

LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

di Balfour Stewart
della Società Reale di Londra, Professore di Filosofia naturale
al collegio Owen a Manchester Parigi

Libreria Germer Baillière – 1875

traduzione: Gianluigi Trivia

PREFAZIONE

Possiamo considerare l'universo come una immensa macchina fisica e le conoscenze che possediamo su questa macchina si dividono in due rami.

Uno abbraccia ciò che sappiamo sulla struttura della macchina stessa, l'altro ciò che sappiamo sul metodo che impiega per agire.

È parso all'autore che, in un trattato come questo che viene oggi presentato al pubblico, bastava, per quanto possibile, studiare contemporaneamente questi due rami; è per questo motivo che si è sforzato di seguire questo ordine nelle pagine che seguiranno. Ha considerato a guisa di macchina un universo composto di atomi separati da un tipo di mezzo, e le leggi dell'energia come quelle che regolano l'azione di questa macchina.

Il primo capitolo riguarda tutto ciò che conosciamo sugli atomi e dà una definizione dell'energia. Poi si enumerano le diverse forze ed energie della natura e si stabiliscono le leggi della conservazione. Seguono poi le diverse trasformazioni dell'energia secondo un elenco di cui l'autore è debitore al professor Tait. Il quinto capitolo offre un rapido sommario storico dell'argomento e termina con le leggi della dissipazione; il sesto e ultimo capitolo cerca di rendere conto del posto occupato dagli esseri viventi in questo universo dell'energia.

Balfour Stewart

Capitolo 1 - CHE COSA É L'ENERGIA?

1. Le individualità non sono conosciute. La maggior parte del tempo, non sappiamo nulla o quasi nulla delle individualità e però possediamo una conoscenza definita delle leggi che regolano la totalità. Facciamo un esempio. Le statistiche ci informano che a Londra, il numero di morti varia con la temperatura, poiché una temperatura molto bassa è invariabilmente accompagnata da una mortalità molto elevata. Tuttavia, se chiediamo a queste statistiche di scegliere un individuo in particolare e di spiegarci come la sua morte è stata provocata dal grado di freddo o di caldo, è probabile che la nostra domanda rimarrà senza risposta.

Altro esempio. Possiamo essere certi che dopo un cattivo raccolto si farà nel paese una importazione considerevole di grano ma ignoriamo assolutamente i viaggi particolari compiuti dalle diverse particelle di farina che entrano in una composizione di un pezzo di pane.

Prendiamo un terzo esempio. I venti alisei ci provano che esiste un corrente d'aria regolare dai poli all'equatore e tuttavia nessuno è in grado di individuare una particella di questa aria e di descriverne i movimenti.

2. Non conosciamo meglio le particolarità quando entriamo nel campo della scienza fisica. Non sappiamo nulla o quasi della struttura e delle proprietà elementari della materia organica o inorganica.

Vi sono tuttavia certi casi dove un grande numero di particelle sono legate le une alle altre in modo da agire come una singola individualità e ci è allora possibile prevedere il loro comportamento; è così che osservando il sistema solare, l'astronomo giunge a prevedere con precisa esattezza la posizione dei diversi pianeti o della luna.

Non è lo stesso per gli affari dell'uomo dove giudichiamo il comportamento generale di un grande numero di individui il cui insieme forma una nazione, e l'uomo di stato studiando l'azione e la reazione reciproche delle diverse nazioni compie un'opera analoga a quella dell'astronomo. Ma se domandiamo all'astronomo o all'uomo di stato di scegliere una particella isolata o un essere umano isolato e di prevedere i movimenti che compiranno, l'uno e l'altro troverà la sua scienza del tutto inadatta.

3. É inutile cercare lontano la causa di questa ignoranza. Una attività continua, senza riposo e piena di complicazioni, è l'ordine che segue la natura in tutte le individualità che la compongono, sia tra gli esseri animati sia tra le particelle della materia inanimata. L'esistenza è una lotta senza tregua, una grande battaglia impegnata sempre e dappertutto, e il teatro del combattimento ci è per la maggior parte del tempo assolutamente nascosto.

4. Benché ci sia impossibile seguire i movimenti dei singoli, siamo a volte capaci di prevedere il risultato e anche i dettagli di un combattimento, e di specificare i motivi che contribuiranno all'esito. Mentre gli individui offrono lo spettacolo di una grande libertà d'azione e di una grande complicazione di movimenti, le leggi che regolano il risultato finale al quale giunge la società sono relativamente semplici. Prima di iniziare a studiarle, non sarà inutile osservare rapidamente il mondo organico affinché i nostri lettori così come noi stessi possiamo persuaderci della nostra comune ignoranza della struttura e delle proprietà ultime della materia.

5. Descriviamo dapprima le cause che conducono alla malattia. Da qualche anno appena, abbiamo cominciato a sospettare che un gran numero di malattie che ci aiggono sono prodotte da germi organici. Ammettendo che siamo nel vero, dobbiamo tuttavia

riconoscere che la nostra ignoranza del tipo di questi germi è la più completa. Abbiamo pure motivo di dubitare che una sola persona abbia mai visto uno di questi organismi¹, ma è certo che siamo profondamente ignoranti delle loro proprietà e delle loro abitudini.

Qualche scrittore² afferma che l'aria che respiriamo è assolutamente riempita di germi e che da tutte le parti siamo circondati da legioni di esseri organizzati. Si è supposto che questi si abbandonano a una guerra incessante e che noi siamo la preda più forte. Comunque sia, siamo intimamente legati e per così dire alla mercé di un mondo di creature sulle quali non sappiamo molto di più che sugli abitanti del pianeta Marte.

6. Tuttavia malgrado la nostra ignoranza completa dell'individuo, possediamo una certa conoscenza di alcune abitudini di queste potenti e pericolose società. Il colera devasta specialmente i terreni bassi e durante il suo regno dobbiamo prestare una attenzione particolare all'acqua che beviamo. Vi è quindi per il colera una legge generale la cui importanza è per noi tanto maggiore quanto possiamo studiare le abitudini di individui organizzati che causano la malattia. Se fosse possibile percepirli, non si tarderebbe a possedere una conoscenza molto più approfondita dei loro costumi e può anche essere che si potrebbero trovare i mezzi per estirpare la malattia e di prevenirne il ritorno. Grazie a Jenner, sappiamo che la vaccinazione arresta i danni della sifilide, ma in questo caso non valiamo molto più di una banda di schiavi che hanno scoperto il mezzo di danneggiarsi in modo da ridursi a poco valore per i loro nemici.

7. Le nostre conoscenze a riguardo della natura e delle abitudini delle molecole organizzate sono ben minime; ma sulle molecole ultime della materia inorganica esse sono ancora minori, se è possibile. Non è da molto tempo che gli scienziati hanno finito per ammettere completamente la loro esistenza.

Al fine di rappresentare ciò che si intende per moto delle molecole organiche, prendiamo un poco di sabbia, sminuzziamola in particelle sempre più piccole e frantumiamole di nuovo. Un fatto è certo, con questa operazione non raggiungeremo mai l'ultimo grado di piccolezza; tuttavia la nostra immaginazione è libera di supporre che la divisione può essere infinitamente prolungata fornendo senza ne particelle sempre più piccole. In questo caso, dobbiamo almeno giungere a un'ultima molecola di sabbia o di ossido di silicio, o in altre parole, arrivare all'entità minima che conserva tutte le proprietà della sabbia, di modo che proseguendo più a lungo la suddivisione della molecola, il solo risultato sia di separarla nei suoi costituenti chimici, cioè in silicio da una parte e ossigeno dall'altra.

Abbiamo forti motivi per credere che la sabbia o qualunque altra sostanza è incapace di subire una suddivisione infinita e che tritutando un blocco solido di una materia qualsiasi non possiamo fare altro che ridurla in blocchi simili all'originale, sebbene di dimensione minore, ognuno contenente un numero immenso di singole molecole.

8. Una goccia d'acqua, come un granello di sabbia, è composta da un numero molto elevato di molecole unite tra loro dalla forza di coesione; questa forza è molto più intensa per la sabbia che per l'acqua ma esiste però in entrambi i casi. Sir William Thomson, fisico eccellente, è giunto recentemente a un risultato assai curioso riguardo alle molecole d'acqua. Suppone che una goccia di acqua sia ingrandita no a diventare grande come la terra e che tutte le molecole siano accresciute nella stessa proporzione, e conclude che, in queste condizioni, la molecola non supererà quasi mai le dimensioni di un grano di piombo da caccia.

9. Qualunque sia il valore di questa conclusione, ci permette di comprendere la grande piccolezza delle molecole e di assicurare che non sarà mai possibile renderle osservabili,

¹Si afferma che, in uno o due casi, il microscopio ha potuto ingrandirli a sufficienza per permetterci di osservarli

²Si veda il Dr Augus Smith, On Air and Rain.

nemmeno con i più potenti microscopi. La nostra conoscenza delle dimensioni, delle forme e proprietà di corpi simili deve di conseguenza basarsi su una dimostrazione indiretta di tipo assai complicato.

Non sappiamo pure nulla o quasi sulla forma o dimensione delle molecole né sulle forze alle quali sono soggette. Le più grandi masse dell'universo hanno in comune con le più piccole il fatto di essere al di fuori della portata dei sensi umani, le une perché troppo lontane, le altre perché troppo piccole.

10. Queste molecole non sono a riposo; al contrario, esse manifestano nei loro movimenti una energia interna inesauribile. Si compie una lotta senza tregua, costante tra questi piccoli oggetti che si disperdono senza ne, si ricongiungono sempre no al momento in cui subiscono un urto molto violento che separa i loro diversi atomi che vanno a formare una molecola composta. Ne risulta un nuovo stato delle cose. Ma un semplice atomo elementare è realmente un essere immortale, godendo del privilegio di mantenersi inalterato e di reggere anche i colpi più violenti che gli possono essere portati. É probabilmente in uno stato di attività e di forma incessante; ma tuttavia resta sempre lo stesso.

11. Un istante di riflessione ci convincerà che questa incessante attività è un altro ostacolo alla nostra comprensione completa delle molecole e degli atomi, poiché supponendo anche di poterle osservare, non rimarrebbero a riposo per un tempo sufficientemente lungo per lasciarsi completamente studiare. Esistono, è vero, procedimenti per mezzo dei quali siamo capaci di rendere visibile per esempio i contorni di un disco colorato e animato da un moto di rotazione molto rapido; ci basterà perciò illuminare per mezzo della luce di una scintilla elettrica e di supporre che il disco resti immobile durante la durata eccessivamente breve della scintilla. Ci è impossibile dire altro sulle molecole e gli atomi; poiché, ammettendo la capacità di cogliere un atomo e di illuminarlo con una scintilla elettrica, quello avrà certamente vibrato un numero molto grande di volte durante la durata della scintilla. Riassumendo, i limiti dei nostri sensi relativamente allo spazio e al tempo ci impediscono la ugualmente la possibilità di familiarizzare direttamente con l'infinitamente piccolo che rappresentano gli elementi portanti della materia di cui costituito il nostro universo.

12. **L'azione e la reazione sono uguali ed opposte.** Mentre un velo impenetrabile è steso sulle individualità che prendono parte a questa lotta degli atomi che si urtano tra loro, non ignoriamo però del tutto le leggi che fissano il risultato finale di tutti questi movimenti considerati nel loro insieme.

Supponiamo, per esempio, di avere una sfera di vetro contenente un gran numero di pesci rossi, che riposano su una tavola e delicatamente sostenuta su ruote che la mettono in movimento con il più piccolo impulso. Questi pesci eseguono numerosi movimenti irregolari e bisognerebbe essere temerari per osare di prevedere ciò che farà uno di questi pesci in particolare. Siamo pure perfettamente certi che malgrado i movimenti irregolari degli esseri che la abitano, la sfera resterà immobile sulle sue ruote.

Supponendo anche di sostituire la tavola con la superficie congelata di un lago, e di dotare le ruote della sensibilità massima, la sfera rimarrà immobile. Saremmo troppo sorpresi se constatassimo che questa si reca da sola da una parte all'altra o da un bordo all'altro del lago ghiacciato tramite i movimenti interni dei suoi abitanti. Qualunque siano i movimenti delle unità singole, siamo sicuri che la sfera non si muoverà. In un simile sistema, come del resto in tutti i sistemi lasciati a se stessi, vi possono essere anche forze molto intense che agiscono tra le diverse parti, ma queste azioni e queste reazioni sono uguali e opposte; le piccole parti, visibili o invisibili, subiscono reciprocamente violente scosse e tuttavia l'insieme del sistema rimane a riposo.

13. È perfettamente legittimo passare da questo esempio di un vaso di pesci rossi al caso di un fucile che viene scaricato. Abbiamo supposto che la sfera con i pesci costituisca un sistema, guarderemo ora il fucile con la sua polvere e la sua palla come pure formanti un sistema.

Ammettiamo che l'esplosione venga fatta per mezzo di una scintilla. Benché questa scintilla sia un agente esterno, se riflettiamo un poco, vedremo che in questo caso il solo ruolo che essa svolge è di risvegliare le forze interne già esistenti nel fucile carico, di portarle ad uno stato di violenta attività di modo che tramite queste forze interne abbia luogo l'esplosione.

Il risultato più importante di questa esplosione è l'impulso ricevuto dalla palla che parte con rapidità percorrendo per esempio un chilometro o anche più prima di ritornare a riposo. Sembrerà a prima vista che la legge di uguaglianza tra azione e reazione è violata, poiché le forze interne presenti nel fucile, hanno finito per espellere in una direzione una parte del sistema, cioè la palla, con una enorme velocità.

14. Una ulteriore riflessione ci permetterà di riconoscere un altro fenomeno oltre al moto della palla. Tutti i cacciatori sanno bene che al momento dello sparo, essi ricevono una spinta alla spalla o rinculo di cui vorrebbero essere privati, ma che accetteremo volentieri perché in esso troveremo la soluzione della nostra difficoltà. In altre parole, mentre la palla è scagliata in avanti, il calcio dell'arma, se è libero di muoversi, è nello stesso istante proiettato all'indietro. Per fissare le nostre idee, supponiamo che il calcio pesi 100 g e la palla 10 g e che essa venga scagliata in avanti con una velocità di 300 m/s; la legge di azione e reazione prova che il calcio sarà lanciato indietro con una velocità di 3 m/s, in modo che la massa del calcio moltiplicata per la sua velocità di rinculo sia esattamente uguale alla massa della palla moltiplicata per la sua velocità di volo. Uno dei prodotti costituisce una misura dell'azione in una verso, e l'altro una misura della reazione nel verso opposto. Vediamo pertanto che per il caso del fucile così come per quello della sfera l'azione e la reazione sono uguali e opposte.

15. Possiamo pure estendere la legge a dei casi in cui non osserviamo né rinculo né reazione. Così se lasciamo cadere una pietra dall'alto di un precipizio, il movimento ci sembra avvenire complessivamente in una direzione, mentre in realtà è il risultato di una reciproca attrazione tra la terra e la pietra. Ma la terra non è pure essa in movimento? Non la vediamo muoversi ma possiamo affermare che in realtà essa si muove dal basso verso l'alto per avvicinarsi alla pietra, sebbene lo faccia in modo impercettibile. La legge di azione e reazione si verifica ancora con altrettanta esattezza del fucile e la sola differenza è che dopo poco tempo, i due corpi si allontanano l'uno dall'altro mentre ora si avvicinano tra loro. Inoltre, siccome la massa della terra è molto grande rispetto a quella della pietra, ne risulta che la velocità deve essere estremamente piccola affinché la massa della terra moltiplicata per la sua velocità dal basso in alto possa uguagliare la massa della pietra per la sua velocità dall'alto in basso.

16. Siamo quindi, malgrado la nostra ignoranza sulle molecole o sugli atomi della materia, giunti a una legge generale che regola l'azione delle forze interne. Constatiamo che queste forze si esercitano reciprocamente e che se A attira o respinge B, B è a sua volta attratto o respinto da A. Troviamo qui un eccellente esempio di questo tipo di generalizzazione che ci dato raggiungere malgrado la nostra ignoranza delle individualità. Tuttavia non conosciamo ancora tutto ciò che sarebbe utile sapere e non possediamo la comprensione completa di tutti i fenomeni che avvengono in tutti i casi simili, per esempio in quelli del fucile che spara. Cerchiamo quindi di approfondire maggiormente la questione.

17. Guardiamo la quantità di moto come il prodotto della massa per la velocità; ora poiché la velocità di rinculo del fucile moltiplicata per la massa del calcio è uguale alla velocità di

uscita della palla, possiamo dire che la quantità di moto creata è uguale nei due versi, e che la legge di azione e reazione è sempre verificata.

Tuttavia non possiamo non notare che il movimento della palla è molto diverso da quello del calcio. Non esitereste mai, se aveste la possibilità di scegliere, di lasciar rinculare il calcio contro la vostra spalla e di lasciare che la palla esca nell'aria piuttosto che il contrario. Se qualcuno si permettesse di affermare l'uguaglianza assoluta tra il colpo della palla e quello del calcio, basterà invitarlo a sottoporre la sua affermazione a una verifica pratica; potete essere perfettamente sicuri che declinerà il vostro invito. Se così fosse, una compagnia di soldati su un campo di battaglia soffrirebbe molto più del nemico contro il quale dirige il proprio fuoco; in effetti nessun rinculo sarebbe perso per i soldati mentre più di una palla sarebbe per il nemico.

18. Immaginiamo ora questa enorme differenza e ci resta solo di rivestire le nostre espressioni tanto familiari di un mantello scientifico adatto. Ciò che possiede la palla e che la distingue dal calcio è evidentemente la forza di vincere la resistenza. Essa è capace di penetrare attraverso legno, acqua o anche, ahimé, attraverso il corpo umano, e questa forza di penetrazione è il carattere distintivo di una sostanza che si muove con una grande velocità.

19. Definiamo con la parola energia questa capacità della palla di vincere ostacoli o di compiere del lavoro.

Usiamo la parola lavoro senza associargli l'idea del carattere morale della cosa compiuta e possiamo perfettamente permetterci di calcolare la quantità di lavoro compiuto provocando un foro attraverso una lastra o un uomo.

20. Un corpo come una palla di fucile che si muove con una velocità molto elevata possiede quindi energia ed è inutile riflettere molto per comprendere che questa energia dovrà essere proporzionale al suo peso o alla sua massa. In effetti una palla di 1 g che si muove con una velocità di 300 m/s farà lo stesso effetto di due palle di 5 g che si muovono con la stessa velocità; tuttavia l'energia di due palle di 5 g dovuta ad un moto identico sarà evidentemente doppia di quella di una sola. Ne risulta che l'energia è proporzionale al peso ammettendo che la velocità rimane sempre la stessa.

21. Ma, d'altra parte, l'energia non è semplicemente proporzionale alla velocità, poiché se così fosse, l'energia del calcio e quella della palla sarebbero le stesse, tanto più che il calcio guadagnerebbe tramite la sua massa elevata ciò che perderebbe per la sua piccola velocità. L'energia di un corpo che si muove aumenta con la velocità rispetto ad una proporzione semplice, e se la velocità è raddoppiata, l'energia diverrà più di due volte maggiore. Ci chiediamo ora secondo quale legge l'energia aumenta con la velocità e cerchiamo nella nostra risposta di basarci solo su fatti semplici e che l'esperienza di ogni giorno rende familiari.

22. Gli artiglieri sanno che dando a una palla di cannone una velocità doppia, la sua forza di penetrazione o energia diverrà quasi quadrupla, e che attraverserà pressapoco una tavola quattro volte più spessa che una palla di cannone animata da una velocità metà meno grande; in altre parole diremo in linguaggio matematico che l'energia varia come il quadrato della velocità.

23. **Definizione di lavoro.** Dovendo approfondire, diviene necessario spiegare ai nostri lettori come è possibile misurare il lavoro in modo rigorosamente scientifico. Abbiamo definito l'energia come la capacità di compiere un lavoro, e sebbene ognuno di noi possiede una nozione generale del significato del termine lavoro, può darsi che questa nozione non sia sufficientemente precisa per lo scopo che ci proponiamo scrivendo questo volume. Bisogna misurare il lavoro. Fortunatamente, non avremo bisogno di cercare molto lontano delle procedure pratiche. Abbiamo sotto mano una forza che ci permette di

eseguire questa misura con la precisione più completa: è la gravità. Ora la prima operazione da fare in una misura numerica è la scelta di una unità; misuriamo un bastone in centimetri, e un percorso in chilometri, e in questo caso assumiamo il centimetro o il chilometro come nostra unità di misura. Parliamo di secondi, minuti, ore, giorni, anni quando vogliamo valutare il tempo. Prenderemo d'ora in poi il chilogrammo e il metro come unità.

Se ora innalziamo verticalmente di 1 m un peso di 1 kg, abbiamo coscienza di uno sforzo esercitato e di una resistenza provata da noi e proveniente dalla gravità. Spendiamo energia, e compiamo un lavoro innalzando questo peso. Conveniamo di considerarle come l'unità di lavoro che chiameremo chilogrammetro.

24. Se alziamo il chilogrammo a 2 m di altezza, compiremo evidentemente due unità di lavoro, se lo innalziamo a 3 m, produciamo 3 unità e così via. È ancora evidente che se innalziamo un peso di 2 kg a 1 m di altezza, abbiamo rispettivamente 2 unità di lavoro, 4 unità per 2 metri di altezza, e così via.

Questi esempi ci permettono di introdurre la regola seguente: Moltiplicare il peso sollevato (in chilogrammi) per l'altezza verticale (in metri) al quale è sollevato, il prodotto sarà il lavoro compiuto (in chilogrammetri).

25. **Rapporto tra la velocità e l'energia.** Ora che abbiamo dato una base al nostro edificio, cerchiamo di scoprire il rapporto esistente tra la velocità e l'energia. Ma prima diciamo qualche parola sulla velocità. È questo uno dei rari casi nei quali la nostra esperienza giornaliera ci aiuterà piuttosto nel creare la nostra concezione scientifica.

Abbiamo costantemente sotto gli occhi l'esempio di corpi che si muovono con velocità variabili. Così un treno che si avvicina a una stazione comincia a rallentare il suo movimento. Nel momento in cui cominciamo ad osservarlo, esso avanza con una rapidità di 50 km/h; un minuto dopo farà solo i 30 km/h, e infine, un minuto dopo sarà fermo. Non vi sono due momenti consecutivi in cui questo treno abbia marciato con la stessa velocità, e tuttavia possiamo dire in tutta esattezza che, durante uno di questi periodi, il treno facesse per esempio 40 km/h. Vogliamo dire evidentemente che se avesse continuato per un'ora a muoversi con la velocità che possedeva all'istante dell'osservazione, avrebbe percorso quaranta chilometri. Sappiamo che in realtà non ha mantenuto nemmeno per due secondi consecutivi la stessa velocità, ma questo fatto non ha alcuna conseguenza ed è senza influenza sul modo in cui la nostra mente si impadronisce del problema, tanto siamo abituati a vedere questi esempi di velocità variabile.

26. Immaginiamo ora un peso di un chilogrammo lanciato verticalmente dal basso in alto con una certa velocità iniziale di 9,8 m/s, per esempio. La gravità agirà evidentemente su questo peso, e non cesserà di diminuire la velocità della sua salita, così come se si trattasse del treno, farebbero i freni. È molto facile spiegare ciò che intendiamo per velocità iniziale di 9,8 m/s. Intendiamo in effetti che se la gravità non agisse e se l'aria non offrisse resistenza, infine se eliminassimo tutta l'influenza esterna sulla massa nella fase di salita, si troverebbe che esso percorrerebbe 9,8 m/s.

Ora è ben noto dallo studio delle leggi del moto di un corpo lanciato dal basso verso l'alto con una velocità di 9,8 m/s che verrà ridotta a zero quando sarà giunto ad un'altezza di 4,9 m. Se quindi si tratta di 1 kg, la sua velocità iniziale l'avrà reso in grado di sollevarsi di 4,9 m contro la forza di gravità; in altre parole, avrà compiuto 4,9 unità di lavoro. Possiamo supporre, che al termine della sua ascesa, e proprio nel momento di ridiscendere, lo si colpisca con una mano o che si trovi sul tetto di una casa, e ciò gli impedirà di ricadere a terra. Affermeremo quindi che 1 kg, lanciato dal basso in alto con la velocità di 9,8 m/s possiede una energia uguale a 4,9 poiché può sollevarsi da solo a 4,9 m di altezza.

27. Supponiamo ora che la velocità con la quale il chilogrammo è lanciato dal basso in alto è di 19,8 m/s. Per quanto sappiamo dalla dinamica il chilogrammo salirà non il doppio, ma quattro volte la distanza di prima, cioè giungerà fino ad un'altezza di 19,6 m. Se così è, secondo le regole di misura, il chilogrammo possiede ora quattro volte l'energia che aveva prima, poiché può alzarsi quattro volte tanto e di conseguenza compiere un lavoro quadruplo. Ne concludiamo che raddoppiando la velocità, l'energia è quadruplicata. Se la velocità iniziale fosse stata tripla di quella del primo caso, cioè 29,4 m/s, si osserverebbe che l'altezza raggiunta sarebbe stata di 44,1 m, di modo che triplicando la velocità, l'energia diviene nove volte maggiore.

28. Così, sia che misuriamo l'energia di un corpo in movimento dallo spessore delle tavole attraverso le quali è in grado di passare nel suo cammino, sia che la misuriamo tramite l'altezza alla quale può giungere da solo contro la gravità, il risultato al quale giungiamo è lo stesso. Troviamo che l'energia è proporzionale al quadrato della velocità e possiamo formulare la nostra conclusione nel modo seguente: Se v è uguale alla velocità iniziale espressa in metri al secondo, l'energia espressa in chilogrammetri sarà uguale a $v^2/19,6$. È evidente che se il corpo lanciato dal basso verso l'alto pesa due chilogrammi, tutto sarà raddoppiato, se pesa il triplo, tutto sarà triplicato di modo che alla fine, se rappresentiamo con m la massa del corpo in chilogrammi, la sua energia in chilogrammetri sarà uguale a $mv^2/19,6$. Per verificare l'esattezza di questa formula, basterà applicarla ai casi delle sezioni 1 e 12.

29. Possiamo fornire uno o due esempi. Supponiamo di dover trovare l'energia contenuta in una massa di 5 kg lanciata dal basso in alto con una velocità di 20 m/s.

Abbiamo $m = 5$ e $v = 20$, da cui

$$\text{Energia} = 5(20)^2 / 19,6 = 2000 / 19,6 = \text{circa } 102,04$$

Cerchiamo ora di trovare l'altezza alla quale questa massa si innalzerà prima di ricadere. Sappiamo che la sua energia è di 102,04 e che la sua massa è 5. Dividendo 102,04 per 5, otteniamo 20,408 come altezza alla quale questa massa di 5 kg si innalzerà compiendo un lavoro di 102,04 kgm.

30. In ciò che abbiamo detto, non abbiamo preso in considerazione né la resistenza né l'agitazione dell'atmosfera; di fatto, abbiamo ammesso che le esperienze si eseguono nel vuoto, o almeno tramite masse pesanti come il piombo che è poco influenzato dalla resistenza e dall'agitazione dell'aria. Non bisogna però dimenticare che un foglio di carta o una piuma lanciata con le velocità usate in precedenza saranno ben lontane dal raggiungere nell'aria le altezze trovate e che non tarderanno molto ad essere fermate dalla grande resistenza che esse incontrano e che è la conseguenza della loro grande superficie combinata con la loro piccola massa.

