



J. Fragonard, L'altalena, 1767

## Le teorie sul calore e la conservazione dell'energia

M. Guillen, *Le 5 equazioni che hanno cambiato il mondo*,  
(cap. 5)

M. Meulders, *Helmholtz*

M. Gliozzi, *Storia della Fisica*

T. Kuhn, *Energy conservation as an example of simultaneous  
discovery* (1957)

J. Coopersmith, *Energy, the Subtle Concept* (2010)

R. H. March, *Fisica per poeti. Lo scienziato come uomo e  
artista: storia della fisica da galileo ai giorni nostri.*

(cap. 5)

inizio Ottocento

## “Che cosa ci vuole per generare una forza?”

domanda  
tecnica

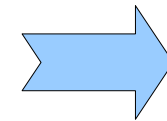
“Il problema era che la fisica newtoniana considerava la forza come un semplice dato di fatto e procedeva a partire da questo presupposto. Non offriva neppure la possibilità di porsi una domanda che i pionieri della rivoluzione industriale affrontavano quotidianamente: che cosa ci vuole per generare una forza? **Gli ingegneri e gli inventori** volevano muovere macchine, merci e persone con maggiore efficacia; e tutto ciò che Newton aveva offerto loro era la sicurezza che, comunque fossero riusciti a farlo, si sarebbe originato inevitabilmente in questo processo un moto uguale ed opposto.”

domanda  
filosofica

“Nello stesso tempo, **poeti e filosofi**, che un tempo avevano accolto con gioia l'influenza liberatrice dello spirito newtoniano, cominciarono a discutere del suo lato più oscuro. Il metodo analitico, cercando precisione attraverso un processo di continue scomposizioni, spesso perdeva di vista la bellezza e l'unità della natura. Pur esaltando ancora il potere della ragione umana, essi temevano uno sterile razionalismo che sembrava non lasciare spazio alle sorgenti inestinguibili del pensiero creativo”

**Prima rivoluzione  
industriale  
1760-1830**

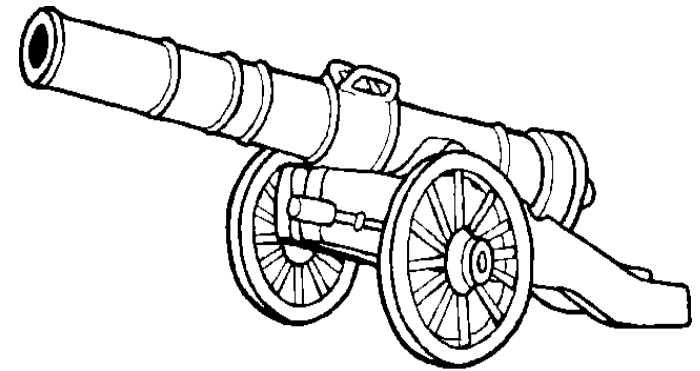
→ introduzione della  
macchina a vapore  
(prima fonte non  
animale e  
controllabile di  
energia nelle  
fabbriche)



**ENERGIA**

**“Naturphilosophie”**

“ Si consideri [...] un proiettile sparato da un cannone. La legge di conservazione del momento richiede che il cannone rinculi con un momento uguale ed opposto a quello della pallottola. Il loro momento risultante era nullo prima dello sparo e resta tale anche dopo. Eppure il semplice buonsenso ci dice che è **cambiato qualcosa di significativo**. E' stato sottratto un po' di esplosivo e trasformato in movimento del proiettile e del cannone. Nel processo, la polvere da sparo si è trasformata, perdendo così la sua potenzialità esplosiva. In qualche modo, **la fisica dovrebbe essere in grado di fornire una precisa distinzione fra la situazione prima e dopo lo sparo.**”



(R. H. March)

## RAPPORTI TRA SCIENZA E TECNOLOGIA

### NOTA BENE:

“Gli ingegneri fecero miglioramenti nella struttura delle macchine a vapore e solo **molto più tardi gli scienziati riuscirono a spiegare i principi di funzionamento di tali macchine**. Il legame fra scienza e tecnologia è articolato in più punti e la visione secondo cui la scienza è il motore che guida tutti i progressi tecnologici è un po' ingenua. Esse procedono mano nella mano e contatti fra scienziati e tecnologi devono rappresentare una strada a doppio senso”

(R. H. March)

## la situazione sull'energia: *vis viva* e quantità di moto

**Cartesio:** si conserva la “quantità di movimento”,  $mv$

→ **Huygens, Leibniz:** si conserva  $mv^2$

**es. : urto elastico tra due sfere uguali**

Ma quando posso definirlo elastico? se si conserva la *vis viva*,  $mv^2$  ? A rigore non si conserva mai! così come non si conserva il *movimento*  $mv$ , perché c'è l'attrito.

