



Luigi Togliani

Liceo Scientifico
"Belfiore", Mantova

Un semplice spettroscopio

(Pervenuto il 10.9.2010, approvato il 20.10.2011)

ABSTRACT

Measuring light spectra with a simple homemade grating spectroscope.

È facilmente reperibile un tipo di spettroscopio¹ di semplice costruzione. Si tratta di ritagliare con cura un foglio di cartoncino formato A4: su una faccia del foglio sono tracciati i pezzi dello strumento da costruire, mentre la faccia opposta è colorata di nero. Seguendo le istruzioni (in tedesco), si realizza, con l'uso della colla liquida, una scatola prismatica con due facce a forma di trapezio isoscele di basi lunghe 4,0 cm e 10,5 cm e lati obliqui lunghi 11,5 cm; la scatola è alta circa 2,0 cm (vedi figura 1).

Le due facce laterali della scatola, che corrispondono alle basi maggiore e minore del trapezio, presentano due aperture rettangolari: quella praticata sulla base maggiore viene chiusa da un

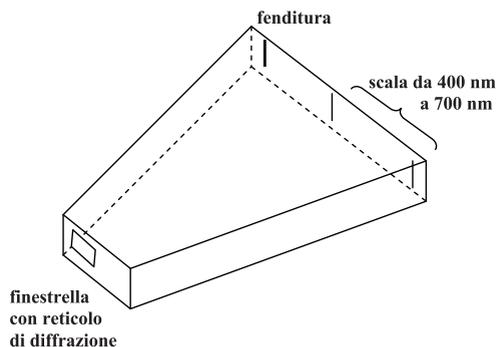


Figura 1.

film nero di plastica provvisto di una fenditura larga 2,5 mm e, a qualche centimetro di distanza, di una scala, tarata da 400 nm fino a 700 nm, sulla quale si leggono direttamente le lunghezze d'onda della luce emessa da una sorgente. Sulla faccia laterale opposta, in corrispondenza della fenditura, è ricavata una finestrella di circa 9 mm x 13 mm sulla quale, internamente alla scatola, viene applicato un reticolo di diffrazione da 1000 fenditure al mm (passo reticolare: $p \approx 1,0 \times 10^{-6}$ m). Sconsiglio di fissare il reticolo con la colla perché questa potrebbe distendersi sul reticolo stesso, danneggiandolo irreparabilmente. Meglio attaccare il reticolo con una linguetta di scotch internamente alla parete della scatola. La costruzione dello spettroscopio viene completata applicando alla scatola un piccolo tubo prismatico oltre la fenditura e fissando una lentina oculare (focale 120 mm) sulla finestrella: a fianco della lente è applicato un piccolo schermo per proteggere dalla luce esterna. Il tutto è assemblato come in figura 2.

Con lo spettroscopio descritto si possono fare misure dirette di lunghezze d'onda della luce in modo molto semplice. Ho provato a farne con alcune sorgenti rintracciate in casa, osservando spettri continui e spettri di righe. La figura 3 riporta la fotografia, eseguita con una semplice fotocamera digitale, di uno spettro emesso da una lampadina a basso consumo; si nota la scala della lunghezza d'onda λ in nm.

I risultati di alcune letture da spettri ottenuti con sorgenti diverse sono riassunti sotto la figura 3.

¹ È prodotto dalla ditta AstroMedia (www.astromedia.de) e si trova in vendita anche in Italia, per esempio presso la Opitec (www.opitec.it) di Chiusa (BZ), col nome di *Spettroscopio manuale*, ad un prezzo inferiore a 10 €.



Figura 2.

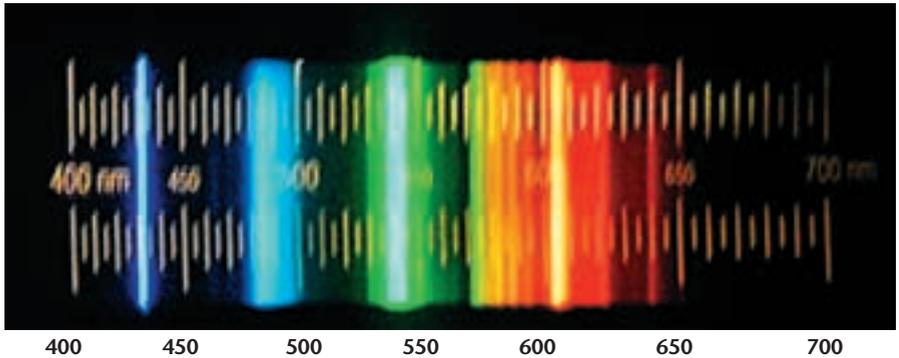


Figura 3.

