

*Sui calori specifici di alcuni metalli
dalla temperatura ordinaria fino a 320°,*

Nota del Socio Prof. A. NACCARI

Cominciai queste esperienze destinate a determinare quanto calore sia necessario per riscaldare metalli diversi dalla temperatura ordinaria fino a 320° circa, quando gli studi sperimentali intorno a tale argomento erano solamente quelli del Dulong e del Petit, del Bède e del Byström. Recentemente il Pionchon imprese uno studio consimile, ma esteso a temperature molto più alte e ne pubblicò una parte. Però l'esperienze del Pionchon sono poco numerose appunto in quell'intervallo di temperatura in cui son comprese le mie.

È facile dimostrare che lo stato delle nostre cognizioni rendeva opportuno questo lavoro. Il Dulong e il Petit (1) diedero soltanto i valori del calore specifico medio per gl'intervalli 0-100° e 0-300° senza indicare i valori direttamente ottenuti dalle esperienze. Queste vennero eseguite con grandi quantità di sostanza. Le temperature vennero ridotte a quelle che sarebbero state date dal termometro ad aria. Due cause di errore possono aver influito sui valori ottenuti. I metalli venivano immersi direttamente nell'acqua, anche quando essi avevano temperatura superiore ai 100°, e nell'atto dell'immersione veniva quindi vaporizzata dell'acqua e perduto del calore che non si poteva calcolare. Per riscaldare i metalli si tenevano immersi in un liquido: quand'essi venivano trasportati nel calorimetro, portavano certamente con sè un po' di quel liquido. Si faceva per ciò una correzione, ma questa doveva sempre essere alquanto incerta.

Il Bède (2) pubblicò nel 1856 una memoria sul calore spe-

(1) *Journal de l'École Polytechnique*, 1820.

(2) BÈDE, *Recherches sur les chaleurs spécifiques de quelques métaux à différentes températures*. Mém. couronnés et Mém. des savants étrangers, publiés par l'Académie R. de Belgique, t. XXVII, 1855-56.

cifico dei metalli a varie temperature, memoria cui tuttora si ricorre per avere indicazioni intorno a questo argomento. In verità l'esperienze furono condotte in modo da far dubitare della esattezza dei valori ottenuti.

Per riscaldare il metallo prima della operazione calorimetrica, il Bède lo poneva in un tubo di vetro che stava entro un bagno d'olio riscaldato da una fiamma. Il termometro, che doveva dare la temperatura del metallo all'atto dell'immersione, non istava dentro il tubo, ma immerso nell'olio circostante, e quindi molto probabilmente segnava una temperatura diversa da quella del metallo.

Nel calcolo delle esperienze non si tenne conto delle perdite di calore sofferte dal calorimetro fra l'istante dell'immersione e quello in cui vien raggiunta la temperatura finale, affidandosi all'espedito del Rumford. Le temperature non vennero riferite al termometro ad aria. Si lasciavano cadere i metalli anche se riscaldati sopra 100° nell'acqua e non si fece alcuna correzione per la produzione del vapore. In più casi un punto importante nell'andamento del fenomeno fu determinato con una sola esperienza. Così avvenne, per esempio, per lo zinco e per lo stagno a 210° , per il rame a 250° . Il grado di precisione non arriva in qualche caso al $2 \text{ }^{\circ}/_{0}$.

Il Byström (1) pubblicò nel 1860 uno studio sui calori specifici dei metalli ad alte temperature, ma i valori da lui ottenuti sembrano ancor meno esatti di quelli del Bède.

Parlerò solamente dei calori specifici fra 15° e 300° , tacendo del modo strano ed arrischiatissimo in cui il Byström pretese di estendere il suo studio fino a 1000 e più gradi.

L'esperienze vennero solamente eseguite con ghisa, acciaio e argento. Nessuna cura fu presa per evitare l'errore prodotto dalla vaporizzazione dell'acqua quando s'immerge in essa un corpo riscaldato al di sopra di 100° . Il termometro dell'apparato riscaldante non fu confrontato col termometro ad aria. L'A. asserisce che era perfettamente calibrato e che lo zero non si spostò durante le operazioni, ma per ridurre le indicazioni a quelle che avrebbe dato un termometro ad aria si applicarono a quel termometro, benchè fosse di tutt'altra provenienza, le correzioni

(1) BYSTRÖM, *Öfversigt af h. Vetenskap-Akademiens*, 1860, v. 17, p. 307. Stockholm, 1861.

date dal Regnault per uno de' suoi. La correzione per la colonna sporgente era per quel termometro grandissima, perchè, anche quando la temperatura del bagno era 300° , il termometro era immerso in esso solamente fino al punto che corrispondeva a 9° . La correzione calcolata dall'A. in un modo diverso dall'ordinario e molto discutibile era per 250° eguale a $3^{\circ},5$. Calcolata nel modo ordinario sarebbe stata $7^{\circ},7$, il che dimostra la grande incertezza che ne deriva ai valori del calore specifico.