→ E' necessario attendere gli sviluppi provenienti dallo studio del calore per concludere la questione.

**es.: Piano inclinato**

Trasformazione della *vis viva*. Esempio: altalena: la *vis viva* si trasforma in *vis mortua*, e viceversa. Anche qui: nella pratica la vis va persa.

## calore; proprietà (moto) o sostanza?

- Bacone, Galileo, Boyle: pensano al **calore come manifestazione del moto di particelle** su scala microscopica; qualcosa che può essere generato con l'attrito ad esempio

**Boyle (1627-1691):**

“Se un chiodo abbastanza grande viene infisso con un martello entro una tavola di legno, lo si dovrà colpire molte volte prima che esso divenga caldo: ma una volta che sarà entrato del tutto nell'asse lasciando fuori solo la testa, così da non poter penetrare ancora più a fondo, pochi colpi saranno sufficienti a dargli un notevole calore; e infatti, quando a ogni colpo del martello il chiodo entra sempre di più nel legno, il moto che viene prodotto è soprattutto progressivo e riguarda il chiodo che tende a muoversi lungo una certa direzione; ma quando il moto è bloccato, **l'impulso dato dalla martellata, essendo incapace di spingere più avanti il chiodo o di frantumarlo, deve essere consumato nel produrre un muoversi vario, veemente e interno delle parti, e in tal modo si genera un moto che già in precedenza osservammo esser della natura del calore.**”

## **ancora Boyle: distinzione su moto ordinato / disordinato**

- “sebbene l'aria e l'acqua possano essere mosse così veementemente come nei venti e nelle cataratte; ciònonostante non dobbiamo aspettarci che siano manifestamente calde, perché la veemenza appartiene al moto progressivo dell'intero corpo [i.e. moto di “bulk”]”
- Boyle precede Leibniz che penserà alla conversione “*di una gran quantità di denaro in tanti piccoli risparmi*”

→ nel '700, con il "corpuscolarismo" di Newton (anche in ottica), si impone però lentamente il paradigma del calorico, del calore come sostanza

→ **Joseph Black, 1760**: riscalda in forno due stesse quantità di Hg e acqua: il primo risulta molto più caldo della seconda → il calore è un fluido privo di peso, invisibile, indistruttibile, che corpi diversi sono in grado di trattenere e "reggere" in modo diverso;

le particelle di materia attraggono il calore;

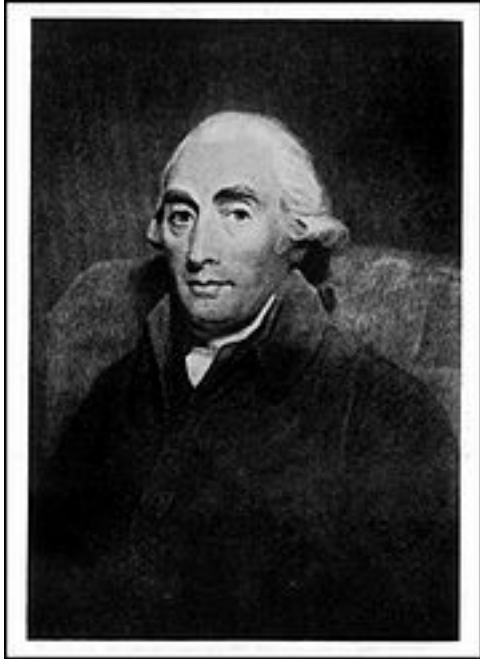
sviluppa le idee di CALORE SPECIFICO e CALORE LATENTE (= nascosto: le particelle si riorganizzano in modo da immagazzinarlo senza che ciò appaia, ovvero senza  $\Delta T$ );

ATTRITO → fa fuoriuscire il calore dalla materia, è come "strizzare una spugna";

