ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

ANNO CCCXIX.

1922

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXXI.

1° SEMESTRE.

ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1922

Fisica. — *Il contributo di A. Bartoli nella previsione termodinamica della pressione della luce.* Nota di PAOLO STRANEO, presentata dal Socio A. DI LEGGE.

Le considerazioni termodinamiche del Bartoli sulla pressione delle radiazioni, per quanto segnalate ai fisici dal Boltzmann fin dal 1884 in due scritti sui diffusissimi *Annalen der Physik*, vengono raramente ricordate dagli autori di trattati o di studî sulla teoria dell'irraggiamento, o, ciò che è peggio, vengono talvolta ricordate in modo inesatto, non tenendo conto di certe limitazioni che pur erano state chiaramente espresse; e quindi attribuendo al Bartoli pretese dimostrazioni, che egli non aveva davvero pensato di poter dare, e che oggi si sanno impossibili.

Convinto d'altra parte che nelle esposizioni della teoria dell'irraggiamento secondo l'attuale tendenza, ad un certo punto, debbano trovar posto logicamente, e quasi direi necessariamente, considerazioni perfettamente analoghe a quelle del Bartoli, ho voluto trattare secondo lo stesso concetto fondamentale, ma con criterî più moderni, la questione che egli si era proposta ed aveva risolta fin dal 1876 (1). Questo lavoro, che eccede i limiti di spazio imposti a questi Rendiconti, verrà pubblicato prossimamente nel Nuovo Cimento.

Però, essendo stata altra volta qui ricordata l'opera del Bartoli su questo argomento dai chiar. proff. Ròiti e Volterra nella relazione e nelle Note ad una sua Memoria postuma (2), ed essendo altresì stato espresso il desiderio che venissero chiariti alcuni punti oscuri, mi permetto di esporre brevemente i risultati di quella mia ricerca che hanno attinenza all'opera del Bartoli.

*
* *

Ogni moderna teoria dell'irraggiamento termico consiste essenzialmente nella logica applicazione dei principî della termodinamica ad una determinata teoria ottica. La via, che di preferenza si segue attualmente nell'esporre

(1) *Sopra i movimenti prodotti dalla luce e dal calore e sopra il radiometro di Crookes*, Firenze, Le Monnier, 1876.

(2) Ved. questi Rendiconti, vol. XII, 2° sem., ser. 5ª, pag. 345.

una tale teoria, è quella adottata dal Planck nelle sue classiche *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*.

Essa porta a considerare, *in un primo tempo*, l'energia raggiante come un'energia che si suppone diffondersi con velocità finita, e quindi localizzata nello spazio, ma da un punto di vista puramente energetico, senza alcuna ipotesi sulla sua particolare natura. Applicando a questa generalissima concezione fisica le leggi della termodinamica, si giunge alle più generali conclusioni della teoria dell'irraggiamento, che valgono indipendentemente dalla teoria ottica che si ammetterà in seguito, e quindi per tutte le teorie ottiche, purchè solamente ammettano la propagazione, con velocità finita, dell'energia raggiante, che loro particolarmente compete. Sono queste le leggi fondamentali della teoria dell'irraggiamento, fra le quali culmina l'importantissima legge di Kirchhoff.

Solamente *in un secondo tempo* si scende a più particolari specificazioni ammettendo una speciale teoria ottica e deducendo le conseguenze che derivano logicamente dalle leggi fondamentali precedenti e da questa particolare ammissione.

Un vantaggio rilevante di questo metodo è quello di permettere facili paralleli fra le conseguenze corrispondenti alle differenti teorie ottiche, per esempio fra quelle corrispondenti alla teoria elettromagnetica e quelle corrispondenti alla teoria corpuscolare, come mostra il Planck stesso nel § 60 delle citate *Vorlesungen*, ove trae appunto da questo confronto una conferma in favore della teoria Maxwelliana.

Senonchè questa via, così logica, non è in generale seguìta sistematicamente fino in fondo. Infatti nella parte delle considerazioni puramente energetiche, si fa intervenire d'ordinario quasi esclusivamente il primo principio della termodinamica, e non il secondo, che invece si applica poi ampiamente quando si è introdotta la teoria ottica particolare.

Ciò porta il grave inconveniente che rimangono nell'ombra importanti leggi fondamentali che vengono poi a risultare solamente più tardi e conglobate colle conseguenze della speciale teoria ottica ammessa.

