

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCCXIV.

1917

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXVI.

1° SEMESTRE.



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1917

Fisica. — *Una nuova determinazione della costante della legge di Stefan-Boltzmann* ⁽¹⁾. Nota della dott.^{ssa} MARYA KAHANOWICZ, presentata dal Corrisp. M. CANTONE.

Intrapresi questa ricerca, perchè il metodo prometteva qualche vantaggio rispetto a quelli fin'ora adoperati nelle varie determinazioni della costante suddetta. Il fatto che non si sia ancora riuscito a verificare sperimentalmente la legge stessa di Stefan-Boltzmann, poichè in ogni serie di esperienze eseguite dai diversi sperimentatori si è sempre riscontrata una dipendenza sistematica dei valori di σ dalla temperatura, dalla distanza e dalle dimensioni delle aree raggianti, come anche la circostanza non insignificante che i valori medii di σ sono stati dedotti dai vari sperimentatori da valori abbastanza discordanti, crea dei dubbi intorno al buon funzionamento tanto dei ricevitori integrali adoperati, quanto dei radiatori messi in prova.

Come apparecchi più perfetti si presentano il bolometro di Kurlbaum ⁽²⁾, e la pila Paschen, modificata da Gerlach ⁽³⁾, perchè in essi i due processi — il radiometrico e l'elettrico — avvengono in condizioni identiche, risultando la medesima lamina ricevitrice sede dell'assorbimento dell'energia raggiante e della produzione dell'energia elettrica, il che assicura la condizione che per la compensazione vi sia una spesa di energia uguale a quella da compensare, condizione non raggiunta rigorosamente in nessun altro ricevitore integrale. L'apparecchio di Gerlach presenta però l'inconveniente che non si realizza con esso un regime stabile per il funzionamento del sistema termometrico, essendo difficile ammettere che la posizione della pila affacciata colle saldature alla lamina ricevitrice e tenuta da essa a distanza mantenga inalterata la sua posizione rispetto alla lamina, onde risultano condizioni non stazionarie per la trasmissione del calore. D'altronde la piccola prontezza dell'apparecchio, il quale richiede un tempo di esposizione di 2 minuti, mentre col bolometro di Kurlbaum si raggiunge l'equilibrio dopo 20 o 30 secondi, fa temere che nasca un'azione efficace anche da parte degli schermi esterni. Perciò questo metodo non è il più adatto per l'uso di un ricevitore del tipo termoelettrico. Condizioni certamente migliori si realizzano col ricevitore integrale di Amerio ⁽⁴⁾, nel quale la saldatura della coppia termoelettrica è applicata direttamente sulla lamina ricevitrice, raggiungen-

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nell'Istituto di Fisica sperimentale della R. Università di Napoli.

⁽²⁾ Wied. Ann. 46, 1892, pag. 204; Wied. Ann. 65, 1898, pag. 746.

⁽³⁾ Ann. d. Phys. 38, 1912, pag. 1.

⁽⁴⁾ Memorie della R. Accademia dei Lincei, serie 5^a, vol. X, fascicolo 9, pag. 337. V. anche Corso di Fisica sperimentale del prof. M. Cantone, vol. III, pag. 429.

dosi così lo scopo che la trasmissione di calore avvenga sempre nelle identiche condizioni e rapidamente.

Il forno elettrico costituisce certamente il migliore artificio per realizzare il principio della cavità con pareti a temperatura uniforme, ma soltanto nel caso in cui il fascio è limitato ai raggi emergenti dalla parte centrale del tubo, ove la temperatura si mantiene sensibilmente uniforme. Le dimensioni delle finestre nel caso delle esperienze di Lummer e Kurlbaum, di Valentiner e di altri per la loro grandezza non garantivano affatto che si ricevesse energia solo dalla regione centrale, giacchè i diaframmi interni, se limitano il fascio, costituiscono in parte sorgenti di energia a temperatura non uniforme. Nè a togliere il dubbio spontaneo vale l'asserzione dei signori Lummer e Kurlbaum fondata sull'osservazione visuale⁽¹⁾, perchè i giudizi su questa base sono assai grossolani.

