

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIX.

1912

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXI.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1912

Meccanica. — *Sul principio di reciprocità.* Nota di GUSTAVO COLONNETTI, presentata dal Socio T. LEVI-CIVITA.

Questa Nota sarà pubblicata nel prossimo fascicolo.

Fisica. — *Sul calore specifico del tungsteno a temperature elevate.* Nota II di O. M. CORBINO, presentata dal Socio P. BLASERNA.

I risultati, che ho avuto già l'onore di comunicare all'Accademia ⁽¹⁾, sulle proprietà del tungsteno ad alta temperatura (dedotte dallo studio con uno speciale metodo elettrico del rapporto $\frac{c}{a}$ tra il calore specifico e il coefficiente *attuale* di variazione della resistenza con la temperatura), mi hanno indotto ad aumentare la precisione delle misure, ciò ch'è stato possibile in virtù della pratica acquistata nell'impiego del metodo.

Così avevo notato che mentre la temperatura del filamento, per una brusca piccola alterazione della resistenza zavorra, varia esponenzialmente fino al suo nuovo valore, e il coefficiente di rapidità dell'esponenziale è piuttosto elevato (da 2 a 30), a quella rapida variazione esponenziale si sovrappone, nell'esperienza, una variazione piccola e molto più lenta; dovuta probabilmente al consecutivo riscaldamento degli elettrodi sottili cui è saldato il filamento. E perciò, col dispositivo del ponte, appena operata la chiusura del tasto *ab*, il galvanometro subisce un impulso e torna rapidamente a zero; ma si riconosce subito dopo un lieve e lento spostamento della posizione di riposo, fino a una nuova posizione stabile alquanto diversa dalla primitiva. Con la lampadina da me sperimentata, questa perturbazione era abbastanza sensibile, ed era perciò ragionevole il ritenere che essa producesse i suoi effetti anche nel tempo della brusca deviazione e del sollecito ritorno dell'equipaggio che ha luogo alla chiusura del tasto *ab*.

E di fatti, ricorrendo per tutte le misure al galvanometro Siemens e Halske, più pronto dell'Hartmann e Braun, ho ottenuto dei valori di $\frac{c}{a}$ un po' inferiori, del 3 per cento, a quelli che ho già comunicato.

(1) Rend. Lincei, fasc. 3°, febbraio 1912, pag. 188.

Altri miglioramenti furono apportati nella valutazione del rapporto $\frac{A_i/i}{Ar/r}$, nella misura della potenza W , e in quella della resistenza r , eseguendo su quest'ultima la correzione dei fili adduttori fino all'origine del filamento, ciò che fu facile dopo la rottura della lampadina.

Nella seguente tabella sono riprodotti i risultati definitivi, che sostituiscono quelli della tabella I della Nota precedente: in essa r denota la resistenza del solo filamento, posta eguale a 1 la resistenza a 20°.

TABELLA I.

Tensione Volt.	intens. amp.	r	$\frac{c}{a}$
11,0	0,132	4,84	4,62
22,3	0,201	6,46	6,11
31,9	0,250	7,45	7,18
50,2	0,328	8,92	8,62
94,8	0,481	11,5	11,34
105,6	0,513	12,0	11,8

L'accresciuta precisione dei risultati ci pone in grado adesso di passare dalle capacità calorifiche a pressione costante, che sono quelle osservate, alle capacità a volume costante, che sono quelle considerate nella teoria dei calori specifici.

Ci si può servire allo scopo della formola di Nernst e Lindemann⁽¹⁾, che richiede la conoscenza della temperatura di fusione del metallo, e di una costante universale, determinabile, per confronto, ad esempio, col platino. Il punto di fusione è conosciuto con sufficiente esattezza, per lo scopo attuale, dopo le ricerche di Pirani; si tratta, invero, di una correzione di ben lieve entità. Si ottiene così che i valori di c direttamente misurati, per dedurne quelli a volume costante, van ridotti di $35,5 \times 10^{-6}$ per ogni grado di temperatura assoluta.

