

Determinazione della costante di Planck

Scelta della lunghezza d'onda mediante interposizione di filtri a interferenza sul banco ottico

Obiettivi dell'esperimento

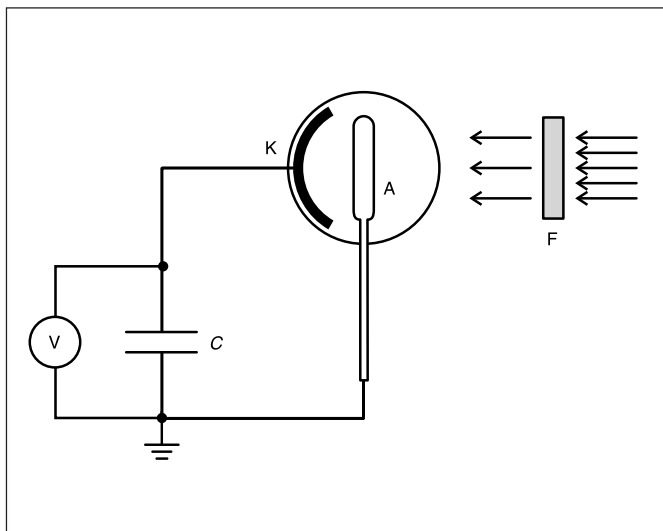
- Verificare l'effetto fotoelettrico
- Misurare l'energia cinetica degli elettroni in funzione della frequenza della luce
- Determinare la costante di Planck h
- Dimostrare che l'energia cinetica degli elettroni è indipendente dall'intensità della luce

Principi teorici

È possibile liberare elettroni da alcuni metalli irradiando la loro superficie con un raggio luminoso di lunghezza d'onda sufficientemente piccola (effetto fotoelettrico). L'energia degli elettroni emessi non dipende dall'intensità della radiazione, ma dalla sua frequenza ν ; l'intensità della radiazione determina solo il numero degli elettroni emessi. Questo fatto contraddice i principi della fisica classica, ciò è stato intuito per la prima volta da Albert Einstein nel 1905. Egli ammise che la luce consiste in un flusso di particelle, chiamate fotoni, la cui energia è proporzionale alla frequenza secondo la relazione:

$$E = h \times \nu \quad (I)$$

Fig.1 Rappresentazione schematica dell'esperimento sulla misura della costante di Planck h per mezzo dell'effetto fotoelettrico. Un raggio di luce monocromatica (la cui lunghezza d'onda è ottenuta mediante il filtro F) va ad incidere sul catodo K di una fotocellula. Gli elettroni, sollecitati da tale energia, si trasferiscono sull'anodo A e vanno a caricare il condensatore C alla tensione limite U_0 .



Il coefficiente di proporzionalità h è conosciuto come costante di Planck ed è considerata come una costante naturale. In base a questa particolare concezione della luce, ciascun fotoelettrone viene sostituito da un fotone che abbandona l'atomo con una energia

$$E_{\text{cin}} = h \times \nu - W_k \quad (II)$$

dove W_k dipende dal lavoro di estrazione degli elettroni ed il suo valore non dipende dal materiale irradiato.

La costante di Planck h si può determinare esponendo una fotocellula alla luce monocromatica, cioè ad una luce avente un ben preciso valore di lunghezza d'onda, e misurare l'energia cinetica E_{cin} degli elettroni emessi.

La Fig. 1 fornisce una rappresentazione schematica di tale esperimento. La luce attraversa un anodo circolare, in questo caso una spira di platino, e va ad incidere su una superficie di potassio. Il potassio è un materiale catodico particolarmente conveniente poiché i legami degli elettroni di valenza dei metalli alcalini molto sono deboli per cui il lavoro di estrazione è molto basso.

Alcuni fotoelettroni emessi dal catodo si spostano verso l'anodo dando luogo ad una corrente fotoelettrica I . Se i fotoelettroni si trasferiscono verso un potenziale negativo, questo aumenta gradualmente e la corrente tende a diminuire. La tensione alla quale la corrente fotoelettrica si annulla si chiama tensione limite U_0 . A questo livello, anche gli elettroni con legami più deboli, cioè quelli con lavoro di estrazione W_k più basso e quindi maggiore energia cinetica, non sono più in grado di raggiungere l'anodo. In questo esperimento, la tensione anodica viene generata da un condensatore che viene caricato alla tensione limite U_0 dagli elettroni incidenti (vedere Fig. 1). La tensione limite U_0 permette di calcolare l'energia cinetica degli elettroni legati debolmente:

$$e \times U_0 = h \times \nu - W \quad (III)$$

e : carica elementare

In questo caso, W è minore del lavoro di estrazione W_k del catodo poiché nel bilancio energetico è compreso il potenziale di contatto tra catodo e anodo.