<i>sorgente</i>	<i>spettro osservato</i>	<i>lunghezze d'onda misurate e relativi colori</i>
torcia LED	continuo	da $(420 \pm 5)\text{nm}$ [viola] a $(660 \pm 5)\text{nm}$ [rosso]
tubo a 'neon' per acquario	a righe su continuo	righe osservate: $(435 \pm 5)\text{nm}$ [viola] $(545 \pm 5)\text{nm}$ [verde] $(575 \pm 5)\text{nm}$ [giallo]
lampada a basso consumo	a righe	righe osservate: $(435 \pm 5)\text{nm}$ [viola] $(485 \pm 5)\text{nm}$ [blu] $(540 \pm 5)\text{nm}$ [verde] $(545 \pm 5)\text{nm}$ [verde] $(580 \pm 5)\text{nm}$ [giallo-arancio] $(605 \pm 5)\text{nm}$ [rosso chiaro] $(625 \pm 5)\text{nm}$ [rosso] $(640 \pm 5)\text{nm}$ [rosso]: riga molto sottile

È possibile verificare la correttezza dei valori delle lunghezze d'onda riportati sulla scala dalla ditta che produce lo spettroscopio. È noto che, se il primo massimo M si osserva a distanza y dalla sorgente (fenditura F), detto p il passo reticolare, λ la lunghezza d'onda della luce e L la distanza tra punto O d'osservazione (reticolo su finestrella) e massimo luminoso M, risulta (vedi [1]) :

$$\lambda/p = y/L \quad (*)$$

La precedente relazione è ricavabile (figura 4) dal fatto che i triangoli ABH e OMF si possono ritenere circa simili se si considera che le rette AF, OF, BF sono quasi parallele. A e B indicano due successivi "gradini" del reticolo di diffrazione.

Direttamente sullo strumento ho considerato il punto della scala contrassegnato da (550 ± 5) nm [verde], ne ho misurato la distanza $L = (11,5 \pm 0,1)$ mm e la corrispondente distanza $y = (6,40 \pm 0,05)$ mm. Da questi dati si ottiene: $p = \lambda L / y = (9,9 \pm 0,2) \times 10^{-7} \text{m} \approx 10^{-6} \text{m}$, conformemente a quanto dichiarato dalla ditta produttrice.

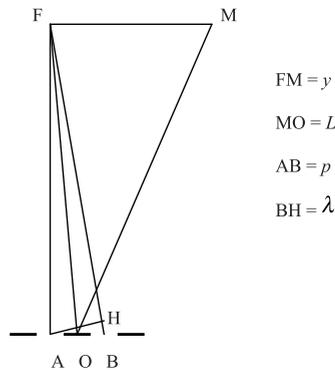


Figura 4.

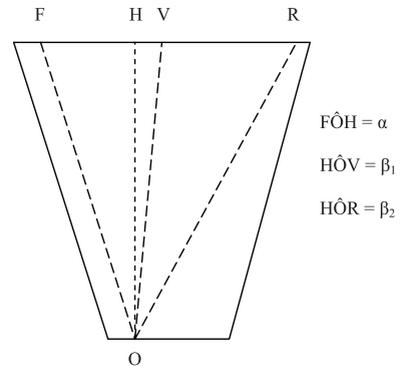


Figura 5.

Per un'analisi più dettagliata della situazione, mandiamo dal punto di osservazione O al lato opposto dello spettroscopio: la normale che incontra in H tale lato, la congiungente di O con la fenditura F, le congiungenti di O con i punti estremi V e R della scala in nm (figura 5). Posto $\hat{F}OH = \alpha$, $\hat{H}OV = \beta_1$ e $\hat{H}OR = \beta_2$, risulta: $\alpha \approx 18^\circ$, $\beta_1 \approx 6^\circ$, $\beta_2 \approx 25^\circ$.