L'apparato riscaldante non fu tenuto a costante temperatura. Il metallo, su cui si voleva sperimentare, si lasciava cadere nel calorimetro, quando la temperatura del bagno passava per il valore fissato, e ciò alternativamente, quando la temperatura ascendeva e discendeva.

Estendendo le sue esperienze fino ad alte temperature nel modo incertissimo a cui ho fatto allusione, il Byström trovò che i calori specifici della ghisa e dell'acciaio risultavano eguali alla temperatura di 881° . Egli ne dedusse che a quella temperatura non aveva influenza sul calore specifico di quelle sostanze la diversa quantità di carbonio, e che dovevano essere eguali fra loro a quella temperatura i calori specifici del carbonio e del ferro puro. Ammessa questa conclusione, che del resto esperienze posteriori dimostrarono grandemente erronea, il Byström prese per il calore specifico del ferro puro a 881° quello trovato per la ghisa e per l'acciaio, e preso dalle esperienze del Regnault, il calore specifico del ferro puro a 100° , con questi due soli punti costruì una curva, da cui dedusse il calore specifico del ferro puro con cinque cifre decimali da 0° a 1400° .

In modo simile fu costruita la tabella che dà il Byström per il calore specifico del platino da 0° a 1600° .

Descrizione dell'esperienza.

L'apparato riscaldante da me adoperato è costituito da un cilindro di ferro con doppia parete. Lo spazio centrale è occupato da aria ed è aperto al di sopra; di sotto può chiudersi nel modo che si dirà. Lo spazio anulare è destinato a contenere un liquido bollente; esso non ha che due fori sulla base superiore. Un tubo di ferro, che parte da uno di questi fori, s'innalza per un certo tratto verticalmente, poi si ripiega ed in

questo secondo tratto è circondato da un refrigerante. Così il liquido bollente, venendo opportunamente regolata l'ebollizione, ricade e la temperatura d'ebollizione si mantiene costante anche se il liquido non è perfettamente omogeneo.

Lo spazio centrale vien chiuso al di sotto da una lamina che scorre lungo due guide. Dando un colpo all'asta che è congiunta con quella lamina, si fa che venga a trovarsi al di sotto dello spazio centrale un foro praticato nella lamina stessa. Così resta aperta l'estremità inferiore di quello spazio. Al di sopra esso è chiuso mediante un tappo con due fori. Attraverso uno di questi passa un filo metallico che sostiene una cestella di rete metallica. In questa si pone il metallo su cui si sperimenta ridotto per lo più in bastoncini cilindrici. Attraverso l'altro foro passa il cannello d'un termometro, il cui bulbo sta nel mezzo della cestella, circondato d'ogni parte dai pezzi del metallo.

I calorimetri adoperati sono di lamina d'ottone e sul fondo di essi sta una reticella di ottone sostenuta da un telaio dello stesso metallo. Essa impedisce che il corpo immerso nel calorimetro vada a contatto del fondo. L'agitatore è di lamina sottile di ottone.

Il calorimetro sta al solito entro un vaso maggiore pure di ottone. Questo è posto dentro un vaso ancora più grande, e nel secondo intervallo v'è acqua. Un disco di legno copre i due intervalli e anche parte dello spazio riservato al calorimetro lasciando soltanto l'apertura centrale al passaggio del metallo e del termometro. Il termometro del calorimetro ha il grado diviso in cinquanta parti. Fu costruito dal Baudin.

Il calorimetro è scorrevole lungo una guida di ottone. Esso occupa ordinariamente la parte di mezzo della guida ed è difeso da schermi posti da una parte e dall'altra. Due apparati riscaldanti eguali stanno alle due estremità del tavolo su cui è fissata la guida. Il calorimetro può venir portato tanto sotto l'uno, quanto sotto l'altro apparato riscaldante purchè si sollevi lo schermo corrispondente. Le cose vennero disposte in questo modo per accelerare il lavoro ed evitare i troppo frequenti cangiamenti del liquido nell'apparecchio riscaldante. Dei due apparecchi l'uno conteneva per lo più acqua, e ciò perchè molto frequentemente occorrono dei riscontri a 100°.

Non potendo portare al di sotto degli apparati riscaldanti il calorimetro col termometro, il quale è lungo circa mezzo metro,

adottai il partito di sollevare il termometro, opportunamente bilanciato da un contrappeso, all'istante in cui il calorimetro va portato sotto l'apparecchio riscaldante, e immergerlo nuovamente nel calorimetro appena questo sia ritornato nella posizione normale.

