

Legge di Stefan-Boltzmann:
misura dell'intensità di radiazione
di un "corpo nero" in funzione
della temperatura

Obiettivi dell'esperimento

- Misurare l'intensità di radiazione emessa da un corpo nero riscaldato in un forno elettrico nell'intervallo di temperatura 300–750 K utilizzando la termopila di Moll.
- Rappresentare graficamente la relazione tra l'intensità di radiazione e la temperatura assoluta per confermare la legge di *Stefan-Boltzmann*.

Principio fisico

Tutti i corpi emettono calore. L'energia termica corrispondente genera radiazioni elettromagnetiche la cui intensità dipende dalla superficie del corpo ed aumenta con la temperatura. A parità di lunghezza d'onda, ad una maggiore quantità di calore che un corpo è in grado di irradiare corrisponde anche un maggiore potere assorbente.

Un corpo in grado di assorbire completamente e trasformare in calore radiazioni di qualsiasi lunghezza d'onda viene chiamato *corpo nero*. È stato *Kirchhoff* che per primo ha proposto un corpo nero virtualmente ideale utilizzando una cavità. Ad una determinata temperatura e ad una data lunghezza d'onda, il corpo nero possiede contemporaneamente il più elevato potere di emissione e di assorbimento.

La legge di *Stefan-Boltzmann* stabilisce che la radiazione totale emessa da un corpo nero aumenta proporzionalmente alla quarta potenza della temperatura assoluta T . Più precisamente, la radiazione M prodotta, cioè la potenza totale irradiata dall'unità di superficie è data da

$$M = \sigma T^4 \quad (I)$$

$$\left(\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{K}^4 \text{ costante di Stefan-Boltzmann} \right)$$

In modo analogo, il corpo nero assorbe dall'ambiente circostante la stessa energia che è in grado di emettere. Per questo motivo, una misura non tiene conto della radiazione totale M emessa, ma piuttosto dell'energia M' sottratta al corpo nero per radiazione. La radiazione che il corpo assorbe dall'ambiente circostante è data da

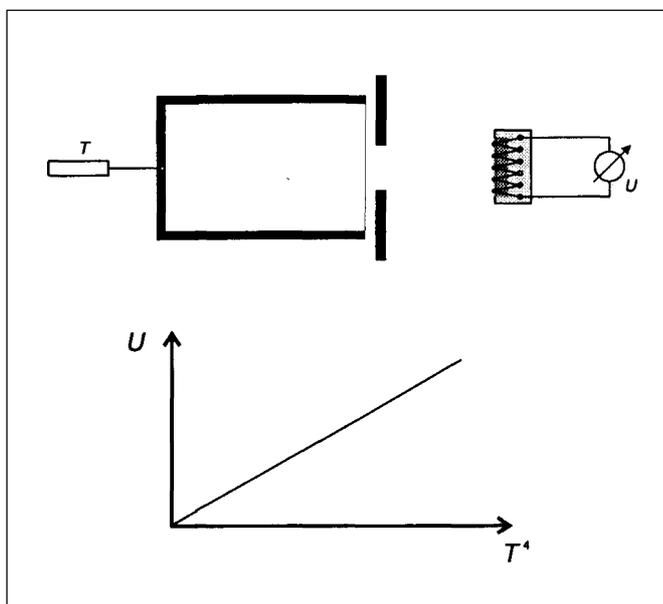
$$M_0 = \sigma T_0^4 \quad (II)$$

Quindi, si deduce che

$$M' = \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (III)$$

In questo esperimento, per realizzare il "corpo nero" si utilizza un forno elettrico ed un apposito accessorio. Tale accessorio consiste in un cilindro di ottone brunito e di uno schermo. Il cilindro di ottone, chiuso ad un estremo, va inserito nel forno elettrico dove viene riscaldato alla temperatura desiderata. Lo schermo, che eventualmente può essere raffreddato ad acqua, va collocato di fronte al forno elettrico in modo da misurare soltanto le radiazioni termiche emesse dal cilindro brunito ed eliminare gli effetti dovuti alle pareti calde del forno. Per misurare la temperatura del cilindro di ottone si utilizza un sensore di temperatura NiCr-Ni.

La radiazione termica viene misurata con una termopila di Moll collegata ad un microvoltmetro. La termopila contiene un certo numero di termocoppie collegate in serie. La misura tiene conto dei punti sui quali viene dissipata quasi completamente la radiazione incidente, avendo come riferimento i punti che si trovano alla temperatura ambiente. In questo modo dall'uscita della termopila si preleva una tensione proporzionale alla radiazione emessa M' .



