

A. GIOVANNETTI, R. BAGNOLESI,
C. MADELLA

Liceo Scientifico Sperimentale
"F. Buonarroti", Pisa

NOTE DI LABORATORIO
a cura di GIULIO CALVELLI

Apparecchiatura, costruita in un laboratorio scolastico, per la determinazione della costante di Planck, tramite l'effetto fotoelettrico

(Pervenuto il 17.4.90 - Approvato il 21.9.91)

ABSTRACT

We built a cheap apparatus for measuring Planck's constant through the photoelectric effect. The measurements are performed in the usual way: for each wavelength of the incident light, the maximum energy of the photoelectrons is found by stopping them with an electric potential. The apparatus was tested with 18-19 year-old pupils in an optional physics course in the last year of secondary school. The measurements gave satisfactory results.

1 - Introduzione

Da qualche anno ci eravamo posti l'obiettivo, con gli studenti dell'ultimo anno del corso opzionale di Fisica, di trovare sperimentalmente, tramite l'effetto fotoelettrico [1], il valore della costante di Planck. Come è noto in tale fenomeno l'energia cinetica T dei fotoelettroni emessi da un metallo dipende dalla frequenza f della radiazione che ha illuminato il metallo secondo la relazione di Einstein

$$T = hf - L$$

nella quale h è la costante di Planck e L è il lavoro di estrazione dal metallo.

L'apparecchiatura fornita dalle ditte specializzate nella costruzione degli strumenti didattici (tipo quella della Leybold-Heraeus), completa di amplificatore di misura, ha un costo di oltre sei milioni di lire, quasi proibitivo per un Liceo; perciò abbiamo realizzato l'esperienza con una apparecchiatura "fatta in casa". In particolare, sempre per risparmiare le spese per l'acquisto di filtri monocromatori buoni, dato che nel laboratorio della scuola era disponibile un prisma di Amici, abbiamo usato una lampada a vapori di mercurio ricavata da una lampada per illuminazione stradale esaurita [2].

Nell'esperienza in questione la radiazione emessa dalla lampada a vapori di mercurio viene scomposta dal prisma nelle sue componenti spettrali in modo che ciascuna di queste possa illuminare, separatamente dalle altre, il catodo della fotocella.

Gli elettroni emessi dal catodo danno luogo ad una debole corrente, che può essere variata se questi vengono frenati da una controtensione regolabile; viene quindi registrata quella controtensione

(V) capace di annullare la corrente; in tal caso sappiamo che vale $T = eV$ dove e è la carica dell'elettrone. Se la controtensione di arresto viene misurata per due diverse righe spettrali della lampada, conoscendo le corrispondenti frequenze possiamo scrivere:

$$eV_1 = hf_1 - L \quad \text{ed anche} \quad eV_2 = hf_2 - L$$

da cui risulta

$$h = e(V_2 - V_1)/(f_2 - f_1)$$

La valutazione di h può essere ripetuta utilizzando con varie combinazioni tutte le righe spettrali della lampada nel visibile.

2 - Descrizione dell'apparato sperimentale

La parte ottica dell'apparato è stata montata come in Fig. 1. Le focali e i diametri delle lenti non risultano critici; quindi abbiamo scelto fra le lenti a disposizione del laboratorio scolastico. L1 funge da lente condensatrice, la fenditura F1 (che ha altezza di 10 mm ed una larghezza regolabile fino a 1 mm) è posta dove risulta a fuoco l'immagine della lampada. A sua volta la fotocella B è messa dove risulta a fuoco l'immagine della fenditura data da L2. Il prisma P separa le immagini di F1 a seconda del colore; avendo utilizzato un prisma di Amici le varie componenti spettrali vengono praticamente traslate mantenendo la direzione dell'asse del banco ottico. Nella Fig. 1 sono riportate alcune distanze indicative fra gli oggetti elencati; comodo risulta il fatto che la distanza complessiva fra L e B permetta l'utilizzazione di un banco ottico di lunghezza compresa fra 1.5 e 2 metri.