Applicando ora la (*), risulta che, nel caso dell'estremo V (violetto) dello spettro, $y = FV = FH + HV$ e quindi:

$$\lambda_1 = p (FH/L + HV/L) = p (\text{sen}\alpha + \text{sen}\beta_1) \approx 1,0 \times 10^{-6} \text{m} (\text{sen}18^\circ + \text{sen}6^\circ) \approx 410 \text{ nm}$$

e, nel caso dell'estremo R (rosso) dello spettro, $y = FR = FH + HR$ e quindi:

$$\lambda_2 = p (FH/L + HR/L) = p (\text{sen}\alpha + \text{sen}\beta_2) \approx 1,0 \times 10^{-6} \text{m} (\text{sen}18^\circ + \text{sen}25^\circ) \approx 732 \text{ nm}.$$

Questi valori differiscono leggermente da quelli dichiarati dalla ditta costruttrice.

Si può utilizzare il software libero *Tracker* (<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>) per analizzare lo spettro. Lanciato il programma, si segue la successione di comandi: *controllo traccia / nuovo / profilo linea*. Usando il tasto della maiuscola e trascinando col mouse si ottiene un segmento orizzontale AB che inter-

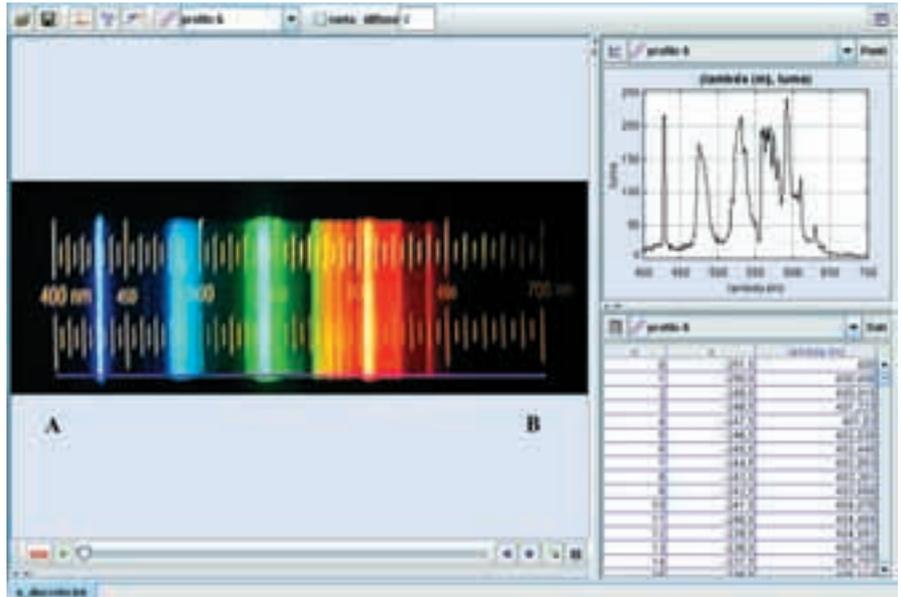


Figura 6.

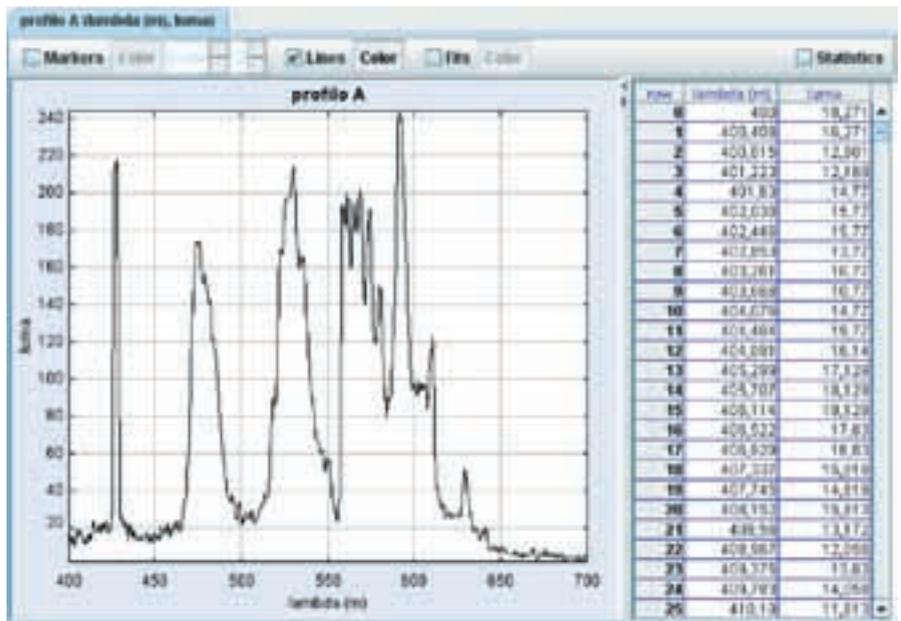


Figura 7. Grafico ingrandito di figura 6.

