

# Albert's Time and Chance

Mauro Dorato

Department of Philosophy  
University of Rome Three  
dorato@uniroma3.it

<http://host.uniroma3.it/dipartimenti/filosofia/personale/doratoweb.htm>

November 13, 2011

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# Il conflitto tra leggi fisiche reversibili e la nostra esperienza

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

## Il conflitto tra leggi fisiche reversibili e la nostra esperienza

- Il contrasto è tra un mondo microscopico fatto di particelle e forze e la nostra esperienza del mondo macroscopico

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

## Il conflitto tra leggi fisiche reversibili e la nostra esperienza

- Il contrasto è tra un mondo microscopico fatto di particelle e forze e la nostra esperienza del mondo macroscopico
- Il primo è temporalmente simmetrico, il secondo no. Per comprendere la simmetria temporale, si pensi a un film girato normalmente e poi proiettato all'inverso

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# L'immagine newtoniana del mondo

# L'immagine newtoniana del mondo

- 1 le uniche variabili che cambiano nel tempo (e dunque *dinamiche*) sono le posizioni di particelle puntiformi

# L'immagine newtoniana del mondo

- 1 le uniche variabili che cambiano nel tempo (e dunque *dinamiche*) sono le posizioni di particelle puntiformi
- 2 le storie di queste particelle sono traiettorie nello spaziotempo

## L'immagine newtoniana del mondo

- 1 le uniche variabili che cambiano nel tempo (e dunque *dinamiche*) sono le posizioni di particelle puntiformi
- 2 le storie di queste particelle sono traiettorie nello spaziotempo
- 3 l'evoluzione temporale delle particelle è controllata dalla legge  $F = ma$ , dove  $F$  è la forza che si esercita tra coppie di particelle,  $m$  è la massa delle particelle e  $a$  è la variazione nel tempo della velocità (quest'ultima è a sua volta la variazione nel tempo delle posizioni)

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# Il determinismo della meccanica newtoniana

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

## Il determinismo della meccanica newtoniana

- 1 sia  $t = 0$  l'istante iniziale rispetto al quale determiniamo le posizioni delle particelle

## Il determinismo della meccanica newtoniana

- 1 sia  $t = 0$  l'istante iniziale rispetto al quale determiniamo le posizioni delle particelle
- 2 le loro posizioni e il tipo di particelle di cui trattiamo determinano le forze a quell'istante

## Il determinismo della meccanica newtoniana

- 1 sia  $t = 0$  l'istante iniziale rispetto al quale determiniamo le posizioni delle particelle
- 2 le loro posizioni e il tipo di particelle di cui trattiamo determinano le forze a quell'istante
- 3 tale specificazione basta a determinare le posizioni ad ogni altro istante futuro o passato rispetto a  $t = 0$  e quindi la storia completa dell'universo

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# Le simmetrie della meccanica newtoniana

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana  
L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# Le simmetrie della meccanica newtoniana

- 1 Le simmetrie sono trasformazioni che lasciano invariata la descrizione dinamica del mondo

## Le simmetrie della meccanica newtoniana

- 1 Le simmetrie sono trasformazioni che lasciano invariata la descrizione dinamica del mondo
- 2 L'invarianza per traslazioni temporali è la prima di queste simmetrie: si può ignorare qual è il momento presente, e dunque anche le posizioni assolute non contano

## Le simmetrie della meccanica newtoniana

- 1 Le simmetrie sono trasformazioni che lasciano invariata la descrizione dinamica del mondo
- 2 L'invarianza per traslazioni temporali è la prima di queste simmetrie: si può ignorare qual è il momento presente, e dunque anche le posizioni assolute non contano
- 3 Tali simmetrie sono: invarianza per traslazioni e rotazioni spaziali, e per cambiamenti di sistema inerziale (relatività galileiana).

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# La trasformazione temporale di alcune grandezze meccaniche

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

## La trasformazione temporale di alcune grandezze meccaniche

- 1 la velocità di ogni particella sarà uguale in intensità e opposta in direzione a quella del fenomeno temporalmente rovesciato.

