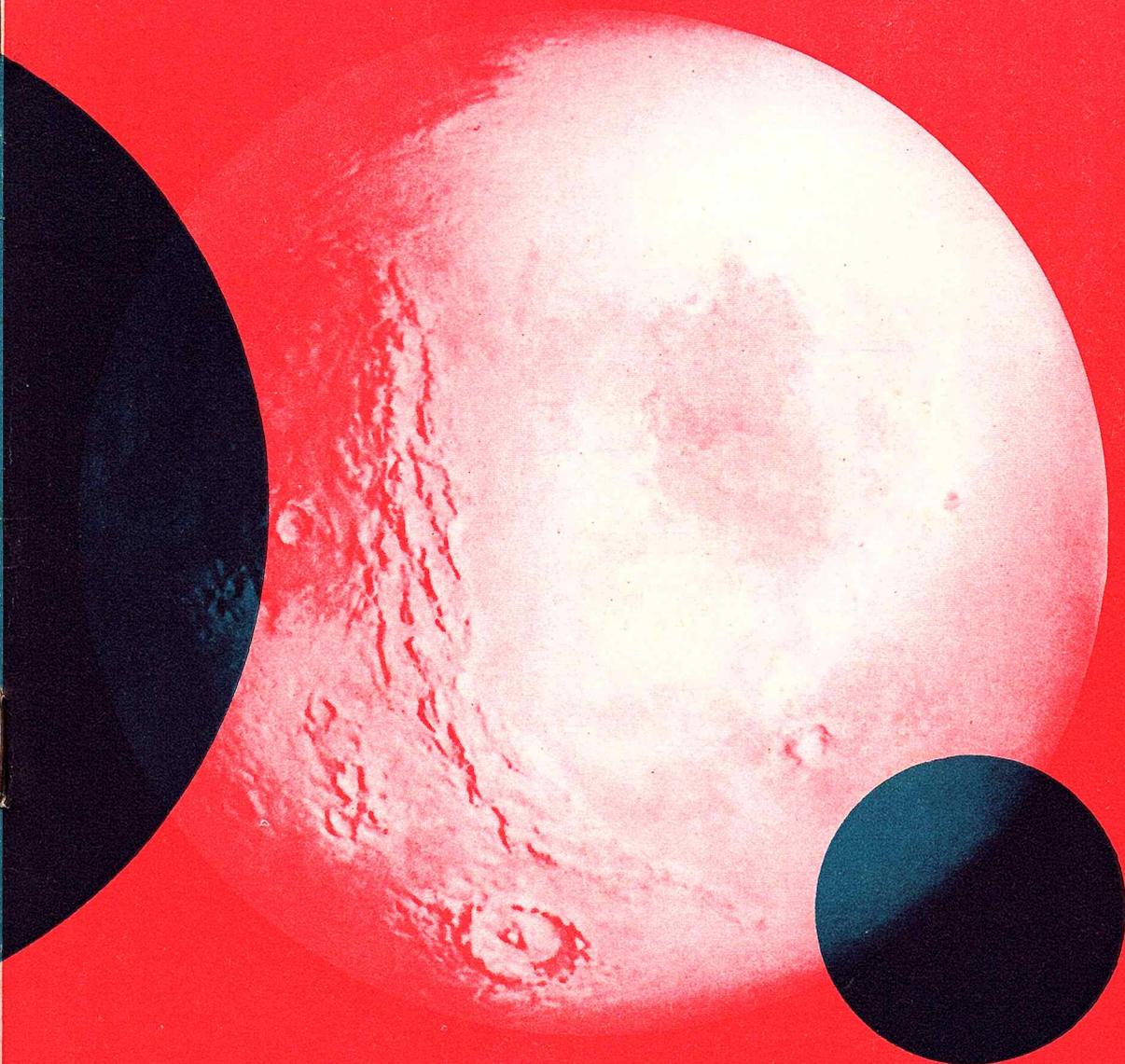


LA SCIENZA E I GIOVANI



Anno XI - 1962

1

LE MONNIER

LA SCIENZA E I GIOVANI

a cura di

ROBERTO GIANNARELLI e GIUSEPPE SPINOSO

PER GLI STUDENTI DELLE SCUOLE SECONDARIE SUPERIORI
E PER I CULTORI DI MATEMATICA E FISICA ELEMENTARI

Consiglio direttivo e di consulenza: LORENZO CALDO - CARLO ALBERTO CAVALLI - ARMANDO
CHIELLINI - TOMMASO COLLODI - SALVO D'AGOSTINO - SALVATORE DI NOI - BIAGIO
GIANNELLI - GIULIO PLATONE - SALVATORE TEMUSSI - U. GINO ZANOBINI.

ANNO XI - N. 1

FEBBRAIO 1962

SOMMARIO

S. NICOTRA - <i>Il significato dei principi della termodinamica</i>	Pag. 1
V. CAVALLARO - <i>Aritmetica dilettevole e curiosa</i>	8
P. CASTALDO - <i>Velocità di un punto della superficie terrestre</i>	10
A. C. - <i>Abilitazione magistrale, sessione autunnale 1961</i>	13
A. C. - <i>Maturità scientifica, sessione autunnale 1961</i>	15
<i>Da libri vecchi e nuovi - Palestra delle gare - Questioni a premio Criptaritmetica - Risposte</i>	

La Rivista si pubblica in 6 fascicoli annuali di pagg. 32 ciascuno, nei mesi di febbraio, marzo, aprile, maggio, novembre e dicembre, in coincidenza con il periodo di maggiore raccoglimento scolastico. Inviare articoli, note, quesiti al PROF. ROBERTO GIANNARELLI, VIA G. BAUSAN, 12 - ROMA (918).

I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono.

Degli scritti originali pubblicati in questa Rivista è riservata la proprietà letteraria.

CONDIZIONI DI ABBONAMENTO:

ANNUALE PER L'ITALIA L. 900
PER L'ESTERO L. 1200 - UN NUMERO SEPARATO L. 200

*I versamenti devono essere effettuati direttamente alla