Ora, come ebbi già ad osservare, è assai notevole il risultato della esperienza per cui il rapporto $\frac{c}{a}$ è sensibilmente proporzionale a r ; la costante di proporzionalità è data da

$$\frac{c}{a} \frac{1}{r} = \frac{c}{dr} \frac{1}{dt}$$

(1) Zeitschr. f. Elektrochemie; 17, pag. 817; 1911.

essendo

$$a = \frac{1}{r} \frac{dr}{dt}.$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori del rapporto $c : \frac{dr}{dr}$ a pressione costante e a volume costante.

TABELLA II.

T	r	$c_p : \frac{dr}{dt}$	$c_v : \frac{dr}{dt}$
800	4,84	0,954	0,918
1070	6,46	0,946	0,900
1235	7,45	0,964	0,908
1485	8,02	0,966	0,904
1915	11,5	0,986	0,908
2000	12,00	0,983	0,903

Come si vede, la proporzionalità ch'è solo approssimata tra c_p e $\frac{dr}{dt}$, diviene migliore tra c_v e $\frac{dr}{dt}$. Questo risultato è indipendente dalla conoscenza del valore di a fondata su altre esperienze, come quelle di Pirani, che intervengono solo nel determinare la temperatura approssimata, allo scopo di apportare la lieve correzione pel passaggio da c_p a c_v . E basta che le temperature siano note a meno di 300°, perchè il valore calcolato per c_v sia esatto entro l'1 per cento.

Da questo risultato si può inversamente dedurre che se pel tungsteno c_v è costante, nei limiti 800-2000°, deve essere anche costante $\frac{dr}{dt}$. E poichè, secondo tutti i risultati conosciuti, il tungsteno dovrebbe, oltre gli 800°, possedere un calore specifico c_v sensibilmente costante, se ne può dedurre che al disopra di 800° la curva resistenza-temperatura deve avere un andamento rettilineo, come il Pirani constatò, fino alla temperatura più alta (1500°) sperimentata.

Si può perciò prolungare quella retta nelle temperature più alte, e con essa apprezzare le temperature, anzichè estrapolare, come ebbe a fare il Pirani, la curva energia-temperatura.

Posto ciò, essendo nella parte rettilinea della curva del Pirani

$$\frac{dr}{dt} = 0,0059$$

dove r indica, come sempre, la resistenza del filo riferita alla resistenza a 20°, si può facilmente dedurre dall'ultima colonna il valore della capacità calorifica c_v del filamento.

Si ottiene così

TABELLA III.

r	T	$c_v \times 10^4$
4,84	800	54,2
6,46	1070	53,1
7,45	1235	53,6
8,92	1485	53,4
11,5	1915	53,6
12,0	2000	53,3

E si noti, che se si fossero adottati i valori di a dedotti dalla curva di Pirani, la quale, come si è detto, è costruita per estrapolazione oltre i 1500°, gli ultimi due valori di $c_v \times 10^4$ a 1915° e a 2000° sarebbero stati 77 e 80; si manifesterebbe cioè un aumento di c_v assolutamente improbabile, sia perchè troppo forte, sia perchè avrebbe principio solo oltre i 1500°, quando cioè comincia l'estrapolazione.

Viene così reso ancora più accettabile il criterio da me già consigliato di utilizzare i valori del rapporto $c_v: \frac{dr}{dt} = \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{r}$ direttamente ricavati

dall'esperienza col metodo che ho indicato, e dedurne $\frac{dr}{dt}$, e quindi r in

funzione di t ; il che costituisce il modo migliore, a mio parere, per risolvere il problema della pirometria dei fili incandescenti, quando si conosca per altra via, per esempio con le curve di Einstein o di Nernst, l'andamento di c_v . Questo andamento, nelle alte temperature è, del resto, per tutti i metalli, quasi costante.

Le nuove misure, di cui comunico i risultati, confermano perciò, malgrado l'aumentata precisione, le conclusioni cui ero già pervenuto.

2. Tutt'altro avviene però nei riguardi del passaggio dalla capacità calorifica del filo al calore specifico. Occorre, per questo, valutare il peso del filamento, che fu da me allora stimato indirettamente con la misura ottica delle sue dimensioni.