## La trasformazione temporale di alcune grandezze meccaniche

- 1 la velocità di ogni particella sarà uguale in intensità e opposta in direzione a quella del fenomeno temporalmente rovesciato.
- 2 l'accelerazione invece non si inverte né in intensità né in direzione e non dipende dalla direzione di proiezione del film: un grave accelera verso il basso, o equivalentemente, decelera verso l'alto

## La trasformazione temporale di alcune grandezze meccaniche

- 1 la velocità di ogni particella sarà uguale in intensità e opposta in direzione a quella del fenomeno temporalmente rovesciato.
- 2 l'accelerazione invece non si inverte né in intensità né in direzione e non dipende dalla direzione di proiezione del film: un grave accelera verso il basso, o equivalentemente, decelera verso l'alto
- 3 la forza e la massa dipendono dal tipo di particelle e dalle loro distanze reciproche

## La trasformazione temporale di alcune grandezze meccaniche

- 1 la velocità di ogni particella sarà uguale in intensità e opposta in direzione a quella del fenomeno temporalmente rovesciato.
- 2 l'accelerazione invece non si inverte né in intensità né in direzione e non dipende dalla direzione di proiezione del film: un grave accelera verso il basso, o equivalentemente, decelera verso l'alto
- 3 la forza e la massa dipendono dal tipo di particelle e dalle loro distanze reciproche
- 4 ne segue che la meccanica newtoniana è invariante per inversione temporale, ovvero non c'è nulla nelle leggi di natura che ci può aiutare a decidere in quale direzione il film deve essere proiettato: qualunque cosa accada in una direzione del

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# L'invarianza per inversione temporale in generale

## L'invarianza per inversione temporale in generale

- per A. una descrizione completa di uno stato fisico del mondo ad un istante deve essere genuinamente istantanea

## L'invarianza per inversione temporale in generale

- per A. una descrizione completa di uno stato fisico del mondo ad un istante deve essere genuinamente istantanea
  - ① ovvero ogni descrizione deve essere concettualmente, metafisicamente e logicamente indipendente da tutte le altre, Questa richiesta e' molto forte, e non pu essere posta a priori come fa A.

## L'invarianza per inversione temporale in generale

- per A. una descrizione completa di uno stato fisico del mondo ad un istante deve essere genuinamente istantanea
  - ① ovvero ogni descrizione deve essere concettualmente, metafisicamente e logicamente indipendente da tutte le altre, Questa richiesta e' molto forte, e non pu essere posta a priori come fa A.
  - ② "completa" signifca che tutti i fatti fisici sono descritti nella storia completa del mondo di cui in 1

## L'invarianza per inversione temporale in generale

- per A. una descrizione completa di uno stato fisico del mondo ad un istante deve essere genuinamente istantanea
  - ① ovvero ogni descrizione deve essere concettualmente, metafisicamente e logicamente indipendente da tutte le altre, Questa richiesta e' molto forte, e non pu essere posta a priori come fa A.
  - ② "completa" signifca che tutti i fatti fisici sono descritti nella storia completa del mondo di cui in 1
  - ③ queste due condizioni insieme escludono le velocita' dalle descrizioni di stato

## L'invarianza per inversione temporale in generale

- per A. una descrizione completa di uno stato fisico del mondo ad un istante deve essere genuinamente istantanea
  - ① ovvero ogni descrizione deve essere concettualmente, metafisicamente e logicamente indipendente da tutte le altre, Questa richiesta e' molto forte, e non pu essere posta a priori come fa A.
  - ② "completa" signifca che tutti i fatti fisici sono descritti nella storia completa del mondo di cui in 1
  - ③ queste due condizioni insieme escludono le velocita' dalle descrizioni di stato
- la specificazione delle velocità non può essere fatta in modo istantaneo, ma considerando un piccolo intorno di un istante per ragioni legate alla definizione di velocità istantanea

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

## Due criteri di invarianza rispetto all'inversione temporale

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

## Due criteri di invarianza rispetto all'inversione temporale

- il primo riguarda la tesi che se quancosa accade nell'ordine a b c, può anche accadere nell'ordine temporale inverso c b a

## Due criteri di invarianza rispetto all'inversione temporale

- il primo riguarda la tesi che se qualcosa accade nell'ordine  $a$   $b$   $c$ , può anche accadere nell'ordine temporale inverso  $c$   $b$   $a$
- il secondo riguarda il fatto che gli algoritmi per prevedere e quelli per retrovedere sono identici tra loro

## Due criteri di invarianza rispetto all'inversione temporale

- il primo riguarda la tesi che se qualcosa accade nell'ordine  $a$   $b$   $c$ , può anche accadere nell'ordine temporale inverso  $c$   $b$   $a$
- il secondo riguarda il fatto che gli algoritmi per prevedere e quelli per retrovedere sono identici tra loro
- in meccanica newtoniana si verificano entrambe le due condizioni di cui sopra, ma si può immaginare che questo non accada per altre teorie

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# La posizione eretica di Albert: molte teorie fisiche non sono temporalmente invarianti

## La posizione eretica di Albert: molte teorie fisiche non sono temporalmente invarianti

- anche nell'elettromagnetismo (EM), per avere invarianza temporale si devono invertire le direzioni del campo magnetico: senza questa condizione, che non riguarda solo la posizione delle particelle, EM non invariante (p.14)!