Casa Editrice LE MONNIER (c. c. Postale 5/2173)*

DIRETTORE RESPONSABILE: ROBERTO GIANNARELLI

FIRENZE, STABILIMENTI TIPOGRAFICI «ENRICO ARIANI», E «L'ARTE DELLA STAMPA».

Inscritto nel Registro del Tribunale di Firenze al n. 1408 in data 13-3-1961

Il significato dei principî della termodinamica⁽¹⁾

1. - È noto che il calore è energia; è, anzi, una manifestazione dell'energia di agitazione molecolare. Pertanto, si è indotti ad ammettere che impiegando un dato lavoro si debba ottenere sempre la stessa quantità di energia di agitazione molecolare, cioè la stessa quantità di calore. Questa equivalenza fra lavoro e calore fu stabilita da ROBERTO MAYER nel 1842 col *principio di equivalenza*: se il lavoro L si trasforma nel calore Q o, viceversa, il calore Q si trasforma nel lavoro L , è sempre costante il rapporto fra L e Q , cioè:

$$(1) \quad \frac{L}{Q} = J$$

dove la costante $J = 4186 \frac{\text{joule}}{\text{caloria}}$ è chiamata l'*equivalente meccanico del calore* e la sua inversa $\frac{1}{J} = 0,000239 \frac{\text{cal}}{\text{joule}}$ è detta l'*equivalente termico del lavoro*.



Fig. 1. - SADI NICOLAS LÉONARD CARNOT (1796-1832). Fisico francese che a 23 anni si dimise quale ufficiale dell'esercito per dedicarsi alla ricerca scientifica. I suoi studi sul calore, sulla dilatazione dei gas, sulla utilizzazione meccanica del vapore lo fanno considerare come uno dei fondatori della termodinamica. A lui si deve uno degli enunciati del 2° principio della termodinamica in connessione con la « macchina di Carnot » che egli ideò e di cui studiò il ciclo ideale di funzionamento.