Apparecchiature

1 Forno elettrico, 230 V	555 81
1 Accessorio per il corpo nero	389 43
1 Supporto per forno elettrico	555 84
1 Termometro digitale con un ingresso	666 190
1 Sensore di temperatura, NiCr-Ni	666 193
1 Termopila di Moll	557 36
1 Microvoltmetro	532 13
1 Piccolo banco ottico	460 43
1 Piede di appoggio a V, grande	300 01
4 Morsetti Leybold	301 01
1 Pinza universale	666 555

Cavetti di collegamento

Si raccomanda inoltre:

1 Pompa ad immersione per liquidi	306 98
2 Tubi al silicone, 7 x 1.5 mm, 1m	667 194
1 Recipiente d'acqua, circa 10 l	

Configurazione del sistema di misura

Note:

L'intensità della radiazione è molto piccola; per questo motivo, il risultato della misura dipende molto dai disturbi ambientali. Durante la misura, la termopila non va mai toccata con le mani.

Non lavorare chinato sopra la termopila e soprattutto non mettersi di fronte ad essa.

Durante l'esperimento, evitare correnti d'aria e variazioni della temperatura ambiente.

Evitare l'interferenza di radiazioni esterne; eventualmente, schermare il sistema di misura con del cartone.

In caso di necessità, lavorare in ambienti al buio.

Le radiazioni di disturbo possono essere causate da: radiazioni dirette del corpo caldo sulla termopila, radiazioni riflesse su una superficie (per esempio la luce colorata degli indumenti), radiatori, luce solare ed altre sorgenti luminose.

Norme di sicurezza

C'è il pericolo di scottature: le pareti del forno elettrico possono superare i 200 °C.

- Fare attenzione a non procurarsi delle scottature con il forno elettrico durante il riscaldamento.
- Utilizzare il forno elettrico solo dopo averlo fissato agli appositi supporti.
- Leggere con attenzione le istruzioni d'uso del forno elettrico ed osservarle scrupolosamente.

L'acqua, penetrando nel motore della pompa ad immersione, può provocare un corto circuito.

- La profondità dell'immersione non deve superare i 17 cm.
- Asciugare l'estremità della pompa ad immersione dopo il funzionamento.
- Leggere con attenzione le istruzioni d'uso della pompa ad immersione ed osservarle scrupolosamente.

Lasciare scaldare il microvoltmetro per almeno 10 minuti prima di iniziare l'esperimento.

Alimentare il microvoltmetro chiudendo l'interruttore che si trova sul pannello posteriore dello strumento.

La Fig. 1 mostra la disposizione delle apparecchiature utilizzate per l'esperimento.

Quando si utilizza l'acqua di raffreddamento:

- Collegare il tubo al silicone alla pompa ad immersione ed allo schermo in modo da far entrare l'acqua dal connettore inferiore dello schermo e farla uscire dal connettore superiore.
- Riempire d'acqua il recipiente ed agganciare la pompa ad immersione al bordo del recipiente con l'apposito morsetto di fissaggio facendo in modo che l'apertura d'immissione sia completamente sommersa e che il livello d'immersione non sia superiore a 17 cm (vedere Fig. 2; per una ulteriore possibilità di montaggio, fare riferimento al Foglio Istruzioni).

Fase successiva:

- Disporre il forno elettrico, lo schermo, l'accessorio per il corpo nero e la termopila come indicato in Fig. 1 facendo in modo che l'asta di sostegno della termopila si trovi a circa 15 cm di distanza dall'apertura del forno elettrico. Lo schermo dell'accessorio per il corpo nero va collocato a circa 5 – 10 mm dal forno elettrico, la parte metallica deve essere rivolta verso la termopila.

Nota:

La finestrella di protezione in vetro della termopila assorbe maggiormente le radiazioni con lunghezza d'onda maggiore e questo altera sistematicamente la misura dell'intensità di radiazione al variare della temperatura.

- Togliere la finestrella di protezione in vetro della termopila.
- Collegare il termometro digitale al sensore di temperatura NiCr-Ni ed inserirlo completamente nel piccolo foro centrale del cilindro di ottone brunito.
- Posizionare il sensore di temperatura con la pinza universale e chiudere l'interruttore di alimentazione del termometro digitale (campo di misura > 200 °C).
- Allineare le aperture del forno elettrico, lo schermo, l'accessorio per il corpo nero e la termopila in modo che il calore irradiato possa incidere direttamente sull'apertura della termopila.
- Se si utilizza il raffreddamento ad acqua, chiudere l'interruttore della pompa ad immersione.
- Collegare la termopila al microvoltmetro come mostrato in Fig. 1 (campo di misura 10^{-4} V); collegare la boccia rossa della termopila alla boccia rossa del microvoltmetro.
- Regolare l'offset pigiando il tasto "auto comp"; eventualmente eseguire la regolazione fine con il potenziometro di azzeramento del display digitale (vedere il Foglio Istruzioni del microvoltmetro).