D'altra parte se la sostanza di cui facciamo uso è un grande sacco leggero e pieno di idrogeno, si innalzerà senza alcuno sforzo da parte nostra e non compiremo evidentemente alcun lavoro facendola salire a parecchi metri di altezza; al contrario, sarà uno sforzo sollevare noi stessi.

In una parola, ciò che abbiamo enunciato si rapporta solo alla gravità e non abbiamo considerato un mezzo resistente come l'atmosfera, la cui esistenza non ha bisogno di essere inserita nei nostri calcoli attuali. Ci ricorderemo però che se l'energia di un corpo in movimento dipende dalla sua velocità, essa è indipendente dalla direzione lungo la quale il corpo si muove. Abbiamo supposto che il corpo fosse lanciato dal basso in alto con una velocità data, ma potrebbe essere lanciato orizzontalmente con la stessa velocità e avrebbe in questo caso la stessa energia della precedente. Se si scaglia una palla di cannone verticalmente le si può far spendere la propria energia sia innalzandola sia

facendole forare una serie di tavole. Se ora si lancia la stessa palla in direzione orizzontale con la stessa velocità, forerà lo stesso numero di tavole.

Infine la direzione del movimento non ha importanza e la sola ragione per la quale abbiamo scelto un moto verticale è che, in questo caso, la forza di gravità si oppone in modo uniforme e costante al moto del corpo e ci permette di ottenere così una misura esatta del lavoro compiuto dalla palla che si crea un passaggio in opposizione a questa forza.

32. Tuttavia la gravità non è la sola forza e potremmo valutare l'energia di un corpo che si muove misurando di quanto bisognerebbe comprimere una molla, o come resisterebbe a una calamita. Riassumendo possiamo far uso della forza che più ci conviene per lo scopo che ci proponiamo. Se questa forza è costante, dovremo misurare l'energia del corpo in movimento dallo spazio che è in grado di percorrere contro l'azione di questa forza assolutamente nota. Nel caso della gravità abbiamo misurato l'energia del corpo dallo spazio percorso in ascesa contro l'azione del proprio peso.

33. Dobbiamo evidentemente ricordarci sempre che, se questa forza è più intensa della gravità, un corpo che percorre una breve distanza contro di essa rappresenterà la spesa di tanta energia quanta ne occorrerebbe per percorrere una distanza maggiore contro la gravità. Bisogna quindi prendere in considerazione l'intensità della forza e la distanza percorsa dal corpo contro la sua azione, prima di essere in grado di valutare in modo esatto il lavoro che è stato compiuto.

Capitolo 2 - L'ENERGIA MECCANICA - LA SUA TRASFORMAZIONE IN CALORE

34. **Energia di posizione.** Nel primo capitolo abbiamo spiegato ciò che intendiamo per energia e come essa dipenda dalla velocità di cui è animato un corpo in moto; stabiliamo ora che questa stessa energia o capacità di compiere lavoro può tuttavia essere posseduta da un corpo assolutamente a riposo. Ci rifacciamo alla sezione 1, che nel caso in cui abbiamo lanciato in verticale un chilogrammo l'abbiamo supposto afferrato al termine della sua ascesa e posto sul tetto di una casa. In questo luogo, sta senza muoversi ma non senza poter produrre lavoro e di conseguenza non senza energia. In effetti, sappiamo tutti che se lo lasciamo ricadere, colpirà il suolo con altrettanta velocità e di conseguenza, con tanta energia quanta quella posseduta quando all'inizio era stato scagliato dal basso in alto. O ancora, possiamo, se ci conviene, impiegare la sua energia per conficcare un palo o utilizzarla in molti altri casi.

Nella posizione elevata che occupa, possiede quindi energia; ma questa energia è di una natura statica e non è per nulla dovuta al movimento; essa proviene dalla posizione occupata dal chilogrammo sul tetto della casa.

Così come un corpo in movimento differisce completamente dal punto di vista dell'energia da un corpo a riposo, allo stesso modo un corpo posto sul tetto di una casa è molto diverso da un corpo posto ai piedi della stessa casa. Supponiamo infatti, due uomini dotati di destrezza e forza uguali nell'atto di lottare tra loro, ognuno di essi munito di un cumulo di pietre con le quali si propone di colpire il corpo del suo avversario. Tuttavia uno di questi uomini si è assicurato, per se stesso e per la sua scorta di proiettili, una posizione elevata in cima a una casa mentre il suo avversario deve accontentarsi se rimanere ai piedi della casa. È evidente che l'uomo posto in alto dovrà avere il vantaggio, non solo a causa della sua propria energia ma anche dall'energia che ricava dalla posizione elevata del suo cumulo di pietre. Vediamo quindi che esiste una sorta di energia derivante dalla posizione, così come un'altra dipendente dalla velocità; noi chiameremo d'ora in avanti la prima, energia di posizione, e la seconda, energia di movimento.

35. Prendiamo un altro esempio. Immaginiamo due mulini, l'uno vicino a un grande stagno, che occupa un livello più elevato, il secondo vicino ad un altro stagno posto ad un livello inferiore del suo. È appena necessario chiederci quale dei due lavorerà poiché è evidente che il secondo non trarrà alcun vantaggio dalla sua acqua posta troppo in basso mentre il primo approfitterà del suo livello più alto per far girare la sua ruota e compiere il suo lavoro. Così quindi l'acqua del livello superiore potrà produrre una grande quantità di lavoro, triturerà il grano, segherà tavole di legno, invece l'acqua del livello inferiore non sarà assolutamente in grado di eseguire un'opera qualunque.

36. Negli esempi che abbiamo mostrato abbiamo considerato la gravità come quella forza contro la quale dobbiamo produrre lavoro in virtù del quale una pietra o uno stagno in una posizione elevata occupano una posizione vantaggiosa e sono in grado di produrre lavoro cadendo al livello inferiore. Ma, oltre alla gravità, esistono altre forze rispetto alle quali un corpo può occupare una posizione vantaggiosa ed essere in grado di produrre lavoro allo stesso modo della pietra o dello stagno. Prendiamo per esempio la forza elastica, e consideriamo ciò che succede nel caso di un arco. Quando l'arco è teso, la freccia è evidentemente in una posizione vantaggiosa rispetto alla forza elastica dell'arco, e quando è scagliata, questa energia di posizione è trasformata in energia di movimento, così come quando abbiamo fatto cadere la pietra dal tetto della casa, la sua energia di posizione si è trasformata in moto effettivo. È lo stesso per un orologio caricato che è in una posizione

vantaggiosa rispetto alla forza elastica della grande molla e col muoversi degli ingranaggi, questa viene gradualmente cambiata in energia di movimento.

37. **Vantaggio della posizione.** La sorte di tutte le energie di posizione è di finire per convertirsi in energia di movimento. L'una può paragonarsi a un capitale depositato in una banca, l'altra a una somma di argento che possiamo spendere. Quando abbiamo dell'argento in una banca, possiamo ritirarlo tutte le volte che ne abbiamo bisogno; allo stesso modo possiamo fare uso, quando ci piace, dell'energia di posizione. Per essere meglio compreso, confrontiamo un mulino mosso da uno stagno e un altro dal vento. Nel primo caso, possiamo aprire le chiuse quando ci conviene, nell'altro, saremo obbligati ad attendere che so il vento. L'uno possiede l'indipendenza di un ricco, l'altro la dipendenza di un povero. Se proseguissimo ancora l'analogia, diremmo che il grande capitalista, l'uomo che ha acquisito una posizione elevata, è rispettato perché dispone di una grande quantità di energia; sovrano o generale in capo, deriva la propria forza dal fatto che possiede qualcosa che gli permette di fare uso dei servizi di altri. Quando l'uomo opulento paga un operaio che lavora per lui, in realtà converte una parte della sua energia di posizione in energia in atto, così come il mugnaio fa scorrere una parte dell'acqua del suo stagno al fine di poter ottenere un lavoro qualsiasi.

38. **Trasformazione dell'Energia visibile.** Ci siamo sforzati di mostrare che esiste un'energia di riposo e un'energia vivente, una energia di posizione e un'altra di movimento; descriviamo ora i cambiamenti che avvengono nell'energia di un peso lanciato verticalmente, mentre si innalza. Parte con una certa quantità di energia di movimento ma salendo, questa si trasforma in energia di posizione finché, giunto al termine della sua corsa, la sua energia è interamente dovuta alla posizione.

Supponiamo di lanciare verticalmente 1 kg con la velocità di 19,6 m/s. Dalla formula della sezione 1, esso contiene 19,6 unità di energia dovuta alla velocità che possiede. Se l'esaminiamo dopo un secondo, troveremo che si è innalzato di 14,7 m e ha ora una velocità di 9,8 m/s. Sappiamo (sezione 1) che questa velocità dimostra una quantità di energia effettiva uguale a 4,9, mentre l'altezza raggiunta corrisponde a un'energia di posizione uguale a 14,7. Di conseguenza, il chilogrammo possiede in questo momento un'energia totale di 19,6 di cui 14,7 unità sono dovute alla posizione e 4,9 al moto reale. Se lo esaminiamo dopo un altro secondo, vedremo che è a riposo di modo che la sua energia di movimento è esattamente nulla; è giunto ad innalzarsi di 19,6 m di modo che la sua energia di posizione è 19,6.

Non vi è quindi scomparsa di energia durante l'ascesa del chilogrammo, ma solo un cambiamento graduale di un tipo di energia in un'altra. Esso parte con una energia che si trasforma gradualmente in energia di posizione.

Ma se a un istante qualunque della sua ascesa, aggiungiamo l'energia attuale del chilogrammo a quella dovuta alla sua posizione, troveremo che il totale rimane sempre lo stesso.

39. Quando il chilogrammo inizia la sua discesa, è precisamente l'inverso. Parte senza alcuna energia di movimento ma con una certa quantità di energia di posizione; cadendo, la sua energia di posizione diviene minore e la sua energia in atto più considerevole, restando il totale sempre costante finché, al momento prima di giungere al suolo, la sua energia di posizione si è completamente trasformata in un'altra energia in atto; si avvicina ora al suolo con la velocità e di conseguenza con l'energia che possedeva al momento in cui era stato in precedenza scagliato verso l'alto,

40. **Piano inclinato.** Abbiamo studiato, dal punto di vista energetico, le trasformazioni subite da un chilogrammo lanciato verticalmente e lasciato poi ricadere al suolo. Possiamo variare la nostra ipotesi, innalzando verticalmente il nostro chilogrammo, ma

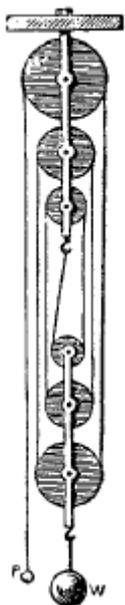
permettendogli di ridiscendere per mezzo di un piano inclinato e senza attrito. Immaginiamo che il chilogrammo sia sagomato in forma sferica o cilindrica e che il piano sia perfettamente liscio. Lo studio della dinamica ci dice che la velocità con cui si muove il chilogrammo nel raggiungere la parte inferiore del piano, uguaglierà quella che avrebbe avuto se fosse caduto in verticale dalla stessa altezza; adottando un simile piano inclinato, non abbiamo guadagnato o perso nulla relativamente all'energia.

In primo luogo non guadagniamo nulla. Supponiamo infatti che il chilogrammo arrivando alla base del piano inclinato possieda una maggiore velocità di quella che aveva all'inizio. Se così fosse sarebbe assai vantaggioso lanciare verticalmente il chilogrammo e farlo poi ridiscendere lungo un piano inclinato. Per mezzo di una apparecchiatura opportuna, si convertirà il dispositivo in una macchina a moto perpetuo e si accumulerà così una quantità illimitata di energia. Sfortunatamente ciò non è possibile.

D'altra parte, il piano inclinato, a meno di essere tutto ricoperto di asperità, lontano dall'appropriarsi qualche porzione dell'energia del chilogrammo, l'avrà restituita nella sua interezza al momento in cui la sua estremità inferiore sarà stata raggiunta. Poco importa la lunghezza e la forma del piano, che può essere dritto, curvo o a spirale. In tutti i casi, gli basta essere liscio e avere la stessa altezza verticale per dare la stessa quantità di energia costringendo il chilogrammo a cadere dal suo punto più alto a quello più basso.

41. Ma mentre l'energia rimane la stessa, la durata della discesa varia con la lunghezza e la forma del piano; poiché è chiaro che il chilogrammo impiegherà più tempo a scendere un piano poco inclinato che un piano la cui pendenza è molto ripida. Il piano poco inclinato richiederà più tempo dell'altro per determinare la velocità pretesa, ma tutte e due avranno prodotto lo stesso risultato per quanto riguarda l'energia, una volta che il chilogrammo avrà raggiunto il suo punto più basso.

42. Funzioni di una macchina. Noi lettori cominciamo ora a comprendere che l'energia non può essere creata e che non ci è possibile imbrogliare la natura facendola rendere più di quanto non sia in grado di fare. Allo scopo di imprimere ancora meglio questo principio fondamentale nella nostra mente, studiamo in dettaglio una o due apparecchiature meccaniche e vediamo in che cosa consistono rispetto all'energia.



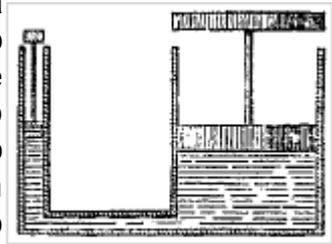
Cominciamo da un sistema di pulegge: abbiamo una potenza P applicata all'estremità di un filo passante per tutte le pulegge e che finisce per fissarsi tramite l'altra estremità a un gancio che termina la parte superiore o immobile. Il peso W è attaccato al sistema inferiore o mobile e si alza con esso. Supponiamo che le pulegge non abbiano peso, che i fili non subiscano alcun attrito, e che W sia sostenuto da sei fili (fig. 1). Si dice che affinché la macchina sia in equilibrio, bisogna che W sia uguale a sei volte P , in altre parole, con questo dispositivo, una potenza di 1 kg equilibrerà un peso di 6 kg. Se il valore di P aumenta di un solo grammo, il suo peso lo trascinerà, discenderà mentre W comincerà a salire. In un caso simile, dopo che P sarà sceso per esempio 6 m, il suo peso essendo per ipotesi di 1 kg, avrà perso una quantità di energia di posizione uguale a 6 unità poiché è a un livello sei volte più basso del precedente. Abbiamo quindi speso sulla nostra macchina 6 unità di energia, e abbiamo evidentemente ricevuto in cambio la salita di W che la meccanica ci indicherà essere di 1 m.

Ma se W pesa 6 kg, siccome è stato alzato di 1 m, avremo ottenuto una energia di posizione uguale a 6.

Durante la caduta di P , abbiamo speso sulla nostra macchina una quantità di energia uguale a sei unità e ottenuto dall'innalzamento di W una quantità equivalente e pure essa

uguale a sei unità. Non abbiamo in realtà né guadagnato né perso energia, l'abbiamo semplicemente messa sotto una forma più conveniente per l'uso che ne vogliamo fare.

43. Prendiamo ora una macchina del tutto diversa, la pressa idraulica. La fig. 2 mostra la propria modalità operativa. Abbiamo due cilindri, uno grande e un altro stretto collegato nella sua parte inferiore da una condotta rigida. Ognuno di questi cilindri è munito di un pistone che chiude ermeticamente, premendo su uno spazio riempito di acqua. È evidente, poiché i due cilindri sono in comunicazione e l'acqua è incomprimibile, che se ci appoggiamo su un pistone, l'altro si solleverà. Supponiamo la superficie del

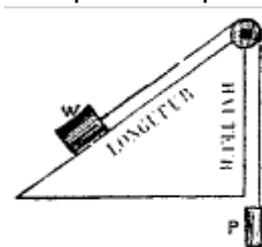


pistone piccolo di 1 cm^2 e quella del grande di 100 cm^2 , poi applichiamo sul primo un peso di 10 kg . L'idrostatica ci insegna che ogni centimetro quadrato del pistone grande sarà premuto dal basso verso l'alto con una forza di 10 kg , di modo che l'intero pistone salirà con una forza di 1000 kg ; in altri termini, si solleverà quando scenderà un peso di 1000 kg .

Possediamo di conseguenza una macchina in virtù della quale una pressione di 10 kg sul pistone piccolo renderà quello grande in grado di innalzarsi con una forza di 1000 kg . Ma è facile vedere che mentre il pistone piccolo scende di 1 m , l'altro si alzerà solo di 1 cm . In effetti la quantità di acqua sotto i pistoni resta sempre la stessa, se si abbassa di 1 m il cilindro stretto quello grande si innalzerà solo di 1 cm .

Supponiamo ora che guadagniamo per mezzo di questa macchina. Ci sistemiamo in modo che la potenza di 10 kg applicata al pistone piccolo scende di 1 m , e questo ci rappresenta la quantità di energia che abbiamo speso sulla nostra macchina mentre nel caso inverso otteniamo 1000 kg innalzati di un solo centimetro. Qui come nel caso delle pulegge, il ritorno di energia è precisamente lo stesso di quella spesa, e, purché evitiamo l'attrito, questa macchina non ci fa perdere né guadagnare assolutamente nulla. Ci limitiamo a mettere l'energia sotto una forma più conveniente; quello che guadagniamo in potenza lo perdiamo nello spazio, ma siamo disposti a compiere questo sacrificio di spazio o di rapidità di movimento, al fine di ottenere la tremenda pressione o forza che ci offre la pressione idrostatica.

44. **Principio delle velocità virtuali.** Questi esempi avranno preparati i lettori a comprendere la reale funzione di una macchina. Galileo per primo, formulò chiaramente questo principio: vide che in tutte le macchine, innalzando un peso considerevole per mezzo di un peso inferiore, si trova sempre che quest'ultimo moltiplicato per lo spazio di cui si abbassa uguaglia esattamente il primo moltiplicato per lo spazio di cui si innalza. Questo principio, detto principio delle velocità virtuali, ci permette immediatamente di valutare la posizione nella quale ci troviamo. Vediamo che il campo della meccanica non è un modo di operare che genera energia, ma una specie di mercato dove noi possiamo portare una specie particolare di energia e scambiarla con una equivalente di un'altra specie che ci conviene maggiormente. Se arriviamo senza nulla in mano, ripartiamo ancora con nulla. Una macchina non crea, trasforma; e questo principio, senza altre conoscenze di meccanica, ci permette di prevedere quali sono le condizioni di equilibrio di un dispositivo qualunque.



Esaminiamo pure una leva nella quale uno dei bracci è tre volte più lungo dell'altro. È evidente che se facciamo venir meno l'equilibrio della leva aggiungendo un solo grammo in modo da obbligare il braccio grande con la sua potenza a scendere, mentre quello piccolo con il suo peso sale, il primo cadrà di tre pollici, mentre il secondo si innalzerà di uno solo; in compenso un chilogrammo sul braccio lungo equilibrerà tre chilogrammi sul piccolo, in altre parole la potenza starà

al peso nel rapporto di uno a tre.

45. Prendiamo ancora il piano inclinato rappresentato nella figura 2. Abbiamo un piano liscio e un peso mantenuto fermo per mezzo di una potenza P. Se carichiamo P con un solo grammo aggiuntivo, porteremo W verso dal basso verso la sommità del piano. Ma dopo che questa azione è stata compiuta, è evidente che P ha disceso una distanza verticale uguale alla lunghezza del piano mentre d'altra parte W si è alzato di una altezza verticale uguale all'altezza del piano. Di conseguenza per conservare il principio delle velocità virtuali, P moltiplicato per l'altezza di caduta deve essere uguale a W moltiplicato per la spazio del quale si è sollevato, o infine,

$$p \cdot \text{lunghezza piano} = W \cdot \text{altezza piano}$$

$$P/W = \text{altezza} / \text{lunghezza}$$

46. **Effetti dell'attrito.** I due esempi citati bastano per permettere ai lettori di comprendere il ruolo effettivo di una macchina e tutti sono certo ben disposti a riconoscere che nessuna macchina restituirà più energia di quella spesa su di essa. Ma come ci spiegheremo che non ne restituisce di meno? In realtà ognuno sa che questo effetto si produce costantemente. Abbiamo supposto che la nostra macchina non fosse soggetta ad attrito. Ora, alcune macchine non presentano questa caratteristica, e di conseguenza il risultato da cui si può trarre profitto è più o meno ridotto da questo svantaggio. Se non possiamo vedere chiaramente il ruolo effettivo svolto dall'attrito, ci è impossibile provare la conservazione dell'energia. Comprendiamo bene che l'energia non può essere creata ma siamo altrettanto sicuri che non può essere distrutta. La nostra esperienza quotidiana sembra fornirci in apparenza dei motivi per credere che essa è stata distrutta. Se la teoria della conservazione dell'energia è vera, in altre parole, se l'energia di qualche tipo che abbiamo esaminato, è indistruttibile, sarà provato che l'attrito non distrugge l'energia, ma che la converte semplicemente in qualche altra forma, meno appariscente e forse meno utile.

47. Bisogna quindi prepararci a studiare gli effetti reali dell'attrito così come a riconoscere l'energia sotto una forma del tutto diversa da quella che è posseduta da un corpo in un moto osservabile. All'attrito possiamo aggiungere l'urto come modalità che può distruggere l'energia; il caso (sez. 39) di un chilogrammo lanciato verticalmente dal basso in alto ci ha mostrato che questo peso finirà per raggiungere il suolo con una energia uguale a quella con la quale è stato lanciato. Allo stesso modo potremmo spingere oltre la nostra esperienza e chiederci cosa diventa la sua energia dopo che ha urtato il suolo e che ha raggiunto una condizione di riposo.

Varieremo la domanda cercando ciò che diviene l'energia del colpo di martello del fabbro quando il martello ha colpito l'incudine, o quella della palla di cannone dopo che ha colpito il bersaglio, o infine quella del treno a rotaia dopo che si è fermato grazie all'attrito dei freni. In tutti questi esempi, l'urto o l'attrito sembrano aver distrutto l'energia osservabile. Ma prima di pronunciarci su questa distruzione apparente, cercheremo se nulla di simile appare nello stesso momento. L'energia assomiglia forse a questi magici orientali che possiedono la capacità di prendere una infinità di forme ma che stanno sempre molto attenti a non scomparire del tutto.

48. **Quando il Movimento è distrutto il Calore appare.** Per rispondere alla domanda che ci siamo posti, affermeremo in tutta fiducia che in tutti i casi dove l'energia sembra distrutta dall'urto o dall'attrito, qualcosa di nuovo fa la sua comparsa. Questo qualcosa, è il calore. È così che un pezzo di piombo posto su un incudine sarà fortemente riscaldato sotto i colpi in sequenza del martello da fabbro. L'urto dell'acciaio contro la selce produrrà calore e una palla da cannone dotato di rapido movimento, urtante contro un bersaglio di ferro, potrà arroventarsi. Relativamente all'attrito, si percepisce dalle scintille sprizzate dalle ruote sulle quali agiscono i freni che fermano un convoglio su rotaia e che gli assi delle ruote dei vagoni divengono molto calde al punto da creare occasionalmente incidenti se

non li si ingrassa a sufficienza. Lo scolaro striscia contro il suo banco un bottone di metallo e prova un vivo piacere ad appoggiarlo sulla mano del suo compagno; ma quando all'idea di far subire lo stesso trattamento alla sua mano, trova il bottone straordinariamente caldo.

49. **Il Calore è una varietà di Movimento.** La comparsa del calore per attrito o tramite urto fu a lungo considerata come inspiegabile poiché si credeva che il calore fosse una sostanza ed era difficile comprendere da dove provenisse. I sostenitori di questa ipotesi supposero che, in queste occasioni, il calore potesse essere ricavato dai corpi vicini, di modo che il calorico, nome dato alla sostanza immaginaria del calore, fosse strappato dall'attrito o dall'urto. Ma alcuni scienziati non considerarono tale ipotesi come una spiegazione, anche prima dell'epoca in cui Humphry Davy, verso la fine dell'ultimo secolo, dimostrò chiaramente che fosse insostenibile.

50. L'esperienza di Davy consistette nello sfregare uno contro l'altro dei pezzi di ghiaccio finché entrambi fossero quasi interamente fusi. Fece variare le condizioni delle sue esperienze in modo da mostrare che il calore prodotto in questo caso non potesse provenire da corpi vicini.

51. Fermiamoci un istante e consideriamo l'alternativa alla quale siamo portati da questa esperienza. Se vogliamo ancora guardare al calore come a una sostanza, poiché questo calore non è stato preso ai corpi circostanti, esso deve necessariamente essere stato creato dall'attrito. Se al contrario lo vediamo come una varietà di movimento, il fenomeno si semplifica, poiché l'energia di movimento essendo scomparsa nell'attrito, siamo in diritto di supporre che essa è stata trasformata in un tipo di movimento molecolare che chiamiamo calore. Tale è la conclusione alla quale giunse Davy.

52. Circa nello stesso periodo, un altro scienziato eseguì un'esperienza dello stesso tipo. Rumford assistendo alla foratura di un cannone presso l'arsenale di Monaco, fu fortemente colpito dall'enorme liberazione di calore prodotto durante questa operazione. La fonte di calore gli parve assolutamente inesauribile, e siccome si rifiutava di vedere la creazione di una sostanza speciale, giunse, come Davy, ad attribuirlo al movimento.

53 Ammettiamo che il calore sia una specie di movimento; ci resta da cercare di comprendere di che tipo di movimento si tratta, e in cosa differisce dal movimento consueto. Immaginiamo perciò un vagone pieno di viaggiatori, che si muove con una velocità considerevole; le persone che lo occupano saranno perfettamente a loro agio, poiché si muovono assai rapidamente con il treno e nella stessa direzione. Se il treno si ferma bruscamente, avverrà un disastro che metterà un termine immediato alla tranquillità dei viaggiatori. Supponendo che il vagone non si rompa e i suoi occupanti non muoiano, questi si troveranno in un violento stato di eccitazione, quelli che guardano verso la motrice saranno scagliati con forza contro i loro vicini, i quali a loro volta li respingeranno violentemente, poiché nel disastro generale si seguirà la dottrina dell'ognuna per sé. Ora ci basterà sostituire le particelle alle persone, e avremo un'idea di ciò che succede quando l'urto è trasformato in calore. Abbiamo, o supponiamo di avere, in questo atto, la stessa collisione violenta fra atomi. A è stato scagliato con la stessa contro B e da esso respinto; si effettua una lotta una confusione, una eccitazione dello stesso tipo. La sola differenza è che le particelle si scaldano, e non più degli esseri umani.

54. Siamo obbligati a riconoscere che la prova offerta non è diretta. In effetti, nel nostro primo capitolo, abbiamo spiegato l'impossibilità nella quale ci troviamo di non vedere mai queste particelle isolate e di osservarne i movimenti. Non possiamo quindi dimostrare direttamente che il calore è costituito da moti di questo tipo; non ci è possibile vederle, e pertanto, siccome siamo dotati di ragione, ci sentiamo sicuri che la nostra congettura è esatta. Ci restano quindi due alternative da adottare nella nostra argomentazione: o il calore consiste in un moto di particelle, o quando l'urto o l'attrito sono convertiti in calore,

si crea una sostanza particolare detta calorico; se il calore non è una specie di movimento esso deve essere necessariamente una specie di sostanza.