(1) Le prime pagine di ogni fascicolo di questa Rivista sono destinate alla rievocazione della figura e dell'opera di qualche famoso matematico o fisico o all'illustrazione - come avviene in queste pagine - di concetti o teorie collegate con la materia studiata nelle scuole secondarie superiori. Si vuole in questo modo far conoscere, nella maniera più appropriata, l'aspetto umano delle ricerche e dei progressi della scienza e della tecnica e permettere ai giovani lettori di approfondire e illuminare le nozioni studiate, suscitando in loro interessi, suggestioni e stimolazioni di notevole valore educativo e orientativo ai fini della scelta degli studi universitari e della loro migliore formazione come uomini e come cittadini (N. d. D.).

2. — La (1) si riferisce al caso particolare di un *ciclo chiuso*, cioè di una trasformazione che riprenda lo stato iniziale. Se, invece, si tratta di un *ciclo aperto*, ossia di un sistema che non riprende le condizioni iniziali, allora risulta:



Fig. 2. — JULIUS ROBERT VON MAYER (1814-1878), fisico tedesco che per primo concepì un legame fra calore animale e lavoro prodotto e per questa via arrivò a formulare chiaramente il principio di equivalenza fra calore e lavoro. Fu esaltato come il «Galileo del secolo XIX».

$$JQ - L \neq 0$$

e l'esperienza dimostra che la precedente grandezza dipende *solo* dallo stato iniziale 1 e dallo stato finale 2 e *non* dalla particolare trasformazione che conduce dallo stato 1 allo stato 2.

Perciò $JQ - L$ si potrà esprimere come differenza dei valori che una certa funzione U dello stato del fluido assume nello stato iniziale 1 e nello stato finale 2, ossia si potrà scrivere l'equazione:

$$(2) \quad JQ - L = U_2 - U_1.$$

La funzione U rappresenta l'*energia interna*.

Il primo principio della termodinamica, sancito dalla (2), esprime

dunque un bilancio fra l'energia calorifica $J \cdot Q$, il lavoro esterno L e la variazione di energia interna $U_2 - U_1$.

Per esempio, il calore prodotto nella combustione di un pezzo di carbone proviene dall'energia di affinità chimica dei suoi atomi; qui è $L = 0$ e quindi JQ misura la variazione di energia interna $U_2 - U_1$. Invece, nell'esplosione di una bomba atomica il calore svolto e il lavoro esterno effettuato provengono dalla variazione di energia interna, che, in questo caso, costituisce l'*energia nucleare*.

3. — Consideriamo un litro d'acqua a 100° e 10 litri d'acqua a 10° . Essi rappresentano la stessa quantità di calore, cioè la stessa quantità di energia termica. Però, il valore di questa energia è diverso nei due casi: la quantità di calore di un litro d'acqua a 100° *vale più* di quella equivalente di dieci litri a 10° . Ciò è dovuto alla tendenza del calore a comunicarsi

ad altri corpi, a estendersi nello spazio e ad uniformarsi nella temperatura, perdendo, così, ogni capacità di trasformazione.

4. — Ebbene, la tendenza dell'energia all'estensione e all'uniformità è un vero e proprio invecchiamento paragonabile, nella sua tendenza inesorabile, a quello degli esseri viventi.

Volendo dare un'espressione matematica all'invecchiamento dell'energia, basta notare che esso dipende da due fattori: la comparsa di calore e l'abbassamento di temperatura. Precisamente, l'invecchiamento dell'energia cresce con l'aumentare del calore comparso e col diminuire della temperatura.

Onde, in complesso, può essere rappresentato col quoziente $\frac{Q}{T}$

tra il calore comparso e la sua temperatura assoluta. A questa grandezza è stato dato da CLAUSIUS il nome di *entropia*.

Se un corpo *riceve* la quantità di calore Q alla temperatura T , si dice che esso *acquista* l'entropia Q/T .

Se l'acquisto della quantità di calore Q avviene a temperature diverse, si divide la quantità di calore in porzioni ΔQ tanto piccole da poter considerare per ciascuna di esse costante la temperatura, e si considera come acquisto dell'entropia, da parte del corpo, la somma delle frazioni $\frac{\Delta Q'}{T}$, ossia $\Sigma \frac{\Delta Q}{T}$.