Esaminai se questo modo di operare portasse errore sensibile e mi accertai di poterlo seguire con sicurezza, perchè nel breve tempo, che il termometro sta sollevato, la sua temperatura varia pochissimo.

Gli apparati riscaldanti vengono portati alla temperatura necessaria mediante uno o due anelli di fiamme a gas, che lambiscono la superficie laterale dei recipienti di ferro.

Per difendere il calorimetro dal calore che il recipiente di ferro può inviare ad esso nei brevi istanti in cui gli sta sotto, un disco di legno viene interposto facendolo girare intorno ad un asse eccentrico in piano orizzontale. L'asse è quello stesso che sorregge il recipiente di ferro. Il disco è forato per lasciar passare la sostanza su cui si sperimenta. Lo spazio che la sostanza deve percorrere nell'aria esterna per passare nel liquido del calorimetro, è brevissimo, sicchè non v'è da temere perdita sensibile di calore. L'operazione poi si fa così rapidamente e il calorimetro è tanto difeso, che è pur trascurabile la quantità di calore che l'apparato riscaldante può inviare al calorimetro sottoposto. Apposite esperienze confermarono le previsioni fatte.

Per abbreviare il tempo durante il quale succede la trasmissione di calore, viene agitato in quel periodo anche il corpo immerso. Il liquido del calorimetro viene inoltre mescolato continuamente da apposito agitatore.

I termometri adoperati negli apparecchi riscaldanti vennero accuratamente confrontati col termometro ad aria del Jolly. Quelli del calorimetro vennero confrontati fra loro e con un campione del Baudin.

Per i primi particolarmente la verificaione del punto 100 venne frequentemente eseguita. Cercai che la correzione per la colonna sporgente fosse sempre quanto più piccola era possibile, scegliendo opportunamente quello tra i quattro termometri adoperati che meglio si prestava all'esperienze da farsi. Anche questi termometri erano stati costruiti dal Baudin e, fatta eccezione per uno di essi che richiese una correzione particolarmente accurata, non si scostano molto dal termometro ad aria.

Per evitare l'errore prodotto dall'immersione nell'acqua di corpi che abbiano temperatura superiore a 100° , dopo aver tentato parecchi altri espedienti, adottai il partito di porre nel calorimetro del petrolio che bollisse ad alta temperatura. Non potrebbe servire allo scopo il petrolio di tal genere che si trova in commercio e si adopera come lubrificante. Dovetti per ciò distillare delle quantità considerevoli di petrolio comune separandone la piccola porzione che bolle tra 330° e 380° . Similmente da petrolii più pesanti estrassi la porzione opportuna, escludendo quella che bolle a temperatura troppo alta ed è troppo viscosa. Con una doppia distillazione necessaria per ottenere sufficiente omogeneità potei ottenere il liquido calorimetrico, del quale di tratto in tratto determinai il calore specifico alle temperature opportune valendomi dello zinco.

La variazione di calore specifico sofferta da questo petrolio durante una serie di esperienze fu sempre molto piccola. Le correzioni per l'influenza dell'ambiente sul calorimetro furono eseguite sempre così. Dalle osservazioni del termometro fatte per alcuni minuti e di minuto in minuto prima dell'immersione, io deducevo la variazione per minuto della temperatura del calorimetro. Questa temperatura si teneva sempre più bassa di quella dell'ambiente e possibilmente di tanto che la temperatura finale del calorimetro dopo l'immersione fosse poco superiore a quella dell'ambiente. Da quelle osservazioni deducevo altresì la temperatura del calorimetro nell'istante dell'immersione. Mezzo minuto dopo questo istante si riprendevano le osservazioni del termometro del calorimetro che si facevano per un certo tratto ogni mezzo minuto, poi di minuto in minuto. Le osservazioni fatte dopo l'istante, in cui la trasmissione del calore entro il calorimetro era finita, davano la variazione per minuto della temperatura del calorimetro in quelle condizioni. Ammettendo la proporzionalità fra queste variazioni e le corrispondenti differenze di temperatura fra il calorimetro e l'ambiente, stabilivo due equazioni, dalle quali deducevo la temperatura dell'ambiente, e la variazione di temperatura del calorimetro per ogni grado di differenza di temperatura e per ogni minuto. Questi due valori servivano a calcolare le correzioni dall'istante dell'immersione a quello cui spettava la temperatura finale.

Nella massima parte dei casi le correzioni erano piccole perchè veniva scelta, opportunamente, come s'è detto, la tem-

peratura iniziale del calorimetro rispetto a quella dell'ambiente e perchè la forte agitazione del liquido rendeva rapida la trasmissione del calore.