DILATAZIONE → le particelle del fluido calorico si respingono tra loro; quando si scalda un corpo e si supera le sue capacità di immagazzinamento il calore in eccesso inizia a distanziare le particelle del corpo;

→ nel 1780 il paradigma è consolidato

→ vediamone alcuni ulteriori aspetti



## Il calore come FLUIDO CALORICO

- calore è un fluido sottile, capace di penetrare nei corpi e di trasferirsi da un corpo all'altro, in quantità proporzionale alla temperatura; indistruttibile (non c'è conversione in lavoro, NB)
- in un sistema chiuso: **Q non si può creare né distruggere** - se il corpo A perde calore, allora il corpo B lo acquista, e viceversa (legge di conservazione del calore)  $\Delta Q(A) + \Delta Q(B) = 0$
- è legge simile alla conservazione della massa -> questo porta molti a pensare al calore come ad una sostanza, dal corpo che ne ha di più a quello che ne ha di meno
- 1787 Lavoisier lo chiama "calorico"; il calorico si attacca alle particelle ma è auto-repulsivo: quando un corpo ne possiede molto, le sue particelle tendono ad allontanarsi → trasmissione del calore per contatto; → dilatazioni e transizioni di fase: da solido a liquido a gas.
- il calorico è anche la soluzione al "gravitational shrinking": impedisce il collasso gravitazionale; quando si raffredda un corpo il corpo rattrappisce (particelle di calorico sono di "segno opposto" a quelle di materia, in analogia con +/-)
- relazione tra calore e lavoro: esempio del martello di Boyle → si avvicinano le particelle spremendone fuori il calorico
- Lavoisier: calore umano proviene dall'alimentazione e dalla respirazione; tutto il fluido calorico degli alimenti viene liberato nel processo di digestione → spiegazione della conservazione della vita attraverso la teoria del calorico



## due osservazioni di Rumford contro il calorico

**Benjamin Thompson** (1753-1814, USA), **conte di Rumford** (GBR), in servizio in Baviera: 30 anni di attacchi alla teoria del calorico.

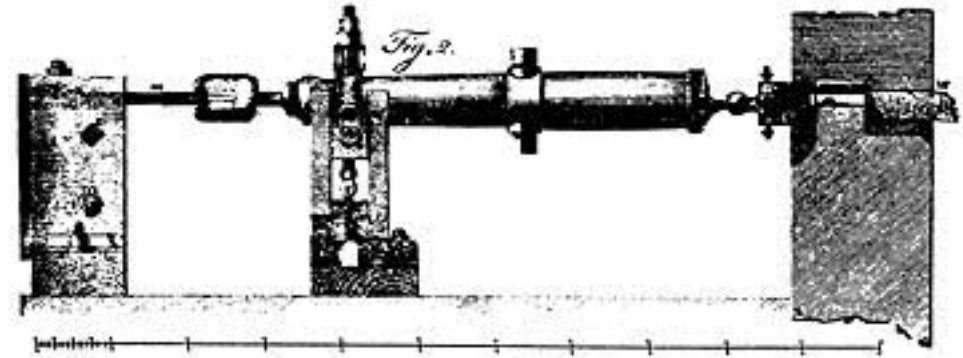
1 **T. pesa accuratamente corpi freddi e corpi riscaldati** -> *"I think we may safely conclude that all attempts to discover any effect of heat upon the apparent weight of bodies will be fruitless"* (1799);

.....ma ciò non è sufficiente per falsificare l'idea di calore come sostanza, infatti:

PBM: si può scartare l'ipotesi di un ente perché imponderabile? Attenzione: fotoni, funzione d'onda... *"we might say that a part of the very definition of a physical entity must be that we can discover it directly. But that would be a most naïve attitude; we must discard it now before we go on to phenomena involving "imponderables" like photons and wave functions"* (Holton) → un concetto dev'essere definibile senza contraddizioni e **dimostrarsi utile** per spiegare situazioni vecchie e nuove.

→ Dove cade veramente **il calorico è nell'essere poco utile** dal punto di vista proprio della **legge di conservazione del calore**. Infatti...