53. Sarebbe pertanto desiderabile rispondere a un avversario disposto ad ammettere la creazione di una sostanza per spiegare il calore. A questo avversario risponderemo che innumerevoli esperienze provano che un corpo caldo non sensibilmente più pesante di uno freddo, di modo che se il calore è una specie di materia, questa non è sottoposta alla legge della gravità. Se bruciamo del filo di ferro nell'ossigeno, siamo in diritto di dire che l'ossigeno si combina con il ferro poiché sappiamo che il prodotto formato è più pesante del ferro originario impiegato precisamente della quantità di peso che il gas ha perso. Ma non esiste alcuna prova che stabilisca che durante la combustione il ferro si è combinato a una sostanza detta calorico e questa assenza di prova basta per autorizzarci a considerare il calore come una specie di movimento piuttosto che una specie di sostanza.

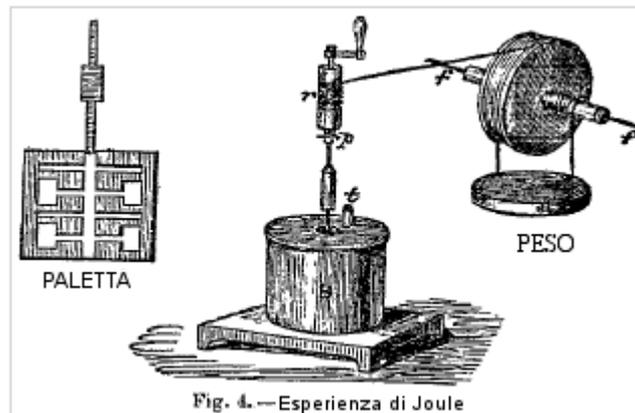
56. Il calore è un movimento avanti e indietro e viceversa. È quasi inutile far osservare che il calore deve essere una sorta di movimento avanti e indietro e viceversa, poiché è ben chiaro che una sostanza scaldata non è animata di un moto di insieme, e che se la si depone su una tavola essa non si agiterà nè in un senso nè in un altro. I matematici spiegano questa particolarità dicendo che benché esista un violento moto interno tra le particelle, il centro di gravità della sostanza rimane a riposo, e come, nella maggior parte delle applicazioni, supponiamo che un corpo si comporta come se fosse concentrato nel suo centro di gravità, possiamo dire che il corpo è a riposo.

57. Prima di andare oltre, prendiamo un esempio dall'acustica. Immaginiamo che un uomo sia perfettamente in equilibrio su un piatto di una bilancia, e che un poco di acqua entri in un suo orecchio; diverrà evidentemente più pesante e una bilancia sufficientemente sensibile avvertirà la differenza di peso. Ma supponiamo che un suono o un rumore entri nel suo orecchio, quest'uomo potrà affermare che qualcosa è entrato in lui, ma tuttavia questo qualcosa non è un corpo materiale e l'equilibrio non sarà alterato. Ora una persona nel cui orecchio è entrato un suono si può paragonare a una sostanza dove è entrato del calore; un corpo scaldato è, a pieno titolo, simile a un corpo che risuona, e siccome le particelle di quello si muovono avanti e indietro e viceversa, si ammetterà che anche le particelle del corpo scaldato lo siano. Ritroveremo del resto (sez. 162, un'altra occasione di basarci ancora su questa similitudine).

58. **Equivalente meccanico del calore.** Siamo pertanto giunti a concludere che quando un corpo pesante, per esempio un peso di un chilogrammo, urta il suolo, l'energia osservabile di questo chilogrammo è trasformata in calore; ora che abbiamo stabilito il fatto di una relazione tra queste due forme di energia, ci occuperemo immediatamente di studiare secondo quale legge l'effetto calorico dipende dall'altezza di caduta. Ammettiamo che lasciamo cadere un chilogrammo d'acqua da una altezza di 848 m e di avere la possibilità di confinare e di trattenere nelle sue particelle tutto l'effetto calorico prodotto; supporremo che la sua discesa avvenga in due periodi: prima cada su una piattaforma da un'altezza di 424 m, e che di conseguenza si scaldi, poi si lasci di nuovo la massa scaldata ricadere di altri 424 m. È chiaro che l'acqua sarà ora doppiamente scaldata o, in altre parole, il potere calorico in un simile caso sarà proporzionale all'altezza dalla quale il corpo cade, cioè sarà proporzionale all'energia effettiva che il corpo possiede prima che l'urto abbia trasformato questo in calore. Allo stesso modo l'energia effettiva, rappresentata dalla caduta da una certa altezza, è proporzionale all'altezza, allo stesso modo il potere calorico o energia molecolare nella quale si è trasformata l'energia effettiva è proporzionale all'altezza. Ora che questo punto è stabilito, desideriamo sapere di quanti metri deve cadere 1 kg di acqua per scaldarsi di 1 grado centigrado.

59. È a Joule, di Manchester, che dobbiamo una determinazione precisa di questo punto importante.

Questo scienziato, più forse di tutti gli altri, ha posto la scienza dell'energia su una base solida; egli ha eseguito numerose esperienze allo scopo di giungere al rapporto esatto esistente tra l'energia meccanica e il calore, cioè per determinare l'equivalente meccanico del calore. In alcune delle più importanti si è servito con vantaggio dell'attrito dei fluidi.



60. Queste esperienze furono condotte nel modo seguente. Un certo peso fisso era attaccato a una puleggia come si vede nella figura 4. Il peso tendeva evidentemente a scendere e di conseguenza a far ruotare la puleggia.

Questa puleggia aveva il proprio asse sostenuto in ff da ruote che ne diminuivano di molto l'attrito dovuto al moto al moto della puleggia. Una corda passante attorno alla puleggia si arrotolava in r di modo che, quando il peso scendeva, la puleggia ruotava e, di conseguenza, faceva ruotare molto rapidamente r. Ora, l'asse r penetrava nell'interno della cassetta B ed era associato a un sistema di palette di cui si vede un bozzetto in figura. Vi erano, inoltre, quattro pezzi adattati in modo fisso alla cassetta e incassati esattamente nelle parti libere della palette. Si riempiva la cassetta con un liquido, la palette ruotava e obbligava il liquido a urtare le parti fisse, le quali a loro volta obbligavano il liquido a seguire il movimento della palette. Durante questa esperienza, si faceva scendere il peso di una certa altezza esattamente misurata; la palette di metteva in moto e ci si serviva così dell'energia del peso discendente per scaldare l'acqua contenuta nella scatola B. Appena il peso si trovava al termine della corsa, si staccava una piccola chiavetta p, e lo si rifaceva salire senza far agire la palette contenuta in B; si accumulava così l'effetto calorico di un certo numero di cadute fino a farlo divenire considerevole per poter essere valutato esattamente con l'aiuto di un termometro. Non dimentichiamo di menzionare che si aveva grande cura, non solo di ridurre l'attrito degli assi della puleggia, ma anche di stimare questo attrito e di correggere i suoi effetti nel modo più esatto possibile. Riassumendo, tutte le precauzioni erano prese per il successo dell'esperienza.

61. M. Joule eseguì altre esperienze in una delle quali si faceva ruotare un disco contro un altro disco di ghisa che lo serrava, e tutto il sistema era immerso in un recipiente in ghisa riempito di mercurio. M. Joule concluse da queste esperienze che la quantità di calore prodotta dall'attrito, se ci è possibile conservarlo e misurarlo esattamente, è sempre proporzionale alla quantità di lavoro speso. Egli espresse questa proporzione dando il numero di unità di lavoro, in chilogrammetri, necessari per innalzare di 1 °C la temperatura di 1 kg di acqua. In queste ultime esperienze, le più precise, ottenne il numero 424. Se ne può concludere che se si lascia cadere 1 kg di acqua da un'altezza di 424 m 3 se si arresta bruscamente il suo movimento, si genererà sufficiente calore per innalzare di 1 °C la temperatura dell'acqua.

62. Prendendo il chilogrammetro come unità di lavoro e il calore necessario per innalzare di 1°C un chilogrammo di acqua come unità di calore, si esprimerà questa proporzione dicendo che un'unità di calore è uguale a 424 unità di lavoro. Si indica frequentemente

questo il numero con il nome di equivalente meccanico del calore e nelle formule matematiche lo si rappresenta con la lettera J , iniziale del nome di Joule.

63. Abbiamo ora stabilito la relazione esatta esistente tra l'energia meccanica e il calore, ma prima di andare oltre nel nostro studio delle dimostrazioni delle grandi leggi della conservazione, cerchiamo di familiarizzare il lettore con le altre varietà di energia. Ci è, in effetti, necessario comprendere bene i diversi mascheramenti che assume il nostro stregone prima di pretendere di spiegare i principi che presiedono alle sue trasformazioni.

Capitolo 3 - FORZE ED ENERGIE DELLA NATURA - LEGGE DI CONSERVAZIONE

64. Nel precedente capitolo, abbiamo presentato al nostro lettore due tipi di energia, l'una visibile, l'altra invisibile o molecolare; bisogna ora ricercare altre varietà in tutti i campi della scienza fisica. È bene ricordare che tutta l'energia è di due tipi: di posizione e di moto in atto; questa distinzione è vera sia per l'energia molecolare invisibile che per quella visibile. L'energia di posizione implica un corpo in una posizione vantaggiosa relativamente a una forza qualunque e questa osservazione ci autorizza a cominciare le nostre ricerche dall'indagine delle diverse forze della natura.

63. **Gravitazione.** La più generale e probabilmente la più importante di queste forze è la gravitazione. Si può enunciare nel modo seguente la legge di azione di questa forza: ogni particella dell'universo attrae ogni altra particella con una forza che dipende dalla massa della particella attricante e da quella della particella attratta e che varia in ragione inversa del quadrato della distanza tra di loro.

In effetti, poniamo una particella o un sistema di particelle di massa unitaria, a una distanza unitaria da un'altra particella o sistema di particelle di massa pure unitaria; vi sarà una attrazione reciproca che consideriamo ancora uguale all'unità. Supponiamo ora che da una parte due sistemi di questo tipo possiedano una massa rappresentata da 2, e dall'altra lo stesso sistema con una massa rappresentata dall'unità, e che tuttavia la distanza che le separa rimane fissa. È chiaro che il sistema doppio attirerà il sistema semplice con una forza doppia. Ammettiamo che la massa dei due sistemi sia raddoppiata, restando la distanza sempre la stessa, avremo una forza quadrupla poiché ogni unità di un sistema attirerà ogni unità dell'altra. Allo stesso modo, se la massa di un sistema è 2, quella dell'altro 3, la forza sarà 6. Chiamiamo per esempio A1, A2, gli elementi di un sistema, A3, A4, A5 gli elementi dell'altro, A1 sarà spinto verso A3, A4 e A5 con una forza tripla, A2 lo sarà verso A3, A4 e A5 con una forza tripla, il totale sarà pertanto una forza uguale a 6.

Se, restando uguali le masse, si raddoppia la distanza che le separa, la forza diverrà quattro volte minore; triplicando questa distanza, la forza diverrà nove volte minore e così via.

66. Si può considerare la gravitazione come una forza molto debole capace di agire a distanza, o almeno essa sembra possedere questa caratteristica. Serve l'intera massa della terra per produrre la forza che ci è così familiare alla sua superficie, e la presenza di una grande massa rocciosa o di una montagna non causa alcuna differenza apprezzabile nel peso di una sostanza qualunque. È la gravitazione della terra, evidentemente ridotta dalla distanza, che agisce sulla luna e quella del sole che influenza allo stesso modo la terra così come i diversi altri pianeti del nostro sistema.

67. **Forze elastiche.** Le forze elastiche, sebbene molto diverse dalla gravità nel loro modo di agire, sono tuttavia dovute a disposizioni visibili della materia: così quando si tende un arco, si manifesta un cambiamento visibile in questa arma che resiste alla nostra trazione e tende a riprendere la sua posizione originaria. Serve quindi realmente e visibilmente dell'energia per tendere un arco come per sollevare un peso al di sopra della terra, e l'elasticità è una varietà di forza tanto reale quanto la gravità. Non proveremo qui a discutere i diversi modi in cui può agire questa forza o come una sostanza solida elastica resisterà ai tentativi fatti per deformarla, ma in tutti i casi, è evidente che si deve spendere lavoro sui corpi e che si incontrerà e si dovrà vincere la forza elastica prima che si possa effettuare qualsiasi deformazione osservabile.

68. Forza di coesione. Abbandoniamo le forze che animano grandi masse di materie e studiamo quelle che sussistono tra le piccole particelle di cui queste grandi masse sono composte. Diremo dapprima qualcosa sulle molecole e gli atomi e parleremo della distinzione che conviene stabilire tra le une e le altre anche se siamo del tutto incapaci di osservarle singolarmente.

Nel nostro primo capitolo (sez.7), abbiamo supposto la suddivisione continua di un granello di sabbia fino ad arrivare alla più piccola entità che mantiene tutte le proprietà della sabbia; le abbiamo dato il nome di molecola; più piccola di così non si può più chiamare sabbia. Se continuiamo questa suddivisione, la molecola di sabbia si separa nei suoi elementi chimici cioè in silicio e ossigeno. Arriviamo così ai più piccoli corpi suscettibili di portare il nome, l'uno di ossigeno, l'altro di silicio, e siccome guardiamo questi elementi come dei corpi semplici, non abbiamo alcun motivo di pensare che possano dividersi ulteriormente. Si chiamano atomi questi costituenti della molecola di silicio e diciamo che la molecola di sabbia è divisibile negli atomi di silicio e di ossigeno.

Abbiamo un altro forte motivo per credere che queste molecole e che questi atomi esistono realmente, ma ci è, per ora, impossibile entrare negli argomenti relativi alla loro esistenza: è per questo che pregheremo i nostri lettori di voler assumere ciò come dimostrato.

69. Consideriamo due molecole di sabbia: quando vengono molto ravvicinate, esse esercitano una attrazione molto forte l'una sull'altra. È in realtà questa attrazione che rende così difficile spezzare una particella cristallina di sabbia o un frammento di cristallo di rocca, ma essa si manifesta solo quando le molecole sono molto ravvicinate tali da formare una struttura cristallina omogenea. Se in effetti aumentiamo leggermente la distanza che le separa, troviamo che l'attrazione svanisce completamente. È per questo che vi è poca o nessuna attrazione tra i diversi granelli di un pugno di sabbia anche quando la si comprime con forza. L'integrità di un pezzo di vetro è dovuta all'attrazione che si esercita tra le molecole, ma se queste sono separate da un semplice soffio troviamo che questo aumento così piccolo nella distanza diminuisce di molto l'attrazione tra le particelle; il vetro si rompe sotto la minima trazione. Questi esempi bastano a mostrare che l'attrazione molecolare o coesione, come è detta, è una forza che agisce con una intensità notevole a una certa distanza molto piccola, ma che si annulla interamente quando questa distanza diviene percepibile. È nei solidi che la coesione è maggiore; nei liquidi essa è molto debole e scompare completamente nei gas. Le molecole di gas sono in realtà talmente lontane che esercitano tra loro poca o nessuna forza attrattiva. Il fatto è stato dimostrato dal Dr Joule di cui abbiamo già parlato.

70. **Forza di affinità chimica.** Consideriamo ora le forze che agiscono tra gli atomi. Esse hanno la caratteristica di essere più intense di quelle che agiscono tra le molecole, ma esse svaniscono ancora più rapidamente all'aumentare della distanza. Prendiamo del carbone e dell'ossigeno, sostanze assai propense a combinarsi tra loro per formare l'anidride carbonica appena hanno la possibilità di farlo. In questo caso, ogni atomo di carbonio si unirà a due di ossigeno e il risultato sarà del tutto diverso dai due componenti originari. Pertanto, nelle circostanze comuni, il carbone o il carbon fossile che è pure carbone, resteranno inalterati in presenza di ossigeno o dell'aria atmosferica contenente ossigeno. Questi elementi non avranno alcuna tendenza a combinarsi poiché, sebbene le particelle di ossigeno sembrano essere a contatto diretto con quelle di carbonio, esse non sono ancora sufficientemente vicine per permettere all'affinità chimica di agire. Ma quando la distanza diventa sufficientemente piccola, l'affinità chimica inizia ad agire. Abbiamo il familiare fenomeno della combustione la cui conseguenza è l'unione chimica del carbonio con l'ossigeno dell'aria e il cui risultato è l'anidride carbonica.

L'affinità chimica è pertanto una forza molto intensa che agisce ad una distanza notevolmente piccola, ed essa rappresenta l'attrazione che si esercita tra gli atomi di diversi corpi in opposizione alla coesione che l'attrazione tra le molecole dello stesso corpo.

71. Se vediamo la gravità come rappresentante delle forze che agiscono o sembrano agire a distanza, consideriamo la coesione e l'affinità chimica come rappresentanti di forze che, anche se molto intense, non agiscono o non sembrano agire se non a distanza molto piccole. Una semplice riflessione ci farà comprendere quanti inconvenienti avremmo se la gravitazione diminuisse rapidamente con la distanza, poiché supponendo che la forza che ci trattiene sulla superficie della terra esista sempre, quella che trattiene la luna potrebbe sparire del tutto, così come quella che tiene la terra vincolata al sole; le conseguenze sarebbero poco piacevoli. Se, d'altra parte, l'affinità chimica esistesse a tutte le distanze, se per esempio il carbonio potesse combinarsi con l'ossigeno senza la necessità di impiegare calore, il valore di questo combustibile per l'umanità sarebbe diminuito di molto e il progresso dell'attività umana sarebbe bloccato.

72. **Osservazioni sulle forze molecolari e atomiche.** È importante ricordarci che dobbiamo trattare la coesione e l'affinità chimica assolutamente come abbiamo trattato la gravità; così come abbiamo energia di posizione relativa alla gravità, così possiamo avere una specie di energia di posizione che si riferisce alla coesione e all'affinità chimica. Studiamo dapprima la coesione.

73. Abbiamo finora considerato il calore come un movimento particolare delle molecole della materia che non ha alcun legame con la forza che agisce su queste molecole. Si sa che in generale, i corpi si dilatano quando li si scalda di modo che grazie a questa espansione, le molecole di un corpo sono allontanate violentemente tra loro in opposizione alla forza di coesione. Un lavoro è stato compiuto contro questa forza, così come, quando solleviamo da terra un chilogrammo, si compie un lavoro contro la gravità. Quando scaldiamo una sostanza, siamo quindi autorizzati a supporre che il calore svolge un doppio ruolo: una parte va ad aumentare i moti reali delle molecole, un'altra separa le molecole le une dalle altre contro la forza di coesione. Così, se faccio ruotare orizzontalmente un peso attaccato alla mia mano con un filo elastico di caucciù, la mia energia si distribuirà in due modi: in primo luogo comunicherà una velocità al peso, in secondo luogo allungherà il filo per il fenomeno della forza centrifuga.

Avviene probabilmente un fenomeno di questo tipo quando si scalda un corpo. Possiamo, infatti, supporre che il calore consiste in un moto verticale o circolare la cui tendenza sarebbe di separare tra loro le molecole in opposizione alla forza di coesione. Una parte dell'energia termica si spenderà per aumentare il movimento, un'altra per separare le particelle. Ammetteremo che nella maggior parte dei casi, la maggior parte dell'energia termica va ad aumentare il moto molecolare invece di effettuare lavoro contro la forza di coesione.

74. Sebbene in certe circostanze è probabile che la maggior parte del calore applicato, lungi dall'accrescere i moti delle molecole, si spenda per compiere lavoro contro le forze molecolari. Così quando un corpo solido si fonde o quando un liquido diviene gassoso, si spende durante questo fenomeno una quantità significativa di calore che non diviene osservabile o in altri termini che non è misurata dal termometro. Per fondere un chilogrammo di ghiaccio, basta una quantità di calore uguale a quella che è sufficiente per innalzare un chilogrammo di acqua a 80° e tuttavia, quando è fusa, l'acqua non è più calda del ghiaccio.

Esprimiamo questo fatto dicendo che il calore latente dell'acqua è 80. Reciprocamente, se un chilogrammo di acqua a 100° è interamente convertita in vapore, serve tanto calore quanto per innalzare l'acqua di 537°C , oppure portare 537 kg di acqua a 1° e il vapore

non è più caldo dell'acqua. Esprimiamo questo fatto dicendo che il calore latente del vapore acqueo è 537. In questi due casi, è estremamente probabile che una parte considerevole del calore è spesa per compiere lavoro contro la forza di coesione; più in particolare quando un fluido è trasformato in gas, sappiamo che le molecole sono talmente isolate tra loro da perdere qualsiasi traccia di forza reciproca.

Dedurremo da ciò la conseguenza che, nella maggior parte dei casi, la maggior parte del calore applicato a un corpo è speso per accrescere il suo movimento molecolare, e una sola una piccola parte per compiere lavoro contro la coesione, sebbene quando un solido fonde o un liquido vaporizza, una grande parte del calore richiesto è certamente speso per compiere lavoro in opposizione alle forze molecolari. Ma l'energia, sebbene spesa, non è persa; in effetti, quando un liquido congela di nuovo o il vapore condensa, questa energia è immediatamente trasformata in calore osservabile come quando si lascia cadere una pietra dal tetto di una casa, la sua energia di posizione si cambia in energia in atto.

75. Un solo esempio basterà per dare ai nostri lettori un'idea dell'intensità delle forze molecolari. Se si prende una barra di ferro la cui temperatura supera di 10° quella del mezzo circostante e la si fissa saldamente alle sue estremità, essa avvicinerà queste con una forza enorme. Gli architetti si servono di questa forza per riportare in verticale edifici che rischiano di crollare; li attraversano con barre di ferro che vengono poi scaldate nei muri; raffreddando, esse si contraggono e i muri vengono riavvicinati.

76. Consideriamo le forze atomiche, cioè quelle che producono un legame chimico e studiamo l'influenza del calore su di esse. Abbiamo visto che il calore produce una separazione tra le molecole di un corpo, cioè aumenta la distanza tra due molecole contigue, ma bisogna supporre che, in questo tempo, le molecole non subiscono alcuna alterazione?

La tendenza del calore a causare una separazione non si limita ad accrescere l'intervallo tra le molecole, agisce anche per aumentare la distanza compresa tra le parti di una stessa molecola; la sua energia si spende per separare l'uno dall'altro i diversi atomi costituenti contro la forza di affinità chimica e per separare le molecole contro la forza di coesione, in modo che a una temperatura molto elevata, è probabile che la maggior parte dei composti chimici verranno scomposti. D'altronde, molto lo sono pure ad una temperatura molto moderata.

Così l'attrazione tra l'ossigeno e l'argento è così debole che a una temperatura relativamente bassa l'ossido di argento è scomposto. Allo stesso modo il calcare o carbonato di calcio è scomposto quando lo si cuoce in un forno caldo; l'anidride carbonica si libera e ne resta la calce viva. Separando atomi eterogenei contro l'azione della forza intensa dell'affinità chimica, si compie anche sicuramente del lavoro isolando le une dalle altre delle molecole contro la forza di coesione o sollevando da terra una pietra contro la forza di gravità.

77. Sappiamo che il calore esercita molto frequentemente la sua influenza per effettuare questa separazione e che esso spende così energia; ma altri agenti energetici, così come il calore, producono la scomposizione chimica. Certi raggi di sole riducono l'anidride carbonica in carbonio e in ossigeno nelle foglie delle piante e spendono la loro energia in questo compito; esse separano due sostanze tenute da una reciproca e intensa attrazione contro l'affinità reciproca che esse possiedono. La corrente elettrica è in grado di separare certe sostanze, e, evidentemente, spende la sua energia.

78. Alludiamo a questa separazione chimica quando parliamo del carbonio come di una fonte di energia. Il carbonio possiede una grande attrazione per l'ossigeno, e tutte le volte che interviene il calore, questi due corpi si uniscono. L'ossigeno, come esiste nell'atmosfera, è patrimonio comune dell'umanità, e se, oltre a questo gas, qualcuno di noi

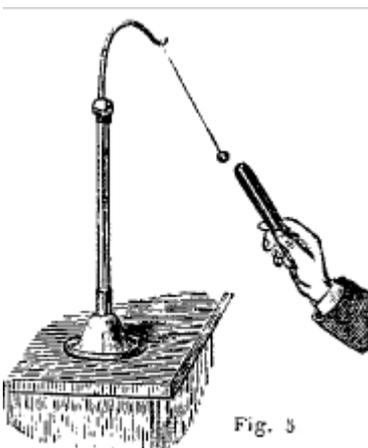
possiede del carbone fossile nelle cave o nelle gallerie delle miniere, ci saremo assicurati una scorta di energia di posizione di cui potremo fare uso più facile che dello stagno, poiché esso sarà suscettibile di essere trasportato in ogni parte che vorremo. Il carbone stesso non costituisce la fonte di energia, ma essa è dovuta a ciò che possediamo del carbonio, da una parte, e dell'ossigeno, dall'altro, e che abbiamo i mezzi di farli combinare dovunque lo desideriamo. Se non ci fosse ossigeno nell'aria, il carbonio da solo non avrebbe alcun valore.

79. **Elettricità: le sue proprietà.** Noi lettori siamo ora informati sulla forza di coesione che esiste tra le molecole dello stesso corpo e sull'affinità chimica esistente tra gli atomi di corpi diversi. L'eterogeneità è un elemento essenziale di quest'ultima forza, e deve esistere una differenza qualunque perché essa possa manifestarsi; e le sue comparse sono frequentemente caratterizzate da fenomeni molto straordinari ed interessanti. Vogliamo parlare di questa manifestazione che proviene da forze di corpi eterogenei che chiamiamo elettricità. Prima di andare oltre, è bene dare un rapido cenno sul modo di agire di questo agente così misterioso e interessante.

80. La scienza dell'elettricità è di origine molto antica ma ha avuto un umile inizio. Per duemila anni, essa fece solo deboli progressi, per divenire poi, in poco più di un secolo, il gigante che conosciamo oggi. Gli antichi Greci sapevano che l'ambra sfregata con la seta possiede la proprietà di attrarre i corpi leggeri, e Gilbert, circa trecento anni fa, mostrò che un grande numero di altri corpi come lo zolfo, la ceralacca e il vetro, possiedono le stesse proprietà dell'ambra.

In seguito ai progressi della scienza, si finì per riconoscere che certe sostanze sono suscettibili di trasportare facendola sparire l'influenza particolare prodotta, mentre altre non sono in grado di farlo. Le prime si chiamano conduttrici e le seconde non conduttrici o isolanti. Al fine di rendere chiara la distinzione, prendiamo una bacchetta metallica fissata a un'asta di vetro e sfregiamo il vetro con un pezzo di seta accertandosi che la seta e il vetro siano caldi e secchi. Troveremo che il vetro ha acquisito la proprietà di attrarre piccoli pezzetti di carta o midollo di sambuco, ma solo nei punti sfregati poiché l'influsso particolare acquisito da questo vetro non è in grado di propagarsi su tutta la superficie.

Se, prendendo la barretta di vetro, sfregiamo la bacchetta metallica, produrremo la stessa proprietà nel metallo ma essa si estenderà dappertutto e non sarà confinata alla sola parte sfregata. Il metallo è quindi conduttore mentre il vetro è isolante cioè non conduttore di elettricità.



81. Osserveremo in seguito che questo influsso è di due tipi. Per provarlo, eseguiamo la seguente esperienza.

Sospendiamo una piccola pallina di midollo di sambuco mediante un filo di seta molto sottile come si vede nella figura 3. Sfregiamo una barretta di vetro caldo e secco e facciamo toccare la pallina. Questa pallina, dopo essere stata toccata, sarà respinta dal vetro. Sfregiamo ora in un modo simile una bacchetta di ceralacca per mezzo di un pezzo di flanella secca e calda. Avvicinando questa bacchetta essa attrarrà la pallina che prima era respinta dal vetro. Si mostrerà analogamente che una pallina di midollo, toccata prima dalla cera lacca eccitata, sarà poi respinta dalla cera e attratta dal vetro.

