

## Esperienza n 3: COSTANTE di PLANCK

### NOZIONI TEORICHE DI BASE:

- Cenni sull'effetto fotoelettrico
- Circuiti in corrente continua
- Potenzimetro, microamperometro, tester digitale
- Fit di dati sperimentali con il metodo dei minimi quadrati
- Propagazione degli errori

Un quanto di luce di energia  $E = h\nu$  che incida sulla superficie di un metallo, può cedere la sua energia ad un elettrone di conduzione prossimo alla superficie. Se tale energia è superiore all'energia di estrazione ( $U$ ) dell'elettrone dal metallo, ossia se  $E > U$ , l'elettrone può passare nello spazio esterno con una energia cinetica che, al massimo, potrà essere :

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - U$$

con  $m$  massa e  $v$  velocità dell'elettrone uscente dal metallo (**effetto fotoelettrico**).

Per osservare l'effetto fotoelettrico si usa un'ampolla di vetro in cui:

- è stato fatto il vuoto
- si è messo un fotocatodo a base di cesio (il cesio ha un potenziale di estrazione molto basso)
- si è inserito un anello come anodo.

Illuminando il fotocatodo si ha un passaggio di elettroni dal fotocatodo all'anodo. Un **nanoamperometro** ha sensibilità sufficiente a misurare questa corrente.

Disponendo di due sorgenti di luce monocromatica di frequenze  $\nu_1$  e  $\nu_2$ , si può ottenere una relazione fra le frequenze delle luci usate e le energie cinetiche, in cui non compare più l'energia di estrazione  $U$ :

$$h\nu_1 - \nu_2 = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) \quad (1)$$

Applicando una tensione sufficientemente negativa all'anodo rispetto al fotocatodo, la differenza di energia cinetica può essere valutata individuando il campo elettrico in grado di "fermare" gli elettroni.

Quando la tensione di controcampo  $V_c$  è tale da respingere anche gli elettroni più veloci non si avrà più passaggio di corrente. In questa situazione:

$$eV_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{con } e \text{ carica dell'elettrone}$$

Sostituendo nella (1) si ottiene:

$$h\nu_1 - \nu_2 = e(V_{1c} - V_{2c})$$

Conoscendo le frequenze e avendo misurato le tensioni di controcampo, di qui si può ricavare la costante di Planck.

**Si dispone di:**

- alimentatore stabilizzato da 20 V
- 1 tester digitale
- fotocellula
- 1 picoamperometro
- pila da 4.5 V per controcampo
- serie di led con le seguenti caratteristiche:

Led	Colore	$\lambda$ picco (nm)
1757	blu	430
9985	blu	470
9856	Verde	524
9457	Verde puro	562
9334	Giallo	590
9328	Arancio	590
9362	Arancio	612
9407	Rosso H.E.	623
9441	Rosso	644

L'apparato, rappresentato in **fig. 1**, e' già montato in una scatola metallica per schermare dalla luce ed eventuali rumori elettromagnetici che falserebbero la misura.