## La posizione eretica di Albert: molte teorie fisiche non sono temporalmente invarianti

- anche nell'elettromagnetismo (EM), per avere invarianza temporale si devono invertire le direzioni del campo magnetico: senza questa condizione, che non riguarda solo la posizione delle particelle, EM non invariante (p.14)!
- questa tesi ha' sollevato un ampio dibattito, perch Albert ritiene che EM abbia un'invarianza temporale parziale, che riguarda solo le posizioni delle particelle

## La posizione eretica di Albert: molte teorie fisiche non sono temporalmente invarianti

- anche nell'elettromagnetismo (EM), per avere invarianza temporale si devono invertire le direzioni del campo magnetico: senza questa condizione, che non riguarda solo la posizione delle particelle, EM non invariante (p.14)!
- questa tesi ha' sollevato un ampio dibattito, perch Albert ritiene che EM abbia un'invarianza temporale parziale, che riguarda solo le posizioni delle particelle
- "classical mechanics does entail that whatever motions *particles* can execute, they can also (though under *other circumstances*, with differently directed magnetic field around), execute backward (A.15)"

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

La meccanica newtoniana

L'inversione temporale nella meccanica newtoniana

# L'invarianza temporale nella letteratura standard

## L'invarianza temporale nella letteratura standard

- le condizioni dinamiche del mondo a istanti differenti non sono indipendenti, riconosce A, perché includono le velocità; quindi per avere un processo temporalmente invertito, si devono anche invertire le condizioni dinamiche quindi, nel caso della meccanica, le velocità, e in quello dell'EM, la direzione del campo magnetico;

## L'invarianza temporale nella letteratura standard

- le condizioni dinamiche del mondo a istanti differenti non sono indipendenti, riconosce A, perché includono le velocità; quindi per avere un processo temporalmente invertito, si devono anche invertire le condizioni dinamiche quindi, nel caso della meccanica, le velocità, e in quello dell'EM, la direzione del campo magnetico;
- Un conto sono le descrizioni di stato, che includono le posizioni, un conto quelle dinamiche, che includono anche le velocità, il tasso di cambiamento delle posizioni. Ma la direzione del campo magnetico dice A. non è come la velocità e quindi non può essere trattato allo stesso modo...argomento assai poco plausibile

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# le asimmetrie della nostra esperienza

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# le asimmetrie della nostra esperienza

## 1 Causalità

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# le asimmetrie della nostra esperienza

- 1 Causalità
- 2 Conoscenza

# le asimmetrie della nostra esperienza

- 1 Causalità
- 2 Conoscenza
- 3 processi fisici ordinari (vetro e uova che si rompono), processi biologici

# le asimmetrie della nostra esperienza

- 1 Causalità
- 2 Conoscenza
- 3 processi fisici ordinari (vetro e uova che si rompono), processi biologici
- 4 Dipendono tutti dalla seconda legge della termodinamica

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# Di che tipo sono le asimmetrie temporali?

## Di che tipo sono le asimmetrie temporali?

- 1 Esse coinvolgono un grande numero di particelle e quindi sistemi fisici macroscopici che chiamiamo gas (così è nata la termodinamica, studiando l'efficienza delle macchine a vapore);

## Di che tipo sono le asimmetrie temporali?

- 1 Esse coinvolgono un grande numero di particelle e quindi sistemi fisici macroscopici che chiamiamo gas (così è nata la termodinamica, studiando l'efficienza delle macchine a vapore);
- 2 Benché i gas siano costituiti da un enorme numero di particelle, calcoli a partire dagli stati microscopici sono troppo complicati

## Di che tipo sono le asimmetrie temporali?

- 1 Esse coinvolgono un grande numero di particelle e quindi sistemi fisici macroscopici che chiamiamo gas (così è nata la termodinamica, studiando l'efficienza delle macchine a vapore);
- 2 Benché i gas siano costituiti da un enorme numero di particelle, calcoli a partire dagli stati microscopici sono troppo complicati
- 3 allora si studiano parametri macroscopici, quali pressione, temperatura e volume di un gas, scrivendo leggi che non fanno riferimento a parametri microscopici quali posizione e velocità delle particelle del gas e usano la statistica

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# Calore e temperatura sono forme di energia

## Calore e temperatura sono forme di energia

- 1 due modi con i quali i gas scambiano energia con l'ambiente circostante: cedendo o assorbendo calore e compiendo o subendo lavoro compiuto da altro gas

## Calore e temperatura sono forme di energia

- 1 due modi con i quali i gas scambiano energia con l'ambiente circostante: cedendo o assorbendo calore e compiendo o subendo lavoro compiuto da altro gas
- 2  $DU = DQ + DW$