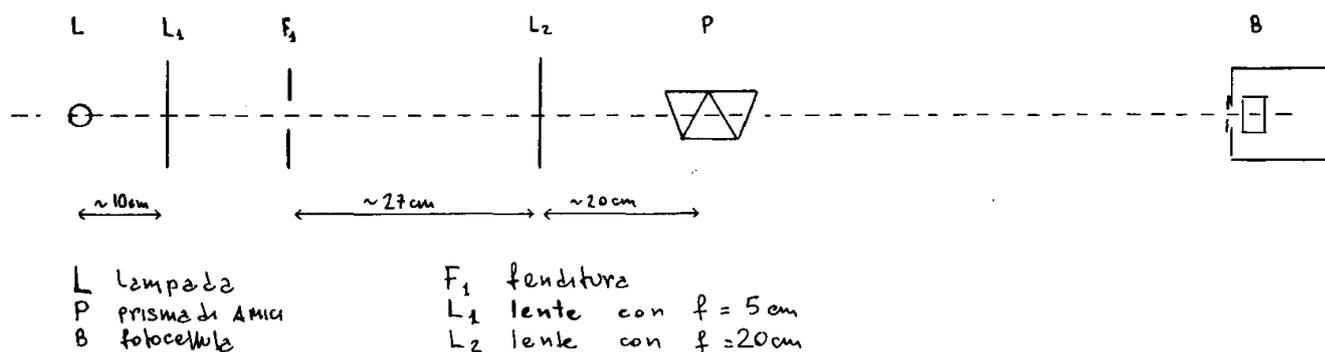


Fig. 1 - Schema (in pianta) del banco ottico.

Le righe dei vari colori risultano piuttosto intense e di larghezza intorno a 1.5 mm (a secondo della larghezza di F₁); la loro separazione risulta di circa 5 mm fra la gialla e la verde e di circa 30 mm fra la verde e la blu; così è facile, spostando di poco L₂ trasversalmente al banco, far arrivare sulla fotocella solo la riga desiderata.

La fotocella usata è la R645 della Hamamatsu

TV CO., LTD, un fototubo a vuoto (Fig. 4), acquistato presso la ditta HESA S.p.A. di Milano (al costo di lire 40.000 nel 1983). La scelta era stata operata e per il basso costo e per la buona sensibilità alla luce visibile di tale fotocella.

Lo schema elettrico dell'esperimento è mostrato in Fig. 2.