In queste esperienze, che durarono a lungo per le molte modificazioni del metodo e degli apparecchi, ebbi il valido aiuto del Dott. Guglielmo dapprima, poi del Dott. Battelli.

Seguono i valori ottenuti sperimentando sulle varie sostanze.

Cadmio puro.

Il cadmio adoperato in queste esperienze mi fu procurato cortesemente dal mio collega Prof. Fileti, che lo fece depurare nel suo Laboratorio.

Nella tabella seguente, come nelle altre che riporterò più innanzi, la prima colonna segnata P contiene il peso in grammi del metallo, la seconda quello p della cestella, la terza l'equivalente in acqua A del calorimetro, del liquido contenuto e degli accessori, la quarta la temperatura T dell'apparecchio riscaldante, la quinta quella t_1 del calorimetro all'atto dell'immersione, la sesta quella finale t_2 del calorimetro. Tutte queste temperature vennero debitamente corrette. La settima colonna contiene il calore specifico, l'ottava la media dei calori specifici trovati per uno stesso intervallo.

P	p	A	T	t_1	t_2	C	e
101,65	2,98	435,6	99,33	14,539	12,598	0,05618	
»	»	171,5	99,5	23,421	20,787	5576	0,05600
»	»	»	»	23,223	20,566	5611	
»	»	»	»	22,876	20,216	5595	
101,65	3,01	172,9	179,0	19,470	13,900	0,05664	
»	»	»	180,0	19,096	13,470	5672	0,05685
»	»	»	181,3	19,111	13,370	5718	
101,65	2,98	312,1	256,5	22,904	18,290	5790	
»	»	»	»	22,236	17,592	5810	0,05798
»	»	»	»	22,473	17,679	5793	
51,1	3,45	173,7	295,0	21,998	16,787	5832	
»	»	»	298,0	22,158	16,888	5854	0,05839
»	»	»	295,0	22,350	17,160	5832	

Da queste esperienze si deduce che per riscaldare un grammo di cadmio da 21 a 300" occorre una quantità di calore q espressa da

$$q = 0,055(t - 21) + 18,212 \cdot 10^{-6}(t - 21)^2 - 0,03945 \cdot 10^{-6}(t - 21)^3.$$

Col metodo dei minimi quadrati si ha la formola di due termini

$$q = 0,055107(t - 21) + 11,89 \cdot 10^{-6}(t - 21)^2,$$

che rappresenta bene anch'essa l'esperienza.

Di qui il calore specifico vero

$$\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,055107 + 23,78 \cdot 10^{-6}(t - 21).$$

Ne segue	a	21"	γ	=	0,0551,
	»	50	»	»	558,
	»	100	»	»	570,
	»	150	»	»	582,
	»	200	»	»	594,
	»	250	»	»	606,
	»	300	»	»	617.

Cadmio impuro.

Sperimentai anche su cadmio impuro del commercio per mettere in chiaro se le impurità di questo producessero effetto sulle variazioni dei calori specifici.

Le esperienze vennero fatte solamente intorno a 100° e a 290°.

Riferisco qui sotto i valori ottenuti. Valgono per questa e per le tabelle simili che seguono le indicazioni date poco fa rispetto ai valori contenuti nelle varie colonne.

94,48	2,95	171,9	99,4	25,588	23,197	0,05603	
»	»	»	»	25,251	22,845	5608	0,05607
»	»	»	»	26,546	24,181	5610	
94,48	2,95	171,9	286,0	31,580	23,030	0,05822	
62,80	»	»	293,3	29,200	23,107	5871	0,05839
»	»	»	292,9	29,096	23,025	5853	

Il secondo valore è eguale a quello trovato per il cadmio puro. La differenza fra il primo e quello corrispondente che spetta al cadmio puro, è dell'1,5 per 1000, e non si può asserire con sicurezza ch'essa sia maggiore dell'errore probabile.

Questo cadmio era molto impuro. Venne dunque confermato ciò che era del resto probabile, che cioè, se anche i metalli non sono rigorosissimamente puri, i calori specifici, anche a temperature elevate, non differiscono notevolmente da quelli spettanti ai metalli purissimi.

Tutti i metalli adoperati in queste esperienze, eccetto il caso dove ci sia una speciale indicazione, s'intende che sono dei più puri che si possano acquistare presso le buone fabbriche di prodotti chimici, il che certo non vuol dire che sieno veramente puri.

Zinco.