Naturalmente, se il corpo *cede* la quantità di calore Q alla temperatura T , si dice che esso *perde* l'entropia $\frac{Q}{T}$.

Da quanto precede risulta, allora, che: *l'invecchiamento dell'energia importa aumento di entropia, mentre il ringiovanimento implica diminuzione di entropia*. In altri termini: dire che l'energia invecchia è lo stesso che dire

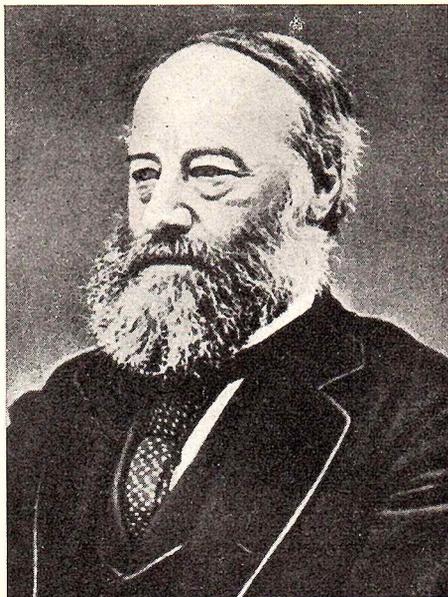


Fig. 3. — JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889), fisico inglese che dopo la pubblicazione delle memorie di J. R. Mayer indipendentemente da lui compì ricerche, che pubblicò nel 1850, sull'equivalente meccanico del calore, formulando la legge che è conosciuta col suo nome.

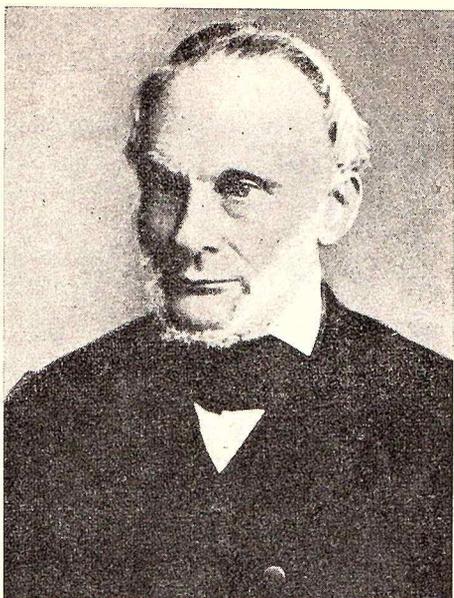


Fig. 4. — RUDOLF JULIUS EMANUEL CLAUDIUS (1822-1888), fisico e matematico tedesco riprese i lavori di Sadi Carnot per porre la termodinamica sopra rigorose basi matematiche. Il « postulato di Clausius », da lui enunciato nel 1850 rappresenta, in uno dei suoi diversi enunciati, il 2° principio della termodinamica per il quale il calore non può passare da un corpo più freddo a un corpo più caldo in via spontanea e cioè senza che si verifichi insieme qualche fenomeno di compenso (per esempio, assorbimento di lavoro, ecc.). Questo postulato può oggi considerarsi come capo particolare di un principio più generale secondo il quale gli stati di un sistema non sono ugualmente probabili e una trasformazione può avvenire quando appunto il sistema sia spinto verso gli stati più probabili.

di energia, ossia quel processo per cui l'acquisto di entropia è maggiore della perdita, cioè:

$$\frac{Q}{T_B} > \frac{Q}{T_A},$$

donde

$$T_A > T_B.$$

Dunque: *il passaggio del calore da un corpo ad un altro è possibile soltanto quando va da una temperatura maggiore ad una temperatura minore, perchè questo è l'unico senso in cui l'entropia cresce, ovvero, il che è lo stesso, l'energia invecchia.*

che l'entropia aumenta; mentre dire che l'energia ringiovanisce è lo stesso che dire che l'entropia diminuisce.