seca le righe dello spettro; per ciascuna riga viene mostrata in automatico la luminosità (in una certa unità) in funzione di un'ascissa x dei punti su AB che assume valori da un minimo x_{\min} a un massimo x_{\max} automaticamente fissati (figura 6). Aprendo la finestra a destra della schermata principale, appare il grafico e la sottostante tabella della luminosità in funzione dell'ascissa x variabile da $x_{\min} = -251,5$ a $x_{\max} = 484,5$. È preferibile sostituire a x la lunghezza d'onda λ in

nm, con $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$. Per farlo si clicca su x nel grafico e nella finestra che appare si sceglie l'opzione *Define*: dal riquadro *Functions* nella colonna *Name* si introduce il nome λ e nella colonna *Expression* si digita la relazione lineare che consente di passare da x a λ : $700+300 \times (x - x_{\max})/(x_{\max} - x_{\min})$. Nel grafico ingrandito di figura 6 si notano i massimi di luminosità in corrispondenza delle righe di colore viola, blu, verde e arancio. Bisogna osservare la non perfetta corrispondenza tra le lunghezze d'onda lette direttamente sulla scala e quelle ricavabili dal grafico. Ciò dipende da come è posizionata la linea orizzontale che interseca le righe dello spettro, dalla qualità della fotografia dello spettro, dalla scelta (arbitraria) di una relazione lineare tra x e λ e anche dall'aver usato i valori estremi 400 nm e 700 nm stampati sulla scala e non quelli determinabili sperimentalmente.

In conclusione, questo semplice ed economico spettroscopio consente di fare apprezzabili misure di lunghezza d'onda della luce emessa da diverse sorgenti, leggendo direttamente sulla scala dello strumento il valore cercato. Non servono attrezzature specifiche di laboratorio; ciò permette di effettuare tali misure nell'aula scolastica, a casa o in qualunque altro luogo. Inoltre, la possibilità di costruire lo strumento di misura rappresenta un'interessante occasione sul piano didattico: lo studente capisce meglio il funzionamento dell'oggetto e prova soddisfazione per aver realizzato qualcosa con le proprie mani.

Un ringraziamento al prof. Riccardo Govoni per l'aiuto fornito nell'esecuzione delle fotografie degli spettri.

Bibliografia [1] V. ZANETTI, *La Fisica attorno a noi*, Zanichelli, Bologna, 1989, vol. 2, pagine 419 e 442.

Senza dubbio la caratteristica più profonda della natura per la quale solo la teoria quantistica dei campi è in grado di fornire una spiegazione è l'esistenza di particelle elementari diverse ma ciò nonostante indistinguibili. Due elettroni nell'Universo, qualunque sia la loro origine o la loro storia, hanno esattamente le stesse proprietà. Ciò viene visto come una conseguenza del fatto che entrambi sono eccitazioni della stessa "sostanza primitiva", il campo elettronico. Il campo elettronico è così l'ente primario. La stessa logica naturalmente vale per i fotoni o i quark, e anche per oggetti composti come i nuclei atomici, gli atomi o le molecole. L'indistinguibilità delle particelle è così familiare, e così importante per tutta la fisica moderna, che facilmente viene data per scontata. Invece non è per niente ovvia. Per esempio essa contraddice uno dei cardini della metafisica di Leibniz, il suo "principio di identità degli indiscernibili", secondo il quale due oggetti non possono essere diversi solo per il loro numero. E Maxwell pensava che la somiglianza fra le diverse molecole fosse così rimarchevole da dedicarle l'ultima parte del suo contributo alla *Encyclopaedia Britannica* sugli atomi - più di mille parole. Egli concluse che "la formazione di una molecola è pertanto un evento che non appartiene all'ordine della natura in cui noi viviamo [...] va riferita non all'epoca in cui si formò la terra o il sistema solare [...] ma a quando fu stabilito il presente ordine della natura".

Franck Wilczek, *La teoria quantistica dei campi*, in *La matematica IV. Pensare il mondo*, a cura di Claudio Bartocci e Piergiorgio Odifreddi, Einaudi 2010, p. 617