Ne risulta un principio, cioè che i corpi carichi di elettricità simile si respingono.

Dal fatto che la pallina caricata di elettricità proveniente dal vetro è stata attratta dalla ceralacca elettrizzata, concludiamo che corpi carichi di elettricità diversa si attraggono reciprocamente. Si dà a volte all'elettricità del vetro il nome di elettricità vetrosa e a quella

della cera il nome di elettricità resinosa; più frequentemente, si chiama la prima positiva e la seconda negativa convenendo tuttavia che questi termini non implicano per nulla l'idea che l'una di queste influenze possieda una natura positiva e che l'altra possieda una natura negativa; questi termini esprimono semplicemente l'antagonismo apparente che esiste tra i due tipi di elettricità.

82. È importante sottolineare che tutte le volte che si produce un tipo di elettricità, se ne produce altrettanta della specie diversa. Così nel caso del vetro eccitato dalla seta, abbiamo elettricità positiva sviluppata sul vetro e altrettanta elettricità negativa sviluppata sulla seta. Sfregando della cera con la flanella, la cera è elettrizzata negativamente e la flanella positivamente.

83. Questo fatto ha dato origine alla teoria dell'elettricità o perlomeno a una valutazione della sua natura che, se non è pienamente corretta, sembra raggruppare i diversi fenomeni che si manifestano. Secondo questa ipotesi, si suppone che un corpo neutro, non eccitato, contiene una provvista di due elettricità combinate tra loro di modo che quando un simile corpo viene eccitato, si opera una separazione. I fenomeni che abbiamo descritto sono dovuti di conseguenza a questa separazione elettrica e siccome le due elettricità hanno una grande affinità l'una per l'altra, serve energia per produrre tale separazione così come per sollevare una pietra da terra.

84. È bene sottolineare che non avviene separazione elettrica se non quando di sfregano l'uno contro l'altro corpi eterogenei. Sfregando della flanella contro il vetro otteniamo elettricità, ma non ne abbiamo se sfregiamo della flanella contro del vetro ricoperto di flanella. Sfregando della seta contra la cera ricoperta di seta o infine due parti della stessa sostanza, non si ha alcuna produzione di elettricità.

D'altra parte una differenza molto piccola nella struttura basta qualche volta a produrre una separazione elettrica. Così sfregando longitudinalmente due pezzi di uno stesso nastro di seta non si ha elettricità, ma se si sfregano trasversalmente, uno è elettrizzato positivamente, l'altro negativamente.

Questo elemento di eterogeneità è di una importanza così grande nello sviluppo dell'elettricità che ci porta a supporre che si può probabilmente vedere l'attrazione elettrica come particolarmente legata alla forza dell'affinità chimica. Comunque sia, l'elettricità e l'affinità chimica non si manifestano solo tra corpi diversi da un qualunque punto di vista.

85. L'elenco seguente comprende diversi corpi classificati in base all'elettricità che essi sviluppano quando li si sfrega tra loro; ognuno di loro è elettrizzato positivamente quando lo si sfrega con una delle seguenti sostanze:

1 - Pelle di gatto	2 - Flanella	3 - Avorio	4 - Vetro	5 - Seta
6 - Legno	7 - Gomma lacca	8 - Resina	9 - Metalli	10 - Zolfo
11 - Caucciù	12 - Guttaperca	13 - Polvere di cotone		

Così sfregando della resina con una pelle di gatto o con della flanella, questa pelle o questa flanella saranno elettrizzate positivamente e la resina negativamente; sfregando del vetro con della seta, il vetro sarà elettrizzato positivamente e la seta negativamente.

86. Il nostro obiettivo non è di descrivere qui in dettaglio la macchina elettrica, tuttavia ricorderemo che essa si compone di due parti, una destinata a generare elettricità per mezzo dello sfregamento di un cuscino contro un disco di vetro, l'altro consistente in un sistema di cilindri di ottone che presentano una superficie considerevole e sostenuti da colonne in vetro allo scopo di raccogliere e di trattenere l'elettricità prodotta.

87. **Induzione elettrica.** Supponiamo di aver azionato una macchina di questo tipo e accumulato una certa quantità considerevole di elettricità positiva in un cilindro A.

Prendiamo due cilindri B e C in ottone, sostenuti da colonne di vetro; questi due cilindri sono a contatto ma possono allontanarsi uno dall'altro rispetto al centro, nel posto indicato dalla linea tracciata sulla figura 3. Avviciniamo ad A l'insieme B e C. Per prima cosa B e C non sono elettrizzati, in altre parole le loro due elettricità non sono separate ma mescolate.

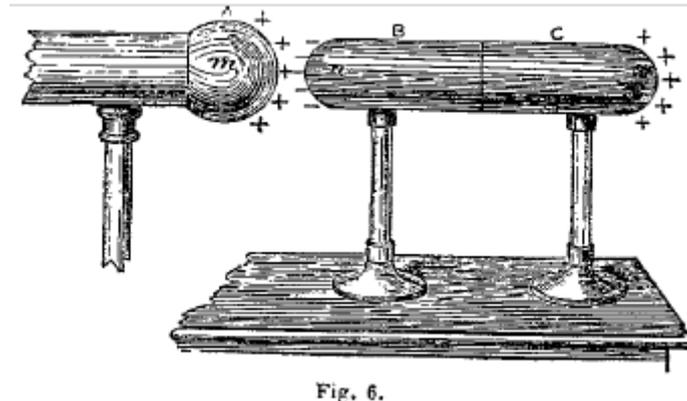


Fig. 6.

Tuttavia, all'avvicinarsi di A, l'elettricità positiva di A scorporerà le due elettricità di B e C; attirerà verso di sé l'elettricità negativa e respingerà la positiva il più lontano possibile. Le elettricità saranno quindi disposte nel modo mostrato in figura. Se ora si allontana C da B, si avrà su C una certa quantità di elettricità positiva servendosi di quella che era inizialmente su A; ci siamo serviti della scorta iniziale o del nostro capitale di elettricità contenuto in A per ottenere elettricità positiva su C senza diminuire l'insieme del nostro capitale originario. Questa azione a distanza o questo contributo reso dall'elettricità iniziale per separare quella di B e di C è detta induzione elettrica.

88. Si può eseguire l'esperienza in modo leggermente diverso. Lasciamo B e C uniti e spingiamoli a loro volta e gradualmente verso A. All'avvicinarsi di B e C ad A, la separazione delle loro elettricità aumenta sempre più fino a che essendo separate solo per un piccolo spessore di aria, le due elettricità che sono accumulate acquisteranno una forza sufficiente a superare l'ostacolo e ad unirsi grazie ad una scintilla.

89. Ci si serve con vantaggio del principio di induzione quando si vuole ottenere l'accumulo di una grande quantità di elettricità. Si impiega allora molto frequentemente uno strumento detto bottiglia di Leyda. Si compone di un vaso di vetro rivestito internamente ed esternamente da un foglio di stagno così come si vede nella fig. 3. Un'asta di ottone che termina con una pallina dello stesso metallo è a contatto con il foglio di stagno interno e passa attraverso un tappo che chiude l'apertura del vaso. Abbiamo due rivestimenti metallici che non sono elettricamente connessi tra loro. Per caricare questa bottiglia, mettiamo il rivestimento esterno a contatto con il suolo per mezzo per mezzo di una catena e facciamo passare l'elettricità positiva mettendo il pomello dell'asta metallica a contatto con una macchina elettrica. L'elettricità positiva si accumulerà sul rivestimento interno a contatto con l'asta; essa scorporerà le due elettricità del rivestimento esterno, scaccerà al suolo l'elettricità positiva ma attrarrà quella negativa. Queste due elettricità possono essere paragonate a due eserciti nemici che si fanno guerra e sono desiderosi di venire alle mani, ma sono separati da un ostacolo insuperabile. Essi rimarranno così, uno di fronte all'altro, sempre al loro posto, e si rafforzeranno entrambi grazie all'arrivo di nuovi rinforzi. Possiamo accumulare allo stesso modo una quantità considerevole delle due elettricità sui due rivestimenti della bottiglia e queste vi resteranno per lungo tempo, soprattutto se l'atmosfera circostante e la superficie della bottiglia sono perfettamente secchi. Ma appena si sarà creata una comunicazione elettrica tra i due rivestimenti, le elettricità si precipiteranno una contro l'altra e si uniranno



Fig. 7.

sotto forma di una scintilla; se ci si serve del corpo umano per stabilire il contatto, il paziente subirà uno choc violento.

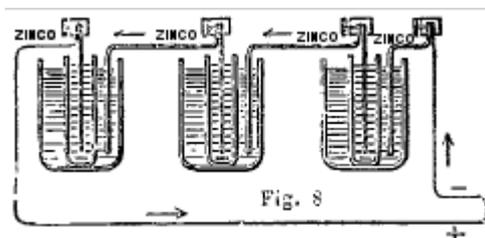
90. Sembrerebbe che quando due cariche di elettricità opposta sono avvicinate, si precipitino l'una verso l'altra, formando una corrente, e il risultato finale è una scintilla. Ora questa scintilla implica calore, essa non è altro che un insieme di piccole particelle di una materia qualunque portata ad un calore intenso.

Abbiamo in primo luogo la conversione della separazione elettrica in una corrente di elettricità e, in secondo luogo, la conversione di questa corrente in calore. In questo caso, la corrente dura per un tempo molto breve; la scarica di una bottiglia di Leyda dura probabilmente non più di $1/24000$ di secondo.

91. **Corrente elettrica.** In altri casi, abbiamo correnti elettriche, meno potenti è vero di quella della scarica di una bottiglia di Leyda, ma che durano maggiormente nel tempo e sono continue invece di essere istantanee.

Possiamo osservare una differenza di questo tipo nel caso dell'energia vivibile. Per mezzo della polvere da sparo potremmo in un istante sollevare in aria una grossa massa di acqua, o anche sollevare per mezzo di un getto di acqua, la stessa massa durante un tempo assai lungo e in un modo molto più lento. La medesima differenza sussiste per le cariche elettriche e ora che abbiamo parlato del modo violento con cui le due elettricità opposte si ricombinano con una esplosione o una scintilla, studiamo la corrente voltaica così principalmente tranquilla e effettiva nella quale i due stessi agenti si riuniscono in un modo continuo.

92. Il nostro scopo non è di dare una descrizione completa, storica e scientifica, di una pila voltaica; uno studio rapido basterà ai nostri lettori per permettere loro di comprendere quali ne sono la struttura e l'effetto. Cominceremo quindi col descrivere la pila di Grove che è probabilmente la disposizione più efficace tra tutte quelle di cui si dispone per produrre una corrente elettrica.



Questa pila si compone di una serie di vasi collegati tra loro come nella fig. 8 che rappresenta una pila a tre componenti. Ogni componente è formata da due recipienti, uno esterno in vetro o in terra cotta, l'altro interno in porcellana non verniciata e di conseguenza porosa. Il vaso esterno è riempito di acido solforico diluito e contiene, immersa nell'acido, una placca di

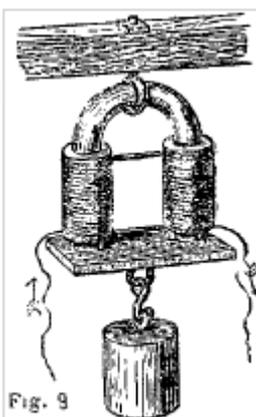
zinco amalgamato, cioè lucidato con mercurio. Nel vaso interno poroso, versiamo acido nitrico puro e vi immergiamo una lamina di platino elettricamente collegato alla placca di zinco del recipiente successivo per mezzo di una vite. I due metalli devono essere molto puliti nei punti in cui sono pressati uno contro l'altro, in altre parole queste sono le reali superfici metalliche che devono essere a contatto. Infine un filo di rame è metallicamente in comunicazione con il platino del compartimento di sinistra e un filo simile con lo zinco del compartimento di destra; tutte e due sono, tranne alle loro estremità, ricoperti di guttaperca o di seta. Le estremità libere di questi fili sono ai poli della pila.

93. Supponiamo di possedere una pila composta da un grande numero di componenti di questo tipo e che tutto l'apparecchio sia isolato da supporti di vetro o mantenendolo in un modo qualunque al di fuori del contatto con la terra. Se, impiegando i metodi idonei, analizziamo l'estremità del filo fissato alla lamina di platino di sinistra, troveremo che essa è caricata di elettricità positiva mentre l'estremità dell'altro filo mostra elettricità negativa.

94. Se uniamo tra loro i due poli di una pila, le due elettricità si riuniscono, vi sarà una corrente elettrica non più istantanea ma continua e, per un certo tempo, una corrente passerà attraverso i fili e anche attraverso tutto l'apparecchio, compresi i diversi componenti. La direzione della corrente sarà tale che si potrà supporre che l'elettricità positiva viene restituita dallo zinco al platino attraversando il liquido e inversamente, sempre lungo il filo dal platino di sinistra allo zinco di destra. Questa direzione è indicata dalle frecce tracciate sul disegno.

95. Abbiamo così due punti da considerare. In primo luogo, prima che i due punti siano messi a contatto, sono carichi di elettricità opposta; poi, appena sono avvicinati, si produce una corrente continua di elettricità. Questa corrente è un agente potente; andiamo a studiare le sue diverse proprietà e i principali effetti che è in grado di produrre.

96. **Effetti magnetici.** La corrente può deviare l'ago di una calamita. Prendiamo una bussola e facciamo circolare una corrente di elettricità nel filo posto vicino all'ago e nella direzione della sua lunghezza, la direzione di questo ago cambierà immediatamente: essa dipenderà dalla corrente dalla quale il filo è attraversato e l'ago tenderà a disporsi a croce con il filo.



Per ricordarvi il rapporto esistente tra la direzione della corrente e quella della calamita, supponete che il vostro corpo faccia parte della corrente positiva entrante dai vostri piedi e uscente dalla vostra testa, e che il vostro viso sia ruotato verso la corrente. Il polo della calamita che si dirige verso nord sarà sempre deviato dalla corrente dalla parte della vostra mano sinistra. Si può misurare la forza di una corrente dallo spostamento prodotto su un ago magnetico e ci si serve per questa misura di uno strumento detto galvanometro.

97. La corrente è in grado non solo di deviare un ago magnetico ma anche di magnetizzare il ferro dolce. Prendiamo il filo collegato a un polo della pila, ricopriamolo con un filo di seta al fine di isolarlo e arrotoliamolo attorno a un cilindro di ferro dolce, fig. 9. Se facciamo comunicare l'altra estremità del filo con il secondo polo di una pila, in modo da far passare la corrente, constateremo che il nostro cilindro di ferro dolce è divenuto una potente calamita e che sospingendola ad un anello come si vede nella figura, è in grado di sostenere un peso assai considerevole.

98. **Effetto calorico.** La corrente elettrica possiede anche la proprietà di scaldare un filo attraverso il quale passa. Per provarlo, colleghiamo i due poli di una pila mediante un filo sottile di platino, dopo qualche secondo, questo lo renderà arroventato. La corrente scalderebbe un filo di grosso diametro, ma meno di uno sottile, poiché possiamo supporre che esso si precipita con una grande violenza attraverso la sezione limitata di un filo sottile producendo al suo passaggio una temperatura molto elevata.

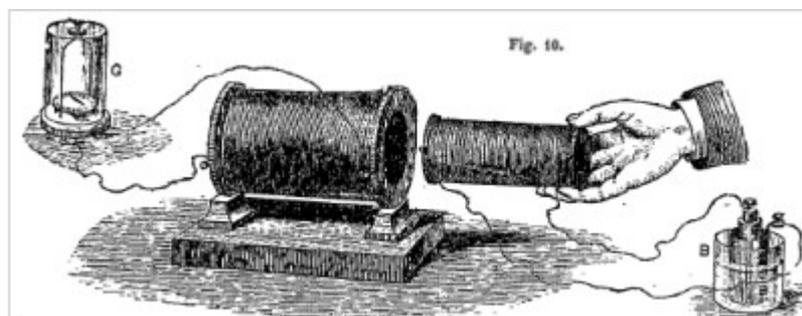
99. **Effetto chimico.** Oltre ai suoi effetti magnetici e calorici, la corrente ha, in certe condizioni, la capacità di scomporre le sostanze composte. Supponiamo per esempio che i poli di una pila, invece di essere messi a contatto, siano immersi in un contenitore pieno di acqua. Si verificherà una scomposizione immediata. Si libereranno piccole bolle di ossigeno al polo positivo e bolle di idrogeno al polo negativo. Se si riuniscono i due gas in una campana, si potrà infiammarli e, raccogliendoli separatamente, si proverà tramite le reazioni abituali che uno è ossigeno e l'altro idrogeno.

100. **Attrazione e repulsione delle correnti.** Ora che abbiamo rapidamente studiato gli effetti magnetici, calorici e chimici delle correnti, ci resta da esaminare gli effetti che esse producono le une sulle altre. Prendiamo due fili paralleli tra loro e conducenti correnti che hanno la stessa direzione; se questi due fili hanno la facoltà di muoversi, essi si attrarranno reciprocamente. Se tuttavia i fili, sebbene paralleli, conducono correnti di

direzioni opposte, essi si respingeranno. Un modo facile per dimostrare sperimentalmente questo fenomeno consiste nel far galleggiare sull'acqua due correnti circolari. Se vanno entrambe in una stessa direzione, come le lancette di un orologio, esse si attrarranno, e si respingeranno nel caso contrario.

101. **Attrazione e repulsione delle calamite.** Ampère che scoprì questa proprietà delle correnti ha anche mostrato che a un gran numero di punti di vista, si può confrontare una calamita a un insieme di correnti tutte parallele e di direzione tale che se si considera il polo nord di una calamita cilindrica liberamente sospesa e rivolto verso le correnti, la corrente positiva discenderà verso est o a sinistra e salirà a ovest o a destra.

Adottando questo modo di vedere, ci rendiamo facilmente conto dell'attrazione e della repulsione che si esercita tra i poli contrari di una calamita. Infatti, quando i poli opposti saranno messi uno di fronte all'altro, le correnti circolari che si contrappongono andranno nella stessa direzione e quindi si attrarranno, mentre se poli simili si fronteggiano, le correnti che si contrappongono si dirigono in direzioni opposte e quindi si respingono.



102. **Induzione di correnti.** Prima di concludere questo rapido esame dei fenomeni elettrici, diremo qualche parola degli effetti di induzione che le correnti esercitano le une sulle altre. Supponiamo due bobine formate da fili metallici ricoperti di seta e arrotolate le une contro le altre (fig. 10). Colleghiamo le due estremità della bobina a destra con i poli di una pila in modo da far circolare in quella una corrente elettrica. Colleghiamo ora la bobina di sinistra con un galvanometro al fine di permetterci di riconoscere la più debole corrente passante in questa bobina. Avviciniamo le due bobine; nella bobina di sinistra passerà una corrente momentanea che devierà l'ago calamitato del galvanometro ma si sposterà in una direzione contraria alla direzione di quella che passerà nella bobina di destra.

103. Fintanto che la corrente continuerà a percorrere il filo di destra, non vi sarà corrente nell'altro filo ma nel momento in cui cesserà il contatto tra il filo di destra e la pila, ci sarà ancora una corrente momentanea nel filo di sinistra e questa volta, nella stessa direzione di quella del filo di destra. In altre parole, stabilendo il contatto nel filo di destra, si produce nel filo di sinistra una corrente momentanea e di direzione opposta, mentre togliendo il contatto nel filo di destra, si manifesta nel filo di sinistra una corrente momentanea e della stessa direzione.

104. Affinché si produca questa induzione di correnti, non è necessario far passare e interrompere la corrente nel circuito di destra, e possiamo sempre lasciarla passare e disporre in modo che avvenga alternativamente, mantenendola sempre in contatto con la pila, avvicinando e allontanando la bobina di destra: quando essa si avvicinerà, l'effetto prodotto sarà lo stesso di quando si stabilisce il contatto, e avremo una corrente indotta in una direzione opposta a quella del primo; quando si allontanerà, otterremo una corrente nella stessa direzione.

105. Vediamo quindi che sia che lasciamo ferme le due bobine o che produciamo bruscamente una corrente nella bobina di destra, sia che conserviamo questa corrente in azione costante e che la portiamo rapidamente nelle vicinanze dell'altra, l'effetto di

induzione è assolutamente lo stesso poiché, nei due casi, la bobina di sinistra è portata bruscamente alla presenza di una corrente. Non vi è ancora alcuna differenza se interrompiamo bruscamente la corrente di destra o se l'allontaniamo dal filo di sinistra poiché, nei due casi, questa bobina è virtualmente allontanata fuori dalla presenza di una corrente.

106. **Elenco delle diverse energie.** Siamo attualmente in grado di enumerare i diversi tipi di energia che si incontrano in natura. Faremo solo notare ai nostri lettori che questo elenco non è per nulla assoluto o completo e rappresenta, non lo stato attuale delle nostre conoscenze, ma piuttosto quello della nostra ignoranza ancora così profonda sulla struttura ultima della materia. La offriamo solo come una classificazione conveniente.

107. Cominciamo dall'energia osservabile. Abbiamo dapprima.

1. (A) *Energia di movimento osservabile.* Energia osservabile del moto reale, nei pianeti, nelle meteore, nelle palle di cannone, negli uragani, nel fiume che scorre e in una moltitudine di casi di moto osservabile reale troppo numerosi per essere elencati.

2. (B) *Energia osservabile di posizione.* Abbiamo ancora energia osservabile di posizione in una pietra in cima a una roccia, una stagno di acqua che occupa una posizione elevata, una nube carica di pioggia, un arco teso, un orologio o un pendolo caricato e in diversi altri casi.

108. Spesso i due casi (A) e (B) si manifestano alternativamente. Così un pendolo, nel punto più basso della sua corsa, possiede solo l'energia (A) del moto effettivo e in virtù della quale sale fino a una certa altezza contro la forza di gravità. Ma, quando ha compiuto la sua salita, la sua energia è del tipo (B) ed è dovuta alla posizione. Continuando la sua oscillazione, il pendolo cambia alternativamente la natura della sua energia, da (A) a (B) e poi di nuovo da (B) ad (A).

109. Un corpo vibrante fornisce un altro esempio di questa alternanza. Ogni particella di un simile corpo si può confrontare con un pendolo estremamente piccolo oscillante indietro e in avanti e poi avanti e indietro, ma molto più rapidamente di un pendolo ordinario. Quando una particella vibrante passa al punto di riposo, la sua energia è interamente del tipo (A) ma quando raggiunge il limite del suo spostamento essa appartiene alla varietà (B).

110. (C) *Moto calorico.* Arrivando all'energia molecolare o invisibile, si ha dapprima questo movimento delle molecole dei corpi che chiamiamo calore. Sarà più corretto chiamarlo calore assorbito per distinguerlo da calore raggiante che ha caratteristiche diverse. Il particolare movimento comunicato dal calore quando è assorbito da un corpo, è quindi un tipo di energia molecolare.

(D) *Separazione molecolare.* Un effetto analogo è quello del calore; esso rappresenta una posizione piuttosto che un movimento reale. Una parte dell'energia del calore assorbito è spesa per separare le molecole del corpo contro la forza attrattiva che tende ad unirle (sez. 73); si fa in tal modo una provvista di energia di posizione che scompare appena il corpo è raffreddato.

111. (E) *Separazione atomica o chimica.* Si possono considerare i due tipi di energia precedenti come in relazione con le molecole piuttosto che con gli atomi, e con la forza di coesione piuttosto che con quella dell'affinità chimica. Passando ora alla forza atomica, abbiamo un genere di energia di posizione dovuta alla separazione di diversi atomi sotto l'azione della potente attrazione chimica che essi esercitano uno sull'altro.

Così quando abbiamo carbonio o carbone e ossigeno separati tra loro, siamo in possesso di una fonte di energia che si può chiamare energia di separazione chimica.

112. (F) *Separazione elettrica*. L'attrazione che atomi eterogenei possiedono gli uni per gli altri danno tuttavia a volte luogo a un tipo di energia che si manifesta nella forma molto particolare della separazione elettrica, la quale è quindi una nuova forma di energia di posizione.

113. (G) *Elettricità in movimento*. Ma abbiamo un altro genere di energia riferito all'elettricità; è quella dovuta all'elettricità in movimento o, in altre parole, a una corrente elettrica che rappresenta probabilmente una forma qualunque di moto reale.

114. (H) *Energia raggiante*. Si sa che non vi è materia ordinaria o almeno quasi nessuna materia tra il sole e la terra, e tuttavia abbiamo una specie di energia che si può chiamare energia raggiante e che ci proviene dal sole con una velocità definita, sebbene molto grande, poiché impiega circa otto minuti per compiere il tragitto.

Si sa inoltre, che questa energia raggiante consiste nelle vibrazioni di un mezzo elastico che riempie tutto lo spazio e che si chiama etere. Poiché consiste in vibrazioni, eguaglia il carattere del movimento del pendolo, cioè l'energia di una particella qualunque di etere è alternativamente di posizione e di movimento reale.

115. **Legge di conservazione**. Ora che ci siamo sforzati, almeno provvisoriamente, di classificare le nostre diverse energie, siamo in grado di stabilire in modo più definito ciò che intendiamo per conservazione dell'energia. Per questo, consideriamo l'Universo nel suo insieme, o se è troppo immenso, immaginiamo, se è possibile, di isolarne una piccola porzione che, rispetto alla forza o all'energia, formerà una sorta di microcosmo sul quale potremo più convenientemente dirigere la nostra attenzione. In tal modo questa porzione non cederà alcuna parte della sua energia all'universo al di fuori di esso e nemmeno ne riceverà. È evidente che un tale isolamento è impossibile e non si può incontrare in natura, ma siccome lo si può immaginare, avrà almeno il merito di concentrare i nostri pensieri. Ora, sia che guardiamo all'universo, sia che gettiamo gli occhi sul microcosmo, il principio della conservazione dell'energia afferma che la somma di tutte le diverse energie è una quantità costante, cioè, per adottare il linguaggio dell'algebra:

$$(A) + (B) + (C) + (D) + (E) + (F) + (G) + (H) = \text{costante}$$

116. Questo principio non significa evidentemente che (A) stesso è costante, così come per nessun altro termine della precedente equazione; in realtà questi termini si trasformano continuamente gli uni negli altri. Talvolta energia osservabile si converte in calore o in elettricità, talaltra del calore o dell'elettricità ritorna allo stato di energia osservabile; questo principio significa che la somma di tutte queste energie è costante.

Abbiamo otto quantità individualmente variabili e noi affermiamo che la loro somma rimane invariata.

117. Se ci si chiede di fornire una prova della nostra affermazione, risponderemo che possediamo la dimostrazione più forte possibile che la natura speciale del caso possa ammettere. Questa affermazione è particolare per la sua grandezza, la sua universalità, la natura sottile degli agenti che fa intervenire; se essa è vera, la sua esattezza non si può certo dimostrare nello stesso modo di una proposizione geometrica. Essa non ammette una prova così rigorosa come quella del principio, in parte analogo, della conservazione della specie, poiché in chimica, abbiamo la facoltà di confinare i prodotti della nostra combinazione chimica abbastanza completamente per provare, senza ombra di dubbio, che nessuna materia pesante cessa di esistere. Quando del carbone brucia nell'ossigeno abbiamo un semplice cambiamento di condizione. Ma ci è impossibile dimostrare così facilmente che non si distrugge energia in questa combinazione e che l'unico risultato è un cambiamento di energia di separazione chimica in energia di calore assorbito; in effetti, durante il fenomeno, non possiamo isolare l'energia, e qualunque cosa facciamo, ne sfuggirà sempre una certa parte nella camera dove operiamo. Una parte sfuggirà dalla

finestra, un'altra abbandonerà pure la terra e si disperderà nello spazio. In un caso simile, tutto ciò che possiamo fare è valutare nel modo più completamente possibile quanta energia è sfuggita. Questa valutazione implica una grande conoscenza delle leggi dell'energia e una rigorosa precisione nell'osservazione: riassumendo i nostri lettori comprenderanno immediatamente che è assai più difficile dimostrare la verità della conservazione dell'energia che quella della conservazione della materia.