Per esempio, introducendo la teoria elettromagnetica e conseguentemente la nozione ed il valore della pressione delle radiazioni che ad essa compete, viene immediatamente a risultare che ad una data riduzione di volume di una data cavità perfettamente speculare attorno ad un corpo irraggiante corrisponde necessariamente una determinata spesa di lavoro meccanico. Introducendo invece la teoria corpuscolare e la corrispondente pressione delle radiazioni, si trova che alla stessa diminuzione di volume della cavità speculare corrisponde una differente spesa di lavoro. Ora, siccome questi due lavori risultano intimamente legati, anzi proporzionali, alle due differenti pressioni che corrispondono alle due teorie, il fatto della necessità di spendere un lavoro per quella deformazione della cavità viene ad essere, in certo

modo, posto ad uno stesso livello coll'esistenza della pressione stessa; ciò che quasi indurrebbe a ritenere che quel lavoro di deformazione potrebbe essere nullo in una teoria ottica che non implicasse necessariamente l'esistenza di una pressione delle radiazioni. Ad ogni modo non risulta affatto evidente che, indipendentemente da qualsiasi teoria ottica ammessa, sia sempre necessario di spendere un lavoro per eseguire una deformazione come quella sopra detta.

Le considerazioni del Bartoli, ove venissero esposte prima di chiudere la parte puramente energetica della teoria dell'irraggiamento, eliminerebbero il rilevato inconveniente, perchè permetterebbero di dimostrare che il secondo principio della termodinamica esige che alla diminuzione di volume di un involucro speculare intorno ad un corpo irraggiante debba corrispondere sempre una spesa di lavoro. La scelta particolare fra le infinite teorie ottiche logicamente possibili, colla quale dovrebbe iniziarsi la seconda parte della trattazione, più non apparirebbe quindi arbitraria, ma bensì, come di fatto è, soggetta non solo alla condizione fondamentale, più volte ricordata, di ammettere una velocità di propagazione finita per le proprie radiazioni, ma anche alla condizione che debba necessariamente corrispondere una spesa di lavoro ad ogni contrazione di un involucro speculare pieno di irraggiamento. Risulterebbe però anche (e questo è il punto di capitale importanza) che questo lavoro non può venir determinato completamente mediante considerazioni energetiche, e che perciò rimane ancora un largo campo di arbitrarietà nella scelta della teoria ottica.

Infatti il Bartoli, considerando un esperimento ideale fondato su deformazioni di superficie perfettamente riflettenti (considerazioni che oggi sono divenute correnti, ma che allora rappresentavano ancora una quasi assoluta novità e sollevavano molte obbiezioni), era giunto appunto a questa conclusione.

Nella mia prossima pubblicazione sul Nuovo Cimento mostrerò come, rendendo invertibile il ciclo di trasformazioni considerato, per mezzo di un'insignificante modificazione, ed applicandovi quindi il secondo principio della termodinamica in forma di equazioni, anzichè di inequazioni, quali converrebbero ad un ciclo non invertibile, si possa dare alla scoperta del Bartoli una forma matematicamente rigorosa. Essa, in ultima analisi, non è altro se non l'espressione della *necessaria* relazione fra la temperatura T del corpo irraggiante, la densità dell'energia irradiata $\psi(T)$, ed una funzione $\varphi(T)$, caratteristica del lavoro che si deve spendere per ridurre il volume di una cavità speculare contenente il corpo irraggiante:

$$\varphi(T) = T \int \frac{\psi(T)}{T^2} dT.$$

A questa relazione, che è una delle poche leggi puramente energetiche che si conoscono, propongo sia dato il nome di *legge di Bartoli*.

A questo punto conviene ricordare come il Bartoli con fine intuizione aggiungesse che *la più semplice ipotesi* per spiegare la spesa di lavoro sopradetta fosse quella di ammettere l'esistenza di una pressione delle radiazioni. Ma non solo non affermava la necessità di tale ipotesi, ma, nello stesso scritto ove l'enunciava per la prima volta, prometteva di dare, come in seguito tentò, altre ipotesi, che secondo lui dovevano egualmente bene risolvere la difficoltà.

Errano quindi coloro che affermano che il Bartoli abbia creduto di poter dimostrare *termodinamicamente* l'esistenza della pressione della luce, che *termodinamicamente* invece non può essere dimostrata.

Ammettendo l'esistenza di una pressione della luce $p(T)$, come semplice ipotesi generale, ma senza ulteriori specificazioni sulla sua essenza fisica, l'espressione della legge del Bartoli si trasforma immediatamente nella relazione

$$T\,dp(T) - p(T)\,dT = \psi(T)\,dT$$

dedotta dal Boltzmann fin dal 1882 ripetendo le considerazioni del Bartoli, ed ammettendo senz'altro l'ipotesi della pressione.