89,00	2,95	390,9	99,4	20,852	19,118	0,09388	
»	»	»	»	23,208	21,527	9376	0,09392
»	»	»	»	21,290	17,565	9411	
89,13	3,52	179,9	170,6	17,590	13,405	0,09473	
»	»	»	»	17,269	13,052	9526	0,09503
»	»	»	»	18,434	14,266	9484	
»	»	»	»	17,139	12,915	9530	
89,13	3,52	179,9	242,0	22,524	16,098	0,09641	
»	»	»	241,5	23,465	17,077	9649	0,09636
»	»	»	240,8	22,306	15,900	9651	
»	»	»	240,2	22,690	16,323	9604	
30,20	3,45	173,7	320,1	21,396	15,719	9808	
»	»	»	320,3	21,770	16,121	9836	0,09843
»	»	»	320,4	21,169	15,503	9886	

Di qui si deduce che per riscaldare 1 gr. di zinco da 18° alle temperature indicate nella prima colonna della tabella seguente occorrono le quantità di calore indicate nella seconda colonna.

T	q	q_1
99,4	7,64	7,60
174,5	14,88	14,88
241,0	21,47	21,51
320,0	29,70	29,66

La formula con due termini scritta qui sotto fu calcolata col metodo dei minimi quadrati. Essa dà i valori q_1 contenuti nella 3^a colonna della tabella precedente.

$$q = 0,0915(t - 18) + 22,2 \cdot 10^{-6}(t - 18)^2.$$

Ne segue

$$\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,0915 + 44,4 \cdot 10^{-6}(t - 18).$$

Questa formula dà i seguenti valori di γ

τ	γ
18	0,0915
50	929
100	951
150	974
200	996
250	1018
300	1040

Ferro.

116,67	3,52	435,6	99,3	15,282	12,721	0,1114	
»	»	»	»	15,158	12,579	0,1119	0,1119
»	»	»	»	15,341	12,768	0,1122	
»	»	»	»	15,177	12,602	0,1119	
116,67	3,52	320,9	174,3	20,191	13,688	0,1139	
»	»	»	173,7	21,116	14,634	0,1144	0,1142
»	»	»	172,8	23,480	17,138	0,1144	
116,67	3,00	320,9	246,0	23,659	13,606	0,1186	
72,9	»	»	250,4	22,714	16,186	0,1189	0,1189
»	»	»	250,4	23,403	16,874	0,1192	
29,2	3,45	173,7	317,1	23,711	17,184	0,1214	
»	»	»	311,4	22,545	15,987	0,1231	0,1224
»	»	»	309,0	22,150	15,702	0,1226	

Secondo queste esperienze per riscaldare da 15° a T un grammo di ferro occorre la quantità q data dalla seguente tabella;

T	q	q_1	q_2
99	9,40	9,29	9,40
173	18,01	18,09	18,16
249	27,75	27,75	27,75
312	36,25	36,23	36,25

La formula seguente con due termini fu calcolata col metodo dei minimi quadrati. Essa dà i valori q_1 , che per i primi due punti si scostano un po' troppo dai valori sperimentali.

$$q = 0,10603(t - 15) + 53,726 \cdot 10^{-6}(t - 15)^2$$

Meglio si conforma ai fenomeni la seguente formola di tre termini.

$$q = 0,10912(t - 15) + 29,032 \cdot 10^{-6}(t - 15)^2 + 0,048858 \cdot 10^{-6}(t - 15)^3.$$

Questa dà i valori q_2 registrati nella quarta colonna della tabella precedente. Se ne deduce

$$\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,10912 + 58,064 \cdot 10^{-6}(t - 15) + 0,146574 \cdot 10^{-6}(t - 15)^2,$$

e quindi

a	15°	$\gamma =$	0,1091
	50		0,1113
	100		0,1151
	150		0,1196
	200		0,1249
	250		0,1309
	300		0,1376

La formula con tre termini differisce poco da quella del Pionchon che è

$$q = 0,11012t + 25,533 \cdot 10^{-6}t^2 + 0,05467 \cdot 10^{-6}t^3.$$

Argento.

91,35	2,98	171,5	99,5	22,774	20,368	0,05581	
»	»	»	»	23,526	21,122	5631	0,05618
»	»	»	»	23,080	20,659	5641	
91,35	2,98	311,5	177,4	16,366	13,544	0,05666	
»	»	»	180,6	18,042	15,185	5685	0,05654
»	»	»	176,1	17,182	14,424	5612	
91,35	2,98	312,9	256,8	21,654	17,498	0,05730	
»	»	»	»	20,693	16,501	5756	0,05739
»	»	»	256,5	21,796	17,647	5730	
46,03	3,45	173,7	311,4	20,781	15,766	0,05793	
»	»	»	310,8	21,934	16,910	5827	0,05812
»	»	»	318,2	22,220	17,077	5817	

La tabella seguente dà nella seconda colonna la quantità di calore q necessaria a riscaldare 1 gr. di argento da 23° a T .