5. — Le considerazioni precedenti inducono a formulare il fondamentale principio:

Un processo è realizzabile spontaneamente solo quando è accompagnato dall'invecchiamento dell'energia (Secondo principio della termodinamica).

Le conseguenze di questo principio sono della massima importanza. Esamineremo le principali.

6. — Siano A e B due corpi a contatto aventi le temperature, rispettivamente, T_A e T_B .

Il passaggio di calore dal corpo A al corpo B è ammissibile sia con $T_A > T_B$ che con $T_A < T_B$. In questo passaggio, A perde l'entropia $\frac{Q}{T_A}$, B acquista l'entropia $\frac{Q}{T_B}$.

È realizzabile (n. 5) quel processo per cui si ha invecchiamento

7. — Il primo principio della termodinamica esprime la conservazione dell'energia e pertanto sancisce l'impossibilità di costruire una macchina la quale fornisca lavoro senza attingere energia da una sorgente: ciò costituisce la *impossibilità del moto perpetuo di prima specie*.

Tale principio non pone limitazioni alla possibilità di trasformare una forma di energia in un'altra. In particolare, ammette la possibilità di trasformare lavoro in calore e, viceversa, calore in lavoro, purchè la quantità di calore sia equivalente al lavoro corrispondente.

Considerazioni teoriche ed esperienza, però, ci insegnano che la trasformazione di lavoro in calore è sempre possibile mentre la trasformazione inversa, di calore in lavoro, è possibile in determinate condizioni. Consideriamo, per esempio, la macchina a vapore. In tale macchina, la trasformazione del calore in lavoro non avviene da sola.

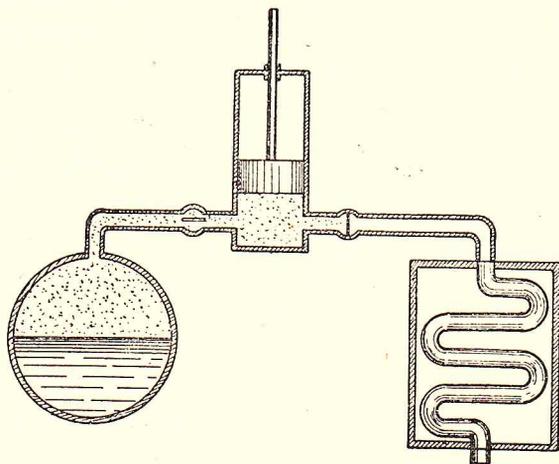


Fig. 5. — Schema di caldaia, cilindro e condensatore.

Infatti, il vapore proveniente dalla caldaia compie il suo lavoro nel cilindro e poi si scarica nel condensatore, raffreddandosi e riscaldando nello stesso tempo l'acqua che in questo si trova. Qui sono presenti due processi: uno è il lavoro fatto con l'ingresso del vapore, l'altro è il raffreddamento del vapore già utilizzato e la dispersione del suo calore nell'atmosfera. Il primo è ad entropia decrescente e non può avvenire da solo; può avvenire insieme al secondo, che è ad entropia crescente, a condizione che l'entropia totale cresca.

Perciò se Q è la quantità di calore fornita dalla sorgente e q quella che si scarica nel condensatore e T , t , rispettivamente, le loro temperature, la condizione precedente si traduce nella relazione:

$$(3) \quad \frac{Q}{T} < \frac{q}{t}.$$

Ciò dimostra che possiamo trasformare il calore in lavoro *solo* mediante un abbassamento di temperatura; cioè mediante una sorgente di calore *calda* e un serbatoio *freddo*.

E dimostra anche che *il calore non può trasformarsi integralmente in lavoro*: una parte rimane calore e affluisce verso il serbatoio a temperatura più bassa.

Ne segue che *non è possibile il moto perpetuo di seconda specie*, cioè il moto d'una macchina a funzionamento continuo che producesse lavoro assorbendo calore da una *sola* sorgente a temperatura costante.