Un'altra causa di errore sta nel modo come i diversi sperimentatori computavano la temperatura. Essi seguivano le vicissitudini del forno in tutto il regime crescente, assegnando volta per volta il valore della costante alla temperatura osservata, senza arrivare ad un regime costante⁽²⁾. Come ho potuto accertare nelle mie esperienze, nelle quali sono riuscita a raggiungere caso per caso le condizioni di regime, la temperatura dedotta in condizioni variabili risulta maggiore di quella ottenuta a regime costante, e ciò si spiega col fatto che, data la piccola conducibilità della sostanza refrattaria del tubo, il processo verso la temperatura uniforme si compie troppo rapidamente per essere risentito dall'elemento termoelettrico, sicchè lo stato termico di quest'ultimo è in ritardo rispetto a quello delle pareti.

In quanto poi al radiatore di Puccianti⁽³⁾, è da notare che l'energia da esso irradiata non può considerarsi come dovuta ad un corpo nero, 1° perchè le pareti della cavità difficilmente potevano assumere temperatura uniforme, per quanto si cercasse di mantenere il pallone nell'aria liquida fino al collo; 2° perchè lo schermo che limitava l'area emittente non era mantenuto alla temperatura del ricevitore, nel quale caso, come risulta da alcune mie esperienze (ved. pag. 7), dove si faceva fluire lentamente il liquido nella scatola in cui era praticata la finestra, funzionano da sorgente anche le pareti che limitano l'apertura, aggiungendo dell'energia a quella emessa dal radiatore.

Nel ricevitore integrale fatto costruire dal prof. Cantone è applicato il sistema di Amerio: una lamina di manganina di cm. 0,013, di spessore sufficientemente uniforme, ricoperta dai due lati di nerofumo, porta saldata

⁽¹⁾ Ann. d. Phys., 5, 1901, pag. 829.

⁽²⁾ V. p. es. il procedimento sperimentale di Valentiner (Ann. de Phys., 31, 1910, pag. 304 e seguenti).

⁽³⁾ Nuovo Cimento (6), 4, 1912, pag. 36.

nel centro una coppia termoelettrica ferro-nichel. Il sistema è racchiuso in un involucro sferico di ottone, con argentatura elettrolitica all'interno, di cm. 12 di diametro esterno e di cm. 10 di diametro interno. La finestra rettangolare praticata nell'involucro in corrispondenza alla lamina, risulta tanto in larghezza (cm. 0,335), che in lunghezza (cm. 1,410) un poco più piccola della lamina, onde il fascio, che proviene da altra finestra presso a poco della stessa area a distanza di cm. 35, o di cm. 56, colpisce integralmente la lamina interna annerita. Con questo ci avviciniamo, più che nelle ricerche degli altri sperimentatori, ad una radiazione normale, e si realizza inoltre la condizione di un'apertura assai piccola rispetto alla superficie interna dell'involucro, condizione che si verifica in modo ben grossolano in molti ricevitori usati con una certa pretesa di grande rigore. D'altra parte si può essere sicuri che le grosse pareti dell'involucro conservano una temperatura uniforme e quasi costante, poichè la quantità di calore che viene da esse assorbita nel breve tempo di azione dell'involucro è talmente piccola da non produrre una sensibile variazione di temperatura.

Assumendo per il potere assorbente del nerofumo 0,96 e per il potere riflettente dell'argento 0,95, si deduce per il potere assorbente⁽¹⁾ del nostro ricevitore 0,998, donde segue che anche in condizioni molto sfavorevoli l'energia viene assorbita da questo ricevitore quasi totalmente, avendosi una perdita di solo 0,2%. In condizioni più favorevoli, cioè nell'ipotesi che il potere assorbente del nerofumo sia 0,98, si avrebbe la perdita di solo 0,1%. Si vede pertanto che il ricevitore da me usato, pur non essendo di grande sensibilità rispetto alle temperature relativamente basse della sorgente, presenta qualche vantaggio sugli altri messi in opera nelle varie ricerche per la determinazione di σ , in quanto che un fascio sensibilmente cilindrico penetra nel ricevitore, dove è assorbito quasi per intero, e determina nella saldatura attaccata alla laminetta un effetto termico nello stesso modo che col passaggio della corrente fornita dall'accumulatore nel tempo brevissimo (30 secondi) necessario a raggiungere il regime stazionario.