T	q	q_1
99	4,271	4,241
178	8,767	8,780
257	13,438	13,453
313	16,857	16,846

La seguente formula calcolata col metodo dei minimi quadrati dà i valori q_1 della tabella precedente.

$$q = 0,054984(t - 23) + 10,706 \cdot 10^{-6}(t - 23)^2$$

Di qui

$$\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,054984 + 21,412 \cdot 10^{-6}(t - 23)$$

Si ha quindi

a	$t =$	23	$\gamma =$	0,05498
		50		5556
		100		5663
		150		5770
		200		5877
		250		5984
		300		6091

Rame.

131,7	2,98	261,5	99,4	17,878	13,954	0,09341	
»	»	»	99,3	16,551	12,544	9400	0,09360
»	»	»	»	16,950	12,987	9340	
131,7	2,98	320,9	171,6	20,560	14,609	0,09383	
»	»	»	170,3	21,830	15,972	9400	0,09389
»	»	»	171,2	21,491	15,593	9386	
85,1	2,98	312,1	255,3	22,184	15,740	0,09471	
»	»	»	254,8	22,146	15,691	9509	
»	»	»	254,8	22,933	16,492	9521	0,09514
22,25	3,45	173,7	247,3	19,458	16,242	9559	
»	»	»	248,4	19,027	15,809	9494	
»	»	»	256,2	20,169	16,848	9528	
22,25	3,45	173,7	323,9	20,329	16,021	0,09556	
»	»	»	320,4	21,824	17,579	9580	0,09570
»	»	»	318,9	21,352	17,121	9574	

La quantità di calore q necessaria a riscaldare un grammo di rame da 17° a T secondo l'esperienze riferite, è data dai valori registrati nella seconda colonna della tabella seguente

T	q	q_1
99	7,68	7,65
171	14,45	14,49
253	22,44	22,41
321	29,08	29,09

La formula seguente, calcolata col metodo dei minimi quadrati, dà i valori q_1 contenuti nella terza colonna della tabella precedente.

$$q = 0,092455(t - 17) + 10,629 \cdot 10^{-6}(t - 17)^2$$

Di qui

$$\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,092455 + 21,258 \cdot 10^{-6}(t - 17)$$

Pertanto	a	17°	$\gamma = 0,09245$
		50	9316
		100	9422
		150	9528
		200	9634
		250	9740
		300	9846

Nichel.

Questo metallo era in cubetti. Era poroso e nel calorimetro assorbiva del petrolio che bisognava dopo ogni esperienza espellere accuratamente mediante forte riscaldamento.

74,45	2,98	261,5	99,8	15,250	12,517	0,1104	
»	»	»	»	15,843	13,141	0,1101	0,1101
»	»	»	»	15,745	13,045	0,1099	
74,35	2,98	311,5	176,2	19,953	15,600	0,1130	
»	»	»	176,3	17,125	12,653	0,1137	
»	»	»	176,2	18,696	14,323	0,1126	0,1132
49,67	3,01	172,9	170,6	19,644	14,468	0,1136	
»	»	»	170,8	17,930	13,741	0,1132	
49,67	3,01	172,9	208,8	19,665	13,123	0,1147	
»	»	»	213,5	20,518	13,814	0,1152	0,1150
49,67	3,01	172,9	240,0	21,653	13,987	0,1165	
»	»	»	253,7	20,726	14,005	0,1169	0,1171
»	»	»	261,1	21,329	14,370	0,1178	
24,80	3,45	173,7	321,9	23,531	17,828	0,1203	
»	»	»	319,9	22,048	16,339	0,1206	0,1205
»	»	»	323,0	22,660	16,904	0,1205	

Da queste esperienze si deduce che occorre una quantità di calore q data dalla seguente tabella per riscaldare da 15 a T un grammo di nichel.

T	q	q_1	q_2
99	9,25	9,25	9,21
174	17,98	17,96	18,00
211	22,51	22,46	22,53
252	27,71	27,63	27,71
321	36,9	36,9	36,9