Apparecchiature

1 Fotocellula per la determinazione della costante di Planck	558 77
1 Dispositivo di alimentazione per fotocellula	558 791
1 Lampada a vapori di mercurio ad alta pressione	451 15
1 Portalampana E 27 su sostegno per lampada a vapori di mercurio	451 19
1 Impedenza universale in custodia, 230 V, 50 Hz	451 30
1 Lente con sostegno, $f = +100$ mm	460 03
1 Diaframma ad iride con sostegno	460 26
1 Filtro revolver	558 792
1 Filtro ad interferenza 578 nm	468 401
1 Filtro ad interferenza 546 nm	468 402
1 Filtro ad interferenza 436 nm	468 403
1 Filtro ad interferenza 405 nm	468 404
1 Amplificatore elettrometrico	532 14
1 Unità di alimentazione a spina 230 V AC/12 V AC	562 791
1 Condensatore STE, 100 pF, 630 V	578 22
1 Interruttore STE a tasto (N.A.)	579 10
1 Voltmetro, DC per es.	531 100
1 Banco ottico con profilo standard, 1 m oppure	460 32
1 Banco ausiliario con cerniera 0.5 m	460 34
2 Cavalieri ottici, altezza 90 mm, larghezza 50 mm	460 352
3 Cavalieri ottici, altezza 120 mm, larghezza 50 mm	460 357
2 Spine a morsetto	590 011
1 Adattatore BNC	501 10
1 Adattatore BNC per boccole da 4 mm, 1 polo	501 09
1 Spina di accoppiamento	340 89
1 Scatola di derivazione	502 04
Cavi di collegamento	

Le misure sono eseguite per diversi valori della lunghezza d'onda λ e frequenze

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (IV)$$

c : velocità della luce nel vuoto della luce incidente

Se la frequenza della luce incidente aumenta di Δv , l'energia dell'elettrone aumenta di $h \times \Delta v$. Per compensare l'aumento della corrente fotoelettrica, bisogna aumentare la tensione limite di ΔU_0 .

Norme di sicurezza

La lampada a vapori di mercurio ad alta pressione emette anche raggi UV e quindi può danneggiare la vista.

- Non guardare mai il raggio diretto o il raggio riflesso della luce emessa da una lampada a vapori di mercurio.
- Per quanto riguarda la lampada a vapori di mercurio ad alta pressione, consultare la Scheda Istruzioni.

Tracciando l'andamento della tensione limite $U_0(v)$ in funzione di v , dall'equazione (III) si ottiene una retta di pendenza:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta v} = \frac{h}{e} \quad (V)$$

Conoscendo il valore della carica elementare e , da questa formula si ottiene la costante di Planck h .

In questo esperimento, per selezionare le varie lunghezze d'onda, si utilizzano filtri a banda stretta; ciascun filtro seleziona con precisione una riga dello spettro della luce emessa da una lampada a vapori di mercurio ad alta pressione. Il valore della lunghezza d'onda riportato sul filtro si riferisce alla lunghezza d'onda della linea dello spettro del mercurio trasmessa dal filtro.

Montaggio dell'esperimento**Montaggio del banco ottico:**

Nota: La lampada a vapori di mercurio ad alta pressione raggiunge la massima intensità dopo dieci minuti dall'accensione.

Accendere la lampada immediatamente in modo da avviare la misura appena terminate le operazioni di montaggio degli altri componenti.

La Fig. 2 mostra come sono disposti i componenti usati nell'esperimento; le distanze rispetto al cavaliere ottico di sinistra sono date in cm.