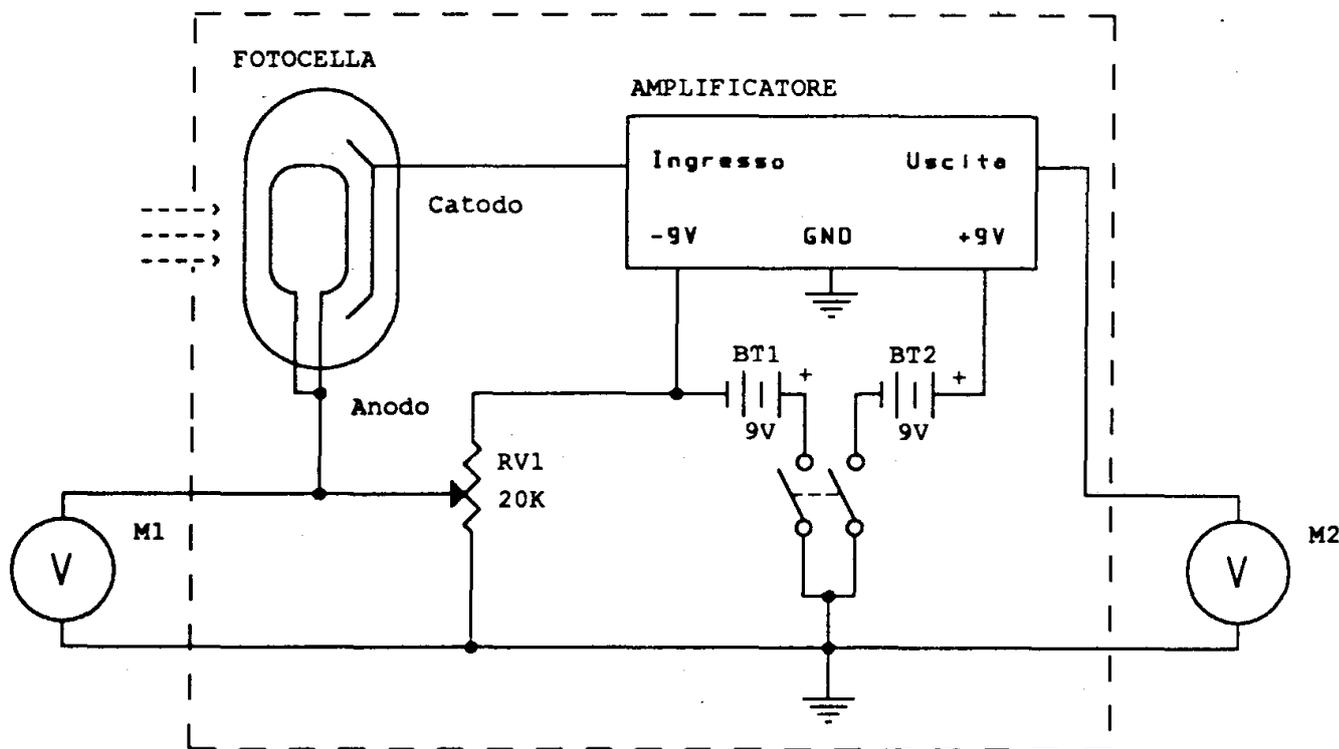


Fig. 2

Poiché per realizzare l'esperimento bisogna rivelare correnti dell'ordine di 10^{-10} A, è necessario usare un buon amplificatore. Per costruire l'amplificatore di misura sono stati utilizzati due amplificatori operazionali LF356 della National Semiconductor con ingresso a FET. Tali integrati sono comunemente reperibili al prezzo di lire 2500 ciascuno.

Lo schema dell'amplificatore costruito è quello in Fig. 3. Il segnale di uscita è dell'ordine del volt, e l'impedenza di uscita dell'amplificatore è così bassa da permetterne la misura con strumenti in dotazione dei laboratori scolastici di Fisica (per esempio può andar bene lo strumento da dimostrazione a bobina mobile), infatti dopo il primo stadio dell'amplificatore, nel caso più sfavorevole con un