Essa non è più una relazione puramente energetica, perchè contiene la particolare ammissione fisica dell'esistenza della pressione delle radiazioni; perciò non conviene più a tutte indistintamente le teorie ottiche, ma solamente a tutte quelle teorie che implicano una qualsiasi pressione della luce.

Essa non è però ancora una relazione caratteristica di una particolare teoria dell'irraggiamento, ma lo diviene immediatamente appena si esprima una qualsiasi delle due funzioni $p(T)$ o $\psi(T)$ in funzione dell'altra, secondo una determinata teoria ottica.

Questo appunto fece il Boltzmann ponendo, in accordo alla teoria di Maxwell, $p(T) = 1/3\ \psi(T)$, ricavandone così una relazione caratteristica dell'attuale teoria dell'irraggiamento, dalla quale potè con una semplice integrazione dedurre la nota legge che lo Stefan aveva sperimentalmente scoperto qualche anno prima.

*
* *

Per esaurire l'analisi storica dell'opera del Bartoli, è bene di chiarire alcuni punti secondarî, che dànno talora luogo ad equivoci.

Egli, che aveva così esattamente dimostrata la necessità della spesa di un lavoro per ogni diminuzione di volume di una cavità speculare contenente un corpo irraggiante, ed intuita la probabilità che esso fosse dovuto ad una pressione delle radiazioni, ammise poi, senza alcuna plausibile ragione, che quella pressione dovesse essere eguale alla densità dell'energia raggiante dell'ambiente. Ciò lo avrebbe senza dubbio condotto a conclusioni numeriche errate, se non fosse avvenuta una strana compensazione. Infatti egli aveva

sempre considerato nei suoi esperimenti ideali solamente l'energia raggiante propagantesi in una determinata direzione e non, come ora generalmente si usa, l'energia totale, propagantesi in tutte le direzioni; più precisamente, considerando due sfere concentriche, aveva tenuto conto solamente dell'energia propagantesi dall'una all'altra in senso radiale, la quale, come è noto, è solamente la terza parte dell'energia totale. Quindi, senza rendersene conto, aveva ammesso fra pressione e densità di energia la relazione corrispondente alla teoria di Maxwell e così ottenuto i valori numerici che l'esperienza ha poi confermati.

Ancor più strana è la coincidenza che egli trovò fra quella sua espressione della pressione della luce in funzione della densità dell'energia (che, come abbiamo veduto, concordava colla teoria di Maxwell) e l'espressione datane dall'Hirn, nell'ipotesi dell'ottica corpuscolare, cui deve invece corrispondere un valore doppio. Ciò è dovuto ad un equivoco dell'Hirn, il quale ammise che la pressione dovuta all'urto di corpuscoli cadenti normalmente su di una parete assorbente sia uguale alla forza viva di essi divisa per la velocità, ossia a $\frac{mv}{2}$, anzichè alla quantità di moto mv; così la pressione su di una parete riflettente, che è eguale al doppio di quella su di una parete assorbente, gli risultò anche solamente la metà di quanto avrebbe dovuto.

Fisica. — *Sulla diffusione dell'idrogeno, dell'elio e del neon attraverso il vetro riscaldato* [1]. Nota di Ettore Cardoso, presentata dal Socio E. Paternò.

Il prof. Lo Surdo [2] ha pubblicato recentemente, in questi Rendiconti, i risultati di certe sue esperienze relative al passaggio dell'idrogeno, dell'elio e del neon attraverso tubi di vetro riscaldati. Queste diffusioni, che, per l'idrogeno e l'elio almeno, erano già ammesse o supposte da qualche sperimentatore [3], vengono ad entrare, per merito delle belle esperienze di A. Lo Surdo, nel dominio dei fatti sperimentali saldamente stabiliti.

[1] Lavoro eseguito nell'Istituto di chimica-fisica della R. Università di Napoli.

[2] Rend. Acc. Lincei, 1921, XXX, pag. 85.

[3] Nel 1911, il compianto prof. J. M. Crafts, col quale effettuavo una serie di misure col termometro a gas, ebbe a dirmi, a varie riprese, che aveva scelto l'azoto, come gas termometrico, invece dell'idrogeno o dell'elio, perchè, parecchi anni prima, aveva osservato che, a caldo, questi gas attraversavano le pareti di vetro (*Jena*, 16, III) dei suoi termometri, falsando le misure. Simili constatazioni ebbi a fare anch'io, più tardi, con un termometro ad idrogeno, in vetro fusibile di Turingia.