

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXCI.

1894

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME III.

1° SEMESTRE



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1894

Fisica. — *Sui cicli chiusi di deformazione e sull'attrito interno* (1). Nota del dott. M. CANTONE, presentata dal Socio BLASERNA.

« I cicli da noi considerati in alcune precedenti Note (2) non sono i soli che possono aversi nelle deformazioni dei corpi.

« Indottovi da una esperienza del Wiedemann (3), ho voluto vedere se partendo da un carico estremo P_1 fosse possibile tornare alla saetta primitiva per mezzo della trasformazione ($P_1 \cdot P \cdot P_1$), essendo in valore assoluto $P \leq P_1$, ed ho trovato che effettivamente ciò avveniva. Servono a provarlo i risultati contenuti nell'annessa tabella.

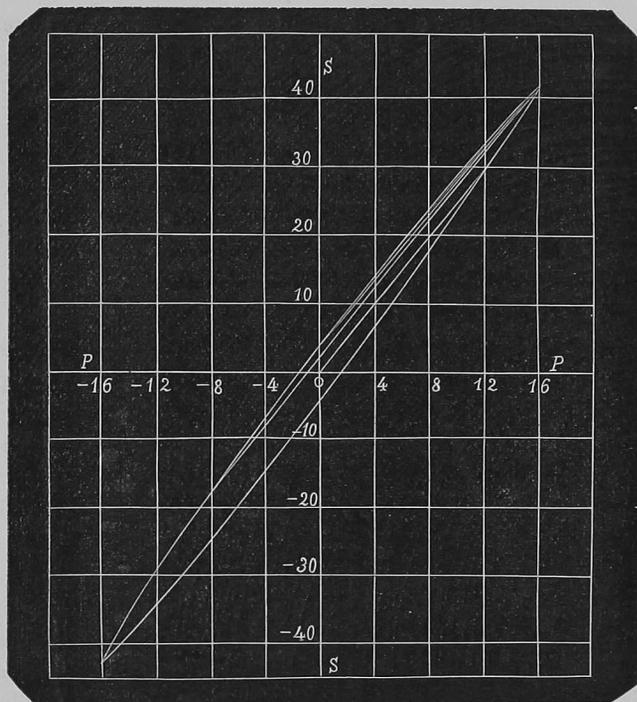
O₄ 16 Marzo

P	L	P	L	P	L	P	L	P	L
0	132.24	16	90.23	16	90.74	16	90.78	16	90.90
1	129.72	15	92.80	15	92.80	15	92.86	15	92.95
3	124.65	13	97.01	13	97.02	13	97.07	13	97.20
5	119.60	11	101.38	9	105.90	9	105.93	9	106.06
7	114.74	9	105.90	5	115.45	5	115.50	5	115.64
9	109.95	8	108.24	3	120.51	0	128.30	0	128.46
11	105.14	7	110.60	1	125.70	- 3	136.38	- 5	141.84
13	100.19	8	108.30	0	128.34	- 5	141.86	- 9	152.70
15	94.24	9	106.00	1	125.87	- 6	144.48	- 13	164.52
16	90.73	11	101.50	3	120.84	- 7	147.27	- 15	171.24
		13	97.13	5	115.86	- 6	144.97	- 16	174.72
		15	92.84	9	106.35	- 5	142.55	- 15	172.70
		16	90.74	13	97.32	- 3	137.64	- 13	168.28
				15	92.94	0	129.99	- 9	159.00
				16	90.78	5	117.18	- 5	149.28
						9	107.48	0	136.35
						13	98.08	5	122.52
						15	93.40	9	111.52
						16	90.90	13	100.19
								15	94.09
								16	90.74

(1) Lavoro eseguito nel laboratorio di fisica della R. Università di Palermo.

(2) V. Rend. Accad. dei Lincei, 2° sem. 1893, pagg. 246; 295; 339; 385, e 1° sem. 1894, pag. 26.

(3) Wied. Ann. VI, p. 492.



« Il Wiedemann ricercava l'influenza che esercita sulla legge di deformazione del corpo fra *zero* ed una determinata forza estrema l'impiccolimento della torsione residua mediante forze agenti in senso opposto a quella iniziale, e da questo esame, condotto senza tener conto dei processi intermedi, trovava che l'ottone fra i limiti predetti si deforma seguendo all'incirca una semplice legge di proporzionalità indipendente dalla torsione residua. Noi invece deduciamo dai risultati che si riportano e dal diagramma che li rappresenta aversi, per i vari cicli, cappi che presentano da *zero* alla forza estrema archi distinti e convergenti tutti nel punto figurativo della deformazione massima iniziale. Per le nostre ricerche viene poi accertato che nel senso da P_1 a $-P_1$ la legge elastica non muta, essendovi per tali passaggi archi quasi sovrapposti gli uni agli altri, ed è messa in evidenza la chiusura di ciascun cappio.