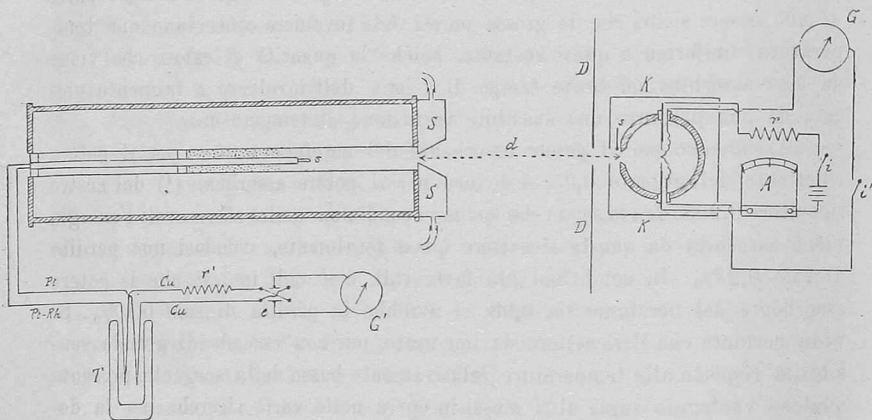
Il ricevitore era chiuso in una scatola di latta *R* seguita da uno schermo riflettente *D* abbastanza grande; e lo sportellino *s*, manovrabile per trasmissione a distanza, serviva per intercettare la radiazione negli intervalli di riposo.

Come si cennò, per il radiatore si fece uso di una piccola area raggianti; e si cercò di ottenere nel miglior modo possibile l'uniformità di temperatura nella regione da cui direttamente emanava il fascio penetrante nel ricevitore. Si ricorse a tale scopo ad un forno elettrico modello Heraeus, di 60 cm. di lunghezza, alla cui estremità anteriore fu applicato uno schermo *S* a scatola con circolazione di acqua, ed avente un'apertura rettangolare interna.

(1) V. Amerio, loc. cit., pag. 337.

larga cm. 0,370 ed alta cm. 1,432. Affinchè il tubo potesse funzionare da corpo nero, fu operata dalla parte posteriore la chiusura con un disco di amianto sciolto, impastato nel biossido di manganese; la saldatura σ di un elemento Le Chatelier occupava la parte centrale del tubo.

La laminetta del ricevitore era chiusa in circuito con un accumulatore, con una cassetta di resistenze r , con un milliamperometro di precisione di Hartmann e Braun A , e con un interruttore a mercurio i . La coppia termoelettrica formava circuito con un galvanometro tipo Deprez-d'Arsonval G avente la sensibilità di 6×10^{-10} Amp. a due metri di distanza, e con un interruttore a mercurio i' . La perfetta simmetria di questo galvanometro indusse a ritenere trascurabile l'azione disturbatrice per effetto Peltier, quindi



si rese superflua l'inversione della corrente. Nel circuito dell'elemento Le Chatelier i fili di rame che partivano dalle saldature fredde, riparate in un pallone Dewar T , riempito di ghiaccio, si univano al galvanometro G' del tipo Deprez-d'Arsonval di sensibilità di 8×10^{-9} Amp. a due metri di distanza, mediante una cassetta di resistenze r' ed un commutatore a mercurio c .

La taratura dei galvanometri fu eseguita con due elementi Weston e con resistenze misurate col ponte di Wheatstone. Alla stessa unità di resistenza del ponte furono riportate le resistenze della cassetta r' e del galvanometro G' . Fu controllata anche la graduazione del milliamperometro A , adoperando in questa taratura la stessa unità di f. e. m. dell'elemento Weston e la stessa unità di resistenza del ponte. Le dimensioni delle aree raggianti vennero determinate con la macchina a dividere.

Si eseguì la taratura del ricevitore parecchie volte durante il lavoro e si accertò sempre la medesima sensibilità dell'apparecchio. Per la resistenza della laminetta, misurata col ponte di Wheatstone la cui unità fu confron-

tata coll'Ohm Internazionale, si ebbe costantemente il valore di ohm internazionali 0,0802.

Per dedurre la costante σ , si applicava la formola

$$(1) \quad \frac{\sigma (T^4 - T_0^4) \mathcal{A}_s \mathcal{A}_s'}{\pi d^2} \left(1 - \frac{1}{6} \frac{a^2 + b^2 + a'^2 + b'^2}{d^2} \right) = i^2 r,$$

dove si denota con T la temperatura del radiatore, con T_0 quella del ricevitore; con a, b e a', b' le dimensioni delle aree raggianti \mathcal{A}_s e \mathcal{A}_s' , poste alla distanza d ; con i l'intensità di corrente data dal milliamperometro e con r la resistenza della laminetta.

