



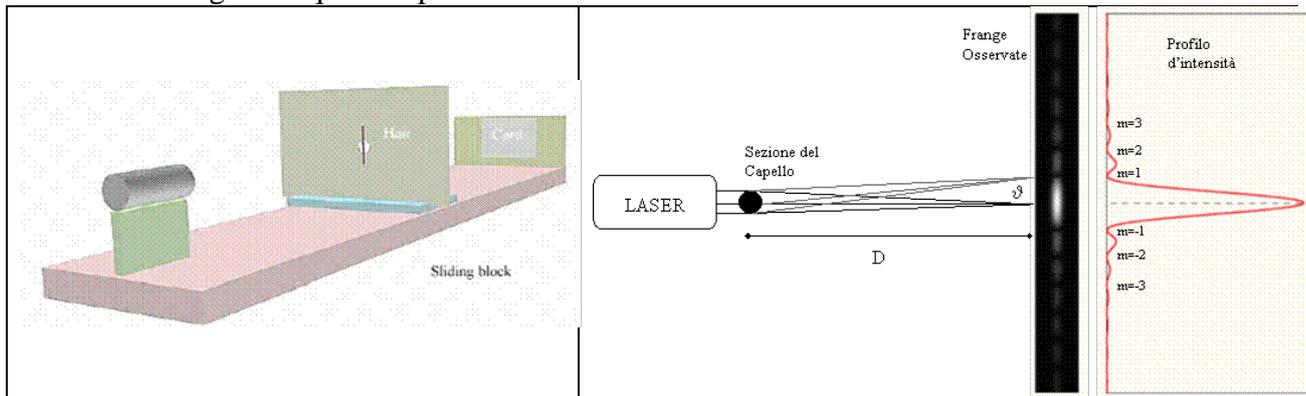
Misura dello spessore di un capello mediante diffrazione

La diffrazione è un fenomeno fisico associato alla propagazione delle onde, come anche la riflessione, la diffusione o l'interferenza. È tipica di ogni genere di onda, come il suono, le onde sulla superficie dell'acqua o le onde elettromagnetiche, come la luce o le onde radio. Gli effetti della diffrazione sono però rilevanti solo se un'onda incontra un ostacolo le cui dimensioni sono comparabili o minori rispetto alla propria lunghezza d'onda.

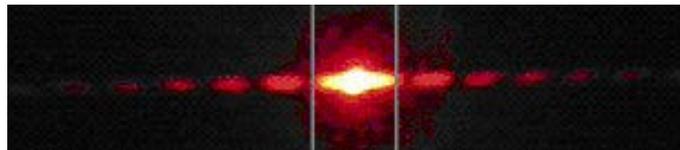
Questo fenomeno fu studiato sistematicamente per la prima volta da Francesco Maria Grimaldi, che coniò il termine "diffrazione" e pubblicò i risultati delle sue ricerche nel 1665. Isaac Newton attribuì la causa del fenomeno a un incurvamento dei raggi luminosi, mentre James Gregory (1638–1675) osservò la diffrazione causata dalle setole di una piuma (a tutti gli effetti il primo reticolo di diffrazione). Thomas Young studiò la diffrazione da due fenditure nel 1803 e ne dedusse la natura ondulatoria della luce. Augustin-Jean Fresnel, infine, si interessò del fenomeno dal punto di vista matematico, pubblicando i suoi studi nel 1815 e nel 1818, e diede ulteriore conferma delle teorie ondulatorie della luce avanzate da Christian Huygens prima e da Young poi, in contrasto con le teorie di Newton.

È piuttosto semplice da analizzare in termini matematici il caso di un capello di spessore d : la luce può passare a destra e sinistra del capello, come in una doppia fenditura.

Se posizioniamo il capello tra il laser e uno schermo di osservazione come in figura possiamo osservare una figura di questo tipo:



Chiamiamo bande di diffrazione le frange chiare scure che osserviamo sullo schermo a distanza y_1, y_2, \dots dal massimo centrale. A questo proposito, si noti che il centro del pattern è luminoso (massimo centrale di ordine zero), contrariamente a quello che ci si potrebbe attendere partendo da banali considerazioni basati sull'ottica geometrica (teorema di Babinet).