- Collegare l'impedenza universale alla rete mediante la scatola di derivazione.
- Montare la lampada a vapori di mercurio nella posizione indicata con un cavaliere ottico ($H = 90$ mm), collegarla all'impedenza universale e chiudere l'interruttore.
- Montare la fotocellula nella posizione indicata con un cavaliere ottico ($H = 90$ mm); togliere la copertura ed allineare la fotocellula in modo che la superficie nera sia rivolta verso la lampada.
- Montare il diaframma ad iride sul banco ottico nella posizione indicata con un cavaliere ottico ($H = 120$ mm).
- Montare la lente nella posizione indicata con un cavaliere ottico ($H = 120$ mm) e regolare l'altezza in modo che il centro della lente ed il centro del diaframma ad iride si trovino allo stesso livello.

La luce emessa dalla lampada a vapori di mercurio deve formare sul rivestimento nero (zona sensibile) della fotocellula una traccia luminosa molto nitida. Il raggio luminoso non deve incidere sull'anello metallico e neppure sulla zona annerita alla quale sono fissati i contatti. Evitare di illuminare i bordi. Per ottenere questo risultato, seguire il seguente procedimento; se necessario, ripeterlo più volte fino ad ottimizzare la formazione dell'immagine:

- Variare l'altezza del diaframma ad iride e della lente in modo da ottenere la traccia luminosa nella zona nera della fotocellula; verificare che il centro della lente ed il centro del diaframma ad iride si trovino sempre allo stesso livello. Si può presentare la necessità di regolare l'altezza e l'inclinazione della fotocellula (mediante le viti poste sotto la base di appoggio).
- Mediante il diaframma ad iride, regolare le dimensioni della traccia in modo da illuminare una zona nera della fotocellula più grande possibile, ma escludendo altre zone come l'anello metallico o i contatti del rivestimento nero.
- Mettere ben a fuoco la traccia luminosa spostando la lente lungo il banco ottico.

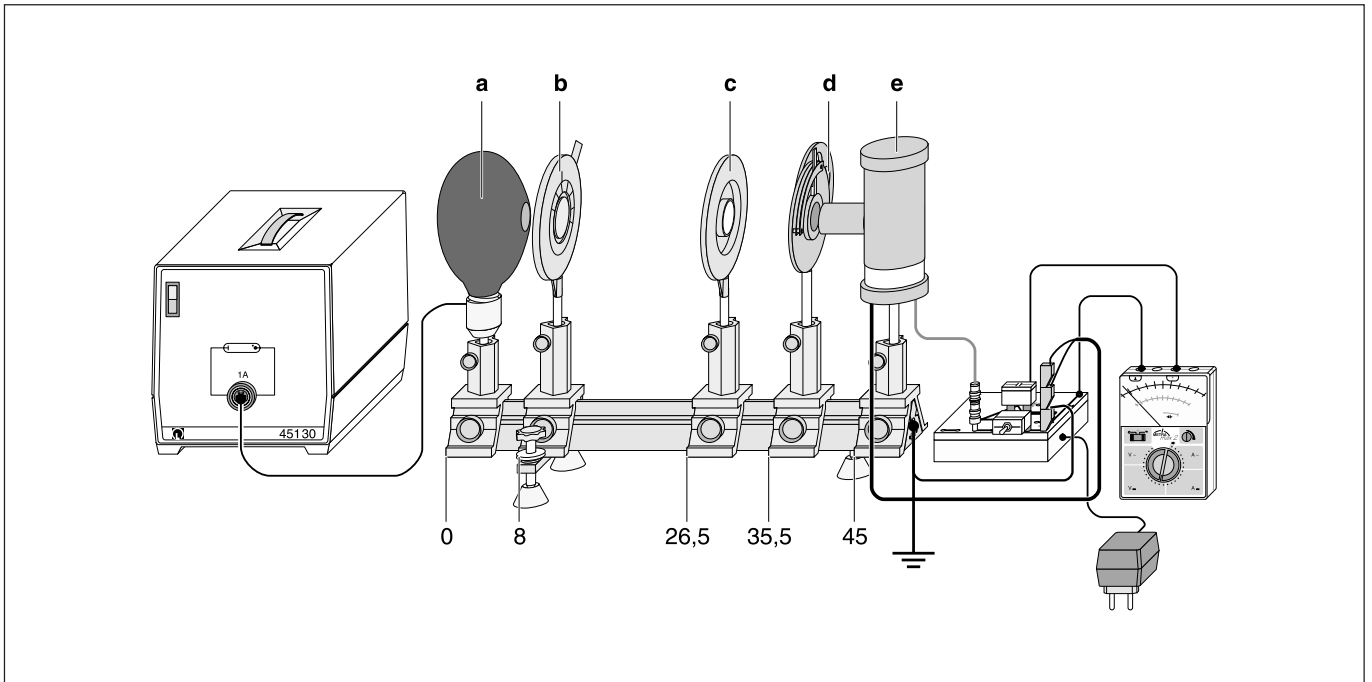
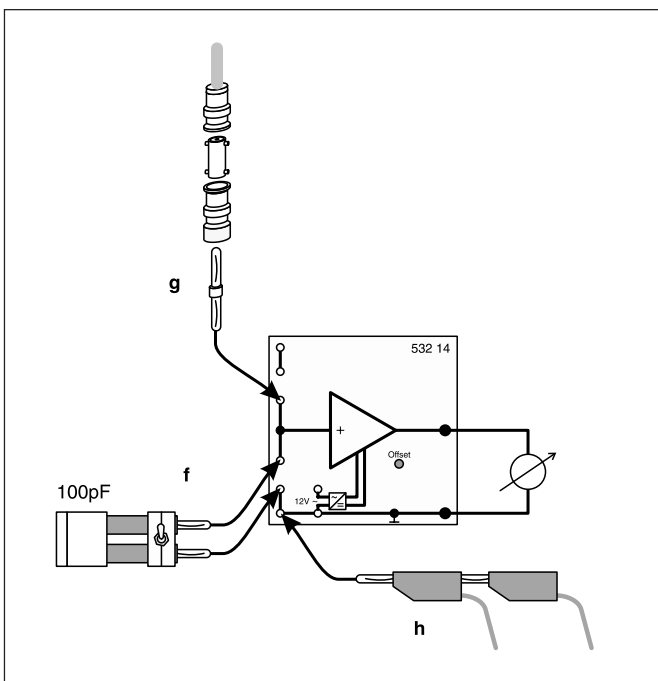