Per la graduazione dell'elemento Le Chatelier si ricorse ad un bagno ad acqua fino a 100° e ad un bagno ad olio di lino fino a 300°, procedendo per piccoli intervalli termici, poichè in questa regione la linea figurativa della f. e. m. in funzione della temperatura presenta una curvatura molto pronunziata. Precisato così l'andamento della curva nella regione di notevole curvatura, bastava un punto piuttosto distante per ottenere i dati necessari alla interpolazione e ad una leggiera estrapolazione. Fu scelto a tale scopo il punto di ebollizione dello zolfo (444°, 55).

Volendo rappresentare la f. e. m. dell'elemento con una funzione di 2° grado della temperatura, si ottiene l'espressione:

$$(2) \quad E = -114,33 + 7,262 t + 0,0020 t^2,$$

dove E indica la f. e. m. espressa in mikrovolta e t la temperatura della saldatura Pt, Pt-Rh riferita alla scala normale, supponendo gli altri punti di unione a 0°. Come si rileva dall'annessa tabella, il punto di ebollizione dello zolfo e le temperature vicine alla iniziale si accordano male col ramo ascendente della curva; inoltre si ha l'inconveniente che presentano tutte le funzioni di 2° grado di Holborn e Day (1), dedotte per gli elementi termoelettrici accoppiati col platino, risultando una f. e. m. negativa per la temperatura 0° della saldatura calda. Ciò importa per l'elemento normale da me adoperato un errore di quasi 16° per la temperatura iniziale. Bisogna quindi concludere che per questo elemento, o meglio per questa categoria di elementi, la legge sperimentale di Avenarius si verifica piuttosto male.

La f. e. m. del detto elemento si rappresenta invece molto bene con la seguente funzione di 3° grado della temperatura:

$$(3) \quad E = -20 + 5,573 t + 0,00894 t^2 - 0,0000076 t^3$$

colla quale non solo si riesce ad allacciare bene tutti i punti di riferimento nella graduazione, ma si rendono molto più piccoli gli errori residui e si fa

(1) Ann. d. Phys. 2, 1900, pag. 520.

acquistare ad essi il vero carattere di errori accidentali. Per la temperatura iniziale risulta all'ora un errore di soli 3,5°, che porta effetto quasi trascurabile nella valutazione delle temperature utilizzate, che furono tutte superiori ai 250°.

$t_{oss.}$	E	Funzione di secondo grado $t_{oss.} - t_{calc.}$	Funzione di terzo grado $t_{oss.} - t_{calc.}$	$t_{oss.}$	E	Funzione di secondo grado $t_{oss.} - t_{calc.}$	Funzione di terzo grado $t_{oss.} - t_{calc.}$
0,0	0,0	— 15,7	— 3,5	175,9	1209,4	+ 2,0	— 1,7
25,8	132,3	— 7,9	— 0,5	200,5	1407,7	+ 1,8	— 1,4
50,6	279,7	— 2,9	+ 0,6	228,1	1629,5	+ 2,1	— 0,4
77,3	457,8	0,0	+ 0,4	254,7	1846,0	+ 2,3	+ 1,0
100,0	622,5	+ 1,2	— 0,5	280,8	2067,7	+ 1,8	+ 1,7
125,7	813,4	+ 2,2	— 0,9	306,3	2296,2	+ 0,2	+ 1,3
150,8	1006,7	+ 2,5	— 1,2	444,4	3560,5	— 5,7	— 0,3

Le temperature del forno furono dedotte colla formola (3), riferendosi all'indicazione del galvanometro quando essa diveniva stazionaria o quasi. Si faceva funzionare il forno per 8 o 9 e talvolta per 10 ore, e si seguiva il regime crescente per le ultime 3 o 4 ore. L'esperienza si faceva ad intervalli di un'ora, leggendo consecutivamente il galvanometro annesso al forno e quello del ricevitore e ripetendo l'esperienza due volte. La costante poi si deduceva dalle medie dei valori dedotti nel periodo stazionario dei galvanometri.