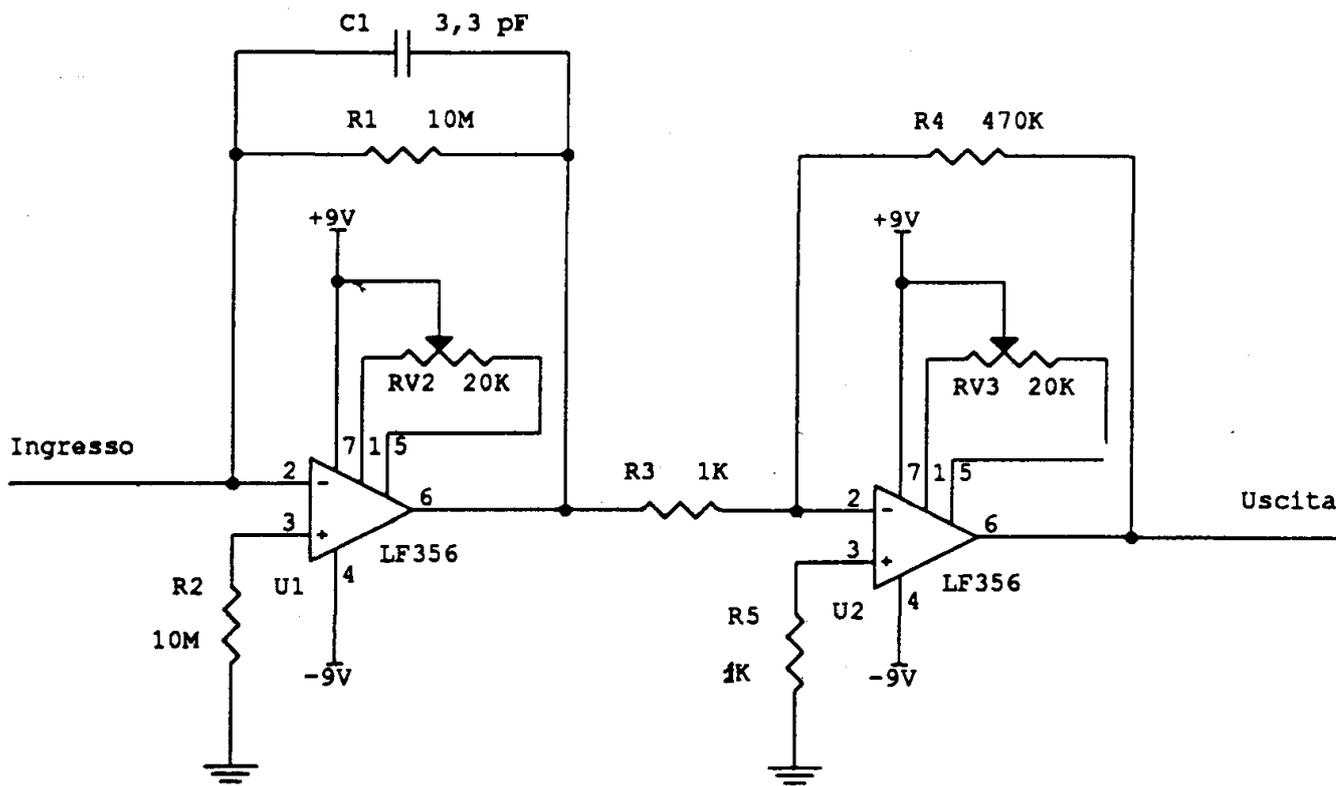


Fig. 3

segnale di ingresso in corrente di 10^{-10} A si ha un segnale in tensione $V_{o1} = I_1 R_1 = 10^{-4} \text{ A} \cdot 10^7 \Omega = 1 \text{ mV}$, che all'uscita del secondo stadio diviene $V_{o2} = V_{o1} \cdot R_2/R_3 = 1 \text{ mV} \cdot 470 = 0.47 \text{ V}$.

Per evitare al massimo le noie dovute al rumore di fondo esterno, conviene usare un'alimentazione a pile e fissare la fotocella, l'amplificatore e le quattro batterie da 4.5 V dentro un'unica scatola (le dimensioni di quella da noi usata sono di 230 mm · 105 mm · 75 mm), con una sola fenditura al centro di una delle pareti più piccole, di fronte alla fotocella, per permettere il passaggio della luce. Tale fenditura ha altezza di 12 mm ed è regolabile in larghezza fino a un massimo di 3 mm.

I componenti del circuito sono stati montati su di una basetta a pad di 40 mm · 80 mm. Tre potenziometri e l'interruttore per l'alimentazione sono stati fissati a una parete laterale della scatola, in modo da poterli manovrare agevolmente. Il RV2 e il RV3 regolano gli offset rispettivi degli amplificatori operazionali, il RV1 serve per regolare il controcampo fra l'anodo e il catodo.

Questi potenziometri sono del tipo elipot da 10 giri da 220 k Ω che costano L. 12.000 ciascuno.

Gli offset sono importanti per calibrare opportunamente l'amplificatore. Si regola innanzi tutto l'offset del secondo stadio cortocircuitando a mas-

sa la R3. Le piccole derivate termiche successive si possono ignorare. Si regola poi l'offset del primo stadio che va ricontrollato prima della misura, perché la sua deriva termica venendo amplificata 470 volte dal secondo stadio può diventare importante. Questa regolazione si attua facilmente chiudendo la fenditura in modo che non arrivi più luce alla fotocella; in queste condizioni il potenziometro va regolato in modo tale che il segnale in uscita sia zero.

Il condensatore C1 serve per impedire che l'amplificatore oscilli. Il valore della capacità può dipendere dal montaggio per cui va trovato per tentativi.

Tale apparecchiatura costruita interamente nel nostro laboratorio scolastico, con mezzi che a dire amatoriali è troppo, è venuta a costare in totale circa L. 90.000.