## Calore e temperatura sono forme di energia

- 1 due modi con i quali i gas scambiano energia con l'ambiente circostante: cedendo o assorbendo calore e compiendo o subendo lavoro compiuto da altro gas
- 2  $DU = DQ + DW$
- 3 la variazione dell'energia totale del gas  $DU$  è uguale all'energia che il gas assorbe (o cede) nel corso di un processo sotto forma di calore  $Q$  e l'energia che assorbe sotto forma di lavoro meccanico  $W$

## Calore e temperatura sono forme di energia

- 1 due modi con i quali i gas scambiano energia con l'ambiente circostante: cedendo o assorbendo calore e compiendo o subendo lavoro compiuto da altro gas
- 2  $DU = DQ + DW$
- 3 la variazione dell'energia totale del gas  $DU$  è uguale all'energia che il gas assorbe (o cede) nel corso di un processo sotto forma di calore  $Q$  e l'energia che assorbe sotto forma di lavoro meccanico  $W$
- 4 questa è la legge della conservazione dell'energia

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# La seconda legge della termodinamica

## La seconda legge della termodinamica

- 1 ha a che fare con trasformazioni irreversibili, del tipo dato da un corpo che cede calore a un altro

## La seconda legge della termodinamica

- 1 ha a che fare con trasformazioni irreversibili, del tipo dato da un corpo che cede calore a un altro
- 2 primo tentativo di formulare la legge: il calore non può mai fluire da un corpo freddo a uno caldo

## La seconda legge della termodinamica

- 1 ha a che fare con trasformazioni irreversibili, del tipo dato da un corpo che cede calore a un altro
- 2 primo tentativo di formulare la legge: il calore non può mai fluire da un corpo freddo a uno caldo
- 3 due problemi con questa formulazione (a) ci sono eccezioni (frigorifero) e (b) sembra riguardare solo freddo e caldo e non altri fenomeni irreversibili.

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# Legge di Clausius, o seconda legge della termodinamica

## Legge di Clausius, o seconda legge della termodinamica

- Una trasformazione il cui solo risultato termodinamico sia quello di trasferire una quantità di calore da un corpo freddo a un corpo caldo è impossibile

## Legge di Clausius, o seconda legge della termodinamica

- Una trasformazione il cui solo risultato termodinamico sia quello di trasferire una quantità di calore da un corpo freddo a un corpo caldo è impossibile
- Tale formulazione è assai generale: l'inversione temporale di un processo nel quale una sedia che si ferma per attrito dopo essere spinta da un pistone azionato da un gas che si espande e si raffredda è proibita, se il pavimento è a temperatura uniforme e inferiore a quella iniziale del gas.

L'invarianza per inversione temporale

### La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

la prima legge della termodinamica

# Il secondo principio nella formulazione di Kelvin

## Il secondo principio nella formulazione di Kelvin

- 1 Un processo il cui unico risultato termodinamico finale sia quello di trasformare in energia meccanica il calore estratto da una sorgente che alla stessa temperatura ovunque è impossibile (perpetuum mobile del secondo tipo)

## Il secondo principio nella formulazione di Kelvin

- 1 Un processo il cui unico risultato termodinamico finale sia quello di trasformare in energia meccanica il calore estratto da una sorgente che alla stessa temperatura ovunque è impossibile (perpetuum mobile del secondo tipo)
- 2 la trasformazione di energia meccanica in calore è un processo temporalmente simmetrico accade sempre (anche senza altre trasformazioni termodinamiche), ma l'inverso non accade.

## Il secondo principio nella formulazione di Kelvin

- 1 Un processo il cui unico risultato termodinamico finale sia quello di trasformare in energia meccanica il calore estratto da una sorgente che alla stessa temperatura ovunque è impossibile (perpetuum mobile del secondo tipo)
- 2 la trasformazione di energia meccanica in calore è un processo temporalmente simmetrico accade sempre (anche senza altre trasformazioni termodinamiche), ma l'inverso non accade.
- 3 Un'altra formulazione coinvolge il concetto di entropia: in ogni sistema isolato o nell'universo, se questo un sistema isolato, questa grandezza (che definiremo dopo) non decresce ovvero rimane costante o cresce.