118. Tuttavia siamo in grado di fornire la dimostrazione indiretta più consistente possibile della sua esattezza. I nostri lettori hanno di certo familiarità con un metodo frequentemente adottato da Euclide per dimostrare le sue proposizioni. Il sapente geometra comincia col supporre che quelle sono false, e, ragionando secondo questa ipotesi, arriva a una conclusione assurda, da cui conclude che esse sono vere. Noi adotteremo un metodo pressapoco simile per il nostro principio, solo che invece di supporre che sia inesatto, ammettiamo che sia esatto.

Mostreremo perciò che esso implica certe conseguenze, certi risultati; così aumentando la pressione dobbiamo abbassare il punto di congelamento dell'acqua. Eseguendo l'esperienza, troviamo che questa conseguenza si verifica e ci fornisce un argomento a favore della conservazione dell'energia.

119. Se le leggi dell'energia sono vere, si troverà che tutte le volte che un corpo si contrae quando si scalda, la combustione non lo scalderà ma al contrario lo raffredderà. Sappiamo che l'acqua a 0° , cioè a una temperatura appena superiore a quella del suo punto di congelamento, si contrae fino a 5° invece di dilatarsi. Ora, Sir William Thomson ha mostrato sperimentalmente che l'acqua a questa temperatura è raffreddata e non scaldata da una brusca compressione. Il caucciù ci offre un altro esempio di questa relazione tra queste due proprietà; poiché, se noi tiriamo una striscia di questa sostanza, essa si raffredda, in altre parole, la sua temperatura si innalza a causa dell'estensione e si abbassa per contrazione; se, inversamente, noi scaldiamo la striscia, essa diminuirà in lunghezza invece di dilatarsi.

120. Esiste un numero infinito di casi in cui ci è possibile prevedere ciò che accadrà ammettendo l'esattezza delle leggi dell'energia; l'esattezza di queste leggi è dimostrata in tutti i casi in cui possiamo sottoporli alla prova di una esperienza rigorosa; è difficile trovare dimostrazioni migliori. Ammetteremo quindi d'ora in poi che la conservazione dell'energia è sempre vera e daremo al nostro lettore un elenco di diverse trasformazioni che subisce questo agente che cambia così complicato da misurare e, strada facendo, presenteremo alcune osservazioni che finiranno certamente per convincere i nostri lettori dell'esattezza della nostra ipotesi.

Capitolo 4 - TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA

121. **Energia di movimento osservabile.** Cominciamo il nostro esempio di trasformazioni dallo studio dell'energia di movimento osservabile. Questa è trasformata in energia di posizione quando si lancia una pietra in alto o, per prendere un esempio assolutamente simile, quando un pianeta o una cometa vanno dal loro perielio, cioè dalla loro posizione più vicina al sole, al loro afelio o posizione più lontana. Vediamo anche come avviene che un corpo celeste si muova più velocemente al suo perielio che al suo afelio. Se pertanto un pianeta deve muoversi attorno al sole seguendo un'orbita esattamente circolare, la sua velocità sarà la stessa nei diversi punti della sua orbita, poiché non vi sarà alcuna variazione nella sua distanza dal centro di attrazione e di conseguenza nessuna trasformazione di energia.

122. Abbiamo già detto (sezz. 108,109) che in un corpo oscillante o vibrante, l'energia è alternativamente di movimento reale e di posizione. Da questo punto di vista, un pendolo è quindi simile a una cometa o a un corpo celeste che percorre la sua orbita ellittica. Tuttavia la variazione di energia è in genere più completa in un pendolo o in un corpo vibrante che in un corpo celeste; infatti, in un pendolo, quando si trova nel suo punto più basso, l'energia è interamente di movimento, ma nel suo punto più alto, essa è interamente di posizione. In un corpo celeste, abbiamo solo una diminuzione e non una completa distruzione della velocità mentre il corpo passa dal perielio all'afelio, abbiamo solo una conversione parziale di un tipo di energia in un altro.

123. Consideriamo ora la trasformazione di energia in calore assorbito. Questo fenomeno ha luogo in tutti i casi di attrito, di percussione e di resistenza. Anche nell'attrito, abbiamo la conversione di lavoro o di energia in calore. Davy ha mostrato che due pezzi di ghiaccio, al di sotto del punto di congelamento, possono essere fusi dall'attrito. Nella percussione, l'energia del colpo è convertita in calore, mentre nel caso di una meteora o di una palla di cannone che attraversa l'aria con grande velocità, si ha una perdita di energia presso la meteora o la palla in conseguenza del loro contatto con l'aria; e nello stesso tempo si produce calore a causa di questa resistenza.

La resistenza non ha bisogno di essere atmosferica poiché facendo attraversare alla palla delle tavole di legno o di sabbia vi sarà ancora produzione di calore a causa della resistenza offerta al movimento. Possiamo pure generalizzare ulteriormente e affermare che tutte le volte che il moto osservabile di un corpo è trasferito a una massa più grande, vi è conversione di energia visibile in calore.

124. È necessario chiarire questo punto con una breve spiegazione.

La terza legge del moto ci insegna che l'azione e la reazione sono uguali e opposte di modo che quando due corpi si urtano, le forze in campo producono momenti uguali e opposti. Comprenderemo meglio il significato di questa legge con un esempio numerico, ricordando che il termine momento significa il prodotto della massa per la velocità.

Supponiamo che un corpo non elastico di massa 10 e velocità 20 urti direttamente un altro corpo non elastico di massa 15 e velocità 15, essendo uguale la direzione dei due moti. Si sa che la massa totale si muoverà dopo l'urto con la velocità 17. Quale è stata quindi l'influenza delle forze sviluppate dalla collisione? Il corpo con la velocità maggiore possedeva prima dell'urto un momento $10 \times 20 = 200$; dopo l'urto il suo momento è solo $10 \times 17 = 170$; si è avuta una perdita di 30 unità rispetto al momento, e noi possiamo supporre che un momento di 30 unità gli è stato imposto in una direzione opposta a quella del suo movimento iniziale. D'altra parte il corpo con una velocità minore aveva prima un momento di $15 \times 15 = 225$; ha poi $15 \times 17 = 255$ unità: cosicché il suo momento è stato aumentato di 30 unità nella sua direzione iniziale.

La forza d'urto ha generato 30 unità di momento, lungo due opposte direzioni, di modo che tenendo conto della direzione, il momento del sistema è lo stesso prima e dopo l'urto; infatti avevamo inizialmente un momento di $10 \times 20 + 15 \times 15 = 425$ e poi la massa totale 25 si muove con la velocità 17 e dà ancora il momento 425.

125. Ma mentre il momento rimane lo stesso, l'energia visibile della massa in moto è certamente minore dopo l'urto rispetto a prima che avvenga. Per comprendere questo fatto, basta rifarci all'espressione della sez. 28 che ci dà per l'energia prima dell'urto:

$$\text{Energia in kgm} = mv^2/(19 \cdot 6) = 10 \times 20^2 + 15 \times 15^2 / (19 \cdot 6) = 376$$

dopo l'urto

$$25 \times 17^2 / (19 \cdot 6) = 368$$

126. La perdita di energia darà ancora più evidente se supponiamo che un corpo non elastico in movimento urti un corpo simile a riposo. Se abbiamo un corpo di massa 20 e velocità 20 che urta un altro corpo di massa uguale ma a riposo, la velocità della massa doppia dopo l'urto sarà soltanto 10; ma quanto all'energia, quella che precede l'urto sarà $20 \times 20^2 / (19 \cdot 6) = 8000 / (19 \cdot 6)$ e quella che lo segue sarà $40 \times 10^2 / (19 \cdot 6) = 4000 / (19 \cdot 6)$ o solo la metà della prima.

127. Vi è quindi, in tutti questi casi, perdita apparente di energia di movimento e nello stesso tempo produzione di calore in seguito all'urto che avviene. Se ora le sostanze che vengono a contatto sono perfettamente elastiche, cosa che in natura non si verifica mai, l'energia visibile dopo l'urto sarà la stessa di prima e non vi sarà alcuna conversione in calore. Questa supposizione è un caso estremo, e siccome non vi è una sostanza perfettamente elastica, tutte le volte che vi è un urto, ne risulta una conversione più o meno considerevole di moto osservabile in calore.

128. Abbiamo parlato (sez. 122) della variazione di energia che si manifesta in un corpo oscillante o vibrante come se consistesse unicamente in un cambiamento di energia effettiva in energia di posizione e viceversa.

Ora, anche in questo caso, a ogni oscillazione o vibrazione, avviene una maggiore o minore conversione di energia visibile in calore. Prendiamo per esempio un pendolo e per rendere le circostanze ancora più favorevoli, mettiamolo in equilibrio su una lama di coltello e nel vuoto; vi sarà un leggero attrito ma costante del coltello contro il piano sul quale si trova e sebbene il pendolo continui ad oscillare per parecchie ore, arriverà il momento in cui si fermerà. Di più, è impossibile ottenere un vuoto così perfetto da non avere assolutamente aria attorno al pendolo, di modo che una parte del movimento del pendolo solleverà sempre l'aria presente nella quale si muove.

129. Avviene qualcosa di simile per il moto vibratorio chiamato suono. Quando una campana vibra, una parte dell'energia di vibrazione si perde nell'aria circostante ed è grazie a questo fenomeno che noi la sentiamo. Ma, anche se non ci fosse aria, la campana non vibrerà per sempre. In tutti i corpi, esiste una proporzione più o meno grande di viscosità interna, proprietà che impedisce una perfetta libertà di vibrazione e finisce per convertire le vibrazioni in calore.

Una campana che vibra è quindi qualcosa di simile a un pendolo che oscilla; per entrambi, scompare dell'energia nell'aria e si ha un inevitabile attrito che in un caso assume la forma di viscosità interna e nell'altro caso quella dell'attrito del bilico contro il piano sul quale appoggia.

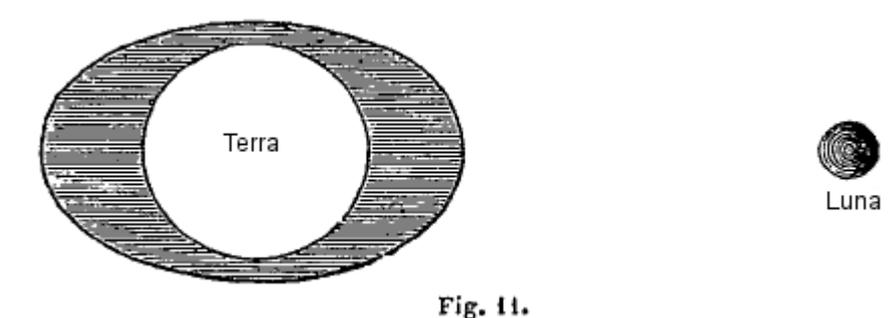
130. In questi due casi, questa parte di energia che si disperde nell'aria finisce per assumere la forma di calore. Il pendolo oscillante comunica all'aria un moto che finisce per scaldarla. La campana o lo strumento musicale che vibra comunica pure una parte della

sua energia all'aria. Questa energia comunica il suo moto prima all'aria con la velocità ben nota del suono, ma durante il suo cammino, è certo che a sua volta si converte in parte in calore. Infine è trasmessa dall'aria ad altri corpi e grazie alla loro viscosità interna è prima o poi trasformata in calore. Vediamo quindi che il calore è la forma di energia nella quale si trasforma alla fine tutto il movimento terrestre osservabile, rettilineo, oscillatorio o vibratorio.

131. Nel caso di un corpo in movimento rettilineo sulla superficie della terra, questo cambiamento diventa molto prorompente; se il moto è rotatorio come quello di una trottola pesante, potrà forse continuare per maggior tempo prima di interrompersi per l'aria circostante e l'attrito subito dal perno; se è oscillatorio come nel pendolo o vibratorio come in uno strumento musicale, abbiamo visto che l'aria e l'attrito interno entrano in gioco sotto una forma o un'altra per sopprimerlo e infine convertirlo in calore.

132. Ma, si obietterà, perché considerare un corpo che si muove sulla superficie della terra, e non il moto della terra stessa? Questo moto finirà, pure esso, per trasformarsi in calore?

È certo che è più difficile seguire la conversione che avviene in questo caso, tanto più che i nostri occhi sono incapaci di constatarlo. In altre parole le condizioni che rendono la terra abitabile e ne fanno una dimora opportuna per degli esseri intelligenti come gli uomini sono quelle che ci permettono di percepire questa conversione dell'energia nel caso della terra. Certi fatti ci dimostrano tuttavia che ciò avviene realmente. Per mostrarlo, possiamo suddividere il moto della terra in un moto di rotazione e in uno di rivoluzione.



133. Rispetto alla rotazione della terra, la trasformazione dell'energia di movimento in calore è già ben nota. Ci basta per questo studiare la natura dell'azione lunare sulle parti fluide del nostro globo. La figura ci mostra un disegno esagerato e ci permette di vedere che la sfera terrestre è cambiata in un ovale allungato una estremità del quale si dirige verso la luna. Il corpo solido, la terra, ruota come al solito ma questa protuberanza liquida si dirige sempre verso la luna e la terra sfrega contro di essa. L'attrito prodotto tende evidentemente a ridurre l'energia rotatoria della terra, agisca da freno, e come su una rotaia, abbiamo una conversione di energia di moto in calore. Questo fatto è stato riconosciuto per la prima volta da Mayer e J. Thomson.

134. Non vi può alcun dubbio sul fatto della trasformazione si compie; la sola domanda è conoscere la rapidità con la quale avviene e il tempo necessario prima che possa causare una sensazione percettibile sull'energia rotativa della terra.

Gli astronomi credono di aver scoperto la prova di un simile cambiamento. In effetti la nostra conoscenza dei moti del sole e della luna è divenuta talmente esatta che possiamo, mediante il calcolo, non solo prevedere un'eclissi ma anche, tornando nel passato, fissare le date e anche i dettagli particolari delle antiche eclissi storiche. Se tuttavia dopo questi tempi remoti la terra ha perso un poco di energia di rotazione per questa azione particolare della luna, è evidente che le circostanze calcolate di una antica eclissi totale non concordano completamente con quelle che sono state descritte dagli storici. Un

confronto di questo tipo ci porta a credere che esiste una leggera diminuzione nell'energia di rotazione del nostro pianeta. Continuando questo argomento, saremo obbligati a concludere che l'energia rotazionale del nostro globo, in seguito all'azione della luna, diminuirà sempre di più fino a che le cose raggiungeranno una condizione tale che la rotazione finirà assieme alla rotazione della luna, di modo che la stessa porzione della superficie terrestre offrirà sempre la stessa faccia alla luna. È evidente allora che non vi sarà alcuno sforzo della sostanza solida della terra nello scivolare sotto la protuberanza fluida, e che di conseguenza non vi sarà più attrito né perdita di energia.

135. Se il destino della terra è di mostrare sempre la stessa faccia alla luna, abbiamo abbondanti prove che la stessa sorte è stata quella della stessa luna. L'effetto assai superiore della terra sulla luna ha prodotto questo risultato, già probabilmente in un'epoca tanto remota quando la luna si trovava in larga parte allo stato liquido.

Un fatto familiare non solo agli astronomi ma a tutti noi, è che oggi la luna rivolge sempre la stessa faccia verso la terra³. È certo che sarà così dopo un certo tempo per Giove, Saturno e gli altri grandi pianeti, e speciali indicazioni provano che almeno, nel caso di Giove, i satelliti mostrano sempre la stessa faccia verso l'astro di cui accompagnano il cammino.

136. Se ora torniamo all'energia di rivoluzione della terra nell'orbita che percorre attorno al sole, non possiamo trattenerci dal credere all'esistenza di un mezzo materiale qualsiasi tra il sole e la terra; la teoria ondulatoria della luce implica d'altronde questa ipotesi. Ma, se ammettiamo un simile mezzo, è difficile immaginare che la sua presenza finirà per diminuire il moto di rivoluzione della terra. Vi è una alta probabilità scientifica, se non una certezza assoluta, che questo fenomeno deve avvenire necessariamente. Vi è anche qualche motivo di pensare che l'energia di una cometa a breve periodo, come la cometa di Encke, rallenti gradualmente per questo motivo. Non si può infine dubitare che questa causa non sia realmente all'opera e non finisca per influire sui moti dei pianeti e di altri corpi celesti benché il suo grado di azione sia molto lento rendendoci incapaci di constatarlo.

Generalizzeremo dicendo che nell'universo, dovunque esiste un moto differenziale, cioè un moto di una parte verso un'altra delle sue parti o viceversa, a causa del sottile mezzo che lega tra loro le diverse parti dell'universo, questo movimento è accompagnato da una specie di attrito in virtù del quale il moto differenziale scomparirà e la perdita di energia causata dalla sua scomparsa assumerà la forma di calore.

137. Certi fatti tendono a far credere che una simile trasformazione avvenga nel sistema solare. Infatti, nel sole stesso, la materia vicina all'equatore è, grazie alla rotazione di questo astro, alternativamente spinto in una direzione e nella sua opposta dai diversi pianeti. Sembrerebbe che le macchie solari, che sono turbini atmosferici, riguardino specialmente le regioni equatoriali dell'astro e mostrino una tendenza a raggiungere la loro massima dimensione nella posizione più lontana possibile dai pianeti che le influenzano come per esempio Mercurio o Venere⁴. Se, per esempio, Venere si trova tra la Terra e il sole, vi sarebbero poche macchie in mezzo al disco solare poiché questa parte sarà proprio la più vicina a Venere.

Se i pianeti hanno una influenza sulle macchie solari, l'azione è di certo reciproca e possiamo pensare che le macchie solari influenzino non solo il magnetismo ma anche la meteorologia della nostra terra, manifestandosi più aurore boreali e cicloni durante gli anni

³Questa spiegazione è stata data per la prima volta dai professori Thomson e Tait nella loro *Natural Philosophy* così come dal dottor Franklin in una lezione tenuta all'Istituto Reale di Londra.

⁴Si vedano le ricerche sulla Fisica Solare di De La Rue, Stewart e Loewy.

di maggiore presenza delle macchie solari⁵. Non sarà allora possibile che, in questi fenomeni così strani e misteriosi, vediamo tracce del meccanismo per mezzo del quale il moto differenziale del sistema solare si trasforma gradualmente in calore?

138. Sappiamo che l'energia di movimento effettivo si tramuta in energia di posizione e spesso anche in calore assorbito. Ci fa stabilire che essa potrebbe ugualmente essere trasformata in separazione elettrica. Quando una macchina elettrica è in azione, si spende un lavoro considerevole per far ruotare il disco, ed è allora realmente più dispendioso muoverlo che produrre elettricità. In altre parole, una parte dell'energia spesa sulla macchina serve a produrre una dissociazione elettrica. Vi sono, per generare elettricità, altri metodi oltre a quello dell'attrito.

Se, per esempio, portiamo una piastra conduttrice isolata abbastanza vicino a dei conduttori della macchina ma evitando la produzione di una scarica elettrica, e se tocchiamo poi il disco isolato, constateremo che dopo questo contatto, questa risulterà caricata di elettricità opposta a quella della macchina; basterà allontanarla per poter usare questa elettricità.

Riflettiamo sul lavoro che abbiamo speso per eseguire questa esperienza. Non dimentichiamo che toccando il disco abbiamo fatto sparire l'elettricità dello stesso segno di quella della macchina in modo che questo disco è poi attratto più fortemente di prima dal conduttore. Di conseguenza, il suo allontanamento richiede uno sforzo per compiere tale movimento e l'energia meccanica che spendiamo compensa la dissociazione elettrica che otteniamo.

139. Possiamo anche impiegare una piccola parte di elettricità per aiutarci a procurarne una quantità illimitata, poiché nella precedente esperienza, l'elettricità del primo conduttore non è stata modificata e ci è permesso di ripetere l'operazione un numero di volte a piacere e di condensare una grande quantità di elettricità, senza mai giungere ad alterare l'elettricità del primo conduttore non senza però spenderne una porzione equivalente di energia sotto forma di lavoro effettivo.

140. Se vi è in tutto il movimento una tendenza a trasformarsi in calore, esiste un caso in cui, almeno all'inizio, si trasforma in corrente elettrica. Alludiamo al caso in cui una sostanza conduttrice si muove in presenza di una corrente elettrica o di una calamita.

Alla sezione 104, abbiamo trovato che se una bobina a contatto con un filo è rapidamente portata in presenza di un'altra bobina collegata a un galvanometro, si genera in questa una corrente indotta che influenza il galvanometro nel senso inverso a quello della corrente che passa nella prima. Ora una corrente elettrica implica energia e possiamo concludere che si deve spendere o che deve svanire un'altra forma di energia, allo scopo di produrre la corrente generata nella bobina collegata al galvanometro.

Inoltre, la sez. 110 ci mostra che due correnti in direzioni opposte si respingono tra loro. La corrente generata nella bobina connessa al galvanometro, o corrente secondaria, dovrà pertanto respingere la corrente primaria che si dirige verso di essa: questa repulsione causerà un arresto del moto oppure richiederà un consumo di energia per il mantenimento del moto della bobina che si sposta. Due fenomeni avvengono simultaneamente: vi è dapprima una produzione di energia nel circuito secondario sotto forma di una corrente di direzione opposta a quella del circuito primario, poi, a causa della repulsione tra questa corrente indotta e la corrente primaria, avviene una interruzione o una scomparsa di energia di movimento del circuito che si sposta. Abbiamo realmente la generazione di una specie di energia e nello stesso tempo la scomparsa di un'altra, e ciò mostra che la legge di conservazione non è violata.

⁵Si vedano le ricerche sul magnetismo di Sir E. Sabine e la Periodicità dei Cicloni di C. Meldrum.

141. Riconosciamo anche la connessione necessaria tra le due leggi elettriche enunciate alle sez. 100 e 104. Se queste leggi fossero state diverse, il principio di conservazione dell'energia sarebbe stata violata. Se per esempio la corrente indotta, nel caso in esame, avesse avuto la stessa direzione della corrente primaria, le due correnti si sarebbero attratte reciprocamente e vi sarebbe la creazione di una corrente secondaria con conseguente energia nel circuito collegato al galvanometro e nello stesso tempo un aumento dell'energia di movimento della corrente primaria; invece della creazione di una specie di energia, accompagnata dalla scomparsa di un'altra, avremmo avuto la creazione simultanea di due tipi di energia e la legge di conservazione sarebbe stata violata.

Il principio di conservazione ci permette di dedurre una di queste leggi elettriche dall'altra e questo caso, tra tanti altri, rafforza la nostra convinzione sull'esattezza del grande principio che stiamo sviluppando.

142. Studiamo ciò che si produrrà se obblighiamo la corrente primaria a muoversi, non più verso la corrente secondaria, ma in una direzione opposta. La sez. 104 ci ha mostrato che la corrente indotta sarà allora nella stessa direzione della corrente primaria, mentre nella sez. 100, le due correnti si attraevano reciprocamente.

Questa attrazione tenderà a fermare il moto e, nello stesso tempo, a produrre una corrente. Di conseguenza, nei due casi, una forma di energia scompare e un'altra prende il suo posto, di modo che si manifesterà una forte resistenza all'avvicinamento anziché all'allontanamento del circuito primario da quello secondario. Nelle due operazioni, si spenderà lavoro o una energia il cui risultato sarà la produzione di una corrente nel primo caso, di calore nel secondo, poiché la sez. 98 ci insegna che quando una corrente passa attraverso un filo, la sua energia è in genere spesa nello scaldare il filo.

Così due fenomeni si manifestano congiuntamente. In primo luogo, avvicinando o allontanando una corrente elettrica da un circuito formato da un filo metallico o da un altro conduttore, o poiché l'azione e la reazione sono uguali e opposte, allontanando o avvicinando un circuito formato da un filo metallico o da altro conduttore da una corrente elettrica, si proverà una sensazione di resistenza e si dovrà spendere energia; in secondo luogo una corrente elettrica sarà generata nel conduttore e quindi questi si scalderà.

143. Il risultato si manifesterà nettamente facendo ruotare rapidamente una trottola metallica nelle vicinanze di due aste di ferro bruscamente trasformati in poli di una potente elettrocalamita per mezzo di una pila. Appena si compie questo cambiamento e i poli sono magnetizzati, il moto della trottola non tarda a fermarsi come se dovesse vincere una specie di attrito invisibile. Questo curioso risultato è facilmente spiegabile. Abbiamo visto alla sez. 102 che una calamita è paragonabile a un insieme di correnti elettriche. Ora, nella trottola metallica, abbiamo un conduttore alternativamente in avvicinamento e in allontanamento da queste correnti, quindi, per quanto detto, se produrrà nella trottola che è conduttrice una serie di correnti secondarie che fermano il suo movimento e finiscono per assumere la forma di calore. L'energia di rotazione della trottola si trasformerà completamente in calore come se fosse arrestata da un normale attrito.

144. L'elettricità indotta in un conduttore metallico posto alla presenza di una potente calamita ha ricevuto il nome di magneto-elettricità e elettromagnetismo. Il Dr. Joule se ne è servito per determinare l'equivalente meccanico del calore poiché è un calore che finisce per trasformare l'energia di movimento del conduttore. Queste correnti formano il modo migliore di ottenere elettricità e recentemente M. Wild e altri costruttori hanno prodotto grazie a questo principio delle belle macchine.

145. Quando queste macchine sono grandi, sono mosse dal vapore e il loro modo di operare è il seguente: La parte principale è un sistema di potenti calamite in acciaio in presenza delle quali si fa ruotare rapidamente un circuito conduttore. Ci si serve di

corrente prodotta per creare una elettromagnete molto potente di fronte al quale ruota rapidamente una nuova elettrocalamita che, a sua volta, produce correnti indotte. Queste ultime hanno una tale forza che quando le si impiega per ottenere luce elettrica, per una notte scura, a più di tre chilometri dal punto della prova, consentono di leggere una pagina stampata in piccoli caratteri.

Sembrirebbe che in questa macchina si faccia un doppio uso dell'elettromagnetismo. Partendo da un tipo di nucleo di magnetismo permanente, ci si serve di correnti elettromagnetiche dapprima per formare un secondo elettromagnete molto più potente del primo che serve poi a fornire un'ultima corrente indotta la cui potenza è immensa.

146. Esiste la più grande somiglianza tra la macchina elettromagnetica di Wild che genera correnti elettriche e quella che produce elettricità statica con il metodo descritto nella sez. 139. In entrambi i casi, si impiega un nucleo primitivo, la macchina elettromagnetica. Le correnti molecolari di una serie di calamiti permanenti servono a generare enormi correnti elettriche senza subire esse stesse la minima alterazione ma non senza consumo di lavoro.

Se si tratta di una macchina ad induzione che fornisce elettricità statica, abbiamo un nucleo elettrico che supponiamo stare nei primi conduttori della macchina, e ce ne serviamo per generare una immensa quantità di elettricità statica senza alcuna alterazione permanente del nucleo ma non senza un consumo di lavoro.