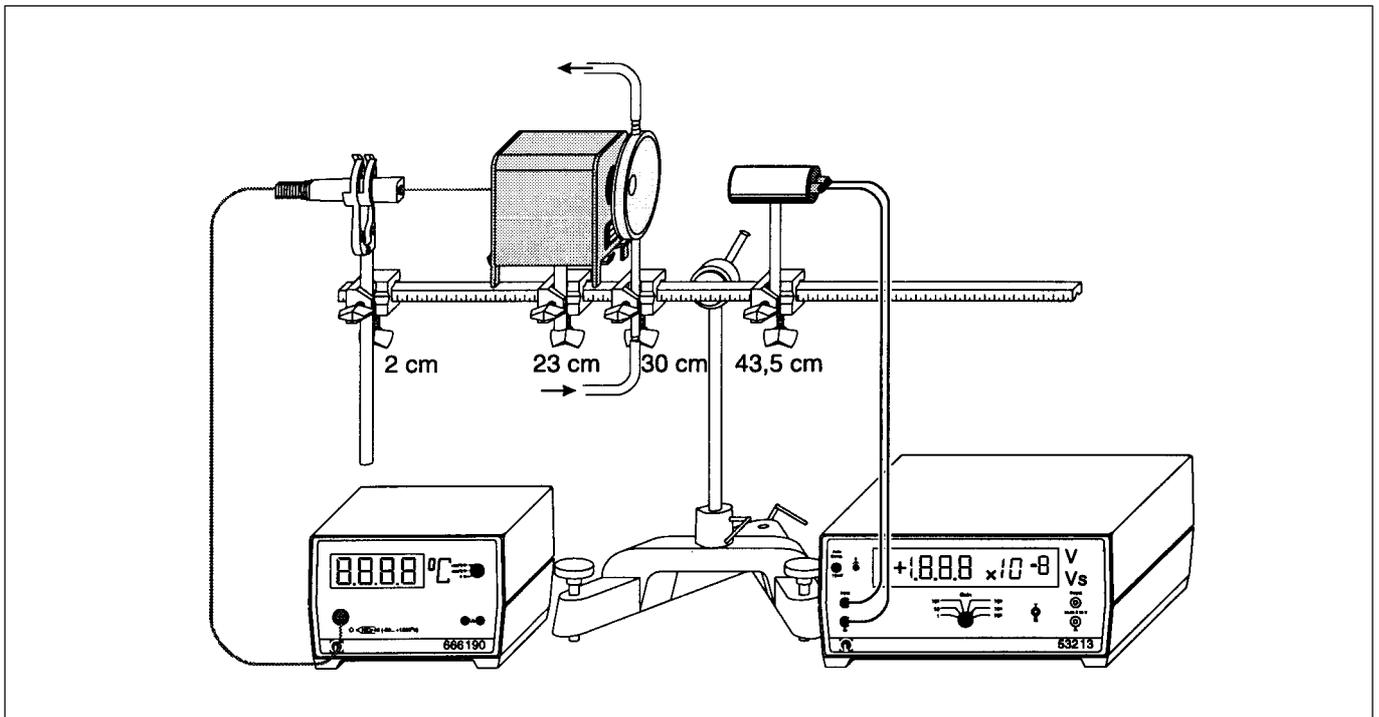
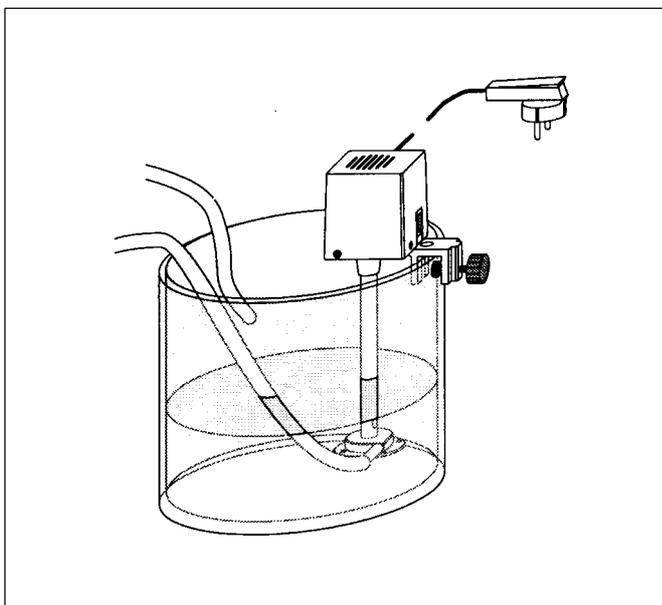