Fig. 2 Montaggio dell'esperimento su banco ottico in cui le distanze rispetto al cavaliere ottico di sinistra sono date in cm.
a lampada a vapori di mercurio ad alta pressione
b diaframma ad iride
c lente, $f = 100$ mm
d revolver con filtri ad interferenza
e fotocellula

Nota: una volta eseguita la messa a punto dell'esperimento, fare attenzione a non modificare più tale assemblaggio.

- Coprire la fotocellula.
- Mediante un cavaliere ottico, mettere il filtro a revolver ed il diaframma ad iride di fronte alla fotocellula ($H = 120$ mm) e collegare il diaframma ad iride del filtro a revolver alla copertura della fotocellula in modo da evitare che la luce dispersa possa raggiungere la fotocellula.

Fig. 3 Circuito dell'amplificatore elettrometrico per la misura della tensione limite U_0



Collegamento elettrico:

I fotoelettroni che incidono sull'anello metallico della fotocellula caricano un condensatore e generano la tensione limite U_0 necessaria per determinare l'energia cinetica. L'amplificatore elettrometrico serve a misurare la tensione ai capi del condensatore.

Montare il circuito dell'amplificatore elettrometrico come indicato in Fig. 3.

- Inserire la spina (f), collegare il condensatore da 100 pF e l'interruttore.
- Inserire la spina di accoppiamento (g), l'adattatore BNC/4 mm, il BNC lineare e collegarli al cavo schermato grigio della fotocellula.
- Collegare i due cavi neri della fotocellula (h) alla massa dell'amplificatore elettrometrico.
- Collegare il multimetro all'uscita dell'amplificatore elettrometrico.

Inoltre:

- Collegare l'alimentatore a spina (12 V) all'amplificatore elettrometrico mediante la scatola di derivazione.
- Collegare il banco ottico (e possibilmente l'appoggio dell'alimentatore per fotocellula) alla massa dell'amplificatore elettrometrico, collegare quest'ultima alla massa della scatola di derivazione.

Esecuzione dell'esperimento

Note:

Se il potassio dello strato fotosensibile del catodo si deposita sull'anello anodico, tale deposito può provocare un flusso di elettroni che va ad interferire sull'esperimento.

Se necessario, ripulire l'anodo della fotocellula come descritto nella Scheda Istruzioni.

Le impurità della fotocellula possono dar luogo a correnti di dispersione tra anodo e catodo con conseguente alterazione della tensione limite U_0 .

Pulire la fotocellula con alcool.

Gli effetti induttivi possono influire sulla tensione ai capi del condensatore.