« Non sfuggirà l'importanza di quest'ultimo particolare in quanto la chiusura dei cicli non sempre si verifica. Se infatti i cicli unilaterali e bilaterali si chiudono o hanno la tendenza a chiudersi, lo stesso non accade per altri che sieno porzione di quelli considerati.

« Ma la questione si può trattare da un punto di vista del tutto generale, qualora teniamo presenti i risultati delle molteplici serie di esperienze descritte

nelle precedenti comunicazioni. Essi ci permettono di enunciare la regola seguente che non è contraddetta da alcuno dei fatti a noi noti: *ogni ciclo di deformazione dà luogo ad un coppia chiuso, purchè non si vada a forze estreme superiori in valore assoluto alla massima impiegata nella serie, e purchè nel variare del carico oltre alla inversione (o ad un numero dispari di esse), necessaria per tornare allo sforzo primitivo, se ne abbia ancora una al principio del ciclo.* In altri termini: partendo da uno stato qualsiasi, cui supponiamo si era arrivati con forze decrescenti, si ha ciclo chiuso se si opera in principio per carichi crescenti, aperto nell'altro caso; e l'opposto avviene nella ipotesi che alla forma dalla quale ha origine il ciclo si fosse pervenuti per carichi crescenti.

« Risulta dunque che lo studio delle deformazioni per processi ciclici non occorre si compia sempre con graduali variazioni della forza, poichè il fare *aumentare* un carico *positivo* o *negativo* in modo continuo porta lo stesso effetto che si ha sopprimendo volta per volta il peso e sostituendone uno maggiore, in conformità a quanto fu trovato dall'Ewing ⁽¹⁾ nell'esperienze sul magnetismo. Lo stesso però non vale per punti che appartengano al 1° o al 3° *quarto* di ciclo.

« Altre deduzioni pratiche si possono trarre dalle cose esposte. Immaginiamo che si operi per forze decrescenti positive, e che per equivoco, come qualche volta è successo a me, venendo dal carico P (che non sia il massimo), invece di arrivare a P' si giunga ad un valore più piccolo; se vogliamo allora ripetere la trasformazione (P · P₁) non sarà possibile di ritornare colla forza P alla saetta che prima vi corrispondeva, specialmente se la legge di variazione del modulo è accentuata in prossimità del punto che si studia. Supponiamo invece che, procedendo nello stesso senso di poc'anzi, giunti ad una certa forza per distrazione si torni indietro, si potrà ora con un nuovo cambiamento di senso venire al carico primitivo, e continuare l'esame come se la trasformazione intermedia non fosse avvenuta.

« Si vede altresì che non tutte le scosse influiscono ugualmente, dovendosi avere da esse un effetto maggiore quando l'impulso iniziale è nel senso dell'ultima deformazione prodotta, giacchè in caso contrario l'influenza della prima escursione è nulla per il ritorno immediato del corpo alla forma da cui è partito, e resta efficace l'impulso successivo che è minore del primo.

« Il nostro esame sui cicli d'isteresi ci permette di toccare qualche punto della *termodinamica dei solidi*.

« Farò rilevare anzitutto che ad ogni valore della forza *deformatrice* (e lo stesso varrà per un sistema di forze applicate nei vari punti del corpo), non corrisponde in generale, come avea osservato il sig. Brillouin ⁽²⁾, un'unica

⁽¹⁾ Phil. Trans. of the R. S. of London 176, II, § 11.

⁽²⁾ C. R. 112, p. 1054, 1891.

deformazione, anzi siamo in grado di dire, fermandoci al caso analizzato della flessione, che sono possibili tutte quelle deformazioni per le quali si hanno saette comprese fra la più piccola e la più grande relative alla forza predetta nel ciclo bilaterale di massima ampiezza.

« Nell'elasticità dei solidi ci troviamo pertanto di fronte ad un problema più complicato di quello relativo ai gas, poichè nel nostro caso per una data temperatura ad un valore della variabile geometrica ne corrispondono infiniti della variabile meccanica; sicchè la natura dell'isoterma dipenderà nei solidi anche dal lavoro subito avanti dal corpo.