→ alesatura dei cannoni: si generano elevatissime temperature



*"Being engaged lately in superintending the boring of cannons in the workshops of the military arsenal at Munich, I was struck by the considerable degree of heat that a brass gun acquires in a short time in being bored"*

- hp. in difesa del calorico: la lavorazione "libera" il calorico prima custodito all'interno della materia, abbassa le capacità del metallo di trattenere il calore; evidenza di calore "sensibile" che prima era "latente"
- ma è processo continuo, **produzione incessante** di fluido calorico?!
- R. confronta i calori specifici delle schegge e del cannone: non sono diversi!
- non c'è conservazione del calorico, come si credeva!

*"It is hardly necessary to add that anything which any insulated body, or system of bodies, can continue to furnish without limitation, cannot possibly be a material substance" [...] "it appears to me extremely difficult to form any distinct idea of anything capable of being excited or communicated in the manner in which heat was excited and communicated in the experiments, except it be MOTION" [...] "heat is nothing but a vibratory motion taking place among the particles of the body"*

Esperienza analoga (ma poco curata): H. Davy: scioglie due cubetti di ghiaccio strofinandoli uno sull'altro.

## contro la proposta di Rumford: e il calore radiante?

Ma come fa ad arrivarci il calore dal Sole? Il fatto che il calore possa viaggiare nello spazio vuoto fa pensare ad esso come ad una **sostanza**. **Se fosse moto, moto di quali particelle?**

Osservazione: si era notato che **LUCE e CALORE RADIANTE** condividono molte **proprietà**: riflessione, rifrazione, interferenza, polarizzazione...



**finché la luce è vista come corpuscolare, sostanza (Newton)**  
→ **anche il calore è interpretato nello stesso modo.**

**dopo Young e Fresnel , 1825: si ha un "paradigm shift": luce è onda.**



**in pochi anni lo stesso shift avviene per il calore radiante: è ONDA, cioè trasferimento di energia (e non c'e' distinzione tra calore radiante e calore...). Luce e calore sono energia, non sostanze.**

 **Inoltre: se il calore è moto, allora possiamo inserirlo nello stesso bilancio della vis viva...**

## 1824 - trasformare il calore in lavoro

- Lavoro di **S. Carnot**: calcolo dell'efficienza delle macchine ideali nel convertire in lavoro il passaggio di calore da sorgente a temperatura elevata a sorgente a temperatura più bassa
- **NB: calore è inteso come fluido calorico**
- C. individua chiaramente il legame tra calore e lavoro, ma non è conversione
- tuttavia muore giovane di colera, tutti gli scritti vengono bruciati



# Mayer: la conservazione dell'energia totale

Julius Robert Mayer (1814-1878) (inquieto) medico tedesco



**1842:** saggio creativo, metafisico sull'energia, che passa inosservato

"**Energies are causes:** accordingly, we may in relation to them make full application of the principle *-causa aequat effectum* [the cause is equal to the effect]. If the cause  $c$  has the effect  $e$ , then  $e = c$ .... In a chain of causes and effects, a term or a part of a term can never, as plainly appears from the nature of an equation, become equal to nothing. This first property of all causes we call their **indestructibility**... If after the production of [effect]  $e$ , [cause]  $c$  still remained in whole or in part, there must be still further effects [ $f, g, \dots$ ] corresponding to the remaining cause. Accordingly, since  $c$  becomes  $e$ , and  $e$  becomes  $f$ , etc., we must regard these various magnitudes as different forms under which one and the same entity makes its appearance. This **capability of assuming various forms** is the second essential property of all causes. Taking both properties together, we may say, causes are quantitatively indestructible and qualitatively convertible entities... Energies are therefore **indestructible, convertible entities**"

“an energy once in existence cannot be annihilated; it can only change its form...”

*(J.R.M; Annalen der Physik und Chemie)*

NB: “**Anti-materialista**” - Mayer è più generale di Rumford, rifiuta l'idea di energia come qualcosa legato al moto o alla materia, ci può essere energia senza che ci sia materia