8. — La disuguaglianza (3) esprime che l'entropia del calore uscente dalla macchina a vapore è maggiore di quella del calore entrante, comprende, come limite, l'uguaglianza

$$\frac{Q}{T} = \frac{q}{t}$$

corrispondente al caso in cui, in complesso, non si ha ringiovanimento nè invecchiamento, e in cui la trasformazione del calore in lavoro avviene nelle condizioni più vantaggiose. Dalla relazione precedente segue, applicando la proprietà dello scomponendo:

$$\frac{Q - q}{Q} = \frac{T - t}{T}.$$

La differenza $Q - q$ tra il calore entrato e quello uscito è la quantità di calore effettivamente trasformata in lavoro (*parte utile*) e il rapporto:

$$(4) \quad S = \frac{Q - q}{Q} = \frac{T - t}{T}$$

rappresenta il *rendimento* della macchina termica il quale, pertanto, dipende *unicamente* dalle temperature assolute della sorgente e del refrigerante.

Naturalmente la (4) dà il rendimento teorico, assai basso, d'una macchina termica ideale. Il rendimento effettivo, per ovvie ragioni, è ancora minore.

Concludendo, i due principî della termodinamica sanciscono due eventi impossibili:

Primo principio: *È impossibile ottenere lavoro senza un equivalente consumo di altra forma di energia.*

Secondo principio: *È impossibile la trasformazione integrale del calore in lavoro.*

9. — Da quanto precede risulta che l'energia meccanica è di qualità superiore dell'energia termica; è una energia più *nobile*, perchè può essere in-

teramente trasformata in energia termica, mentre, come abbiamo visto, non tutta l'energia termica si può trasformare in energia meccanica.

Ebbene, *nelle trasformazioni spontanee dell'energia, si passa dalle forme più nobili alle forme meno nobili*. Si ha, cioè, una *degradazione dell'energia*. Allora, se è vero che in un sistema isolato l'energia totale si conserva, è anche vero che l'energia utilizzabile diminuisce. E verrà il momento in cui tutta l'energia dell'universo si sarà ridotta in calore a temperatura uniforme e quindi completamente inutilizzabile. La degradazione sarà allora completa e nessun fenomeno sarà possibile. L'universo sarà morto dal punto di vista energetico, avrà raggiunto la sua ultima ora.

Questa conseguenza tanto sconsolante, oggi, è messa fortemente in dubbio.

Anzitutto un tale invecchiamento dell'energia può considerarsi una *possibilità* anzichè un principio fisico. Di questo avviso è il TOLMAN il quale, applicando alla termodinamica la teoria della relatività, ha dimostrato che l'universo subisce, ad enormi intervalli di tempo, dei processi alternati di espansione e contrazione che portano, rispettivamente, all'invecchiamento e al ringiovanimento dell'energia.

Il MENDELEEV ritiene che tale legge valga solo per la nostra regione dell'universo: altrove, invece, l'entropia potrebbe addirittura diminuire, in maniera tale che, in definitiva, l'entropia dell'universo rimanga costante.

Il FANTAPPIÈ ha elaborato una teoria in cui, fra l'altro, i fenomeni vitali sono presentati come quelli che risalgono la corrente dell'entropia, cioè *rigradano*, rinobilitano l'energia.

10. — Ebbene, per quanto sia vero che tutte le energie tendano ad equilibrarsi, a livellarsi; per quanto sia vero il principio di degradazione per un singolo sistema isolato, non sembra che questa argomentazione possa valere per l'intero universo. Infatti, per potersi ciò avverare, dovrebbe avvenire che, *contemporaneamente*, in tutti i punti dell'universo, tutte le energie si equilibrassero; il che non è.

Il calore generato dall'attrito, dall'urto, dal passaggio delle correnti elettriche, e così via, acquisterebbe altre forme di energia, e l'energia che si era dissipata verrebbe ripristinata. E poi cosa sappiamo delle mutevolezze della fisica del nucleo atomico e, soprattutto, dei raggi cosmici che lasciano intravedere immensi campi da esplorare? Insomma, *tutto il cosmo è un ciclo continuato di equilibrii e disequilibrii, di disequilibrii ed equilibrii*.

SALVATORE NICOTRA