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# La termodinamica si riduce alla meccanica statistica: il trionfo della fisica del XIX secolo

## La termodinamica si riduce alla meccanica statistica: il trionfo della fisica del XIX secolo

- 1 La *pressione* del gas è il bombardamento microscopico delle particelle sulle pareti del contenitore: ovvero è data dal numero di collisioni per unità' di area per unità' di tempo e quanto fortemente urtano

## La termodinamica si riduce alla meccanica statistica: il trionfo della fisica del XIX secolo

- 1 La *pressione* del gas è il bombardamento microscopico delle particelle sulle pareti del contenitore: ovvero è data dal numero di collisioni per unità' di area per unità' di tempo e quanto fortemente urtano
- 2 la *temperatura* è l'energia cinetica molecolare media  $\frac{1}{2} \times \text{massa} \times \text{velocità}^2$  delle particelle di gas: il calore dunque è energia meccanica

## La termodinamica si riduce alla meccanica statistica: il trionfo della fisica del XIX secolo

- 1 La *pressione* del gas è il bombardamento microscopico delle particelle sulle pareti del contenitore: ovvero è data dal numero di collisioni per unità' di area per unità' di tempo e quanto fortemente urtano
- 2 la *temperatura* è l'energia cinetica molecolare media  $\frac{1}{2} \times \text{massa} \times \text{velocità}^2$  delle particelle di gas: il calore dunque è energia meccanica
- 3 Gli oggetti materiali sono fatti di atomi, e i gas di miliardi di molecole

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# La termodinamica si riduce alla meccanica statistica

## La termodinamica si riduce alla meccanica statistica

- 1 l'entropia  $S$  – che in termodinamica è la differenza tra i valori  $S(B)$  e  $S(A)$  di una trasformazione reversibile tra  $A$  e  $B$ , dove la somma delle quantità  $\frac{Q_i}{T_i}$  per ogni fase  $i$  della trasformazione è una grandezza che dipende solo dallo stato iniziale e finale della trasformazione e andrà' opportunamente ridefinita in termini meccanici-statistici

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Lo spazio delle fasi

## Lo spazio delle fasi

- una particella ad un istante è un punto in uno spazio a sei dimensioni (3 numeri per la posizione e 3 numeri per le componenti della velocità lungo i tre assi cartesiani)
  - 1 le traiettorie delle particelle nello spazio delle fasi non si incontrano mai, causa il determinismo
  - 2 Uno spazio  $6N$  dimensionale descrive con un'unica traiettoria l'evoluzione temporale di un sistema di  $N$  particelle

## Lo spazio delle fasi

- una particella ad un istante è un punto in uno spazio a sei dimensioni (3 numeri per la posizione e 3 numeri per le componenti della velocità lungo i tre assi cartesiani)
  - 1 le traiettorie delle particelle nello spazio delle fasi non si incontrano mai, causa il determinismo
  - 2 Uno spazio  $6N$  dimensionale descrive con un'unica traiettoria l'evoluzione temporale di un sistema di  $N$  particelle
- in altre parole, due particelle possono condividere 3 numeri (le loro posizioni) ma non le loro velocità dopo quell'istante: quindi le successioni di sei numeri che rappresentano l'evoluzione temporale di ogni particella non sono mai identiche per particelle diverse, ovvero le loro traiettorie non si incontrano.

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Disposizioni (scelte) e distribuzioni: si inizia a derivare l'entropia

# Disposizioni (scelte) e distribuzioni: si inizia a derivare l'entropia

- dividiamo lo spazio delle fasi in tante regioni finite di ugual volume, abbastanza grandi da essere molto meno numerose delle  $N$  particelle

## Disposizioni (scelte) e distribuzioni: si inizia a derivare l'entropia

- dividiamo lo spazio delle fasi in tante regioni finite di ugual volume, abbastanza grandi da essere molto meno numerose delle  $N$  particelle
- una specificazione di quali particelle identiche stanno in quali di queste regioni è una *disposizione* (arrangement)

## Disposizioni (scelte) e distribuzioni: si inizia a derivare l'entropia

- dividiamo lo spazio delle fasi in tante regioni finite di ugual volume, abbastanza grandi da essere molto meno numerose delle  $N$  particelle
- una specificazione di quali particelle identiche stanno in quali di queste regioni è una *disposizione* (arrangement)
- una specificazione di quante particelle (senza badare alla loro identità) stanno in ciascuna regione è una *distribuzione*  
Quest'ultima corrisponde a una macrocondizione, che rinuncia a molta informazione contenuta in una disposizione

# L'idea di Boltzmann I

- 1 ogni distinta disposizione, occupando una regione dello spazio delle fasi, è costituita da una infinità di punti ed è dunque compatibile con una infinità di microcondizioni, ognuna corrispondente a un punto dello spazio delle fasi
- 2 la distribuzione in cui tutte le  $N$  particelle sono in una sola celletta qualunque corrisponde a una sola disposizione (un solo modo per collocare le particelle)
- 3 la distribuzione in cui  $N - 1$  particelle sono in una regione  $X$  e l'altra è in un'altra  $Y$  corrisponde a  $N$  possibili scelte per quale particella sta in  $Y$ , quindi a  $N$  disposizioni
- 4 la distribuzione in cui  $N - 2$  particelle sono nella regione  $X$ , e due in  $Y$  corrisponde a  $N(N-1)$  disposizioni, ovvero a  $N$  scelte per la prima in  $Y$  e poi a  $N-1$  scelte per la seconda in  $Y$ , tolta la prima