3 - Risultati e commenti

L'apparato è già stato utilizzato in classe anche se riteniamo di dover apportare qualche modifica per migliorare i risultati non del tutto soddisfacenti. Per esempio la fotocella che usiamo espone alla radiazione non solo il catodo, ma parzialmente anche l'anodo; così se l'effetto fotoelettrico ha luogo anche sulla superficie di questo, generando una

corrente inversa, la controtensione di arresto che viene registrata è quella che annulla la corrente complessiva e non la sola corrente anodica, portando conseguentemente ad un valore impreciso di h . Pensiamo di ottenere un miglioramento usando una fotocella con geometria diversa (anodo e catodo ortogonali - fotocella R330-02 della stessa ditta; costo L. 200.000), oppure inviando con direzione radente la luce sul catodo in modo che l'anodo non sia esposto alla radiazione incidente. Un ulteriore accorgimento indicato da alcuni autori potrebbe essere quello di riscaldare l'anodo mediante passaggio di corrente per far evaporare gli eventuali depositi di metalli alcalini [3].

L'esperienza con gli studenti viene realizzata con queste fasi:

a) Osservazione dell'apparato ottico nei dettagli, della fotocella e della parte elettronica.

b) Osservazione in ambiente oscurato dalle radiazioni della lampada scomposte nelle varie componenti spettrali.

c) Esecuzione delle misure rilevate separatamente da piccoli gruppi in ambiente completamente oscurato.

d) Stesura di una relazione riassuntiva e discussione dei risultati ottenuti.

L'esperienza è stata ripetuta due volte (a.s. 88/89 e 89/90) da insegnanti diversi; i risultati sono in accordo fra loro; quelli ottenuti nell'a.s. 88/89 sono riportati nelle tabelle:

Tab. 1: Letture delle tensioni (la tensione di arresto è stata letta per cinque volte).

riga	λ (nm)	f 10^{-14} Hz	$\langle V \rangle$ volt	ΔV volt	$\Delta V\%$
arancio	578	5.19	0.156	0.012	8
verde	546	5.50	0.265	0.025	10
blu	436	6.88	0.543	0.044	8

Tab. 2: Calcolo della costante di Planck.

righe utilizzate	h (10^{-34} J-s)
arancio-verde	5.8
arancio-blu	3.6
verde-blu	3.2

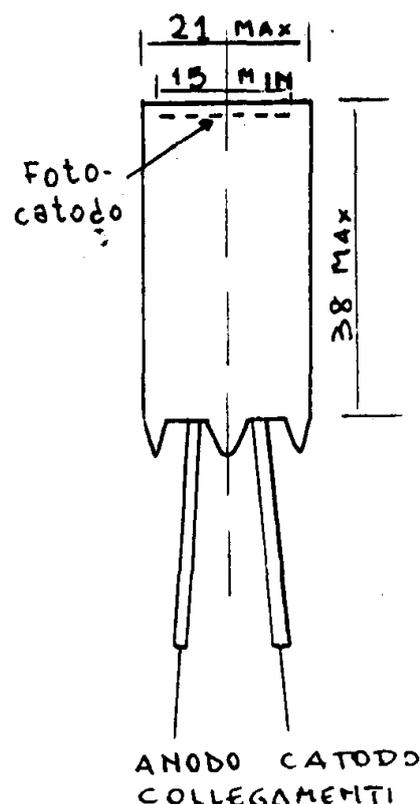


Fig. 4 - Il disegno ripreso dai data sheets evidenzia le dimensioni della fotocella R645. È visibile il fotocatodo semitrasparente ma non è indicato l'anodo a disco posto sul fondo del tubo. Le dimensioni sono espresse in mm.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare il collega prof. F. Feo e il tecnico di laboratorio S. Palazzi per l'aiuto e la collaborazione dataci e inoltre i proff. E. Fabri, P. Minguzzi e U. Penco del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Pisa per i suggerimenti e le utili indicazioni fornite.

Note

- [1] S. Melone "L'effetto fotoelettrico nella sperimentazione didattica". *Il Giornale di Fisica* - Vol. 8 n. 1, 1967.
- [2] G. Pegna "Una lampada a vapori di mercurio di costo zero". *La Fisica nella Scuola* anno IX n. 3/4, 1976.
- [3] H. Hall e R.P. Tuttle "Photoelectric Effect and Planck's Constant in the Introductory Laboratory". *Am. Journ. of Phys.* 39, 50, 1971.