147. Abbiamo visto sotto quali forme può trasformarsi l'energia cinetica. Queste forme sono: 1° energia di posizione; 2° le due energie che comprendono il calore assorbito; 3° separazione elettrica e, infine, elettricità in movimento. Al punto in cui sono le nostre conoscenze, non conosciamo alcun caso in cui l'energia cinetica si trasformi direttamente in separazione chimica o in energia raggiante.

148. **Energia visibile di posizione.** Dopo aver terminato lo studio delle trasformazioni dell'energia di movimento [cinetica], affrontiamo quelle delle trasformazioni dell'energia di posizione. Riconosceremo che essa si trasforma in movimento, e mai, per lo meno nell'immediato, in alcuna altra forma di energia; pertanto non ci soffermeremo.

149. **Calore assorbito.** Le due forme di energia che riguardano il calore assorbito possono convertirsi in (A) o energia osservabile effettiva, come nel caso della macchina a vapore e di tutte le diverse macchine che sfruttano il calore. Così, nella macchina a vapore per esempio, una parte del calore che vi passa scompare allo stato di calore ed è assolutamente incapace di ricomparire sotto forma di effetto meccanico. Una condizione è assolutamente necessaria: tutte le volte che il calore si trasforma in effetto meccanico, deve esserci una differenza di temperatura, e il calore si trasformerà in lavoro solo passando da un corpo ad una temperatura più elevata ad una a temperatura inferiore.

Il celebre fisico Carnot ha correttamente confrontato il potere meccanico del calore con quello dell'acqua; analogamente è impossibile che il calore fornisca lavoro a meno che vi sia un flusso di calore da un livello di temperatura più alta ad uno più basso, così come l'acqua non può fornire lavoro se non cadendo da un livello superiore ad uno inferiore.

150. Pensando che il carattere essenziale del calore è di distribuirsi, non tardiamo a comprendere la ragione di questa legge particolare. In virtù della sua natura, il calore si sposta sempre da un corpo ad alta temperatura ad un corpo a bassa temperatura, e se è lasciato a se stesso, si distribuirà uniformemente su tutti i corpi, in modo che tutti finiscano per avere la stessa temperatura. Se vogliamo che il calore non fornisca lavoro, non ci dobbiamo sottomettere al suo capriccio; esso si paragonerà a una banda di scolari, sempre pronti a lanciarsi fuori dall'aula per giocare in campagna e che hanno spesso bisogno di essere riportati al prezzo di un consumo considerevole di energia. Il calore non vuole essere confinato, resisterà a tutti gli sforzi tesi ad accumularlo in uno spazio ristretto.

Non si otterrà quindi alcun lavoro da questa operazione che, al contrario, esigerà lavoro per essere compiuta.

151. Consideriamo per un istante il caso di un ambiente chiuso in cui tutte le sue parti sono alla stessa temperatura. Il calore si trova in una sorta di condizione per cui è impossibile far uscire la minima traccia di lavoro. La temperatura potrà pure essere innalzata l'ambiente racchiudere immense quantità di energia calorica, ma nessuna parte sarà utilizzabile sotto forma di lavoro. Per riprendere il confronto di Carnot, diremo che tutta l'acqua è già caduta al livello inferiore e non possiede più la capacità di compiere lavoro utile.

152. Tre punti si colgono dal nostro ragionamento: il calore può fornirci lavoro quando passa da una temperatura più alta ad una più bassa; richiede lavoro su di esso per farlo passare da una temperatura inferiore ad una superiore; il calore è incapace di darci lavoro quando è completamente ad una temperatura uniforme. Ciò che abbiamo detto ci permette di rendere conto delle condizioni nelle quali lavorano le macchine che sfruttano il calore. In tutte, il punto essenziale non è la presenza di una caldaia, di un pistone, di un volano e di valvole, ma quella di due contenitori una a temperatura maggiore e uno minore, e il lavoro si ha per il passaggio dal primo al secondo.

Prendiamo per esempio la macchina a bassa pressione. Il bollitore costituisce l'ambiente ad alta temperatura, il condensatore quello a bassa temperatura e la macchina lavora quando il calore passa dal bollitore al condensatore; ma mai quando va dal condensatore al bollitore. Nella locomotiva, il vapore è generato ad una temperatura e con una pressione elevata, e si raffredda quando viene immesso nell'atmosfera.

153. Lasciamo da parte le macchine propriamente dette e consideriamo una stufa ordinaria che realmente, dal punto di vista dell'energia, svolga il ruolo di una macchina. L'aria fredda scivola sul pavimento della camera, si precipita nella stufa, si unisce al carbone e il prodotto rarefatto è trascinato nel camino. Consideriamo per ora il fenomeno della combustione solo come un processo destinato a fornire calore; si ha un richiamo continuo di aria fredda che è scaldata dal fuoco e si riunisce all'aria superiore. In realtà, il calore è distribuito o trasportato da un corpo da alta temperatura, il fuoco, ad un corpo a bassa temperatura, l'aria esterna, e questo fenomeno di distribuzione produce un effetto meccanico che è il tiraggio della canna fumaria.

154. Proprio la nostra terra fornisce un secondo esempio di una simile macchina; le regioni equatoriali svolgono la funzione di caldaia, le regioni polari sono i condensatori. Infatti, all'equatore, l'aria è scaldata dai raggi diretti del sole e si formano correnti d'aria ascendenti, come attraverso un camino, che è alimentato da una corrente d'aria fredda che opera al livello del suolo e proveniente dai due poli. L'aria calda si sposta dall'equatore ai poli lungo le alte zone dell'atmosfera e l'aria fredda si sposta dai poli all'equatore seguendo gli strati più bassi. Molto spesso succede che, grazie al calore solare, dei vapori acquosi vengono trasportati assieme all'aria nelle regioni atmosferiche superiori e più fredde dove essi sono scaricati sotto forma di pioggia, di grandine o di neve ricadendo quindi sulla terra e manifestando quindi una immensa energia meccanica. Il marinaio che spiega la sua vela e il mugnaio che macina il suo grano impiegando la forza del vento o quella dell'acqua corrente, entrambe dipendenti dalla terra, questa immensa macchina, sempre all'opera, producono sempre un effetto meccanico ma sempre trasportando calore dai suoi strati più caldi a quelli più freddi.

155. Se è essenziale per una macchina avere due contenitori, uno caldo e uno freddo, è altrettanto importante che vi sia tra essi una notevole differenza di temperatura. Poiché la natura esige una differenza prima di darci lavoro, non saremo in grado di soddisfarla se non rendiamo questa differenza la più piccola possibile. In una macchina a vapore, questa

differenza non può essere molto considerevole poiché, se l'acqua della caldaia fosse a una temperatura molto elevata, la pressione del vapore diverrebbe pericolosa, ma in una macchina ad aria che alternativamente scalda e raffredda l'aria, questa differenza può divenire molto più considerevole. Certi inconvenienti pratici sono tuttavia connessi alle apparecchiature dove la temperatura della caldaia è molto alta e possono divenire eccezionali e tali da far perdere a queste macchine i vantaggi economici che a loro assegna la teoria.

156. Il professor J. Thomson ha consigliato di impiegare i principi che abbiamo introdotto per verificare la sua ipotesi secondo la quale l'applicazione della pressione farà abbassare il punto di congelamento dell'acqua.

L'esperienza è stata eseguita in seguito dal professor sir W. Thomson. Il suo ragionamento era il seguente: Supponiamo un contenitore mantenuto costantemente alla temperatura di 0° , punto di fusione del ghiaccio, e un cilindro, avente una sezione di 1 m^2 , riempito di acqua per 1 m di altezza, cioè contenente 1 m^3 di acqua.

Supponiamo poi che un pistone esattamente sistemato e caricato di un peso notevole sia posto in un cilindro al di sopra della superficie dell'acqua. Prendiamo ora l'apparecchiatura e mettiamola in un altro contenitore la cui temperatura è esattamente tre volte minore. L'acqua congelerà e dilatandosi, solleverà il pistone e il peso posto sopra di circa 9 cm ; ammettiamo che il pistone sia mantenuto in questa posizione per mezzo di un cavicchio. Riportiamo l'apparecchiatura nel primo contenitore; il ghiaccio fonderà, il nostro cilindro sarà riempito di acqua liquida, ma vi sarà uno spazio vuoto di 9 cm tra la superficie dell'acqua e il pistone. Avremo acquisito una certa quantità di energia di posizione e ci basterà staccare il cavicchio e lasciar ricadere il pistone e il suo carico per utilizzare questa energia. L'operazione potrà ripetersi un numero infinito di volte. Se il peso è molto grande, ci sarà ancora energia; queste due quantità variano proporzionalmente l'una rispetto all'altra.

La nostra apparecchiatura è quindi una reale macchina ad aria; il contenitore a 0° corrisponde alla caldaia, l'altro contenitore a temperatura tre volte inferiore svolge la funzione di condensatore e la quantità di lavoro che possiamo trarre dalla macchina, o il suo effetto utile, dipenderà dal peso innalzato a 9 cm di altezza, in modo che aumentando indefinitamente questo peso aumenteremo indefinitamente l'effetto utile della macchina.

Sembrirebbe a prima vista che questo processo basti a far produrre alla nostra macchina una quantità qualsiasi di lavoro e che di conseguenza si possa vincere la natura. Ma allora interviene la legge di Thomson che ci indica che non possiamo conseguire questa vittoria poiché, se il pistone sostiene un grosso peso, ci basta avere tra i nostri due contenitori una differenza proporzionalmente considerevole di temperatura, in altre parole il punto di congelamento dell'acqua, sotto una grande pressione, per avere una temperatura inferiore se la pressione che lo circonda è piccola.

Prima di lasciare questo argomento, riassumiamo l'effetto che si produce in tutte le macchine dove si impiega calore. Non solo il calore produce un effetto meccanico; ma una quantità data di calore scompare producendo il suo equivalente in lavoro. Quindi, se ci fosse possibile misurare il calore generato in una macchina dalla combustione di una tonnellata di carbone, troveremmo che è minore quando la macchina dà lavoro che quando è a riposo. Analogamente quando un gas si dilata bruscamente, la sua temperatura si abbassa poiché una certa parte del suo calore scompare producendo effetto meccanico.

157. Ci siamo sforzati di mostrare in quali condizioni il calore assorbito possa trasformarsi in effetto meccanico. Questo calore assorbito comprende due tipi di energia (sez. 110), l'una è del moto molecolare, l'altra energia molecolare di posizione. Studiamo ora le

circostanze nelle quali una di queste varietà è suscettibile di trasformarsi nell'altra. Si sa che serve molto calore per trasformare in acqua un chilogrammo di ghiaccio, e che quando questo è fuso, la temperatura dell'acqua non è significativamente maggiore di quella del ghiaccio. Si sa analogamente che serve una grande quantità di calore per trasformare in vapore un chilogrammo di acqua bollente e che, quando la trasformazione è avvenuta, il vapore prodotto non è particolarmente più caldo dell'acqua bollente. Si dice allora che il calore diviene latente.

In questi due casi, ma soprattutto nel secondo, possiamo ammettere che il calore non ha potuto svolgere il suo solito ruolo e che invece di aumentare il moto delle molecole di acqua, ha speso la propria energia ad allontanarle violentemente le une dalle altre contro la forza di coesione che le tiene unite. Sappiamo che la forza di coesione percepibile nell'acqua bollente è, in apparenza, assente dal vapore perché le sue molecole sono troppo lontane tra loro per permettere a questa forza di essere valutabile. Supporremo quindi che una grande parte almeno del calore necessario per convertire l'acqua bollente in vapore, sia speso per creare lavoro contro le forze molecolari.

Appena è nuovamente condensato allo stato di acqua calda, il calore che si è così speso riprende la forma di moto molecolare e la conseguenza che ne deriva, è che bisogna togliere tutto il calore latente di un chilogrammo di vapore prima di poterlo trasformare in acqua bollente. L'esperienza ci insegna che è difficile e noioso convertire acqua in vapore, non è né più comodo, né più agevole convertire il vapore in acqua.

158. Esistono altri casi dove è fuor di dubbio che la separazione molecolare non si trasforma gradualmente in movimento calorico. Raffreddando bruscamente un pezzo di vetro, le sue particelle non avendo ancora avuto il tempo di raggiungere una posizione opportuna, si trovano nell'insieme in uno stato in qualche modo forzato. Nel tempo, questi corpi tendono ad assumere una condizione più stabile e le loro particelle si avvicinano gradualmente. È per questo motivo che il bulbo da poco soffiato di un termometro si contrae lentamente, e che una lacrima batavica formata lasciando cadere nell'acqua del vetro in fusione, si riduce in polvere con esplosione appena si rompe. Sembra probabile che tutti questi fenomeni sono sempre accompagnati da calore e provano la trasformazione dell'energia di separazione molecolare in energia di movimento molecolare.

159. Ora che abbiamo esaminato i cambiamenti di (C) e (D), e reciprocamente di (D) e (C), riprendiamo il nostro elenco e vediamo in quali circostanze il calore assorbito si è tramutato in separazione chimica.

Si sa che quando certi corpi sono sottoposti all'influenza del calore, si decompongono. Scaldando, per esempio, del calcare o carbonato di calcio, l'acido carbonico si sprigiona sotto forma di gas e il resto in calce viva. Ora, si consuma calore in questo fenomeno; una certa quantità di energia calorica cessa completamente di esistere in quanto calore e si trasforma in energia di separazione chimica. Reciprocamente, se si espone in certe condizioni, la calce così ottenuta ad una atmosfera di acido carbonico, essa si tramuterà gradualmente in carbonato di calcio, e durante questo cambiamento che avviene molto lentamente, possiamo essere sicuri che l'energia di separazione chimica è a sua volta convertita in energia calorica, benché non ci venga dato, a causa della lentezza del fenomeno, di constatare direttamente alcun innalzamento di temperatura.

È possibile che a temperature molto alte la maggior parte dei composti sia distrutta. La temperatura alla quale un corpo subisce questa scomposizione, si chiama la temperatura di dissociazione.

160. L'energia calorica è variata nella separazione elettrica quando si scalda della tormalina e certi altri cristalli. Prendiamo un cristallo di tormalina ed innalziamo la sua

temperatura; una delle sue estremità sarà elettrizzata positivamente, e l'altra negativamente. Riprendiamo lo stesso cristallo, raffreddiamolo bruscamente, l'elettrizzazione sarà inversa in modo che l'estremità dell'asse che era positiva, sarà ora negativa e viceversa.

Ora questa separazione di elettricità dimostra l'energia; questi cristalli ci offrono un caso dove l'energia calorica è stata trasformata in energia di separazione elettrica. In altre parole, una certa parte di calore ha cessato di esistere in quanto calore e, al suo posto, si è ottenuta una certa quantità di separazione elettrica.

161. Studiamo le circostanze nelle quali il calore si è trasformato in elettricità di movimento. Questa trasformazione avviene nella termoelettricità.

Supponiamo (fig. 12) che saldiamo ad una sbarra una bismuto, una barra di rame o di antimonio, di rame per esempio. Scaldiamo una delle delle saldature e facciamo in modo che l'altra rimanga fredda, circolerà allora una corrente positiva lungo le sbarre, nella direzione della freccia e si sposterà dal bismuto al rame attraversando la saldatura scaldata. La sua esistenza è facile da constatare per mezzo di un ago magnetico che sarà deviato dalla sua posizione originaria come si vede in gura.

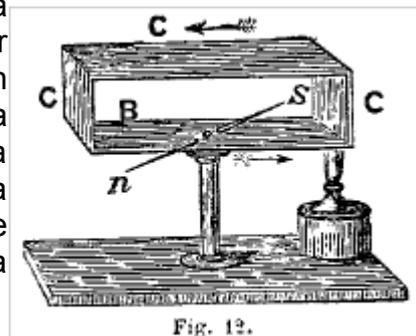


Fig. 12.

Nel caso attuale, energia calorica scompare e si trasforma in energia di movimento elettrico; un apparecchio costruito secondo questo principio, è diventato lo strumento più sensibile che serve a constatare l'esistenza del calore. Disponendo un certo numero di saldature di bismuto e di antimonio come si vede in g. 13 e scaldando la serie superiore lasciando l'altra fredda, otteniamo una corrente energetica che si dirige dal bismuto all'antimonio attraversando le saldature scaldate.

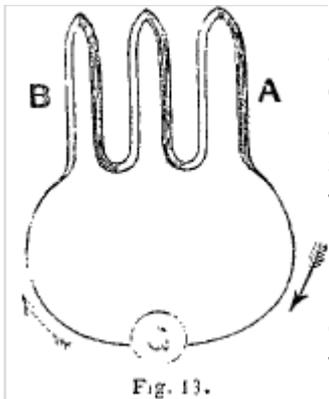


Fig. 13.

Facendo passare la corrente così prodotta in un galvanometro, aumentando il numero delle nostre saldature e impiegando un galvanometro molto sensibile, saremo in grado di ottenere effetti assai osservabili per i più piccoli aumenti di temperatura nelle saldature superiori. Questa disposizione si chiama pila termoelettrica; unita al galvanometro moltiplicatore, fornisce il migliore strumento per scoprire le più piccole quantità di calore.

162. L'ultima trasformazione che, sulla nostra lista, si riferisce al calore assorbito è quella nella quale questo genere di energia è trasformata in luce e in calore raggiante. Il fenomeno avviene tutte le volte che un corpo caldo si raffredda in uno spazio aperto e il sole, per esempio, cede in tale modo una grande quantità del suo calore. È in parte almeno a questo fenomeno che è dovuto il raffreddamento di un corpo caldo nell'aria, e completamente ad esso si deve attribuire il suo raffreddamento nel vuoto. Il nostro occhio è penetrato dall'energia raggiante, ed è per questo motivo che siamo in grado di percepire i corpi caldi; il fatto stesso che li vediamo implica necessariamente che essi cedono il calore.

L'energia raggiante si muove attraverso lo spazio con la spaventosa velocità di 300000 km/s, e impiega circa otto minuti per spostarsi dal sole alla terra, in modo che se l'astro che ci illumina si spegnesse improvvisamente, avremmo otto minuti di respiro prima di avvertire una tale catastrofe. Oltre ai raggi che colpiscono l'occhio, ve ne sono altri invisibili e che si indicano con il nome di raggi oscuri. Così un corpo può non essere molto caldo per essere luminoso e tuttavia raffreddarsi rapidamente e cambiare il proprio calore in energia raggiante sebbene né l'occhio né i sensi del tatto abbiano il potere di constatare

il fenomeno. Li si scoprirà per mezzo della pila termoelettrica descritta nella sez. 161. Riconosciamo tutta la somiglianza che esiste tra un corpo scaldato e un corpo sonoro. Come un corpo sonoro emette una parte della sua energia calorica nell'atmosfera che lo circonda, così un corpo scaldato abbandona una parte della sua energia calorica all'etere che lo circonda. Ma, se consideriamo le velocità del moto di queste energie attraverso i loro rispettivi mezzi, vediamo che esiste tra loro una immensa differenza; il suono si propaga attraverso l'aria con una velocità di 330 m/s mentre l'energia raggiante percorre 300000 km nel medesimo tempo.

163. **Separazione chimica.** Giungiamo ora all'energia che si manifesta attraverso la separazione chimica e simile a quella che possediamo quando abbiamo del carbone fossile o del carbonio da una parte e dell'ossigeno dall'altra. È perfettamente evidente che questa forma di energia di posizione è trasformata in calore quando bruciamo carbonio o lo costringiamo a combinarsi con l'ossigeno dell'aria; più in generale, ogni volta che si produce una combinazione chimica abbiamo una produzione di calore come in altre circostanze facendo sentire la sua influenza e impedendo di riconoscerlo.

Secondo il principio di conservazione, dovremo attenderci un risultato: se si brucia nelle condizioni assegnate una quantità definita di carbonio o di idrogeno, si avrà una produzione definita di calore; una tonnellata di carbon fossile o di coke, quando è bruciato, darà un numero determinato di unità di calore e niente di più. È certo che possiamo bruciare la nostra tonnellata in modo da economizzare una quantità più o meno considerevole di calore prodotto, ma quanto alla semplice produzione di calore, se la quantità e la qualità della materia bruciata e le modalità della costruzione rimangono le stesse, bisognerà attenderci di ottenere la stessa quantità di calore.

164. La tabella seguente predisposta in base alle ricerche di Andrew e quelle di Favre e Silbermann, ci indica il numero di unità di calore che possiamo ottenere bruciando un chilogrammo di diverse sostanze.

UNITÁ DI CALORE sviluppate nella combustione con l'OSSIGENO

Sostanza bruciata	chilogrammi di acqua innalzata di 1°C dalla combinazione di 1 kg di ogni sostanza
Idrogeno	34, 125
Carbonio	7, 990
Zolfo	2, 263
Fosforo	5, 747
Zinco	1, 301
Ferro	1, 576
Stagno	1, 233
Gas oleante	11, 900
Alcool	7, 016

165. Esistono, oltre la combustione, altri modi di effettuare una combinazione chimica. Ci basta immergere una lamina di ferro metallico in una soluzione di rame per constatare, ritirandola, che la sua superficie è ricoperta di rame. Una parte del ferro si è disciolta e ha preso il posto del rame, il quale è stato precipitato allo stato metallico sul ferro. Ora in

questa operazione, si libera calore; abbiamo realmente bruciato o ossidato il ferro e possediamo così un mezzo ordinare i metalli cominciando da quello che fornisce più calore quando lo si impiega per trasferire il metallo citato all'altra estremità dell'elenco.

166. Il Dr Andrew ha predisposto il seguente elenco in base a questo principio:

1. Zinco
2. Ferro
3. Piombo
4. Rame
5. Mercurio
6. Argento
7. Platino

Il platino può essere trasferito da un metallo qualunque della serie, ma è con lo zinco che otterremo più calore.

Possiamo quindi dire che spostando una quantità definita di platino con una quantità definita di zinco, otterremo una quantità definita di calore. Ma supponiamo che invece di eseguire questa operazione in un solo colpo la eseguiamo in due. Trasferiamo, per esempio, il rame per mezzo dello zinco poi il platino per mezzo del rame. Non è possibile che una di queste operazioni sia più vantaggiosa dell'altra dal punto di vista della produzione di calore. Infatti, Andrew ha dimostrato che non riporteremo alcun successo sulla natura e se impieghiamo prima il nostro zinco per trasferire del ferro, del rame o del piombo, otterremo esattamente la stessa quantità di calore come se avessimo trasferito immediatamente il platino tramite lo zinco.

167. Non dimentichiamo di sottolineare che in generale, l'azione chimica è accompagnata da un cambiamento della condizione molecolare.

Così un solido o un gas si possono trasformare in un liquido. Qualche volta uno di questi cambiamenti avviene in opposizione all'altro fintanto che si tratta di calore ma qualche volta essi cooperano per aumentare il risultato. Quando un gas è assorbito dall'acqua, si trasferisce molto calore e ammettiamo che il risultato è dovuto in parte alla combinazione chimica e in parte alla condensazione del gas allo stato liquido, ciò significa che il suo calore latente è divenuto misurabile. D'altra parte, quando un liquido si unisce a un solido o due solidi si uniscono tra loro producendo un liquido, si ha per la maggior parte del tempo un assorbimento di calore, poiché il calore reso latente dalla dissoluzione del solido porta con sé quello che è generato dalla combinazione.

Le miscele refrigeranti devono le loro proprietà refrigeranti a questa causa; mescolando neve e sale da cucina, essi liquefano reciprocamente e ne risulta acqua salata la cui temperatura è molto inferiore di quella degli elementi separati.

168. Saldando metalli eterogenei come zinco e rame, ci sembra di avere una trasformazione di energia di separazione chimica in energia di separazione elettrica. Questa ipotesi è stata formulata per la prima volta da Volta per spiegare la separazione elettrica esistente nelle correnti voltaiche, e, recentemente, Sir W. Thomson l'ha pienamente dimostrata.

Al fine di rendere evidente questa trasformazione di energia, saldiamo un pezzo di zinco ad uno di rame. Analizzando questo sistema per mezzo di un elettrometro sensibile troveremo lo zinco elettrizzato positivamente e il rame negativamente. Siamo quindi in presenza di un caso di trasformazione di una forma di energia di posizione in un'altra forma: una certa quantità di separazione chimica scomparirà per produrre una uguale quantità di separazione elettrica. Si ha così la spiegazione del fatto richiamato nella sez. 93 dove abbiamo visto che in una pila isolata i cui poli sono mantenuti separati, uno dei due sarà carico di elettricità positiva e l'altro di elettricità negativa.

169. Quando una tale pila è in funzione, abbiamo un'altra trasformazione di separazione chimica in elettricità di movimento, e allo scopo di ben comprendere questa verità, esaminiamo ciò che passa nella pila.

È evidente che le sorgenti di eccitazione elettrica sono i punti di contatto dello zinco e del platino dove, in base alla sezione precedente, abbiamo produzione di una separazione elettrica. Ma questa sola non basta per fornire una corrente; ciò implica una considerevole energia e deve esserci una alimentazione da parte di qualcosa. Nella pila, abbiamo due fenomeni che si accompagnano ed evidentemente collegati tra loro: in primo luogo, la combustione o almeno l'ossidazione e la dissoluzione dello zinco, in secondo luogo, la produzione di una forte corrente. Ora è chiaro che il primo di tali fenomeni alimenta il secondo o, in altri termini, l'energia di separazione chimica dello zinco metallico è trasformata nell'energia di una corrente elettrica e lo zinco è virtualmente bruciato durante la trasformazione.

170. Risulta dall'insieme delle nostre conoscenze attuali che l'energia di separazione chimica non è direttamente trasformata in luce e in calore raggianti.

171. **Separazione elettrica.** L'energia di separazione elettrica è trasformata in energia di movimento quando due corpi diversamente elettrizzati sono avvicinati tra loro.

172. Questo è un altro cambiamento in una corrente di elettricità e infine in calore quando una scintilla scaturisce tra due corpi elettrizzati in modo diverso. Bisogna quindi ricordare che quando percepiamo il bagliore non vi è più elettricità e che vediamo solo dell'aria o qualche altra materia portata dalla scarica ad una temperatura molto elevata. È così che un uomo colpito da un fulmine diviene spesso insensibile senza aver percepito il lampo poiché l'effetto della scarica e il suo effetto di riscaldamento dell'aria possono essere fenomeni che si manifestano quasi simultaneamente.

173. **Elettricità in movimento.** Questa energia è trasformata in energia di movimento quando due fili che trasportano correnti elettriche di verso contrario, si attraggono reciprocamente. Quando, per esempio, due correnti circolari fluttuano sull'acqua e si muovono entrambe come le lancette di un orologio, abbiamo visto alla sez. 100 che esse si avvicinano tra loro. In questo caso vi è realmente diminuzione dell'intensità di ogni corrente appena si effettua il moto poiché sappiamo (sez. 104), che facendo muovere un circuito in presenza di un altro che trasporta corrente, vi è produzione di una corrente indotta nella direzione opposta. Ne concluderemo che quando due correnti simili si avvicinano l'una all'altra, ognuna di loro è diminuita a causa dell'induzione.

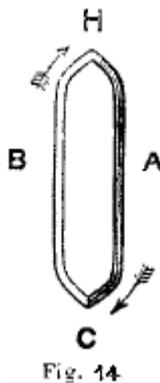
Riassumendo una certa parte dell'energia della corrente cessa di esistere affinché vi possa essere una parte equivalente di energia di movimento.