« D'altra parte non conoscendo, per la insufficienza della teoria matematica della elasticità, come varii l'energia potenziale in una data trasformazione, non potremo determinare *a priori* quale è la quantità di calore positiva o negativa che per essa si sviluppa.

« Solo nella ipotesi che si operi per cicli chiusi, il problema si presenta semplice, teoricamente parlando. Ed invero, atteso il fatto che, almeno nel caso di un'accomodazione quasi completa, il corpo riacquista alla fine del ciclo le identiche proprietà elastiche possedute in principio, siamo indotti ad ammettere che esso ritorni alle condizioni da cui si è partito, e che perciò riacquisti la primitiva energia potenziale: il lavoro consumato in tal caso dalle forze esterne, datoci dall'area racchiusa nella *curva d'isteresi*, dev'essersi trasformato in calore che si è disperso nell'ambiente. Ciò, per citare un esempio, deve avvenire nella spirale che regola il moto d'oscillazione del bilanciere, di guisa che la forza elastica della molla con cui si carica l'orologio, oltre che a vincere gli attriti dei pezzi, dev'essere impiegata a fornire l'energia necessaria per la continua trasformazione del lavoro in calore operata dalla detta spirale.

« Il sig. W. Thomson, partendo dai principî della termodinamica, avea dedotto, e l'esperienza l'ha confermato, che operando nei solidi perfettamente elastici trasformazioni adiabatiche, dovea corrispondere al cambiare di forma del corpo o aumento o diminuzione di temperatura, e che gli effetti doveano compensarsi nel complesso dei passaggi da P a P' e da P' a P. Nel caso nostro invece si genera calore lungo un ciclo chiuso costituente una trasformazione isoterma, fatto inammissibile dal punto di vista della teoria matematica della elasticità, ma che può spiegarsi attesa l'insufficienza di questa teoria. Per i cicli che si chiudono in modo imperfetto col ritorno alla forma primitiva siamo in condizioni più complicate, avendosi una variazione di energia potenziale oltre al calore che si svolge; ma poichè d'ordinario quando si hanno due cambiamenti di senso nel modo d'agire della forza le configurazioni iniziale e finale, se non sono identiche, risultano assai vicine fra loro, ne consegue che il corpo si può anche allora considerare come una macchina capace di trasformare il lavoro delle forze esterne in calore.

Attrito interno.

« Si è molto discusso sullo smorzamento delle oscillazioni dovute a forze elastiche. Ritenevasi da principio che le particelle vibrando dovessero subire dalle vicine una resistenza proporzionale alla velocità, attesa la circostanza che allora la teoria porta per il decremento logaritmico ad un valore costante, quale risultava dalle prime ricerche. Fu riconosciuto in seguito che queste non ritraevano la natura vera del fenomeno, e lo Schmidt con accurate esperienze avvalorava il fatto trovando che se la legge di Gauss e Weber era applicabile per le piccole oscillazioni, non lo era per le grandi, e tanto meno quanto più plastica si manifestava la sostanza in esame. Si egli che il Wiedemann riconoscevano poi l'influenza della elasticità susseguente sul moto oscillatorio del corpo, senza però attribuire a questa lo smorzamento delle oscillazioni, come aveano pensato W. Weber, F. Kohlrausch, O. E. Meyer, Boltzmann ed altri.

« Il Voigt di recente ha pubblicato una Memoria sull'attrito interno. In essa si parte dal concetto che il fenomeno sia analogo a quello relativo ai liquidi, si attacca l'ipotesi del Weber, e si suppone che alle ordinarie reazioni elastiche se ne debbano aggiungere altre dipendenti dalla velocità con cui si compiono gli spostamenti delle particelle. Però i risultati delle sue accurate esperienze, come egli stesso afferma, non sono tali nel loro assieme da avvalorare la precedente ipotesi. Il fatto non ci deve recar meraviglia, ove consideriamo che in quella teoria, se è tenuto conto della resistenza subita dalle particelle in moto, si suppongono d'altro canto i solidi perfettamente elastici nei fenomeni dell'equilibrio, cosa che a rigore non può ammettersi anco per piccole deformazioni.