# Mayer: espansione libera vs. espansione con pistone

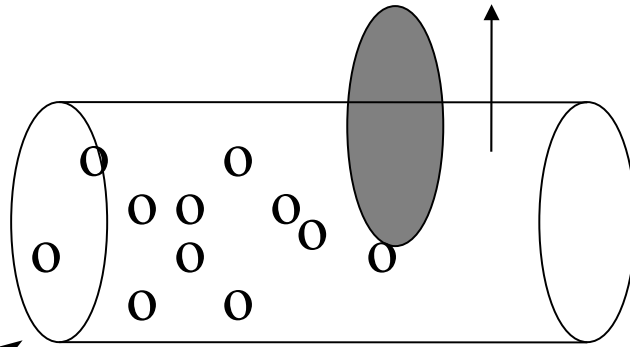
Per l'aria:

$$c(V)=0.17 \text{ (cal/g)/}^\circ\text{C}$$

$$c(P)=0.24 \text{ (cal/g)/}^\circ\text{C} \text{ (aumenta il volume} \rightarrow \text{calore perso nel contatto con sup. maggiore...*)}$$

$\rightarrow$  la differenza è dovuta al lavoro... parte del **calore si trasforma in lavoro**

\* d'altra parte:

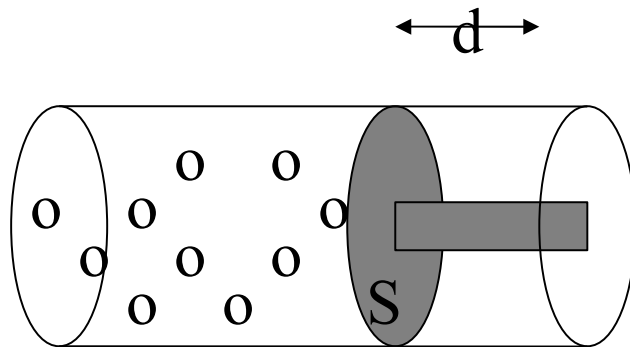


$$\Delta T = 0 \quad \text{(aumenta V, cala P)}$$

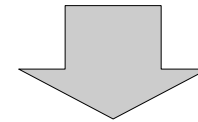
non spiegabile con la teoria del calorico (dà  $\Delta T < 0$ ), è un mistero!

Espansione libera

Espansione con pistone



$$\Delta T < 0; \quad \Delta L > 0$$



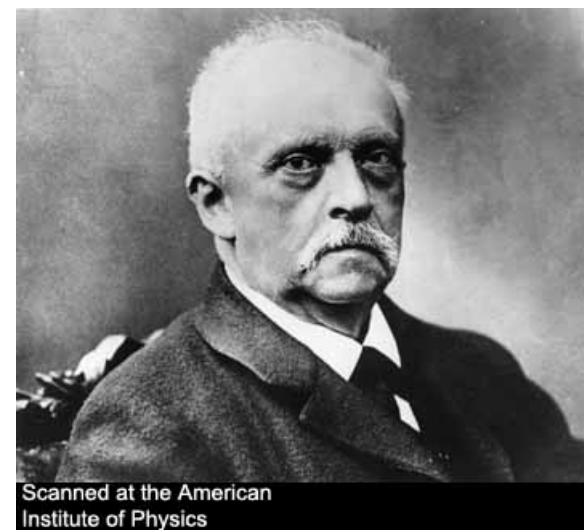
$\rightarrow$  Mayer conclude: il calore è trasformato in lavoro

Allora: misura di  $\Delta T$ ; misura del lavoro:  $Fd=(PS)d = P\Delta V$ ;  $\rightarrow$  misura di P e V

$\longrightarrow$

$$1 \text{ caloria} \approx 3.6 \text{ J}$$

# Hermann von Helmholtz (1821-1894)



- 1847: articolo molto influente: dimostrazioni matematiche della **conservazione dell'energia** e in vari campi: meccanica, calore, elettricità, magnetismo, chimica fisica, astronomia

→ Collega le **trasformazioni della vis al lavoro** delle forze: l'energia ha le dimensioni del lavoro (usa ancora i termini *lebendige Kraft* e *Spannkraft*; 1853 W. Rankine usa “energia cinetica” e “potenziale”) Rispetto a Mayer: H. ricorre ai concetti di Newton

“legge non è in contraddizione con nessuno dei fatti conosciuti dalla scienza [...] è confermata da un gran numero di fatti scientifici” egli si propone con l'articolo di “additare ai fisici nel modo più completo possibile la fecondità teorica, pratica ed euristica di questa legge, la cui dimostrazione definitiva può essere considerata come uno dei principali compiti della fisica nel prossimo futuro”

*“L'uomo che forse più di ogni altro nell'Ottocento dimostrò il potere intellettuale della scienza e contribuì allo sviluppo dei metodi di indagine e all'organizzazione pratica dell'attività scientifica”* (Meulders)

- Iniziatore dello studio moderno della fisiologia, fisica che ritorna al soggetto (vs. fisica galileiana; Planck...)