174. L'elettricità in movimento è trasformata in calore durante il passaggio di una corrente lungo un filo sottile o di qualunque altre sostanza cattiva conduttrice; il filo viene scaldato e può anche divenire incandescente. Più frequentemente, l'energia di una corrente elettrica si spende per riscaldare il filo e le altre sostanze costitutive del circuito. L'energia di una simile corrente è alimentata dalla combustione o dall'ossidazione del metallo (in genere lo zinco) impiegato per costruire il circuito, in modo che l'effetto finale è il riscaldamento di diversi fili e altre sostanze conduttrici.

175. Possiamo bruciare o ossidare lo zinco in due modi: possiamo, come visto, ossidarne nella pila e verificare che ha prodotto per la combustione di un chilogrammo di zinco una quantità definita di calore. Se ossidiamo il nostro zinco dissolvendolo nell'acido posto in un comune vetro, senza che sia necessario passare per l'intermediazione di una corrente, otterremo da un chilogrammo di zinco proprio tanto calore quanto nel caso precedente. Quindi, sia che ossidiamo il nostro zinco per mezzo della pila sia con il metodo consueto, la quantità di calore prodotta avrà sempre la stessa relazione con la quantità di zinco

consumata; la sola differenza è che, con il metodo ordinario, il calore è generato in un vaso contenente lo zinco e l'acido, mentre con la pila sarà trasferibile a migliaia di chilometri di distanza possedendo un filo tanto lungo da trasportare la nostra corrente.

176. Siamo ora portati a parlare della scoperta di Peltier che riconobbe che una corrente di elettricità positiva passante attraverso una saldatura di bismuto e antimonio e che si dirige dal bismuto all'antimonio sembra produrre del freddo.



Al fine di comprendere il significato di questo fatto, lo considereremo nel rapporto tra il caso presente e quello che stabilisce una corrente termoelettrica, come visto nella sez. 161, in un circuito di bismuto e antimonio in cui una saldatura è più calda dell'altra. Supponiamo un circuito di questo tipo (fig. 14) in cui le due saldature siano, per iniziare, alla temperatura di 100 °C. Ammettiamo che, proteggendo una delle saldature, esponiamo l'altra all'aria; questa disperderà evidentemente calore di modo che la saldatura protetta sarà ora più calda dell'altra.

Ne risulterà (sez. 161) che una corrente elettrica positiva passerà dal bismuto all'antimonio attraversando la saldatura protetta.

Abbiamo qui una apparente anomalia. In effetti il circuito si raffredda cioè perde energia mentre nello stesso tempo, si manifesta energia sotto un'altra forma e soprattutto sotto quella di una corrente elettrica che circola lungo il circuito. È chiaro che una certa quantità di calore di questo circuito deve essere spesa per generare questa corrente; ci dobbiamo attendere che la corrente agisca come una macchina mossa dal calore, con questa sola differenza che produrrà energia di corrente invece di energia meccanica, e di conseguenza vi sarà forzatamente un trasporto di calore dalle parti più calde a quelle più fredde del circuito. Tale è in realtà l'effetto della corrente poiché, attraversando la saldatura più calda nella direzione della freccia, la raffredda e scalda la più fredda in C, in altre parole il trasporto del calore dalle parti più calde alle più fredde del circuito. Vi sarà motivo di essere molto sorpresi se una simile corrente avesse raffreddato C e scaldato H, poiché avremmo avuto allora una manifestazione di energia di corrente accompagnata da un trasporto di calore da una sostanza più fredda, a un'altra più calda, e ciò è contro il principio dell'art. 152.

177. L'energia elettrica in movimento è convertita in energia di separazione chimica quando si fa scomporre un corpo da una corrente elettrica. Questo fenomeno, assorbendo una parte dell'energia della corrente, darà altrettanto meno calore. Supponiamo, per esempio, che ossidando una certa quantità di zinco nella pila, otteniamo in circostanze ordinarie, 100 unità di calore. Impieghiamo ora la pila per scomporre nello stesso tempo dell'acqua: troveremo probabilmente che ossidando la stessa quantità di zinco, otteniamo più di 80 unità di calore. È chiaro che le 20 unità che mancano saranno servite per scomporre l'acqua. Ma se infiammiamo la miscela del gas che risulta dalla decomposizione, ritroveremo precisamente queste 20 unità di calore e nulla di più o di meno. Vediamo quindi che per mezzo di tutti questi cambiamenti, la quantità di energia rimane sempre la stessa.

178. **Energia raggiante.** Questa forma di energia è trasformata in calore assorbito tutte le volte che colpisce una sostanza opaca; una parte è in genere riflessa ma la rimanente è assorbita dal corpo che di conseguenza si scalda. È curioso chiedersi cosa diviene la luce raggiante del sole che non è assorbita né dai pianeti del nostro sistema solare né dalle stelle. La nostra sola risposta a questa domanda è, che al punto in cui sono le nostre conoscenze, l'energia raggiante che non è assorbita attraversa lo spazio con una velocità di 300000 km/s.

179. Conosciamo solo un'altra trasformazione dell'energia raggiante, quella che produce una separazione chimica. Si sa che certi raggi del sole hanno il potere di scomporre il cloruro di argento e altri composti chimici. In tutti questi casi, vi è una trasformazione di energia raggiante in energia di separazione chimica. I raggi del sole scompongono pure l'anidride carbonica nelle foglie delle piante, dove il carbonio va a costituire la fibra di legno mentre l'ossigeno si libera nell'atmosfera; è evidente che una certa proporzione dell'energia dei raggi solari è usata per produrre questo cambiamento e che, di conseguenza, abbiamo un effetto calorico minore.

Ma tutti i raggi solari non hanno questa capacità: la proprietà di provocare cambiamenti chimici appartiene solo ai raggi blu e violetti e ad altri non percepibili dall'occhio umano. Ora questi raggi sono del tutto assenti dalla radiazione dei corpi a una temperatura relativamente bassa, come quella rossa scura, di modo che sarà impossibile per un fotografo ottenere una prova di un corpo *c rouge* perché la sola luce di questo corpo è in esso stesso.

180. I raggi attinici o chimicamente attivi del sole scompongono l'anidride carbonica nelle foglie delle piante e pertanto scompaiono o sono assorbiti. Questa osservazione spiega come un numero molto piccolo di questi raggi vengono o riflessi o trasmessi da una foglia illuminata dal sole e perché è difficile per un fotografo ottenere un'immagine di questa foglia. I raggi che avrebbero prodotto un cambiamento chimico sulla lastra fotografica sono tutti stati impiegati dalla foglia per un uso particolare.

181. Importa ricordare che, mentre gli animali, nell'atto della respirazione, consumano l'ossigeno dell'aria trasformandolo in anidride carbonica, le piante, al contrario, restituiscono l'ossigeno all'aria; i due regni animali e vegetali operano per il loro reciproco vantaggio e conservano la purezza dell'atmosfera.

Capitolo 5 - STUDIO STORICO - DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA

182. Nel capitolo precedente, abbiamo descritto le diverse trasformazioni di energia, fornito prove in appoggio alla teoria della conservazione e mostrato che questa ipotesi ci permette di raggruppare alcune leggi note, e di scoprirne delle nuove; in una parola, che essa descrive tutti gli aspetti della realtà. Sarà ora istruttivo gettare il nostro sguardo all'indietro per seguire i progressi di questo grande concetto dalla sua origine presso gli antichi fino alla sua introduzione e al suo trionfo grazie ai lavori di Joule e altri.

183. I matematici ci insegnano che se la materia consiste di atomi o piccole parti sulle quali agiscono forze che dipendono solo dalle distanze che le separano e non dalla velocità, si può dimostrare che la legge di conservazione dell'energia si verificherà sempre. Vediamo quindi che i concetti riguardanti gli atomi e le loro forze sono abbinati a concetti riguardanti l'energia. Un mezzo di tipo qualunque che riempia lo spazio sembra necessario alla nostra teoria. Infine si può supporre un universo composto di atomi separati da un mezzo intermedio come se fosse una macchina e le leggi dell'energia come quelle che descrivono il lavoro di questa macchina. È possibile che questa teoria degli atomi non sia la più semplice, ma è probabile che non siamo ancora in condizione di formulare un'ipotesi più generale. Ci basta considerare proprio il nostro sistema solare per cogliervi un ampio esempio di questo concetto; i diversi corpi celesti si attraggono reciprocamente con forze funzioni delle distanze e indipendenti dalle velocità, e abbiamo un certo mezzo in virtù del quale l'energia raggiante è trasportata dal sole alla terra. Può darsi che non sbagliamo di molto pensando una molecola come una rappresentante su piccola scala di qualche cosa di analogo al sistema solare e paragonando i diversi atomi che formano la molecola ai diversi corpi di questo sistema. La rapida analisi storica che tratteremo abbraccerà, oltre all'energia, i progressi intellettuali e speculativi riguardanti gli atomi e al mezzo che li circonda. D'altra parte questi temi sono intimamente connessi ai concetti sull'energia.

184. **Opinione di Eraclito sull'energia.** Eraclito, che insegnò a Efeso 500 anni prima di Cristo, dichiarò che il fuoco era il principio e che tutte le cose erano sottoposte ad un flusso perpetuo. Una simile espressione sarà di certo vista come molto vaga ai nostri tempi ma precisa nelle sue affermazioni minori e pertanto sembra evidente che Eraclito possedeva una viva concezione dell'eterna mobilità e dell'energia dell'universo. Questa concezione il cui carattere si avvicina al nostro, è solo un poco meno precisa di quella dei nostri filosofi moderni che suppongono la materia come essenzialmente dinamica.

185. **Opinione di Democrito sugli atomi.** Democrito, nato nel 470 a.C., fu il creatore di questa teoria degli atomi che, ripresa in seguito da John Dalton, permise al genere umano di comprendere le leggi che regolano i meccanismi chimici e di rappresentarsi i fenomeni che avvengono in tali condizioni. Non vi è forse oggi una teoria che, più di quella atomica, possiede un legame più stretto con le attività della vita ordinaria, e non vi è probabilmente, tra le nazioni civili, un direttore intelligente di uno stabilimento chimico, che non sia in grado di rappresentarsi, grazie ad essa, la natura dei cambiamenti che avvengono sotto i suoi occhi. È assai curioso che Bacone si sia giustamente basato sulla teoria atomica per stabilire uno dei punti della sua morale filosofica.

Un male così grande, disse, è quello che nelle loro idee filosofiche e nelle loro contemplazioni, gli uomini spendono i loro sforzi per ricercare e discutere i principi primi delle cose e i limiti estremi della natura, quanto tutto quanto è utile e atto a rendere servizi pratici si incontra solo in ciò che è intermedio. È per questo che gli uomini continuano a penetrare nella natura astratta fino ad arrivare alla materia potenziale e non ancora formata. Essi spingono allora più la suddivisione della natura e finiscono per raggiungere

gli atomi, cose che, supposte vere, non possono servire molto ad aiutare gli uomini a migliorare il loro destino.

Approfittiamo della lezione che ci danno queste riflessioni del Padre della scienza sperimentale e siamo prudenti prima di respingere come del tutto inutile un settore qualsiasi della conoscenza o un ordine di pensiero.

186. **Opinione di Aristotele sull'esistenza del mezzo.** Per quanto riguarda l'esistenza di un mezzo, Whewell osserva che gli antichi svilupparono l'idea di un mezzo tramite il quale sono percepite le qualità particolari dei corpi come i colori e i suoni; a sostegno della sua opinione, cita il seguente passo di Aristotele.

"Nel vuoto non può esservi differenza tra l'alto e il basso, poiché dove non vi è nulla non si possono avere differenze; non esiste nulla in privazione o negazione".

Su questo tema, lo storico della scienza sottolinea quanto segue: Si vede facilmente che un simile modo di ragionare attribuisce alle forme familiari del linguaggio e ai valori intellettuali fittizi dei termini la superiorità sui fatti.

Non si potrebbe neppure replicare che il nostro concetto di materia deriva dall'esperienza familiare che ci insegna che certe parti dello spazio ci appaiono in un certo modo. Non siamo, di conseguenza, in diritto di dire che vi deve essere qualche cosa là dove sentiamo per esperienza un alto o un basso? Esiste, dopo tutto, una così grande differenza tra questo argomento e quello dei nostri fisici moderni in favore di un pieno, quando dicono che la natura non può agire dove non c'è?

Aristotele sembra ancora avere avuto la nozione che la luce non è un corpo o l'emanazione di un corpo qualsiasi, ciò che la farebbe in realtà una sorta di corpo, e che, di conseguenza, questa luce è un'energia o un'azione.

187. **Le idee degli antichi erano infeconde.** Queste citazioni provano in modo evidente che gli antichi avevano, entro certi limiti, concepito l'idea dell'agitazione e dell'energia come parte essenziale della natura delle cose. Essi credevano anche a piccole particelle o atomi e infine a un mezzo di un tipo qualsiasi. Tuttavia queste concezioni non furono feconde; esse non diedero vita a nulla di nuovo.

Gli storici della scienza sono, senza dubbio alcuno, nel vero rimproverando agli antichi la loro mancanza di chiarezza e questa contraddizione tra le idee e i fatti. Tuttavia abbiamo visto che i nostri antenati non erano del tutto ignoranti dei principi più profondi e più intimi dell'universo materiale. Nel grande inno cantato dalla Natura, si sentono subito le note fondamentali, ma servono molti secoli di attesa e di pazienza prima che l'orecchio esercitato del musicista abile possa apprezzare la forte armonia che lo circonda. Probabilmente gli sforzi degli antichi erano confrontabili agli schizzi di un bambino che cerca di mostrare grossolanamente i contorni di un edificio, mentre i concetti dei fisici odierni si avvicinano maggiormente a quelli dell'architetto o di quelli dell'uomo che ha realizzato, almeno in certa misura, le vedute dell'architetto.

188. Gli antichi possedevano molta genialità e una grande capacità intellettuale, ma essi erano meno efficaci sui concetti fisici; le loro idee erano di conseguenza infeconde. Non si può dire, che attualmente, lasciamo a desiderare per simili concezioni; tuttavia ci si domanderà se non vi è in noi una tendenza a cadere nell'estremo opposto e a spingere all'eccesso le nostre teorie sulla natura. Facciamo attenzione a non cadere nelle mani di Cariddi volendo evitare Scilla. L'universo possiede più di un punto di vista ed è possibile che vi siano regioni che rifiutano di cedere i loro tesori ai fisici più audaci armati solamente di chilogrammi, metri e cronometri.

189. **Idee di Cartesio, di Newton e di Huyghens sull'esistenza di un mezzo.** Nei tempi moderni, Cartesio, l'inventore dell'ipotesi dei vortici, suppose necessariamente l'esistenza

di un mezzo che riempiva gli spazi interplanetari; d'altra parte, fu uno dei creatori di questa idea che considera la luce come una successione di particelle scagliate da un corpo luminoso. Newton pensò pure all'esistenza di un mezzo; ma divenne poi il difensore della teoria dell'emissione. È a Huyghens che va dato l'onore per aver stabilito per primo la teoria ondulatoria della luce con una precisione sufficiente rendere conto della doppia rifrazione. Dopo di lui, Young, Fresnel e i loro successori svilupparono questa teoria e gli permisero di spiegare i fenomeni più complessi e più meravigliosi.

190. **Opinioni di Bacone sul calore.** Qualunque sia l'opinione che ci si può fare di questi argomenti, Bacone sembra aver chiaramente riconosciuto la natura del calore e averlo considerato come una specie di moto. In base a questi esempi esaminati nel loro insieme o individualmente, disse, la natura di cui il calore è il limite sembra essere il movimento. Successivamente aggiunse: Ma quando affermiamo che il movimento è solo un tipo di calore, non intendiamo che il calore genera il movimento o che il moto genera il calore, benché queste due interpretazioni possano essere vere in qualche caso, vogliamo dire che il calore considerato nella sua essenza è dovuta al movimento e a nessun'altra cosa.

Servirono circa tre secoli prima che la corretta teoria del calore fosse sufficientemente radicata per divenire una ipotesi feconda.

191. **Principio delle velocità virtuali.** In uno dei capitoli precedenti, abbiamo parlato in dettaglio di lavori relativi al calore eseguiti da Davy, Rumfort e Joule. Se Galileo e Newton non compresero la natura dinamica del calore, essi ebbero tuttavia una concezione precisa delle funzioni di una macchina. Il primo vide che ciò che noi guadagniamo in potenza lo perdiamo in spazio percorso, il secondo comprese che una macchina lasciata a se stessa è strettamente limitata nella quantità di lavoro che può compiere, anche se la sua energia è in grado di variare da energia di movimento a energia di posizione e viceversa, secondo le leggi geometriche della meccanica.

192. **Origine delle vere idee relative al calore.** È, secondo noi, fuori questione che l'immenso sviluppo delle operazioni industriali che è avvenuto nella nostra epoca ha indirettamente fatto progredire le nostre idee sul concetto di lavoro. L'umanità non manca di fare tutti i suoi sforzi per sfuggire per quanto possibile ad un lavoro faticoso. Un tempo quelli che avevano il potere possedevano schiavi che lavoravano per loro, ma già anche il padrone doveva dare un equivalente qualsiasi per il lavoro svolto. A considerare le cose dal suo punto di vista meno elevato, uno schiavo è una macchina, deve essere nutrito, e, inoltre, può divenire una macchina assai pericolosa se non lo si tratta in modo opportuno. I grandi perfezionamenti introdotti da Watt nella macchina a vapore sono stati fatti tanto per migliorare la condizione del lavoratore quanto per abolire la schiavitù. Il lavoro faticoso dell'umanità è stato posto su spalle di ferro che non si piegano; ne è derivata una vasta estensione dell'industria e un grande miglioramento delle condizioni delle classi sociali inferiori. Ma se abbiamo trasferito il lavoro faticoso alle macchine, è importante sapere ciò che si deve chiedere a una macchina, quanto lavoro si può fare in un giorno? Riassumendo, è necessario avere sul lavoro le idee più chiare possibili.

Comprenderemo da questo che gli uomini hanno poche possibilità di sbagliare nel loro metodo di valutazione del lavoro. I principi sui quali si basa questa misura sono stati per così dire fissati nel cuore e nello spirito dell'umanità. Per chi usa il lavoro dell'uomo o delle macchine, l'impiego di un metodo errato di misura implica molto semplicemente la rovina, è quindi probabile che farà il massimo sforzo per determinarlo con esattezza.

193. **Moto perpetuo.** Tra la folla dei lavoratori che cercano di sfuggire alla maledizione del lavoro, emerge talvolta un entusiasta che si sforza di sfuggire mediante un artificio a questa insopportabile tirannia. Perché non costruire una macchina in grado di fornire un lavoro illimitato senza che sia necessario di alimentarla in un modo qualunque? La natura possiede un punto debole nella sua corazza, bisogna sicuramente trovare un modo di

prenderla di sorpresa; è tirannica solo in apparenza, solo per meglio stimolare la nostra ingegnosità, ma cederà alla tenacia del genio.

Cosa risponderà l'uomo di scienza a questo entusiasta ? Non può dirgli che ha piena familiarità con tutte le forze della natura e che è in grado di dimostrare l'impossibilità del moto perpetuo; in realtà, conosce solo poche cose su queste forze. Ma pensa di aver penetrato lo spirito e il disegno della natura, e di conseguenza, nega immediatamente la possibilità di una simile macchina. Nega con intelligenza e mette la sua negazione sotto la forma di una teoria che gli permette di scoprire numerose e preziose relazioni tra le proprietà della materia, enuncia le leggi dell'energia e il grande principio di conservazione.

194. **Teoria della conservazione.** Abbiamo dato un rapido abbozzo della storia dell'energia e dei problemi connessi rimontando fino all'aurora del periodo strettamente scientifico. Abbiamo visto che la sterilità delle prime idee che si erano formate era attribuibile a una mancanza di chiarezza scientifica, e non ci resta che dire qualche parola sulla teoria della conservazione.

Anche qui, la via è stata indicata da due scienziati, Grove in Inghilterra e Mayer in Germania, i quali mostrarono alcune relazioni tra le diverse forme di energia; citiamo anche il nome di Séguin. Tuttavia, è a Joule che appartiene l'onore di aver stabilito la teoria su una base indiscutibile, poichè è soprattutto in questo caso che la speculazione deve essere sottoposta alla prova senza appello dell'esperienza. La grandezza del principio è tale, la sua importanza è così grande che serve tutta la capacità del genio unita al paziente lavoro dello sperimentatore scientifico per forgiare il minerale grezzo e fabbricare l'arma che forgerà la ruota attraverso tutti gli ostacoli no alla cittadella in cui è racchiusa la Natura e strappare i veli con cui circonda i suoi segreti più profondi.

Immediatamente dopo i lavori di Joule, vengono quelli di William e James Thomson, Helmholtz, Rankine, Clausius, Tait, Andrews, Maxwell che, con numerosi altri scienziati, hanno fatto progredire la questione. Mentre Joule accordava la sua attenzione alle leggi che regolano la trasformazione dell'energia meccanica in calore, Thomson, Rankine e Clausius si occupavano in particolare del problema inverso riferendosi alla trasformazione del calore in energia meccanica. Thomson, in particolare, attaccò il problema con tanto vigore, partendo da questo punto di vista, che finì per divenire padrone di un principio la cui importanza è di poco inferiore a quella della conservazione dell'energia. Andiamo a parlarne senza più tardare.

195. **Dissipazione dell'energia.** Joule, come detto, dimostrò questa legge secondo la quale il lavoro può essere trasformato in calore; Thomson e altri, quella secondo la quale il calore è in grado di trasformarsi in lavoro.

Thomson osservò che tra queste due leggi vi era una differenza molto importante e significativa; il lavoro si trasforma in calore con grande facilità, ma non è in potere dell'uomo ritrasformare tutto il calore in lavoro. Il fenomeno non è reciproco, e ne risulta che l'energia meccanica dell'universo si trasforma ogni giorno sempre di più in calore.

Si vede facilmente che se il fenomeno fosse invertibile, non sarebbe impossibile ottenere un qualche tipo di moto perpetuo. Infatti, senza sperimentare di creare energia da una macchina, basterebbe, per ottenere un moto perpetuo, trovare i modi di utilizzare le vaste scorte di calore poste in tutti i corpi che ci circondano e convertirle in lavoro. È evidente che, sia per attrito, sia in altro modo, questo lavoro finirebbe prima o dopo per trasformarsi in calore. Se il fenomeno è reversibile, il calore potrebbe ancora convertirsi in lavoro, e così di seguito all'infinito. La non reversibilità arresta questo ragionamento. Posso convincermi da solo, sfregando un pulsante di metallo su un pezzo di legno, dalla facilità con la quale il lavoro può convertirsi in calore; ma la mia mente è incapace di suggerirmi un metodo qualsiasi per mezzo del quale il calore potrebbe convertirsi di nuovo in lavoro.

Se ciò avvenisse, e sempre in una stessa direzione, il suo risultato è fuori di dubbio. L'energia meccanica dell'universo si trasformerà sempre più in calore universalmente diffuso, e questo finirà per essere un luogo abitabile per gli esseri viventi.

La conclusione è sorprendente. Per renderla ancora più chiara, studiamo le diverse forme di energia utile oggi a nostra disposizione e cerchiamo di renderci conto nello stesso tempo delle sorgenti ultime di queste fonti.

196. **Energie naturale e loro fonti.** Possediamo la seguente varietà di energia a riposo: (1) Energia del combustibile, (2) di nutrimento, (3) d'una massa d'acqua a livello elevato, (4) quella che si può trarre dalle maree, (5) l'energia di riparazione chimica esistente nello zolfo nativo, nel ferro nativo, ecc.

Relativamente all'energia in movimento abbiamo le due principali varianti seguenti: (1) Energia dell'aria in movimento, (2) energia dell'acqua in movimento.

197. **Combustibile.** Cominciamo dall'energia del combustibile. Possiamo evidentemente bruciare combustibile o obbligarlo a combinarsi con l'ossigeno dell'aria, e siamo così in grado di ottenere grandi quantità di calore ad alta temperatura, per mezzo del quale ci scaldiamo, cuciniamo i nostri cibi, facciamo muovere le nostre macchine tramite il calore che impieghiamo come una sorgente di potenza meccanica.

Vi sono due tipi di combustibile: la legna e il carbone; se consideriamo la loro origine, vediamo che essi sono prodotti dai raggi del sole. Come abbiamo sottolineato (180), alcuni di questi raggi scompongono l'anidride carbonica nelle foglie delle piante, liberano ossigeno mentre il carbonio serve a fabbricare la struttura o il legno delle piante. L'energia di questi raggi si consuma durante il fenomeno e non rimane nemmeno una quantità sufficiente per produrre una buona immagine della foglia di una pianta, poiché essa si consuma interamente nel fare legno.

L'energia racchiusa nella legna proviene quindi dai raggi del sole; la stessa procedura si applica al carbone. Tra legna e carbone vi è solo una differenza di età, l'una proviene appena dal laboratorio della natura, mentre migliaia di anni ci separano dall'epoca in cui il carbone costituiva le foglie delle piante viventi.

198. Siamo quindi pienamente autorizzati a dire che l'energia del combustibile proviene dai raggi del sole⁶; il carbone è la scorta preparata dalla natura per fungere in qualche modo da capitale, mentre la legna è la nostra precaria rimessa annuale.

Siamo oggi nella posizione di un giovane ereditiere che riceve la sua fortuna e che, non contento della sua parte, sperpera rapidamente i suoi fondi. Questa analogia ci è stata dimostrata nel modo più evidente dal professor Jevons: egli ha sottolineato che non solo noi consumiamo il nostro capitale, ma che siamo disposti a sperperare la parte più utile e più preziosa. Infatti impieghiamo ora il carbone superiore; ma verrà un tempo in cui si esaurirà e saremo obbligati ad andare a cercare le nostre scorte nelle profondità del suolo. Considerate intanto come fonti di energia, queste scorte, se poste in profondità, saranno forzatamente meno efficaci poiché bisognerà detrarre la quantità di energia necessaria per portarle in superficie. Ne deriva che dobbiamo prevedere un tempo, per quanto lontano sia, in cui le nostre scorte di carbone saranno esaurite e in cui saremo obbligati a cercare altri fonti energetiche.

199. **Alimenti.** L'energia degli alimenti è analoga a quella del combustibile e serve a bisogni simili. Il combustibile può essere impiegato sia per produrre calore sia per compiere lavoro; gli alimenti hanno un doppio ruolo da svolgere. Dapprima, tramite la loro graduale ossidazione, mantengono la temperatura corporea; in secondo luogo, producono

⁶Questo fatto sembra essere stato conosciuto in un'epoca relativamente recente da Herschel e dal più vecchio degli Stephenson.

questa energia che si spende per produrre lavoro. Un uomo o un cavallo lavorando molto hanno bisogno di mangiare di più che essi fossero inattivi; un prigioniero condannato ai lavori forzati richiede più nutrimento di quello che rimano fermo e immobile, un soldato deve assorbire più alimenti in tempo di guerra che in quello di pace.

I nostri alimenti provengono dal regno animale o dal regno vegetale. Nel secondo caso, provengono direttamente dall'energia dei raggi del sole, nel primo caso la sola differenza è che l'alimento è passato per il corpo di un animale prima di arrivare a noi; l'animale ha mangiato l'erba e noi abbiamo mangiato l'animale. Impieghiamo l'animale non solo come varietà alimentare nutritiva ma anche al fine di permettere l'utilizzo indiretto dei prodotti vegetali come l'erba, che la condizione attuale dei nostri organi digestivi non ci permette di utilizzare direttamente.