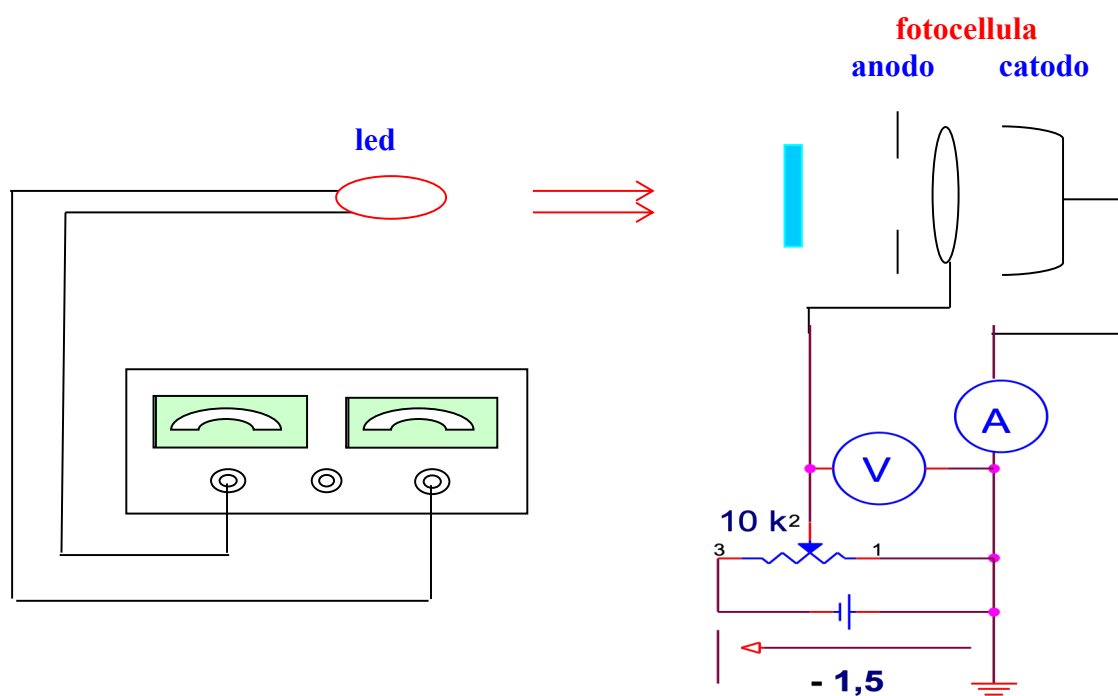


Fig. 1 Apparato per misurare la costante di Planck

Per misurare la corrente che passa nella fotocellula si utilizza il picoamperometro che va impostato nel modo seguente:

sensibilit  0,1pA (00.XXXXnA)

AVG on

MEDN on

A zero on

ZCHK OFF

Per misurare la tensione di controcampo si fa uso di un tester digitale a 4 cifre.

La pila da 4.5 V va tenuta collegata anche dopo la fine della misura e la fotocellula va lasciata a tensione 4.5 V. **Il picoamperometro va lasciato sempre acceso.**

Spegnere tutto alla fine della giornata lavorativa (ore 18:00)

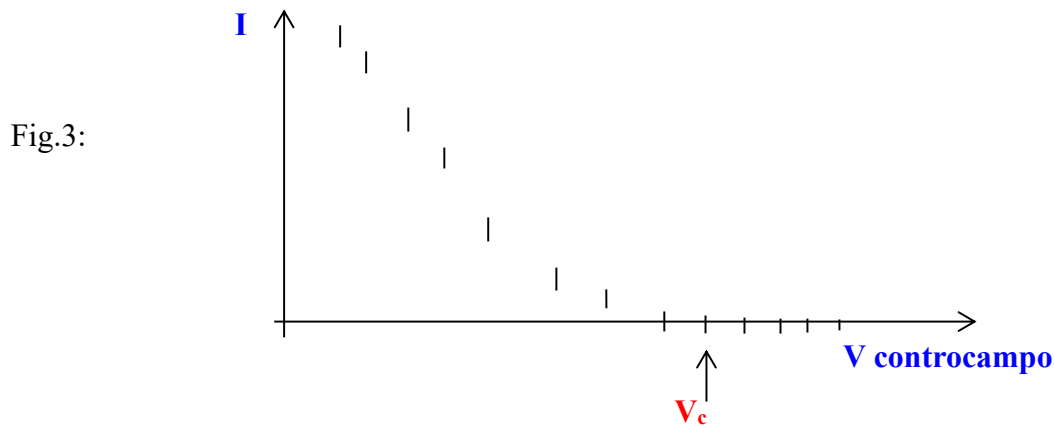
### Misure

Inserire nell'apposito supporto un led e misurare il passaggio di corrente nella fotocellula