La deviazione angolare ϑ del primo minimo d'intensità rispetto al massimo centrale è fornito dalla relazione,

$$a \sin \vartheta = \lambda \quad (1)$$

dove a è lo spessore del capello e λ è la lunghezza d'onda della radiazione laser. L'angolo ϑ è però legato a D dalla relazione:

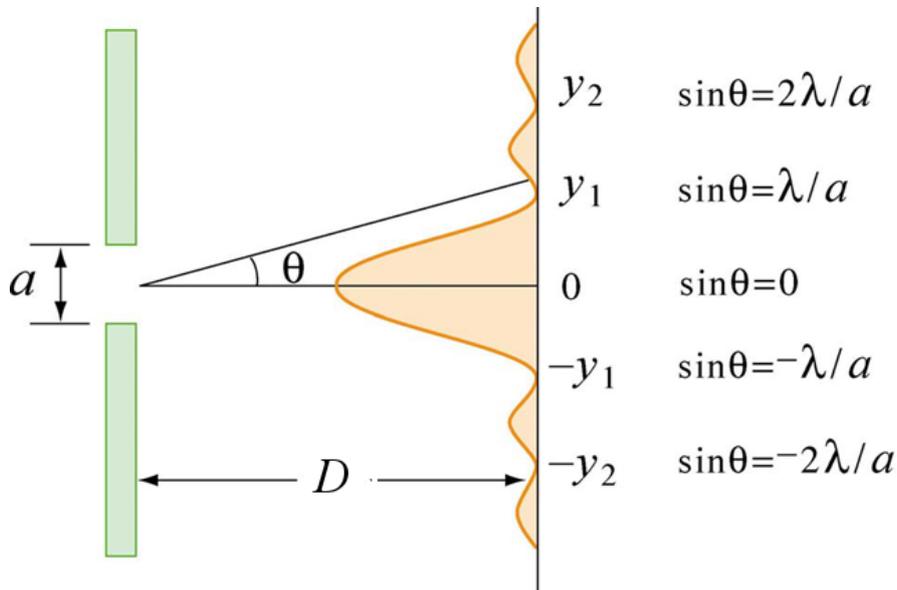
$$D \tan \vartheta = \Delta y$$



PLS – FISICA Napoli

dove abbiamo indicato con Δy la distanza tra il massimo centrale ed il minimo di ordine ± 1 , da cui segue, essendo $\sin \vartheta \sim \tan \vartheta$:

$$a \sin \vartheta \cong a \frac{\Delta y}{D} = m\lambda \Rightarrow \Delta y = m \frac{\lambda}{a} D$$



Apparato di Misura

- Laser a diodo con emissione intorno a 640 nm e 530 nm (rosso e verde)
- Sostegno per posizionamento del capello
- Schermo d'osservazione
- Righello
- Un capello (fornito generosamente da un volontario)

Procedimento di misura

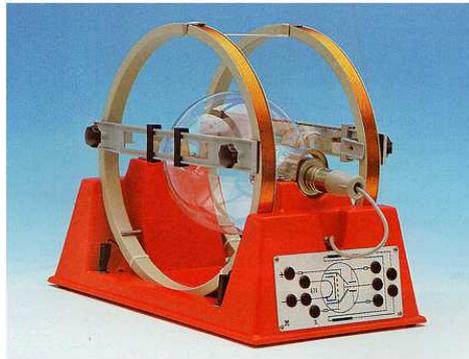
- Si punta il laser in modo tale che intercetti il capello e si osservi il pattern d'intensità prodotto su di uno schermo, posto a distanza D dal capello.
- Si determini Δy sulla base della simmetria delle bande di diffrazione intorno al massimo centrale. In particolare si misurino $a_{\pm 1}$, $a_{\pm 2}$, $a_{\pm 3}$,... dove $a_{\pm i}$ = distanza tra il minimo di ordine $m = \pm i$ ed il massimo centrale e le si riporti su grafico in funzione di i . La retta che meglio approssima i punti dovrebbe avere intercetta nulla (cioè passare per 0) e avere come intercetta proprio Δy . Si determini l'errore su Δy a partire dall'errore sulla pendenza della retta di best fit.
- Noti λ e D (con le proprie incertezze massime $\Delta \lambda = 10$ nm; $\Delta D = 0.1$ cm), si ricavi lo spessore del capello dalla relazione $\Delta y = m \frac{\lambda}{a} D$ ponendo $m = 1$ (poiché Δy è proprio la distanza tra il minimo di ordine $\pm i$ ed il massimo centrale. Si ricordi che essendo gli errori su λ e D massimi, per fare operazioni con quello su Δy (che invece è statistico) occorre moltiplicarli (per convenzione) per 3.
- Si ripeta se possibile la misura con il laser verde e si confrontino le stime dello spessore del capello nei due casi.



PLS – FISICA Napoli

Misura del rapporto e/m

Mediante l'utilizzo del tubo a fascio filiforme è possibile lo studio dell'interazione fra campi magnetici continui e fasci elettronici (verifica della legge di Lorentz, la deflessione dell'elettrone fino ad ottenere un percorso chiuso); inoltre è possibile la misura del rapporto e/m mediante deflessione magnetica e la determinazione dell'ordine di grandezza della velocità degli elettroni.