Solo adesso ho potuto rompere la lampadina e misurare direttamente il peso del filo: ne ho ricavato un valore inesplicabilmente diverso dal primo: 30, anzichè 41 milligrammi. Ho potuto solo riconoscere che l'errore fu commesso, la prima volta, nella valutazione del diametro del filo, che fu stimato eguale

a mm. 0,062, mentre misurato ora al microscopio ha dato mm. 0,0548, in ottimo accordo con la misura diretta del peso.

Viene così a mancare la fortuita coincidenza da me constatata allora tra il valore teorico e quello sperimentale del calore specifico atomico; si ottiene invero, posto eguale a 184 il peso atomico,

$$c_v = 7,8$$

anzichè

$$c_v = 5,95$$

come sarebbe richiesto dalla teoria. Si potrebbe pensare a qualche causa di errore sistematica che abbia alterato in blocco i miei risultati sperimentali per lo enorme ammontare di circa il 24 per cento del valore osservato. Ma ho dovuto respingere questo dubbio, come assolutamente infondato, dopo un esame rigoroso della teoria e della realizzazione del metodo e dei risultati delle misure.

Sarà bene, del resto, osservare che anche alla temperatura di soli 285° dalle esperienze di Defacqz e Guichard⁽¹⁾, si deduce pel calore atomico del tungsteno a pressione costante, il numero 7,2, che dà per c_v :

$$c_v = 7,1$$

valore anche esso troppo alto rispetto al valore teorico. La differenza col valore da me trovato (all'incirca il 9 %) è sempre rilevante; ma il contegno abbastanza anormale nell'andamento del calore specifico del tungsteno, quale risulta dalle esperienze citate tra 15 e 400°, potrebbe bastare a rendere ragione di quella differenza, che si produrrebbe nel campo tra 300° e 800° (limite inferiore delle mie esperienze), mentre c_v resterebbe costante nell'intervallo da 800° a 2000° da me sperimentato.

L'osservazione che segue corrobora questa maniera di vedere.

Si è riconosciuta la costanza del rapporto tra $\frac{c_v}{a}$ ed r , cioè tra c_v e $\frac{dr}{dt}$; sostituendo alla capacità calorifica, in unità meccaniche, il calore atomico a volume costante, il primitivo rapporto che era eguale a 0,907 diviene costantemente

$$c_v : \frac{dr}{dt} = 1,33 \times 10^3.$$

(¹) Defacqz e Guichard; Ann. d. Chimie et de Phys. t. 24, pag. 139; 1901.

Ora questo rapporto può dedursi pel tungsteno anche a temperatura ordinaria, per esempio a 20°, ricorrendo alle esperienze di Defacqz e Guichard, per quanto riguarda c_v , e procedendo a una misura diretta di $\frac{dr}{dt}$ a 20°, sul filamento; questa misura era stata già da me eseguita prima della rottura della lampada.

E poichè si ha

$$c_v = 5,91$$

e

$$\frac{dr}{dt} = 0,00432,$$

si deduce

$$c_v : \frac{dr}{dt} = 1,366 \times 10^3 \text{ a } 20^\circ,$$

valore che differisce da quello che io ho osservato da 800° a 2000° di meno che il 3 per cento. Sembra perciò che il rapporto $c_v : \frac{dr}{dt}$ si mantenga veramente costante, pel tungsteno dalla temperatura ordinaria fino a 2000°.

Or come risulta dalle misure del Pirani $\frac{dr}{dt}$ aumenta molto dalla temperatura ordinaria a quella di circa 700° (da 0,00415 a 0,0059) (1); a questo aumento farebbe riscontro l'aumento progressivo del calore specifico dal valore di Defacqz e Guichard (7,1) al mio (7,8).

Resta, in ogni caso, abbastanza singolare questo eccesso del calore atomico sul valore teorico, quale risulta nettamente dimostrato da entrambe le ricerche e in così ampio intervallo di temperatura.

(1) Questa variazione sarebbe, secondo i risultati di Pirani, 14 volte maggiore, in valore assoluto, nel tungsteno che non nel platino.