Durante l'esperimento, evitare quanto più è possibile gli spostamenti del condensatore.

Non è necessario fare buio nella stanza; i risultati della misura non risentono dell'illuminamento esterno.

- Accendere il multimetro e selezionare il range 1 V DC.
- Ruotare il filtro ad interferenza in modo da selezionare dal raggio luminoso la luce gialla ($\lambda_{\text{Hg}} = 578 \text{ nm}$).
- Scaricare il condensatore abbassando il tasto dell'interruttore in modo da portare il multimetro a zero V.
- Avviare la misura lasciando il tasto dell'interruttore; attendere da circa 30 s ad 1 minuto fino a quando il condensatore si è caricato alla tensione limite U_0 . Prendere nota del valore di U_0 ottenuto dalla misura.
- Ruotare il filtro ad interferenza in modo da selezionare dal raggio luminoso la luce verde ($\lambda_{\text{Hg}} = 546 \text{ nm}$) e ripetere la misura.
- Estendere il campo di misura fino a 3 V e ripetere le misure con i filtri ad interferenza blu ($\lambda_{\text{Hg}} = 436 \text{ nm}$) e violetto ($\lambda_{\text{Hg}} = 405 \text{ nm}$).
- Variare l'intensità della luce incidente sulla fotocellula mediante il diaframma ad iride del filtro revolver e misurare di volta in volta la tensione limite U_0 .

Nota: Se il diaframma ad iride è troppo chiuso, questo può modificare la luminosità della traccia presente sul catodo. Inoltre, anche le correnti di dispersione possono assumere un ruolo importante.

Esempio di misura

Tabella 1: Tensione limite U_0 in funzione della lunghezza λ d'onda e della frequenza ν .

Colore	$\frac{\lambda}{\text{nm}}$	$\frac{\nu}{\text{THz}}$	$\frac{U_0}{\text{V}}$
Giallo	578	519	0.59
Verde	546	549	0.70
Blu	436	688	1.23
Violetto	405	741	1.40

Valutazione dei risultati

La Fig. 4 mostra l'andamento della tensione limite U_0 in funzione della frequenza ν . Con buona approssimazione, i punti ricavati sperimentalmente giacciono su una retta.

La retta che interpola i tre punti sperimentali ha una pendenza di

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} = 0.38 \times 10^{-14} \text{ Vs}$$

In base alla (V), essendo $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ As}$, il valore della costante di Planck risulta:

$$h = 6.1 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Valore nominale: $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$

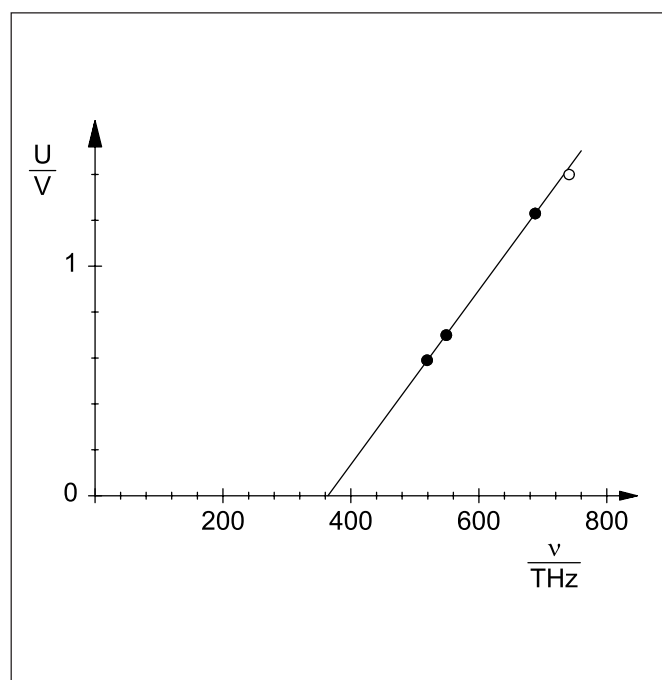


Fig. 4 Tensione limite U_0 in funzione della frequenza ν

Conclusioni

L'energia cinetica E_{cin} degli elettroni emessi per effetto fotoelettrico dipende dalla frequenza e non dall'intensità della luce incidente.

La costante di Planck h si può determinare misurando, in funzione della frequenza ν , la tensione limite U_0 oltre la quale non è più possibile l'emissione degli elettroni.