

Friedrich Herrmann

Institut für Theoretische Festkörperphysik  
Karlsruhe Institute of Technology

## Le formulazioni inadeguate del secondo principio della termodinamica

### Sommario

Tra le leggi naturali più importanti vi sono le affermazioni sulla conservazione o non-conservazione delle quantità estensive. La loro formulazione potrebbe essere semplice, ad esempio: "L'energia non può essere prodotta né distrutta" ovvero "L'entropia può essere prodotta, ma non distrutta". A causa di uno sviluppo storico in qualche modo sfavorevole, tali affermazioni vengono spesso espresse in modo tale da non rivelare più il loro semplice contenuto. Lo dimostriamo con l'esempio dell'entropia, cioè con l'esempio del secondo principio della termodinamica. Vengono analizzate due formulazioni molto diffuse, una di Clausius e l'altra di Planck.

### 1. Grandezze estensive

Si può formulare una proposizione sulla conservazione o non-conservazione per ogni grandezza estensiva. Tali proposizioni appartengono alle più importanti leggi fisiche. Ci occupiamo della loro formulazione.

Per prima cosa chiediamo: che cosa è una grandezza estensiva? Il valore di una grandezza estensiva si riferisce ad una regione di spazio. Un esempio è la massa. Se qualcuno ci dice che ha misurato una massa di 2 chilogrammi e noi chiediamo quale massa, deve indicarci una regione di spazio. Altre grandezze fisiche si riferiscono ad un punto, come la temperatura, o un'area, come l'intensità della corrente. Ma siamo interessati a quelle estensive.

Quali sono queste grandezze? Sono la massa, l'energia, la quantità di moto, il momento angolare, la carica elettrica, l'entropia, ed altre.

Queste grandezze sono molto importanti per l'insegnamento e hanno un vantaggio didattico: si può parlare di loro come si parla di una sostanza o di un fluido. Non c'è bisogno di un vocabolario speciale.

Prendiamo la carica elettrica come esempio. Si può dire:

- Un corpo *contiene* carica elettrica.
- La carica *si trova* sul corpo.
- La carica *scorre* o *fluisce*.
- La carica si può *distribuire*, si può *concentrare* o *estrarre*.
- La carica può *scompare* o *suddividersi*.

Confrontiamo con altre grandezze, come per esempio la forza: La forza *agisce* o è *esercitata*, e niente di diverso.

Il fatto che si può trattare le grandezze estensive in modo così libero e spensierato è dovuto al fatto che si utilizza un modello: il "modello di sostanza".

## 2. Conservazione e non-conservazione

Abbiamo detto che per ognuna di loro si può formulare una proposizione di conservazione o non-conservazione. Così possiamo dire:

La grandezza  $X$  non può essere né prodotta né distrutta (ad esempio l'energia).

ovvero

La grandezza  $Y$  può essere prodotta ma non distrutta (come l'entropia).

ovvero

La grandezza  $Z$  può essere prodotta e distrutta (come la quantità di sostanza).

Non ha senso dire che una grandezza non estensiva è conservata o non conservata. Così la temperatura non è né conservata né non-conservata.

## 3. Formulazioni tradizionali della legge di conservazione e non-conservazione

Lo sviluppo storico delle varie grandezze estensive è stato molto complicato. Per alcune, ci sono voluti diversi secoli per capire il loro carattere semplice. Ciò si riflette nel fatto che, ancora oggi, la conservazione o la non-conservazione in diversi casi è formulata in modo camuffato.

Invece di pronunciare la semplice affermazione

- si descrive una procedura che permette di osservare la conservazione o non-conservazione;
- si descrivono specifiche conseguenze della conservazione o non-conservazione.

Vediamo alcuni esempi.

### *L'energia*

Si può formulare la sua conservazione così:

*L'energia non può essere prodotta né distrutta.*

In realtà, tuttavia, si trova quasi costantemente la formulazione:

*In un sistema isolato l'energia totale si mantiene sempre uguale.*

Così si può effettivamente vedere che l'energia è conservata. Se si impedisce uno scambio di energia si scopre che il suo valore non cambia. Ma cosa succede se il sistema non è isolato? Non è conservata allora? Certo che lo è.

Però vogliamo passare a un caso più interessante: L'entropia.

### *L'entropia*

Nella nostra formulazione semplice, il secondo principio è:

*L'entropia può essere prodotta ma non distrutta.*

Ma cosa dicono i libri di testo? Ci sono diverse formulazioni in uso, e non è facile vedere che si tratta della stessa affermazione. Sono anche così poco chiari che molti autori, soprattutto di libri di testo universitari, presentano addirittura più di una formulazione. In un libro di testo tedesco sulla fisica teorica l'autore elenca cinque diverse formulazioni in una tabella.

Diamo un'occhiata più da vicino ai due più popolari – una di Clausius, l'altra di Planck. Cominciamo con quella di Clausius:

*Il calore non può passare spontaneamente da un corpo più freddo a uno più caldo.*

Cosa è da biasimare? Prima di tutto, è difficile vedere che è equivalente all'affermazione: L'entropia può essere prodotta ma non distrutta.

Perché l'energia termica non può passare dal freddo al caldo? Perché il processo naturale, del caldo al freddo, è un processo dissipativo, una sorta di processo di attrito, un processo in cui si produce entropia. Se dovesse andare indietro, l'entropia corrispondente dovrebbe essere distrutta, ma questo è proibito, si veda la formulazione generale.

Tuttavia, perché non dovremmo dirlo in questo modo?

Perché questo è una conseguenza alquanto speciale del teorema dell'entropia. Tanto valeva dire:

L'acqua di un torrente scorre solo in discesa. Perché non va nella direzione opposta? Perché mentre scorre verso il basso è stata prodotta entropia.

Oppure la carica elettrica fluisce da sola dal potenziale elettrico alto a quello basso.

Questo è un tipico esempio in cui viene descritta una conseguenza speciale al posto del fatto generale.

Ora la formulazione di Planck:

*È impossibile costruire una macchina a funzionamento periodico che non faccia altro che sollevare un peso e raffreddare un serbatoio di calore.*

Questa formulazione non è nemmeno equivalente alla seconda legge. Per vedere questo, formuliamo la seguente proposizione:

*È impossibile costruire una macchina a funzionamento periodico che non faccia altro che sollevare un peso e scaricare un serbatoio di carica elettrica.*

Giusto o sbagliato? Giusto.

La frase dice che non succede *nient'altro* che scaricare il corpo e sollevare il peso. La carica rimossa non riappare da nessuna parte. Quindi sarebbe una violazione della legge di conservazione della carica elettrica.

Allo stesso modo, la macchina di Planck è impossibile perché non si può distruggere l'entropia. La proposizione di Planck non dice nulla sul fatto che si può produrre entropia. Ma questa è la parte più importante della seconda legge.

#### 4. Conclusione

Si farebbe bene a formulare le proposizioni sulla conservazione o non-conservazione nello stesso modo semplice:

*L'energia non può essere né prodotta né distrutta.*

*La quantità di moto non può essere né prodotta né distrutta.*

*L'entropia può essere prodotta ma non distrutta.*

*La carica elettrica non può essere né prodotta né distrutta.*

*La quantità di sostanza può essere prodotta e distrutta.*