## Mayer (1842) ? Helmholtz (1847) ? Il giudizio di Planck

- “Non si deve parlare di scoperta da parte di Helmholtz del principio di conservazione dell'energia, come se questa idea fosse stata espressa da lui per la prima volta, dal momento che sia lui sia il suo collega Julius Robert von Mayer, che lo aveva accusato di plagio, **avevano un gran numero di predecessori** in questo ambito. Quello che vi era di decisamente nuovo nella memoria di Helmholtz, era l'aver **mostrato per la prima volta ciò che il principio di conservazione dell'energia**, in pratica fino ad allora sconosciuto tra i fisici, **significava** per lo studio di ciascun fenomeno fisico preso isolatamente, le conseguenze che l'adozione di questo principio comportava per l'investigazione quantitativa dei fenomeni, e come queste conseguenze si siano manifestate nei diversi campi della fisica, in passato molto meno accessibili di ora a una considerazione globale, in rapporto ai dati disponibili” (Planck, in Meulders)

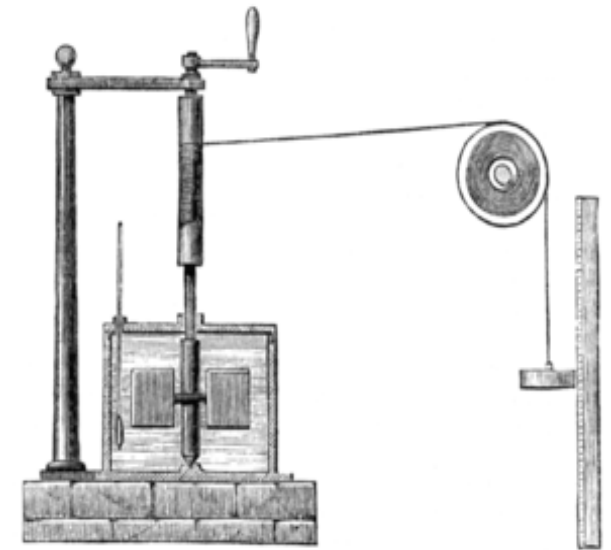


# Joule: l'equivalente meccanico del calore

James Prescott Joule (1818-1889)

**Serie di esperimenti e pubblicazioni tra 1840 e 1850** sulla conversione di calore in energia meccanica e viceversa, tra cui quella famosa del "mulinello".

- calore generato dal flusso di acqua attraverso un tubo
- calore generato da corrente elettrica attraverso un filo



*“I shall lose no time repeating and extending these experiments, being satisfied that the grand agents of nature are, by the Creator's fiat, indestructible; and that whenever mechanical force is expended, an exact equivalent of heat is always obtained”*

Non c'è grande accoglienza, lo "salva" il giovane William Thomson (Lord Kelvin)  
*"discussion not being invited, the communication would have passed without comment if a young man had not risen in the Section and by his intelligent observations created a lively interest in the new theory" (1847)*

Thomson tra l'altro è pro-calorico:

se smettessimo di credere nell'indistruttibilità del calore *“andremmo incontro a non poche difficoltà... e a una completa riformulazione della stessa teoria del calore dalle sue fondamenta”* *“farò sempre riferimento al principio fondamentale di Carnot, e a quello che ne consegue, come se la sua verità fosse del tutto inoppugnabile”*

Nel 1850 J. ottiene riconoscimento; per altri 10 anni fa esperimenti sul fattore di conversione

Media statistica dei valori di Joule: 1 caloria  $\approx$  4.15 J (oggi: 4.184)

"Without a doubt, it was **the sum of his consistent experimental work that made acceptable the idea of an enlarged, general view of conservation of all forms of energy** in place of the previous specific and limited application of the law solely to conservative mechanical system" (Holton)

**Entra in scena Rudolf Clausius** (1822-1888)

"Negli emozionanti esperimenti di Joule, Clausius intravedeva la base *effettuale* e nelle osservazioni anticonformistiche di Mayer la base *filosofica* di un modo del tutto nuovo di concepire il calore. Si trattava semplicemente di tagliare, cucire e mettere insieme quelle due basi nell'ambito matematico. Lo scienziato pensava che non ci sarebbe voluto molto, ma aveva torto: alla fine, gli occorsero *diciotto anni* [1850-1868] per tessere il primo, e più splendido, arazzo intellettuale della sua vita" (M. Guillen)