La curva, a cui spetta l'equazione

$$q = 0,10766(t-15) + 24,816 \cdot 10^{-6}(t-15)^2 + \\ + 0,053498 \cdot 10^{-6}(t-15)^3$$

passa per il primo, per il secondo e per il quinto dei punti dati dalla precedente tabella. Essa passa a così piccola distanza dagli altri due punti, che si può dire che anche questi giacciono sopra di essa. Il Pionchon trovò invece che una sola formula non poteva rappresentare i valori di q da 0 a t , se non per t minore o tutto al più eguale a 230° . Da questo punto in su egli trovò necessario di usare un'altra formula, che però non può essere quella, la quale fu stampata nella sua memoria, e segnata (6). La vera formula ch'egli deve aver calcolato, dà 26,6 a 230° , mentre la formula spettante al tratto inferiore dà 26,1. Vi dovrebb'essere dunque secondo il Pionchon un cambiamento repentino di direzione nella curva che rappresenta il fenomeno, oppure un salto intorno a quella temperatura. Il Pionchon ricorda a tale proposito le anomalie che il nichel presenta rispetto ad altre proprietà fisiche a temperatura un po' alta. Siccome le mie esperienze calorimetriche non davano alcun indizio di anomalia, feci dell'esperienze col metodo del raffreddamento. Introdussi il bulbo di un termometro in apposita cavità praticata in un cilindretto di nichel, scaldai il tutto fino a 320° , indi lasciai raffreddare in un ambiente mantenuto a 170° o a 100° . Costruii la velocità di raffreddamento in funzione delle temperature, ma non potei scoprire alcuna discontinuità.

Del resto è molto incerto se sia da attendersi un mutamento repentino del calore specifico del nichel ad una certa temperatura, perchè a questa temperatura variano repentinamente le proprietà magnetiche e termoelettriche di quel metallo. È noto che il ferro, quando si raffredda dopo esser stato riscaldato fino all'incandescenza, presenta alla temperatura del rosso scuro il fenomeno di un repentino riscaldamento, che fu scoperto dal Barrett (1), ma il nichel, nè alla temperatura, a cui perde le proprietà magnetiche, nè ad altre temperature, non porge alcun fenomeno di tal genere (2). Il nichel non presenta nemmeno il fenomeno del Gore, che si riscontra nel ferro ed ha somiglianza

(1) BARRET, *Philosophical Magazine* (4) XLVI, 472.

(2) BARRET, I. C. & TOMLINSON, *Philosophical Magazine* (5) XXIV, 206.

con le altre anomalie citate. Infine è da ricordare che in generale i mutamenti nell'aggregazione molecolare d'un metallo solido hanno poca influenza sul calore specifico, sicchè è probabile che questo non muti grandemente in causa di quelle ignote variazioni che il nichel soffre a certe temperature, e che ci vengono rivelate dai mutamenti delle sue proprietà magnetiche ed elettriche.

I valori q_2 della precedente tabella spettano alla formula seguente con due termini.

$$q_2 = 0,10569(t - 15) + 47,3 \cdot 10^{-6}(t - 15)^2$$

Se ne deduce

$$\frac{dq}{dt} = \gamma = 0,10569 + 94,60 \cdot 10^{-6}(t - 15)$$

e quindi	a	15	0,1057
		50	0,1090
		100	0,1137
		150	0,1185
		200	0,1232
		250	0,1279
		300	0,1327

Altre esperienze eseguii sopra nichel puro. Esse diedero un risultato consimile e non indicarono traccia di anomalie.

Antimonio.

76,6	3,52	435,6	99,4	13,569	12,742	0,05041	
»	»	»	»	15,779	14,089	4976	0,05004
127,1	»	261,5	»	14,830	12,689	4994	
127,1	3,52	320,9	172,9	20,260	17,095	0,05003	
»	»	»	171,3	18,690	15,050	5045	0,05027
»	»	»	»	17,663	14,467	5034	
127,1	2,98	312,1	251,9	22,158	17,231	0,05046	
»	»	»	246,6	22,708	17,750	5081	0,05070
»	»	»	248,1	22,213	17,224	5068	
86,7	3,01	172,9	247,2	19,731	13,559	5084	
43,5	3,45	173,7	322,8	20,877	16,422	0,05146	
»	»	»	320,0	22,117	17,699	5176	0,05157
»	»	»	322,3	19,623	15,155	5148	

La tabella che segue contiene nella seconda colonna le quantità di calore q , che secondo l'esperienze testè riferite sono necessarie per riscaldare da 15° a T un grammo di antimonio.

τ	q	q_1
99	4,20	4,17
172	7,89	7,94
249	11,85	11,90
321	15,77	15,75

La formula calcolata col metodo dei minimi quadrati per l'antimonio è la seguente.

$$q = 0,048896(t - 15) + 8,359 \cdot 10^{-6}(t - 15)^2.$$

Essa dà i valori q_1 della tabella precedente.

Se ne deduce $\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,048896 + 16,718 \cdot 10^{-6}(t - 15).$

Pertanto	a $t =$	15°	$\gamma = 0,04890$
		50	4947
		100	5031
		150	5114
		200	5198
		250	5282
		300	5366

Piombo.