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# L'idea di Boltzmann II

## L'idea di Boltzmann II

- la distribuzione in cui  $N-M$  sono in  $X$  e  $M$  in  $Y$  è corrisponde, per induzione, a  $N(N-1)(N-2)(N-3)\dots(N-M)$  disposizioni dato che abbiamo  $N$  scelte per la prima,  $N-1$  per la seconda,  $N-1$  per la terza, etc, fino a  $N-M$  scelte per la  $M$ -esima

## L'idea di Boltzmann II

- la distribuzione in cui  $N-M$  sono in  $X$  e  $M$  in  $Y$  è corrisponde, per induzione, a  $N(N-1)(N-2)(N-3)\dots(N-M)$  disposizioni dato che abbiamo  $N$  scelte per la prima,  $N-1$  per la seconda,  $N-1$  per la terza, etc, fino a  $N-M$  scelte per la  $M$ -esima
- le distribuzioni più disperse sono quelle che corrispondono a un numero maggiore di disposizioni

## L'idea di Boltzmann II

- la distribuzione in cui  $N-M$  sono in  $X$  e  $M$  in  $Y$  è corrisponde, per induzione, a  $N(N-1)(N-2)(N-3)\dots(N-M)$  disposizioni dato che abbiamo  $N$  scelte per la prima,  $N-1$  per la seconda,  $N-1$  per la terza, etc, fino a  $N-M$  scelte per la  $M$ -esima
- le distribuzioni più disperse sono quelle che corrispondono a un numero maggiore di disposizioni
- se ogni disposizione equiprobabile e corrisponde allo stesso volume dello spazio delle fasi, allora

## L'idea di Boltzmann II

- la distribuzione in cui  $N-M$  sono in  $X$  e  $M$  in  $Y$  è corrisponde, per induzione, a  $N(N-1)(N-2)(N-3)\dots(N-M)$  disposizioni dato che abbiamo  $N$  scelte per la prima,  $N-1$  per la seconda,  $N-1$  per la terza, etc, fino a  $N-M$  scelte per la  $M$ -esima
- le distribuzioni più disperse sono quelle che corrispondono a un numero maggiore di disposizioni
- se ogni disposizione equiprobabile e corrisponde allo stesso volume dello spazio delle fasi, allora
- **CONCLUSIONE:** le distribuzioni disperse corrispondono a percentuali di volume maggiore dello spazio delle fasi, e poiché il volume corrisponde alla probabilità, *sono più probabili.*

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# L'idea di Boltzmann III

## L'idea di Boltzmann III

- entropia maggiore corrisponde dunque a numero maggiore di disposizioni e maggiori porzioni di volume dello spazio delle fasi, quindi maggiore probabilità

## L'idea di Boltzmann III

- entropia maggiore corrisponde dunque a numero maggiore di disposizioni e maggiori porzioni di volume dello spazio delle fasi, quindi maggiore probabilità
- sia  $S$  l'entropia di una distribuzione,  $n$  il numero di disposizioni compatibili con essa e  $K$  la costante di Boltzmann, che è misurata in joule/kelvin, come l'entropia

## L'idea di Boltzmann III

- entropia maggiore corrisponde dunque a numero maggiore di disposizioni e maggiori porzioni di volume dello spazio delle fasi, quindi maggiore probabilità
- sia  $S$  l'entropia di una distribuzione,  $n$  il numero di disposizioni compatibili con essa e  $K$  la costante di Boltzmann, che è misurata in joule/kelvin, come l'entropia
- la formula di Boltzmann è allora  $S = K \log n$

## L'idea di Boltzmann III

- entropia maggiore corrisponde dunque a numero maggiore di disposizioni e maggiori porzioni di volume dello spazio delle fasi, quindi maggiore probabilità
- sia  $S$  l'entropia di una distribuzione,  $n$  il numero di disposizioni compatibili con essa e  $K$  la costante di Boltzmann, che è misurata in joule/kelvin, come l'entropia
- la formula di Boltzmann è allora  $S = K \log n$
- si ricordi che  $\log a + \log b = \log ab$ , ciò che spiega perché  $S$  è proporzionale al logaritmo di  $n$  e non a  $n$ :  $S$  è additiva, ma il numero di disposizioni di ogni sottosistema sarà il prodotto del numero di disposizioni compatibili con la macrocondizione (o distribuzione) del sistema complessivo (vedi n.10, p. 50)