200. **Acqua ad un livello elevato.** L'energia di una massa d'acqua, come quella del combustibile e degli alimenti, deriva dai raggi del sole. Il sole fa evaporare l'acqua che dopo essere stata condensata sulle terre elevate diviene poi utilizzabile. Sottolineiamo solo che il combustibile e gli alimenti sono dovuti alla potenza attinica (chimica) dei raggi del sole, mentre l'evaporazione e la condensazione dell'acqua sono prodotti dal loro effetto calorico.

201. **Energia dalle maree.** L'energia proveniente dalle maree ha una diversa origine. Alla sezione · 133, ci siamo sforzati di mostrare il modo d'agire della Luna sulla parti fluide del nostro globo e come ne deriva una riduzione, molto lenta, dell'energia di rotazione della Terra. Bisogna quindi considerare questo moto di rotazione come una fonte di energia utilizzabile derivata da macchine mosse dalle maree.

202. **Zolfo nativo, ecc.** L'ultimo tipo di energia di posizione utilizzabile compresa nel nostro elenco è quella che si trova nello zolfo nativo, il ferro nativo, ecc. M. Tait, al quale dobbiamo questo metodo di individuazione delle nostre forze, ha sottolineato che questo tipo è forse quella che esiste originariamente, ed è possibile che l'interno della terra sia interamente costituito da materia sotto questa forma non combinata. Del resto, non possiede alcuna importanza fintanto che rimane una sorgente non utilizzabile.

203. **Aria e acqua in moto.** Passiamo a questi tipi di energia utile che rappresentano il movimento; i più importanti sono quelli dell'aria e dell'acqua in movimento. È a causa della prima che il marinaio spiega la propria vela e conduce il suo vascello da un punto all'altro della superficie terrestre, che il mulino a vento macina il nostro grano. Tuttavia l'acqua in movimento è forse ancora più utilizzata dell'aria in qualità di potenza motrice.

Questi due tipi di energia sono dovuti senza alcun dubbio all'effetto calorico dei raggi del sole. Possiamo di conseguenza affermare che ad eccezione del contributo assolutamente insignificante fornito dalla zolfo nativo, ecc., e del piccolo numero di mulini mossi dalle maree che possono esistere, tutta la nostra energia utilizzabile proviene dal sole.

204. **Il Sole considerato come sorgente di calore ad alta temperatura.** Volgiamo per un momento la nostra attenzione sul sole, questa meravigliosa sorgente di energia. Questo astro costituisce una vasta riserva di calore ad alta temperatura, e questo tipo di energia superiore è sempre stata molto ricercata. Si sono fatti numerosi tentativi sia per fabbricare una luce perpetua sia per costruire un moto perpetuo, con questa sola differenza che, in un caso, si supponeva l'intervento di un potere magico e nell'altro si credeva di poter ricorrere all'abilità meccanica.

Walter Scott allude a questa credenza descrivendo la tomba di Michael Scott che ricorda una luce perpetua. Il frate che ha sepolto il mago dice a William de Deloraine:

"Sveglia, guerriero, che la croce rossa si dirige verso la tomba del morto potente; la risplende una meravigliosa luce destinata a mettere in fuga gli spiriti che popolano la

notte. Questa lampada brucerà senza mai spegnersi fino al momento in cui suonerà l'ora dell'eternità".

E quando la tomba è aperta, il poeta continua:

"Avrei voluto che voi foste là per vedere come la luce scaturisse in tutta la sua gloria; essa scorre fin sul tetto del santuario e si spande lontano attraverso le gallerie; mai fiamma terrestre è stata più brillante".

Alcuna fiamma terrestre - il poeta aveva ragione. - Su questa terra, la luce e tutte le altre forme di energia superiore sono essenzialmente fuggevoli.

205. **Impossibilità di una luce perpetua.** I nostri lettori comprenderanno immediatamente che luce perpetua e il moto perpetuo sono due nomi dati alla stessa idea poiché possiamo sempre dal calore ad alta temperatura ottenere energia. È quanto avviene in realtà ogni giorno nelle nostre macchine mosse dal calore. Quando bruciamo carbone e lo obblighiamo a combinarsi con l'ossigeno dell'aria, questo fenomeno ci fornisce una vasta scorta di calore ad alta temperatura. Ma non sarà possibile prendere l'anidride carbonica che si ottiene dalla combustione e, per mezzo del calore a bassa temperatura che abbiamo sempre in abbondanza a nostra disposizione, ritrasformarlo in carbonio e ossigeno? Tutto ciò si potrebbe fare se ciò che si chiama temperatura di dissociazione, cioè la temperatura alla quale l'anidride carbonica si separa in questi elementi, fosse poco elevata o se raggi provenienti da una sorgente a bassa temperatura possedessero una potenza chimica sufficiente a scomporre l'anidride carbonica. Non è però così. La natura non si lascia sorprendere da un simile stratagemma. Come per porre un termine a tutte queste speculazioni, le temperature di dissociazione di sostanze analoghe all'anidride carbonica, sono tutte troppo alte, e i raggi chimici in grado di causare la scomposizione appartengono solo a sorgenti a temperatura eccessivamente alta, per esempio il sole⁷.

207. **Origine del calore del sole.** Alcune persone sarebbero volontariamente disposte a tranciare in un solo colpo il nodo gordiano e ad affermare che l'astro che ci rischiara è stato creato caldo dall'inizio; tuttavia una mente scientifica si rifiuta di ammettere questa affermazione. Raccogliamo un ciottolo smussato sulla riva del mare e riconosciamo immediatamente che una certa causa fisica gli ha dato la sua forma. Non è così per il calore del sole; bisogna chiederci se non esista una causa, non del tutto immaginaria, ma che sappiamo o perlomeno supponiamo di essere forse ancora in attività e in grado di spiegare il calore del sole.

Ora è più facile mostrare ciò che non può spiegare il calore del sole che ciò che lo può fare. Così siamo perfettamente certi che non è stato prodotto da un'azione chimica. La teoria più probabile è quella di Helmholtz e di Thomson⁸ che attribuiscono il calore del sole all'energia di posizione posseduta in origine dalle sue particelle. In altre parole si suppone che queste particelle, prima ad una grande distanza le une dalle altre, ma sottoposte alla forza di gravità, si sono poi gradualmente avvicinate, e che questo fenomeno ha liberato calore come ne libererebbe una pietra che cade dalla sommità di una roccia sulla terra.

208. Questa spiegazione non è del tutto immaginaria, e abbiamo motivo di credere che ciò possa ancora avvenire per certe nebulose; la loro costituzione, come è rivelata dallo spettroscopio, e la loro apparenza generale fanno nascere nella mente dell'osservatore l'idea che esse non sono ancora condensate e non hanno ancora acquisito la loro forma e dimensione finale.

Se ammettiamo che il sole ha ottenuto così le sue meravigliose scorte di potente energia, abbiamo ancora da chiederci fino a che punto questa trasformazione è in atto al momento

⁷ Questo aspetto è dovuto a sir William Thomson.

⁸ Mayer e Waterson sembrano essere stati i primi a cogliere i rudimenti di questa idea

attuale. È una cosa del passato o del presente ? Possiamo, penso, rispondere che il sole non si condensa molto rapidamente, considerando perlomeno solo l'intervallo dei tempi storici. Se il sole fosse stato un tempo assai maggiore di oggi, la sua eclissi totale da parte della luna sarebbe stata impossibile. Tali eclissi hanno certamente avuto luogo da parecchie migliaia di anni. Non vi è da dubitare che un nugolo di meteore non cade sul sole e non tende ad aumentarne in tal modo il calore; tuttavia il risultato derivato da questa sorgente deve essere alquanto insignificante. Ma se il sole, in realtà, non si condensa molto velocemente per trarre da tale fenomeno una quantità sufficiente di calore, ne deriva necessariamente che si trova nella situazione di un uomo i cui consumi superano le entrate. Egli vive sul capitale e deve forzatamente dividere la sorta dell'ereditiere prodigo. Dobbiamo quindi prevedere un periodo futuro in cui sarà più povero di energia e un periodo ancora più ridotto fino alla cessazione dell'emissione di luce.

209. **Destino probabile dell'universo.** Se tale è il futuro dell'energia ad alta temperatura dell'universo, pensiamo a ciò che avverrà della sua energia visibile. Abbiamo già parlato di un mezzo che riempie lo spazio e il cui ruolo sembra essere di arrestare e alla fine di annullare tutto il moto differenziale assoluto così come tende a ridurre e alla fine ad appianare tutte le differenze di temperatura. L'universo finirà quindi per divenire una massa calda, assolutamente inutile dal punto di vista della produzione di calore, poiché questa produzione dipende dalla differenza di temperatura.

Vi è, di conseguenza, anche se in un senso strettamente meccanico, conservazione di energia, e tuttavia, dal punto di vista dell'utilità e dell'interesse degli esseri viventi, l'energia dell'universo è in via di distruzione. Il calore universalmente diffuso costituisce ciò che possiamo chiamare l'ammasso dei materiali di scarto dell'universo e tale ammasso aumenta di anno in anno. Attualmente non ha una grande importanza, ma chi può assicurare che non venga un tempo in cui avremo praticamente consapevolezza del suo aumento ?

210. In questo capitolo, abbiamo considerato l'universo non come un insieme di materia, ma come un agente energetico, in qualche modo come una lampada. Thomson si è basato su questo aspetto e ha osservato che, poiché l'universo è un sistema che ha avuto un inizio, deve avere una fine, poiché un fenomeno di deterioramento non può essere eterno. Se proviamo a considerare l'universo come una lampada non accesa, sarà forse ammissibile vederlo come sempre esistito; ma se lo consideriamo come una lampada accesa, diveniamo assolutamente certi che non può bruciare per l'eternità, e che verrà un tempo in cui cesserà di bruciare. Siamo quindi portati a risalire ad un inizio in cui le particelle di materia erano in uno stato di caos diffuso ma dotate di gravità, per sfociare in una fine in cui l'universo intero sarà solo una massa inerte, ugualmente riscaldata, e dal quale sarà del tutto scomparsa tutta la vita, tutto il movimento e tutta la bellezza.

Capitolo 6 - Posto della vita nell'universo

211. Ci siamo finora quasi interamente limitati a una discussione delle leggi dell'energia fintanto che esse riguardano la materia inanimata e abbiamo assai poco considerato ciò che concerne la vita. Ci siamo quasi accontentati di rimanere spettatori del dibattito e abbiamo dimenticato che siamo pienamente interessati ai suoi risultati. Questo conflitto non è di quelli che ammettono spettatori, è una lotta universale in cui tutti dobbiamo tenere la nostra posizione. Proviamo quindi, con le nostre capacità, a renderci conto della nostra reale posizione.

212. **Doppia natura dell'equilibrio.** Una delle prime lezioni che ci ha fornito la meccanica è quella della doppia natura dell'equilibrio, L'equilibrio può essere stabile o instabile, e un uovo ci permette di renderci facilmente conto di questo fatto. Prendiamo una tavola in equilibrio e deponiamo su di essa un uovo; sappiamo tutti i modi in cui sarà a riposo. Rimarrà a riposo, cioè sarà in equilibrio e il suo equilibrio sarà pure stabile. Per mostrarlo, proviamo a spostarlo con le dita e vedremo che, quando cesseremo la nostra pressione, tornerà prontamente alla sua posizione originaria e dopo una o due oscillazioni, ritornerà a riposo. Ci vorrà d'altronde un consumo misurabile di energia per spostarlo. È questo insieme di fatti che enunciamo dicendo che l'uovo si trova in equilibrio stabile.

213. **Instabilità meccanica.** Proviamo ora a porre l'uovo sul suo asse maggiore. È probabile che una sufficiente attenzione ci consentirà di giungere a questo risultato. Ma l'operazione è difficile, esige una grande delicatezza nel tocco, e anche dopo un successo, ignoriamo per quanto tempo si manterrà in questo stato. La spinta più leggera, un soffio d'aria, basterà a far cadere l'uovo che è evidentemente in equilibrio instabile. Se l'uovo è posto pure sul bordo del tavolo, è molto probabile che cadrà al di sotto; vi è per così dire uguale possibilità per lui di cadere a terra o sul tavolo. È chiaro che la pura possibilità non ha nulla a che fare qua dentro, e che i moti non sono privi di una causa, che sono decisi da un impulso esterno infinitamente piccolo, al punto da essere assolutamente al di fuori della nostra capacità di osservazione. Prima di eseguire il nostro tentativo, abbiamo accuratamente eliminato tutte le correnti d'aria, tutte le imperfezioni della superficie, tutte le influenze esterne di qualsiasi tipo, in modo che nel momento in cui l'uovo cade, siamo incapaci di assegnare l'origine dell'impulso che ne ha determinato il movimento.

214. Se l'uovo cade dalla tavola sul pavimento, vi è una significativa trasformazione di energia, poiché l'energia di posizione, dovuta all'altezza alla quale l'uovo posto sulla tavola si trova, si è completamente e tutta di colpo tramutata in energia di movimento e poi in calore nel momento del contatto con il suolo. Ma quando l'uovo cade sul tavolo, la trasformazione di energia è relativamente piccola.

Vediamo che un impulso esterno anche se tanto piccolo da sfuggire alla nostra osservazione basta a far cadere l'uovo a terra e a dare origine a una trasformazione di energia relativamente grande oppure se l'uovo cade sul tavolo genera solo una trasformazione relativamente piccola.

215. **Instabilità chimica.** Un corpo o un sistema in equilibrio instabile può subire una trasformazione d'energia assai importante e derivante da una causa o da un antecedente eccessivamente piccolo. Nel caso citato, la forza è quella gravitazionale poiché la disposizione è di instabilità meccanica. Ma possiamo avere una sostanza, un sistema, in cui la forza non sia la gravità, ma l'affinità chimica, di modo che la sostanza, o il sistema, in condizioni particolari, divenga chimicamente instabile.

Dire che una sostanza è chimicamente instabile significa che l'impulso più piccolo di un tipo qualunque è in grado di determinare in essa un cambiamento chimico, assolutamente come nel caso dell'uovo la minima causa esterna determina uno spostamento meccanico.

Infine, una sostanza o un sistema chimicamente instabile hanno con l'affinità chimica un rapporto circa simile a quello che un sistema meccanicamente instabile possiede rispetto alla gravità. La polvere di cannone è un esempio noto di una sostanza chimicamente instabile. La minima scintilla può causare un brusco cambiamento chimico accompagnato dalla generazione istantanea e violenta di una grande quantità di gas caldo. I diversi composti esplosivi come la polvere di cotone, la nitroglicerina sono altrettanti esempi di strutture chimicamente instabili.

216. **Due tipi di macchine.** Quando parliamo di una struttura, di una macchina o di un sistema, intendiamo semplicemente un certo numero di particelle che possiedono ciascuna la loro individualità e sono riunite insieme per produrre un certo risultato stabilito. Così il sistema solare, un cronometro, un fucile sono macchine inanimate, mentre un animale, un essere umano, un esercito, sono strutture o macchine animate. Queste strutture o macchine sono due generi diversi l'uno dall'altro, non solo per lo scopo da raggiungere ma anche per i mezzi necessari a raggiungere tale scopo.

217. In primo luogo, abbiamo strutture o macchine che hanno come scopo un'azione sistematica, in cui tutte le disposizioni sono di natura conservativa e in cui gli elementi di instabilità sono evitati il più possibile. Il sistema solare, un cronometro, una macchina a vapore in azione sono macchine simili e il loro carattere generale è la calcolabilità. L'astronomo abile è in grado di fissare con la più completa precisione il luogo che sarà occupato dalla luna o dal pianeta Venere ad un'ora stabilita del prossimo anno. L'eccellenza di un cronometro consiste nel fatto che le sue diverse lancette si dirigano esattamente verso una certa direzione dopo un certo intervallo di tempo. Possiamo anche essere certi che una macchina a vapore farà un certo numero di nodi orari, supponendo almeno che le condizioni esterne non cambino. In tutti questi casi, eseguiamo i nostri calcoli e non incorriamo in errori: lo scopo pressato è la regolarità d'azione e ci si arriva per mezzo di una disposizione stabile delle forze della natura.

218. La caratteristica dell'altro tipo di macchine è precisamente l'inverso. In esse lo scopo che ci propone è una trasformazione di energia non regolare, ma improvvisa e violenta, e i mezzi impiegati sono disposizioni instabili delle forze naturali. Un fucile carico munito di un grilletto molto sensibile è un eccellente esempio di una simile macchina, poiché la più piccola pressione esterna conduce all'esplosione della polvere da sparo e alla espulsione della palla a grande velocità. Queste macchine sono principalmente caratterizzate dalla loro incalcolabilità.

219. Per chiarire la nostra idea, supponiamo due cacciatori che vanno a caccia assieme, ognuno munito di un buon fucile e di un buon orologio. Dopo una giornata faticosa, uno dei due torna dal suo compagno e gli dice: Sono le sei al mio orologio, riposiamoci; al che l'altro guarda il suo orologio, ed è oltre che sorpreso anche indignato contro l'orologio se non constata, lui pure, che sono le sei. I loro orologi sono evidentemente nella stessa condizione e hanno compiuto lo stesso lavoro. Ma cosa dire dei loro fucili? Data la condizione di uno dei due, è possibile, con un calcolo qualunque, dedurre lo stato dell'altro? Questa sola supposizione è assurda.

220. Vediamo quindi che, relativamente all'energia, queste strutture sono di due tipi. In una, l'oggetto in esame è la regolarità d'azione ottenuta con l'aiuto di una disposizione stabile delle forze naturali, mentre nell'altro, si cerca la libertà di azione e una brusca trasformazione di energia derivante da una disposizione instabile delle forze naturali. La prima serie di macchine è caratterizzata dalla calcolabilità, la seconda dalla incalcolabilità; la prima una volta in funzione è difficilmente erronea, l'altra è caratterizzata da una grande precisione nella costruzione.

221. Un animale è una macchina costruita con precisione. Forse il lettore avanzerà una obiezione all'esempio del fucile che abbiamo introdotto. In effetti, benché quest'arma sia

una macchina costruita con cura, essa non rappresenta, per esempio, quella estrema precisione di un uovo in equilibrio, su un grande asse. Anche completamente carico e con uno scatto più accurato possibile, il fucile, ne siamo certi, non farà partire il colpo di propria volontà. Sebbene il suo scopo sia di provocare un'improvvisa e violenta trasformazione di energia, tuttavia questa deve essere preceduta dall'applicazione di una quantità di energia, minima è vero, sul grilletto, e se questa quantità non è spesa, il fucile non farà partire alcun colpo. La costruzione è certamente accurata, ma non al punto da rientrare nella incalcolabilità, ed è solo quando è tra le mani del cacciatore che l'arma diverrà una macchina sul cui stato non possiamo eseguire calcoli.

Facendo questa osservazione, definiamo la posizione del cacciatore stesso nell'universo dell'energia. Il fucile è costruito con cura ma questa può essere superata; il cacciatore e il fucile presi insieme costituiscono una macchina di accuratezza insuperabile: quindi il cacciatore stesso una macchina simile. Iniziamo di conseguenza a vedere che un essere umano o anche un animale di una qualsiasi specie è in realtà una macchina di una raffinatezza praticamente infinita di cui siamo assolutamente incapaci di prevedere la condizione o i movimenti. Non vi è assurdità evidente nell'idea che un uomo possa divenire in grado di calcolare i suoi movimenti o anche quelli dei suoi simili ?

222. La vita assomiglia al generale di un esercito. Prendiamo ora un'altra analogia. Supponiamo una guerra fatta da numerosi eserciti condotti da un generale assai capace. Questo comandante conosce troppo bene il proprio ruolo per esporsi; in realtà, non è mai visto da alcuno dei suoi subordinati: lavora in una stanza ben sorvegliata da dove partono dei fili telegrafici che lo collegano ai quartieri generali delle diverse divisioni. Con l'aiuto di questi fili, può trasmettere i suoi ordini ai generali comandanti le divisioni e a sua volta ricevere le informazioni che gli forniscono sulle rispettive condizioni. Così il quartier generale principale diviene un centro in cui tutte le informazioni arrivano e da cui si dipartono tutti gli ordini.

Questa cosa misteriosa chiamata vita, e sulla natura della quale sappiamo così poco, ha qualche somiglianza con questo generalissimo. La vita non è una sorta di furia nell'universo che sconvolge le leggi dell'energia in tutte le direzioni; è uno stratega consumato che, seduto nella sua dimora nascosta, davanti ai suoi fili, dirige i movimenti di un grande esercito.

223. Supponiamo che il nostro esercito compia una marcia rapida e cerchiamo la causa di tale movimento. Troviamo in primo luogo che ogni colonnello ha dato al suo reggimento l'ordine di marciare, apprendiamo in seguito che alcuni ufficiali di stato maggiore legati ai generali delle diverse divisioni hanno portato questi ordini ai colonnelli, e infine, che l'ordine di avanzare sia stato telegrafato dal quartier generale principale ad ognuno dei generali.

Riconduciamo ora a noi. É forse qualche parte nella camera misteriosa e così ben vigilata del cervello che si dà il tocco delicato che determina i nostri movimenti. Questa stanza costituisce in qualche modo il quartier generale del generalissimo, così ben nascosta che è del tutto invisibile a tutti i suoi subordinati.

224. Joule, Carpenter e Mayer conoscevano da tempo le restrizioni alle quali devono sottostare le animali per quanto riguarda le leggi dell'energia in virtù delle quali la potenza di un animale rispetto all'energia non è creativa ma solo direttiva. Si è visto che per compiere lavoro, un animale deve essere nutrito. In un periodo più recente, Rumford sottolineò che è più economico dare una tonnellata di fieno ad un cavallo per ottenerne una certa quantità di lavoro, che bruciare questo fieno per riscaldare una macchina.

225. Abbiamo, in questo capitolo, spinto un poco più lontano questo ordine di pensiero. Abbiamo visto che la vita è associata a macchine costruite con grande precisione, di modo

che tutte le volte che un essere vivente compie una trasformazione di energia, se potessimo ritornare all'origine dell'evento, troveremmo che l'antecedente fisico è stato probabilmente una trasformazione molto meno significativa la quale, a sua volta, l'antecedente è probabilmente ancora minore e così di seguito n dove è possibile risalire.

226. Ma con questo, non pretendiamo di aver scoperto la reale natura della vita stessa, né la reale natura del rapporto che essa presenta con l'universo materiale. Tutto quello che abbiamo avanzato nelle nostre affermazioni, è che, per quanto possiamo giudicare, la vita è sempre associata ad un sistema meccanico di un certo tipo per mezzo del quale un piccolo tocco finisce per essere accresciuto fino a divenire una trasformazione di energia assai grande. Possiamo appena immaginare che la libertà di movimento implicata nella vita esiste indipendentemente da un sistema meccanico costruito con estrema precisione.

Non siamo riusciti a risolvere il problema relativo alla reale natura della vita, abbiamo solo spinto avanti la difficoltà fino a un limite racchiuso da una profonda oscurità che la luce della scienza è stata incapace di cogliere.

227. **I tessuti organizzati dovranno deperire.** Abbiamo appreso così due cose: dapprima che la vita è associata alla precisione della costruzione, poi (sez. 220) che la precisione della costruzione implica una disposizione instabile delle forze naturali. Osserveremo che la forza particolare così utilizzata dagli esseri viventi, è l'affinità chimica. I nostri corpi sono in realtà esempi di un dispositivo instabile di forze chimiche, e i materiali che li compongono, se non sono sottoposti ad una brusca esplosione come la polvere da cannone, sono soggetti a deperimento.

228. É più di una semplice osservazione di carattere generale; è una verità che ammette gradi in virtù dei quali le parti dei nostri corpi che svolgono durante la vita il ruolo più nobile e più delicato sono i primi a scomparire quando la vita si spegne. *"É sugli occhi che la morte esercita soprattutto la sua potenza, essa scaccia le menti dal loro trono di luce; immerge i loro globi azzurri nel loro lungo e ultimo eclissi, e tuttavia sparge ancora il fascino diffuso sulle labbra".*

Così parla il poeta, e nell'immagine che ci offre di un uomo che cessa di vivere, ci dà una fedele interpretazione della natura.

229. Differenza tra gli animali e le macchine inanimate. Riconosciamo la differenza che esiste tra i rapporti relativi all'energia di un essere vivente, come un uomo, e di una macchina come una macchina a vapore.

L'uno e l'altra hanno tra loro più di un elemento comune: entrambi hanno bisogno di essere alimentati, e avviene una trasformazione dell'energia di separazione chimica nel combustibile e negli alimenti, in energia di calore e di movimento. Ma mentre la macchina richiede per alimentarsi solo carbone o qualche altra varietà di separazione chimica, l'essere vivente deve essere formato da tessuti organici. Questa cura nella costruzione, così essenziale per il nostro stato, non è qualcosa che possiamo elaborare all'interno del nostro organismo; tutto ciò che possiamo fare, è di appropriarci e di assimilare ciò che viene dall'esterno, che è già presente nei cibi che assorbiamo.

230. **La vita dipende, in ultima analisi, dal sole.** Abbiamo già considerato (sez. 203) il sole come la sorgente materiale finale di tutta l'energia che possediamo; bisogno ora vederlo anche come la fonte di tutta la precisione nella nostra costruzione. Basta l'energia dei suoi raggi ad alta temperatura per maneggiare le potenti forze dell'affinità chimica, per equilibrare le diverse forze, per produrre nei vegetali quel qualcosa che ci dà non solo l'energia, ma anche la precisione nella costruzione. Il calore a bassa temperatura sarà assolutamente incapace di svolgere un tale compito; esso consiste in vibrazioni dell'etere che non sono molto rapide e con onde non sufficientemente corte per dare il via e separare tra loro le molecole composte.

231. Si vede così che gli animali dipendono anche dai favori del sole, e questi esempi che sembrano essere eccezioni, serviranno solo a confermare la regola se la studia in modo sufficiente. Le recenti ricerche di M. W. B. Carpenter e di M. Wyville Thomson ci hanno rivelato l'esistenza di esseri molto piccoli che abitano le zone più profonde dell'Oceano dove possiamo essere sicuri che i raggi solari non sono mai penetrati. Come questi essere possono quindi ricevere questa energia e questa precisione senza delle quali sarebbero incapaci di vivere; in altre parole di cosa di nutrimento ?

Gli stessi naturalisti che hanno scoperto l'esistenza di queste creature ci hanno ultimamente dato una spiegazione molto verosimile di questo mistero. Essi pensano che tutto l'Oceano contiene una quantità molto piccola, anche se percepibile, di materia organica formante, per usare la loro espressione, un tipo di brodo molto diluito che serve come alimento.

232. È venuto il momento di formulare la nostra conclusione. Dipendiamo dal sole, centro del nostro sistema, non solo per l'energia dei nostri corpi, ma per la precisione nella nostra struttura; l'avvenire della nostra razza è legata all'avvenire del sole. Abbiamo visto che il sole ha avuto un inizio e che deve avere una fine. Se generalizziamo, vedremo non solo il nostro sistema, ma tutto l'universo materiale considerato dal punto di vista dell'energia utilizzabile, come essenzialmente transitorio e come abbracciante una successione di eventi naturali che non possono continuare ad essere indefinitamente quelli che sono. Ma allora giungiamo a materiali posti al di fuori della nostra portata. La scienza della natura non ci può insegnare ciò che è stato prima dell'inizio né ciò che ci sarà dopo la fine.