I valori così ottenuti, raccolti nella tabella, non mostrano nessun andamento sistematico nè in dipendenza dalla temperatura, nè in dipendenza dalla distanza. Perciò si è indotti a ritenere: 1° che la (3) permette l'estrapolazione della temperatura per lo meno fino a 540°; 2° che l'energia assorbita dal ricevitore non è influenzata in modo sensibile dalla radiazione diffusa dagli schermi. E per quanto riguarda l'assorbimento atmosferico, ritenuto da alcuni come causa di errore non lieve, devo notare che, sebbene avessi operato a temperature basse per le quali l'assorbimento dovrebbe essere notevole, l'accordo fra i risultati ottenuti alle distanze di 35 e di 56 cm. porterebbe ad escludere una sensibile influenza di questa causa di errore.

$$d = 35\text{cm}$$

DATA	t	σ	DATA	t	σ
18 ottobre 1916	326,9	$5,7 \times 10^{-12}$	24 novembre 1916	373,3	$5,8 \times 10^{-12}$
19 " "	323,9	5,6	28 " "	511,2	5,5
24 " "	317,3	5,7	29 " "	537,2	5,5
25 " "	381,2	5,6	30 " "	323,9	5,6
26 " "	381,2	5,6	1 dicembre 1916	376,1	5,7
27 " "	378,1	5,7	2 " "	433,0	5,7
30 " "	457,7	5,5	4 " "	523,9	5,5
10 novembre 1916	447,8	5,4	6 " "	532,5	5,4
13 " "	469,4	5,5	7 " "	520,8	5,5
20 " "	464,7	5,5	8 " "	256,1	5,7
22 " "	437,6	5,7	9 " "	260,8	5,6
23 " "	502,7	5,5	11 " "	287,1	5,7

$$d = 56,2\text{cm}$$

13 dicembre 1916	529,6	$5,7 \times 10^{-12}$	15 dicembre 1916	434,4	$5,5 \times 10^{-12}$
14 " "	512,5	5,7	16 " "	452,5	5,7

$$\text{Media : } \sigma = 5,60$$

La media di tutti i valori è 5,60, e resterebbe inalterata se anche si volessero scartare i valori estremi 5,4 e 5,8. Colla correzione del 0,2 %, essa diverrebbe 5,62, ma ciò, come si è visto, corrisponderebbe a condizioni molto sfavorevoli; il valore più probabile che risulta dalle mie esperienze è quindi 5,61.

Il vantaggio delle piccole aree raggianti risulta anche dal fatto, che il termine di correzione per la non perfetta normalità di tutti gli elementi di superficie diventa trascurabile. Nelle mie esperienze esso importa quattro unità nella terza cifra decimale per la prima distanza, ed un'unità per la seconda; il mio valore risulta perciò indipendente da questa causa di errore.

DATA	t	σ
21 ottobre 1916	326,3	$5,8 \times 10^{-12}$
23 " "	349,1	5,8
28 " "	361,3	5,8
16 novembre 1916	488,7	5,7

Dall'esperienze con efflusso lento, riassunte nel precedente specchietto, si deduce che, se la temperatura non è uniforme in tutto l'ambiente esterno, si ha azione efficace anche da parte delle pareti che limitano l'area emittente,

Riferendomi ai valori ottenuti coi metodi che si presentano come più rigorosi, credo che il mio offra maggiore garanzia di attendibilità, sia perchè, come risulta dal presente specchietto

Sperimentatore	Metodo	Temperatura	Distanza fra le aree raggianti	$\sigma \times 10^{12}$	
				Valori diretti	Valori corretti per la riflessione
Kurlbaum	Bolometro	100°	19cm; 48cm	5,32	5,45
Valentiner	"	100°; 829°-1433°	26cm-124cm	5,38	5,58
Gerlach	Ricevitore di Paschen	100°	30cm - 43cm	5,803	5,9
Coblentz	Ricevitore di Paschen modificato	1056°-1084°	37cm - 52cm	5,68	5,72
Kahanowicz	Ricevitore di Amerio modificato	256°-537°	35cm; 56cm	5,60	5,61

è ottenuto con un ricevitore che funziona da corpo nero, mentre il bolometro di Kurlbaum ed i ricevitori di Paschen e di Coblentz hanno un potere riflettente non trascurabile, sia perchè, come si è visto, esso risulta indipendente dalla temperatura e dalla distanza.

Al prof. Cantone, che mi ha indirizzato in questa ricerca, rivolgo vivissimi ringraziamenti.

M. E.