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# L'idea di Boltzmann IV

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

La meccanica statistica

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

## L'idea di Boltzmann IV

- la formula di Boltzmann per l'entropia  $S = K \log n$

## L'idea di Boltzmann IV

- la formula di Boltzmann per l'entropia  $S = K \log n$
- “quel che misura l'entropia non il numero di microstati compatibili con il macrostato dato ma il numero di disposizioni con esso compatibile, ovvero il *volume* dell'infinità di microstati nello spazio delle fasi” (Albert, p. 50) compatibili con il macrostato Si noti che il numero di microstati è infinito, causa il fatto che le grandezze posizione e velocità prendono valori nel continuo.

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Il diavoleto di Maxwell e la seconda legge della termodinamica

## Il diavoleto di Maxwell e la seconda legge della termodinamica

- Se il diavoleto attraverso lo sportellino che separa le due stanze è in grado di far passare molecole veloci (appartenenti alla parte fredda) nel gas caldo e quelle lente (appartenenti alla stanza calda) nel freddo, allora trasferisce calore dal gas freddo a quello caldo, in violazione del principio di Clausius (nell'ipotesi che non compia alcun lavoro sulle molecole, non ci sono altre trasformazioni termodinamiche in gioco).
  - ① il diavoleto conosce lo stato microscopico del gas e agisce sulla base di questa informazione
  - ② ogni descrizione macroscopica (termodinamica) corrisponde a un numero enorme di distinti microstati
  - ③ allora la verità del secondo principio, con la correlata irreversibilità temporale, dipende dall'impossibilità di accedere allo stato microscopico del gas?

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Interpretare l'esperimento mentale di Maxwell in senso statistico I

# Interpretare l'esperimento mentale di Maxwell in senso statistico I

- Ci sono solo pochissimi microstati (corrispondente a un qualche macrostato) che fanno sì che, con uno sportellino che si apre automaticamente, tutte le molecole pi veloci del gas freddo vanno a far parte del gas caldo e viceversa per un periodo di tempo abbastanza lungo: questo comportamento del gas sarebbe in violazione della seconda legge di Clausius

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Interpretare l'esperimento mentale di Maxwell in senso statistico II

## Interpretare l'esperimento mentale di Maxwell in senso statistico II

- La stragrande maggioranza dei microstati si comportano tuttavia in modo “normale”, ovvero in modo tale che lo stato di separazione del gas non è alterato, e dunque la legge di Clausius non è violata;

## Interpretare l'esperimento mentale di Maxwell in senso statistico II

- La stragrande maggioranza dei microstati si comportano tuttavia in modo “normale”, ovvero in modo tale che lo stato di separazione del gas non è alterato, e dunque la legge di Clausius non è violata;
- **tale violazione però è possibile, per quanto estremamente improbabile**

## Interpretare l'esperimento mentale di Maxwell in senso statistico II

- La stragrande maggioranza dei microstati si comportano tuttavia in modo “normale”, ovvero in modo tale che lo stato di separazione del gas non è alterato, e dunque la legge di Clausius non è violata;
- **tale violazione però è possibile, per quanto estremamente improbabile**
- **QUESTO E' IL SIGNIFICATO (STATISTICO) DEL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA**

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Entropia, informazione, ordine: accostamenti concettuali pericolosi

# Entropia, informazione, ordine: accostamenti concettuali pericolosi

- l'entropia ha a che fare con l'*informazione*, visto che entropia alta significa macrostato con molte compatibili disposizioni, e quindi con scarsa informatività:  $S$  inversamente proporzionale a quanto puoi inferire sul macrostato di un sistema.

## Entropia, informazione, ordine: accostamenti concettuali pericolosi

- l'entropia ha a che fare con l'*informazione*, visto che entropia alta significa macrostato con molte compatibili disposizioni, e quindi con scarsa informatività:  $S$  inversamente proporzionale a quanto puoi inferire sul macrostato di un sistema.
- l'entropia ha a che fare con ordine e disordine, visto che distribuzioni “disperse” sono meno strutturate o ordinate di quelle concentrate in una regione piccola dello spazio delle fasi

## Entropia, informazione, ordine: accostamenti concettuali pericolosi

- l'entropia ha a che fare con l'*informazione*, visto che entropia alta significa macrostato con molte compatibili disposizioni, e quindi con scarsa informatività:  $S$  inversamente proporzionale a quanto puoi inferire sul macrostato di un sistema.
- l'entropia ha a che fare con ordine e disordine, visto che distribuzioni "disperse" sono meno strutturate o ordinate di quelle concentrate in una regione piccola dello spazio delle fasi
- se entropia fosse informazione, sarebbe epistemica; l'ordine è concetto vago...