→ Clausius adotta il **modello microscopico** della materia per spiegare la conservazione dell'energia ←



1850 pubblicazione su convertibilità di calore in lavoro e viceversa; calore e lavoro sono due aspetti di una stessa, unica grandezza (Thomson suggerisce il termine “energia” - già in Aristotele e Keplero)

$$\Delta E(\text{universo}) = 0$$

→ è l'energia, non il calore, ad essere indistruttibile

→ **reinterpreta Carnot: il calorico non è conservato** (“spinto, risucchiato, gettato fuori) ma è **“consumato”**, convertito in altra forma di energia *“In tutti i casi in cui del lavoro viene prodotto dall'azione del calore, la quantità di calore consumata è proporzionale al lavoro fatto”*

1857 Pubblicazione dal titolo eloquente: **Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen**

1861 inizia a riflettere sull'irreversibilità, sull'asimmetria naturale nelle direzioni di conversione di calore/lavoro → introduce il concetto di ENTROPIA (1864)

$$\Delta S(\text{universo}) > 0$$

*“Il nostro è un universo popolato da macchine imperfette, siano essere animate e minuscole come le cellule del corpo umano oppure inanimate e gigantesche come le galassie in movimento nel cielo. Il nostro è un universo in cui l'energia viene conservata ma non sfruttata al meglio; e per di più un universo iniquamente governato da un misteriosissimo principio di non-conservazione dell'entropia” (Guillen)*

# una scoperta simultanea (T.S. Kuhn)

*The history of science offers no more striking instance of the phenomenon known as simultaneous discovery” (T. Kuhn)*

→ tra il 1840 e il 1850 almeno **una decina di autori** scoprono la conservazione dell'energia (Joule, Mayer, Clausius, Helmholtz, Kelvin, Colding, Liebig...)

→ cosa caratterizza una scoperta simultanea?

→ *“No two of our men said the same thing”; “overlapping passages in the papers by the pioneers resembles an unfinished crossword puzzle”; solo a posteriori riconosciamo il denominatore comune “What we see in their works is not really the simultaneous discovery of energy conservation. Rather it is the rapid and often **disorderly emergence of the experimental and conceptual elements** from which that theory was shortly to be compounded. It is these elements that concern us. We know why they were there: Energy is conserved; nature behave that way.”...ma perché si presentano tutti in quel periodo 1830-1850?*

→ **abbondanza di processi di conversione**

“ponti” tra settori diversi: elettrolisi; corrente → magnetismo → moto; moto → corrente ....; compressione → calore; temperatura → corrente; corrente → calore

*“the conservation of energy is nothing less than the theoretical counterpart of the laboratory conversion processes discovered during the first four decades of the nineteenth century”*

→ **l'interesse sui motori**

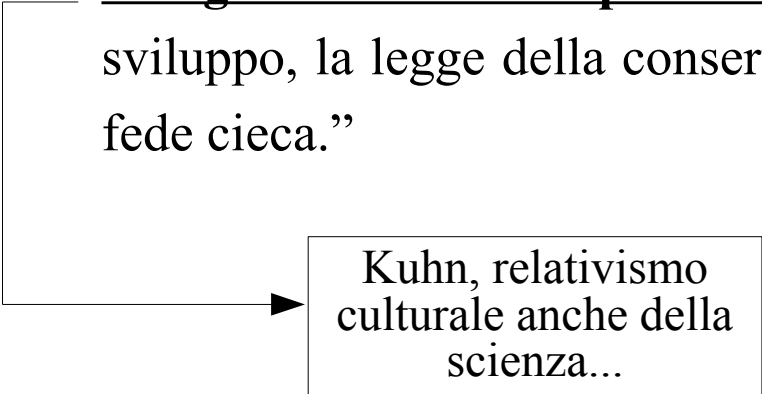
L. Carnot introduce “forza per spostamento”, quantità fondamentale nei trattati degli ingegneri