« Le nostre ricerche ci porterebbero ad altro ordine d'idee. Ed invero poichè le curve relative ai passaggi da P a P' e da P' a P non coincidono mai, e l'area da esse racchiusa accenna in modo manifesto ad un lavoro consumato, viene spontaneo di attribuire lo smorzamento delle oscillazioni a quella medesima causa che produce i fenomeni d'*isteresi elastica*, onde il calore sviluppato per il cosiddetto attrito interno non sarebbe altro che l'equivalente del lavoro che consuma il corpo oscillante nel compiere i successivi cicli. Tali considerazioni non ci portano alla ragione ultima dello smorzamento delle oscillazioni, restando ancora da ricercare il perchè le curve di andata e di ritorno non sieno coincidenti; esse tendono ad eliminare l'ipotesi di un fatto che intervenga solo nella dinamica dei corpi elastici ⁽¹⁾ ed a riferire la

(1) Da questo concetto parte anche il Wiedemann nell'indagare la natura del fenomeno; però nella ipotesi dell'illustre fisico, che attribuisce la perdita di energia ai moti rotatori delle particelle, non si rivela in modo esplicito il lavoro compiuto dal corpo per la legge che esso segue nel deformarsi (V. Wied. Ann. VI, p. 513).

perdita di energia alle leggi secondo le quali i corpi si deformano piuttosto che ad una resistenza occulta ai moti delle particelle.

« Del resto parmi che i ragionamenti sopra esposti non sieno puramente ipotetici, essendo a nostra conoscenza dei fatti che disporrebbero a favore del nuovo modo di vedere.

« Si sa come, a pari limiti di ampiezza iniziale, le oscillazioni si smorzino più presto nei metalli ricotti che nei crudi, e noi abbiamo trovato essere nel primo caso le *aree d'isteresi* molto maggiori partendo da deformazioni estreme dello stesso ordine di grandezza ⁽¹⁾.

« D'altro canto le scosse come accrescono il decremento logaritmico, aumentano anche l'area racchiusa dalla *curva d'isteresi* nei cicli bilaterali ⁽²⁾.

« In ultimo di fronte al fatto studiato dal Warburg di uno smorzamento più rapido nei corpi che oscillano per torsione col crescere della durata di oscillazione, abbiamo l'altro da noi preso in esame relativo all'aumento che subisce l'*area d'isteresi* quando si passi dai cicli compiuti nelle condizioni ordinarie a quelli eseguiti con maggior lentezza ⁽³⁾.

« Ad ulteriori conferme indirette porterebbero altri fatti riguardanti lo smorzamento delle oscillazioni, ma io credo sia più prudente far precedere, ad un raffronto completo tra i fenomeni statici e dinamici, un corso di esperienze inteso a stabilire un legame fra i due metodi di analisi delle proprietà elastiche.

CONCLUSIONE

« a) Dai risultati ottenuti colle mie ricerche sulla elasticità mi permetto di rilevare quanto segue:

1°) Variando la forza in un determinato senso, variano *in modo continuo* le proprietà elastiche della sostanza, anco nel caso che lungo il processo cambii il segno della forza.

2°) La legge di deformazione del corpo è diversa a seconda si operi per forze crescenti o decrescenti, e nel passaggio dalle une alle altre si produce nella cedevolezza del corpo un salto brusco.

3°) Se partiamo da uno stato deformato qualsiasi e, dopo avere invertito una prima volta il senso di variazione della forza, ritorniamo al carico primitivo, senza avere oltrepassato lo sforzo massimo che si adoperò nelle precedenti serie, si previene esattamente, o quasi, alla saetta iniziale, in guisa da avere come curva rappresentatrice del ciclo un cappio chiuso, o che tende a chiudersi, indicante sempre per il senso della sua generazione un lavoro consumato dalle forze esterne.

(1) V. Rend. Acc. dei Lincei 1893, 2° sem., pag. 390.

(2) V. Rend. Acc. dei Lincei 1894, 1° sem., pag. 26.

(3) V. loc. cit.

4°) In rapporto a questi fatti si sono studiati gli effetti delle scosse, ossia delle oscillazioni attorno un determinato carico, e si è visto che la loro influenza non è trascurabile, anzi può essere tanto grande da fare sparire in un caso speciale la deformazione permanente. In tal guisa si riesce a riportare il corpo in uno stato che si può considerare come non deformato.

5°) Col lavoro delle lastre se ne alterano le proprietà elastiche in modo progressivo, producendosi un fenomeno di accomodazione, che porta, a quanto sembra, effetti diversi da sostanza a sostanza, avendosi per il nichel un aumento, per l'ottone una diminuzione continua dell'*area d'isteresi*.

6°) L'elasticità susseguente è un fatto di ordine secondario nello studio dei processi ciclici, ma può avere qualche influenza sulle loro modalità.