Fig. 1: Esperimento per la verifica della legge di Stefan e Boltzmann sulla radiazione.
La posizione dei morsetti Leybold sono riferiti all'estremo di sinistra del banco ottico

Fig. 2: Esempio di montaggio della pompa ad immersione nel recipiente d'acqua



Esecuzione dell'esperimento

Prima fase:

- Misurare la temperatura ϑ del cilindro di ottone ed il valore iniziale della tensione di uscita U della termopila, riportare questi valori nella tabella.

Seconda fase:

- Chiudere l'interruttore del forno elettrico; aumentare la temperatura e, ad intervalli di 25 °C, riportare nella tabella i valori di ϑ ed U ottenuti dalla misura.

Quando la temperatura ha raggiunto un valore compreso tra 400 °C e 500 °C:

- Aprire l'interruttore di alimentazione del forno elettrico; diminuire la temperatura e, ad intervalli di 25 °C, riportare nella tabella i valori di ϑ ed U ottenuti dalla misura.
- Quando la temperatura ha raggiunto un valore compreso tra 100 °C e la temperatura ambiente, togliere il sensore di temperatura dal forno elettrico, misurare la temperatura ambiente e riportare questo valore nella tabella.
- Schermare la termopila con del cartone, verificare l'azzeramento del voltmetro e riportare questo valore nella tabella.

Esempio di misura e valutazione dei risultati

Tabella 1: Risultati della misura durante il riscaldamento ed il raffreddamento

ϑ °C	T K	$T^4 - T_0^4$ K ⁴	U_{\uparrow} μV	U_{\downarrow} μV
24	297	0	0	0
50	323	0.31	6	6
75	348	0.69	14	14
100	373	1.16	24	24
125	398	1.73	36	36
150	423	2.42	52	51
175	448	3.25	70	68
200	473	4.23	91	89
225	498	5.37	116	113
250	523	6.70	143	141
275	548	8.24	175	172
300	573	10.00	211	207
325	598	12.01	250	246
350	623	14.29	293	290
375	648	16.85	342	338
400	673	19.74	395	392
425	698	22.96	453	450
450	723	26.55	517	517

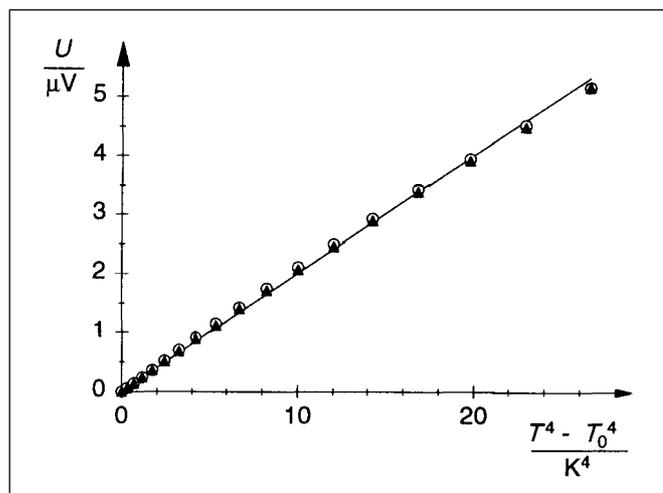


Fig. 3: Diagramma della tensione di uscita U in funzione di $T^4 - T_0^4$. Ai cerchi corrispondono i valori ottenuti durante il riscaldamento ai triangoli i valori ottenuti durante il raffreddamento.

La Fig. 3 mostra la tensione d'uscita U della termopila in funzione della differenza tra la temperatura assoluta T all'interno del forno ed il valore assoluto T_0 della temperatura ambiente entrambe elevate alla quarta potenza. Secondo quanto previsto dalla legge di *Stefan-Boltzmann*, l'andamento ottenuto risulta con buona approssimazione lineare. Osservando il diagramma con attenzione, si nota una leggera deviazione dall'andamento perfettamente lineare; ciò è dovuto alle seguenti cause: la misura eseguita con la termopila risente delle perdite per convezione ed irraggiamento verso l'ambiente esterno, in modo particolare quando si toglie la finestrella di protezione in vetro. Inoltre, è possibile che all'aumentare della temperatura del forno aumenti anche la temperatura dei punti che forniscono alla termopila la condizione di riferimento.