→ **la filosofia della natura**

*Naturphilosophie*: visione olistica del mondo, spinozismo

## il retroterra culturale

“La visione dell'energia come una sorta di “trasformista” con un intero baule pieno di travestimenti era in perfetta sintonia con lo spirito di un movimento culturale che nacque fra la fine del diciottesimo secolo e l'inizio del diciannovesimo. Le manifestazioni artistiche, letterarie e musicali di tale movimento furono chiamate *romanticismo*, parola che useremo per indicare questa corrente di pensiero nella sua totalità. [...] Il romanticismo aveva una diramazione scientifica chiamata *naturphilosophie*. Gli esponenti di questa scuola venivano da molte branche della scienza ma attribuivano grande importanza ad una **organica totalità della natura**. *Energia* era la loro parola per indicare il principio vitale alla base di tutti i **mutamenti**, del moto, della crescita, della creatività e della passione. Questa corrente era particolarmente forte nelle università di lingua tedesca dell'Europa centro settentrionale. Senza questa sorta di appassionata convinzione, il concetto di **energia non avrebbe potuto mai fare progressi**, perché nei suoi livelli iniziali di sviluppo, la legge della conservazione dell'energia doveva essere accettata quasi con fede cieca.”



Kuhn, relativismo  
culturale anche della  
scienza...

R. H. March

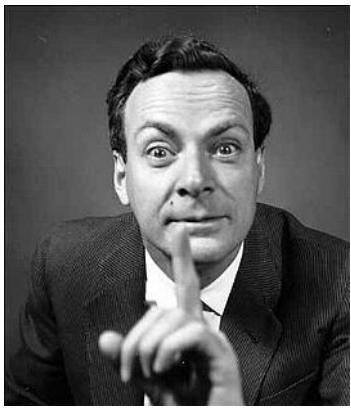
# Nasce la “FISICA”

- Filosofia naturale
- Varie discipline separate: meccanica, ottica, termologia...
- il concetto di **ENERGIA e quello di FISICA nascono insieme:**

“[...] before the 1840s, such areas as mechanics, light, heat, electricity, magnetism, sound, etc. existed for the most part in isolation from each other. When, however, scientists began to see **how to trace the transformation of mechanical energy** into, for example, thermal or electrical energy, **then physics as a unified discipline emerged.**”

[...] Moreover, the term *physicist* was introduced into English only in 1840. This occurred in a paragraph of William Whewell's *Philosophy of the Inductive Sciences*, where he wrote: «[...] As we cannot use *physician* for a cultivator of physics, I have called him a *Physicist.*» [...] Michael Faraday protested: «Physicist is both to my mouth and ears so awkward that I think I shall never be able to use it. The equivalent of the three separate sounds of i in one word is too much.»”

M. J. Crowe, *Mechanics from Aristotle to Einstein*



## La conservazione dell'energia: Feynman



*Immaginiamo un ragazzo, per esempio “Dennis la peste” che abbia dei dadi assolutamente indistruttibili, e che non possano essere suddivisi in pezzi. Ognuno è uguale all'altro. Supponiamo che abbia 28 dadi. Sua madre lo mette con i suoi 28 dadi in una stanza, al mattino. Alla sera, essendo curiosa, conta accuratamente i dadi e scopre una legge fenomenale. Non importa che cosa egli abbia fatto coi dadi, questi sono sempre 28! Ciò continua per un certo numero di giorni, finché un giorno i dadi sono solo 27. Una piccola ricerca ne svela uno sotto il tappeto – la mamma deve cercare ovunque per accertarsi che il numero dei dadi non sia cambiato. Un giorno, tuttavia, il numero appare diverso – vi sono solo 26 dadi. Una accurata indagine mostra che la finestra era aperta, e uno sguardo all'aperto permette di ritrovare gli altri due dadi. [...] Col graduale aumento della complessità del suo ambiente familiare, essa trova tutta una serie di termini che rappresentano i modi di calcolare il numero dei dadi, che sono in posti dove è impossibile vederli. Come risultato ottiene una formula complicata, una quantità da calcolare, che rimane sempre la stessa in ogni situazione che si presenta.*

**[...] esiste una quantità numerica che non cambia qualsiasi cosa accada.**





Velazquez, Las meninas

...cercare ciò che non  
cambia al di sotto delle  
apparenze....

... tema classico della  
filosofia greca...

→ i fisici: l'energia totale

Picasso, Las meninas