7°) Lo smorzamento delle oscillazioni sarebbe dovuto a ciò che l'energia potenziale del corpo stante la legge diversa secondo cui esso si deforma per forze crescenti o decrescenti, va poco a poco annullandosi producendo una quantità di calore che equivale alla somma delle aree dei cappii forniti dal metodo statico.

“ b) Di alcuni particolari esaminati si dovrebbe tener conto nella misura delle forze con apparecchi nei quali entrino in giuoco corpi sottoposti a deformazione, imperocchè essi ubbidiscono, come si è visto, in modo diverso ad impulsi agenti nei due sensi a partire da uno stato deformato qualsiasi.

“ c) Molti fenomeni da noi descritti trovano riscontro nella isteresi delle sostanze magnetiche, per altri uno studio nel campo del magnetismo manca, ma tutto induce a credere che, qualora fosse intrapreso, porterebbe a risultati concordanti con quelli che si hanno per le deformazioni elastiche, poichè i due ordini di fenomeni appariscono governati dalle medesime leggi generali. Questo fatto, tenuto conto che pure nel modo di comportarsi dei coibenti si ha isteresi, avvalorerebbe l'opinione del Maxwell che la polarizzazione nei dielettrici e nelle sostanze magnetizzabili consista in una deformazione di tali mezzi.

“ d) La depressione del *punto zero* di un termometro sottoposto prima a temperature elevate e l'innalzamento nel caso contrario, ci portano ad ammettere che fenomeni d'isteresi abbiano luogo anche per le modificazioni termiche del vetro; merita quindi un attento esame la questione della misura delle temperature in rapporto al senso delle loro variazioni, essendo probabile che per una data temperatura si abbiano indicazioni diverse a seconda vi si arrivi col riscaldamento o col raffreddamento (1).

(1) Dalle ricerche del Bénéoit è da argomentare che le anomalie del vetro manchino, o almeno sieno molte piccole nei metalli e nei corpi cristallizzati (V. Travaux et Mémoires du Bur. Int.; T. VI, p. 3).

« e) Si è osservato da alcuni fisici che in un corpo ottenuto mediante il passaggio alla filiera od al laminatoio non si può avere il comportamento caratteristico delle sostanze isotrope, e partendo da questo concetto si è cercato di spiegare molte anomalie, specialmente per ciò che riguarda la dipendenza delle varie specie di deformazione le une dalle altre e la relazione fra le due costanti di elasticità dei metalli. Resta però sempre a trovare il perchè le deformazioni dei corpi dipendano dal senso secondo cui varia la forza, non potendo ciò aver luogo in un corpo perfettamente elastico.

« Una teoria cinetica dei solidi fondata sull'esperienza e non su basi puramente ipotetiche dovrebbe a mio modo di vedere, darci la soluzione dell'arduo problema, mostrando come vengano alterati collo spostarsi delle particelle i moti molecolari, e come queste alterazioni modifichino alla lor volta la resistenza alle forze deformatrici.

« Qualche cosa si è fatta in proposito, ma una teoria completa ancora non esiste. Io voglio augurarmi che il mio studio intorno ai processi ciclici di deformazione abbia ad apprestare un contributo al materiale di esperienze che ne costituirà il fondamento.

« Non posso chiudere questa serie di riassunti senza attestare i sensi della mia più viva gratitudine verso il sig. F. Tomasini, per l'aiuto intelligente e costante avutone nel corso delle ricerche ».

Fisica. — *Sulla rapidità dei fenomeni foto-elettrici del Selenio.* Nota del dott. Q. MAJORANA, presentata dal Socio BLASERNA.

Questa Nota sarà pubblicata nel prossimo fascicolo.

Termodinamica. — *Di alcune relazioni termodinamiche sui vapori.* Nota del prof. STEFANO PAGLIANI, presentata dal Socio BLASERNA.

« W. Ostwald nella sua opera *Sulla Stechiometria* (vol. I, pag. 356) partendo dalla legge di Trouthon sui calori di vaporizzazione molecolari, ed applicando ai vapori le leggi dei gas, credette di poter arrivare alla conclusione generale che tanto il lavoro interno quanto il lavoro esterno della trasformazione di quantità molecolari di qualunque liquido in vapore sotto una data pressione, deve essere approssimativamente proporzionale alla temperatura assoluta, alla quale avviene la trasformazione. Mi parve interessante di verificare se e fino a qual punto una tale proporzionalità sussiste, perchè per mezzo di essa si avrebbe il modo di calcolare tanto il calore interno, quanto il calore esterno di vaporizzazione, e quindi il calore di vaporizzazione totale,