L'apparecchio in oggetto è costituito essenzialmente da una ampolla di vetro riempita di gas (idrogeno) a bassa pressione. Ad un estremo, un filamento di tungsteno incandescente provoca, per effetto termoionico, l'emissione di elettroni i quali vengono opportunamente concentrati in un sottile fascio che, normalmente, è diretto verso l'alto. Questo fascio di elettroni è reso visibile dalla scia luminosa che si forma per la presenza del gas rarefatto. Il fascio di elettroni viene emesso in direzione verticale e può essere deviato o mediante un campo elettrico (applicando una differenza di potenziale alle placche di deviazione) o mediante un campo magnetico. Per poter determinare la carica specifica dell'elettrone, il fascio deve essere disposto in un campo magnetico omogeneo di direzione perpendicolare alla direzione del fascio. Il campo magnetico omogeneo si ottiene utilizzando due bobine di Helmholtz, cioè due sottili bobine anulari disposte parallelamente tra di loro ad una distanza uguale al loro raggio r ed alimentate dalla stessa corrente nella stessa direzione. Si può dimostrare che nel centro (a ugual distanza $r/2$ da entrambe le bobine) il campo B (espresso in tesla) risulta assiale con intensità pari a

$$B = 4 \pi 10^{-7} [8 N / (5\sqrt{5})] I / r$$

dove N è il numero di spire, r è il raggio delle bobine (espresso in metri) ed I è l'intensità della corrente circolante nelle bobine (espressa in ampère)

Le bobine hanno un raggio di 150 mm, sono costituite ciascuna da 130 spire, sono poste a distanza di 150 mm e sono caricabili fino a 2 A. In queste condizioni il campo B al centro delle bobine è pari a

$$B = 7,79 10^{-4} I \quad T$$

Sfruttando la perpendicolarità tra la direzione iniziale del raggio elettronico e la direzione del campo magnetico, si regolano l'intensità della corrente che produce il campo magnetico e la tensione acceleratrice fino ad ottenere che il fascio di elettroni percorra una traiettoria circolare di raggio R . In tali condizioni risulta l'uguaglianza tra forza di Lorentz e forza centripeta

$$e v B = m v^2 / R$$

e tenendo conto che



$$\frac{1}{2} m v^2 = e V$$

si può ottenere il valore di e/m come funzione della tensione acceleratrice V , del raggio R della circonferenza e dell'intensità del campo magnetico di induzione B

$$e/m = 2V/(B^2 R^2) = 8 V 10^8 / (7,79^2 D^2 I^2) \quad [1]$$

Attività di Laboratorio

Per rendere ben visibile la scia, conviene fissare a 250 oppure 300 V il valore della tensione acceleratrice.

Si può allora variare l'intensità di corrente I (A) e, utilizzando il regolo posto dietro l'ampolla, misurare il diametro D della circonferenza. Ci aspettiamo allora che, se è valida la [1], un grafico, in cui poniamo sull'asse delle x il valore del quadrato di I e sull'asse delle y l'inverso del diametro al quadrato, ci dovrebbe dare una retta passante per l'origine:

$$D^{-2} = (7,79^2 / 8 V 10^8) (e/m) I^2$$

Dalla pendenza di questa retta si può ricavare alla fine il valore di e/m . Ricordiamo che gli attuali valori di massa e carica dell'elettrone sono :

$$m = 9,1093826(16) 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,60217653(14) 10^{-19} \text{ C}$$

sicché il valore atteso di e/m è pari a $1,75882 01 10^{11} \text{ C/kg}$ e quello della pendenza della retta è pari a $53,366221 \text{ m}^{-2} \text{ A}^{-2}$ se $V=250 \text{ V}$ e pari a $44,47184 \text{ m}^{-2} \text{ A}^{-2}$ se $V=300 \text{ V}$.

Operativamente si può procedere nel seguente modo :

- Con l'aiuto di un foglio di lavoro Excel si riempie la seguente tabella, tenendo conto che su D c'è un'incertezza dell'ordine di qualche millimetro e su I (letta con un multimetro Meterman 34xR) c'è un'incertezza che va da 0,05 A per $I=1,00 \text{ A}$ a 0,09 A per $I= 2 \text{ A}$.

D (m)	I (A)	$1/D^2(\text{m}^{-2})$	$I^2 (\text{A}^2)$

- Si fa un grafico di $1/D^2$ in funzione di I^2
- Si stima la pendenza della retta ottenuta
- Si riporta la stima del rapporto e/m :.....
- Si fa un confronto tra valore atteso e valore ottenuto :