$V_{\text{contro campo}}$	$I_{\text{anodo}}$
0,1	----
0,2	----
----	----

Si consiglia di mettere subito il controcampo (tensione negativa sull'anodo) e **valutare il valore di tensione di controcampo per cui la corrente si annulla**. In seguito prendere dati da 0 a 3 V ogni 100-200 mV fino a quando la corrente inizia a stabilizzarsi, poi ogni 20-50 mV. Per alcune frequenze   necessario iniziare da valori della tensione >0 perche' per  $V=0$  il picoamperometro da' "overflow". In alternativa ridurre l'intensit  emessa dal LED riducendo la tensione applicata fino a quando la corrente misurata dal picoamperometro vale circa 2 pA.

Graficare la corrente **I** in funzione della tensione di controcampo (vedi Fig.3):



Per un certo valore di controcampo  $V_c$  la corrente diventa (quasi) costante: può diventare zero o un po' negativa.

Metodi per determinare il miglior stimatore della  $V_c$ :

- 1) Usare  $V_0$  (valore della tensione per cui la corrente si annulla) per stimare la tensione di controcampo  $V_c$ .
- 2) Valutare l'andamento del gradiente  $\Delta I / \Delta V$  vs  $V$  e scegliere come  $V_c$  il valore del campo per cui il gradiente diventa costante (valori compatibili con zero o molto piccoli, ma costanti)
- 3) Eseguire un fit lineare sugli ultimi punti misurati (alti valori di  $V$ ). I punti devono essere ragionevolmente allineati su una retta parallela all'asse x. Seguendo i punti di corrente misurati, per valori sempre crescenti di  $V$ , a partire dal valore in cui la corrente è negativa, individuare il primo punto che giace sulla retta determinata col fit. Per stabilire il punto corretto scegliere un criterio di compatibilità che tenga conto degli errori sulle singole misure (attenzione a non sovrastimare l'errore).

La scelta del metodo deve essere consistente su tutti i set di dati.

Se un metodo dà risultati ragionevoli solo su alcuni set di dati e non su altri non va usato.

Scelto il metodo, la stima di  $V_c$  deve essere ripetuta per tutti i led disponibili.

Costruire i grafici di  $V_c$  e di  $V_0$  come funzione della frequenza  $\nu$  dei led. Per ogni punto riportare il relativo errore.

Con il metodo dei minimi quadrati trovare nei due casi la retta che approssima meglio i punti trovati (retta di "best fit"): la pendenza della retta dà una misura della costante di Planck:

$$h = (e (V_{1c} - V_{2c})) / (\nu_1 - \nu_2)$$

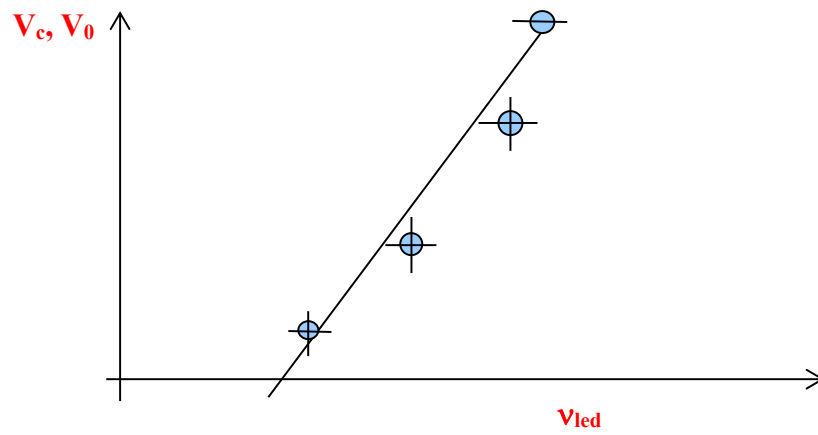


Fig. 4 Tensione di controcampo vs frequenza luce incidente

Se resta tempo misurare, con lo spettrofotometro, gli spettri di emissione dei vari led. Per ogni led individuare la lunghezza d'onda media e la larghezza a meta' altezza.