Il piatto era regolabile in altezza e per rotazioni sul suo asse. Era dotato di tre viti, una di bloccaggio rispetto alle regolazioni in altezza, una di bloccaggio rispetto alle rotazioni e una vite micrometrica per piccole rotazioni sul suo asse.

**Un cannocchiale** Utilizzato per l'osservazione dei raggi luminosi diffratti dal reticolo. Il cannocchiale era collegato allo spettrometro in modo che potesse girare intorno al piatto. Inoltre era dotato di tre viti: una per la regolazione del fuoco, una per il bloccaggio rispetto alle rotazioni intorno al piatto ed una vite (presumibilmente) micrometrica, purtroppo non funzionante.

**Un goniometro** Utilizzato per la misura degli angoli, dotato di due coppie di nonii contrapposti. Il goniometro dotato di una sensibilità al terzo di grado (ossia venti primi), teoricamente estendibile tramite l'utilizzo dei nonii al mezzo primo. Più realisticamente l'incertezza dovuta alla difficoltosa lettura del nonio contribuiva con un errore di circa un primo.

**Un righello** Utilizzato per misurare la larghezza del reticolo. Il righello aveva sensibilità al millimetro.

### 3 Iter sperimentale

È possibile dividere la procedura sperimentale in tre fasi:

- Calibrazione e messa a punto degli strumenti.
- Misura del passo del reticolo.
- Analisi dello spettro del mercurio.

Ciascuna fase è servita strettamente alla successiva e tutte le misure effettuate sono state usate per un'accurata analisi dei dati.

#### 3.1 Calibrazione dello spettrometro

La calibrazione dello spettrometro è stata necessaria al fine di rendere più chiaramente visibile lo spettro del sodio e del mercurio.

##### Cannocchiale

In primo luogo è stato spostato il fuoco del cannocchiale in modo da poter mettere a fuoco luce proveniente dall'infinito. Per fare ciò è stato puntato il cannocchiale fuori dalla finestra ed è stato messo a fuoco il palazzo di fronte al laboratorio (l'altra ala del Dipartimento di Fisica), posto ad una distanza di circa 20 metri. La calibrazione ottimale del cannocchiale era necessaria per permettere una chiara visione dei raggi di luce paralleli provenienti dal collimatore.

## Collimatore

Per la calibrazione del collimatore è stato rimesso a posto il cannocchiale ed è stata accesa la lampada al sodio. Una volta scaldata (circa 3/4 minuti) attraverso una delle viti del collimatore è stata stretta la fenditura tanto da poter, senza fatica, osservare la luce della lampada attraverso il cannocchiale. Successivamente è stato sistemato il fuoco del collimatore in modo da poter vedere nitidamente la fenditura. Come ultimo passaggio è stata stretta ancora la fenditura fino al punto che il fascio di luce centrale non avesse uno spessore di mezzo millimetro circa.

## Piatto

La calibrazione del piatto era volta alla corretta misura degli angoli. Questa consisteva nel posizionamento del reticolo perpendicolarmente al fascio di luce.

Per fare ciò è stato inizialmente posto a mano il reticolo quanto più perpendicolarmente al fascio possibile e sono stati misurati gli angoli sottesi dal raggio più interno al quarto ordine sia a destra che a sinistra del centro. Per la misura degli angoli di deflessione, in questo caso come in tutti gli altri, è stato preso il valore assoluto della differenza dei valori individuati dal massimo centrale e il raggio la cui deflessione si voleva misurare. È stato quindi calcolato l'angolo  $\beta$  tra la normale al reticolo e il fascio collimato attraverso la relazione:

$$\beta = \arctan \left( \sin \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right) \cdot \frac{\cos \left( \frac{\theta_2 + \theta_1}{2} \right)}{1 - \cos \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right)} \right)$$

dove  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  sono gli angoli di deflessione misurati. Noto l'errore  $\beta$  attraverso la vite micrometrica si è corretta la posizione del reticolo e il procedimento è stato ripetuto fino ad ottenere un valore di  $\beta$  minore di cinque primi.

## 3.2 Misura del passo del reticolo

Verificata la perpendicolarità del reticolo rispetto al fascio di luce collimato si è potuto proseguire con la determinazione del passo.

Per calcolare il passo sono stati misurati gli angoli sottesi dai fasci di luce del secondo, terzo e quarto ordine (sia da una parte dello zero che dall'altra) dei due raggi di luce distinguibili. Infine è stato trovato il passo  $d$  tramite la relazione:

$$d = \frac{k\lambda}{\sin \theta_{k,\lambda}}$$

dove  $k$  è l'ordine,  $\lambda$  è la lunghezza d'onda e  $\theta_{k,\lambda}$  è l'angolo sotteso da un raggio di lunghezza d'onda  $\lambda$  al  $k$ -esimo ordine.

Per una stima del potere risolutivo dello strumento sono stati misurati gli angoli sottesi da i fasci di luce al prim'ordine.

## 3.3 Analisi dello spettro del mercurio

In modo simile alla misura del passo è stato analizzato lo spettro del mercurio. Per fare ciò era necessario conoscere la misura del passo del reticolo.

Infatti, una volta sostituita la lampada sono stati misurati tutti i raggi visibili con ai tre ordini più grandi ai quali questi risultavano nitidamente distinguibili (a eccezione dei rossi i quali erano visibili solo ai primi due ordini) e tramite la relazione:

$$\lambda = \frac{d \sin \theta_{k,\lambda}}{k}$$

trovata invertendo la precedente.