160,2	3,52	435,6	99,3	14,514	13,484	0,03058	
»	»	»	»	14,132	13,101	3084	0,03075
103,2	3,4	277,8	»	15,240	14,180	3082	
160,2	2,98	320,9	183,9	18,261	15,507	0,03124	
»	»	»	173,9	18,982	16,431	3091	0,03099
»	»	»	173,3	19,294	16,765	3081	
160,2	2,98	312,1	249,0	20,954	17,058	0,03154	
»	»	»	252,1	21,928	18,002	3148	0,03149
»	»	»	247,6	21,354	17,495	3147	
71,5	3,45	173,7	296,6	19,938	15,779	0,03194	
»	»	»	297,4	21,045	16,894	3191	0,03191
»	»	»	297,5	21,045	16,916	3170	
»	»	»	296,6	21,094	16,931	3210	

La tabella seguente dà i valori della quantità q necessaria a riscaldare da 15° a T un grammo di piombo.

T	q	q_1
99	2,58	2,56
177	5,02	5,03
250	7,39	7,41
297	8,99	8,98

La formula seguente calcolata col metodo de' minimi quadrati dà i valori q_1 contenuti nella seconda colonna della tabella.

$$q = 0,02993(t - 15) + 6,7923 \cdot 10^{-6}(t - 15)^2.$$

Di qui $\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,02993 + 13,5846 \cdot 10^{-6}(t - 15).$

Pertanto	a	15°	$\gamma = 0,02993$
		50	3040
		100	3108
		150	3176
		200	3244
		250	3312
		300	3380

Alluminio.

37,25	2,98	435,6	99,3	14,369	12,748	0,2156	0,2164
»	»	»	»	14,518	12,894	0,2164	
»	2,95	171,9	99,4	26,268	22,716	0,2168	
»	»	»	99,5	26,249	22,692	0,2166	
37,25	3,01	172,9	181,4	21,360	13,476	0,2210	0,2209
»	»	»	176,6	19,604	13,795	0,2207	
»	»	»	178,2	19,016	13,115	0,2211	
»	2,98	306,7	180,4	21,696	17,285	0,2207	
9,57	3,45	173,7	255,4	21,065	17,723	0,2246	0,2242
»	»	»	249,5	19,416	16,128	0,2248	
»	»	»	255,9	20,296	16,958	0,2233	
9,57	3,45	173,7	314,0	21,160	16,937	0,2272	0,2279
»	»	»	322,0	19,454	15,049	0,2287	
»	»	»	323,0	20,980	16,629	0,2272	
»	»	»	321,9	21,707	17,363	0,2284	

La tabella seguente dà i valori della quantità di calore necessaria a riscaldare un grammo di alluminio da 20° a T .

T	q	q_1
99	17,10	17,16
179	35,11	35,15
253	52,23	52,33
320	68,35	68,33

La formola seguente dà i valori q_1 della tabella precedente. Essa fu calcolata col metodo dei minimi quadrati:

$$q = 0,2135(t - 20) + 47,535 \cdot 10^{-6}(t - 20)^2$$

Di qui

$$\gamma = \frac{dq}{dt} = 0,21235 + 95,07 \cdot 10^{-6}(t - 20)$$

Pertanto

a	20°	$\gamma = 0,2135$
	50	0,2164
	100	0,2211
	150	0,2259
	200	0,2306
	250	0,2353
	300	0,2401

Trascrivo qui sotto i valori dei coefficienti delle formole con due termini sopra riferite e ridotte alla forma

$$\gamma = a(1 + bt).$$

Ordino i metalli secondo i valori ascendenti di b .

	a	$b \cdot 10^6$
Rame	0,09205	230,8
Antimonio	0,04864	343,7
Argento	0,05449	392,9
Cadmio	0,05461	433,4
Alluminio	0,2116	449,3
Piombo	0,02973	456,9
Zinco	0,09070	489,5
Nichel	0,10427	907,0
Ferro	0,10442	1029,1

Dal Laboratorio di Fisica della R. Università di Torino
1 Dicembre 1887.

RIASSUNTO

delle osservazioni meteorologiche fatte nei mesi di Gennaio, Febbraio, Marzo e Aprile 1887 nell'Osservatorio astronomico della R. Università di Torino

dall'Assistente Prof. ANGELO CHARRIER

Gennaio 1887.

La media delle altezze barometriche osservate in questo mese è 39,97. Essa è inferiore di mm. 0,06 alla media di gennaio degli ultimi ventun'anni.

Le variazioni non furono numerose; se ne ebbero delle rapide e di ragguardevole ampiezza. Il quadro seguente dà i valori massimi e minimi osservati.