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Entropia e dinamica: tendenza verso l'equilibrio termico

## Entropia e dinamica: tendenza verso l'equilibrio termico

- 1 se il gas è tutto confinato in un angolo della stanza, è sensato assumere che andrà in una posizione dello spazio delle fasi che corrisponde alla distribuzione massimamente dispersa, quella che occupa il volume maggiore dello spazio delle fasi è anche quella più probabile

## Entropia e dinamica: tendenza verso l'equilibrio termico

- 1 se il gas è tutto confinato in un angolo della stanza, è sensato assumere che andrà in una posizione dello spazio delle fasi che corrisponde alla distribuzione massimamente dispersa, quella che occupa il volume maggiore dello spazio delle fasi è anche quella più probabile
- 2 quest'ultima ha infatti il numero massimo di microdestinazioni, e quindi il gas starà in quella posizione anche ad istanti successivi di tempo

## Entropia e dinamica: tendenza verso l'equilibrio termico

- 1 se il gas è tutto confinato in un angolo della stanza, è sensato assumere che andrà in una posizione dello spazio delle fasi che corrisponde alla distribuzione massimamente dispersa, quella che occupa il volume maggiore dello spazio delle fasi è anche quella più probabile
- 2 quest'ultima ha infatti il numero massimo di microdestinazioni, e quindi il gas starà in quella posizione anche ad istanti successivi di tempo
- 3 ecco che abbiamo derivato una irreversibilità: non sapendo in quale microstato sta il sistema alla fine si assume che andrà in quello più probabile: non si va da stati dispersi a stati concentrati

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# L'approccio di Gibbs

## L'approccio di Gibbs

- 1 la maggioranza schiacciante dei microstati di un gas la cui entropia è massima è corrisponde a stati di equilibrio del gas.

## L'approccio di Gibbs

- 1 la maggioranza schiacciante dei microstati di un gas la cui entropia è massima è corrisponde a stati di equilibrio del gas.
- 2 tali stati occupano la maggioranza schiacciante dell'area occupata dall'ipersuperficie dell'energia del gas, che è una misura dell'energia totale del gas

## L'approccio di Gibbs

- 1 la maggioranza schiacciante dei microstati di un gas la cui entropia è massima è corrisponde a stati di equilibrio del gas.
- 2 tali stati occupano la maggioranza schiacciante dell'area occupata dall'ipersuperficie dell'energia del gas, che è una misura dell'energia totale del gas
- 3 la traiettoria di un punto dello spazio delle fasi che rappresenta un sistema ad  $N$  particelle non favorisce quindi alcuna regione dell'ipersuperficie, e si chiama *ergodica* se per ogni tempo  $T$ , la frazione di tempo che una traiettoria passa in una regione dell'ipersuperficie dell'energia è uguale all'area della regione divisa per l'area dell'ipersuperficie

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Il significato dell'ergodicità

## Il significato dell'ergodicità

- 1 il teorema di cui sopra vale nel limite di un intervallo di tempo centrato in  $T$  che va all'infinito (A. p. 59)

## Il significato dell'ergodicità

- 1 il teorema di cui sopra vale nel limite di un intervallo di tempo centrato in  $T$  che va all'infinito (A. p. 59)
- 2 il significato del teorema è che il tempo speso in una regione dell'ipersuperficie di energia da un sistema corrisponde alla probabilità di quella regione, che a sua volta corrisponde agli stati di equilibrio del sistema

## Il significato dell'ergodicità

- 1 il teorema di cui sopra vale nel limite di un intervallo di tempo centrato in  $T$  che va all'infinito (A. p. 59)
- 2 il significato del teorema è che il tempo speso in una regione dell'ipersuperficie di energia da un sistema corrisponde alla probabilità di quella regione, che a sua volta corrisponde agli stati di equilibrio del sistema
- 3 ne segue che è improbabile che un sistema al passaggio del tempo rimanga in una regione piccola dello spazio delle fasi

L'invarianza per inversione temporale

La termodinamica

**La meccanica statistica**

Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato

La portata della termodinamica

Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

## Il significato della meccanica statistica (p.61)

## Il significato della meccanica statistica (p.61)

- 1 Se una legge termodinamica ci dice che si passa dal macrostato A a quello B

## Il significato della meccanica statistica (p.61)

- 1 Se una legge termodinamica ci dice che si passa dal macrostato A a quello B
- 2 allora segue logicamente dalla meccanica newtoniana che la stragrande maggioranza del volume dello spazio delle fasi associato con A è occupato da microstati o microdestinazioni che portano deterministicamente nel volume associato con la macrocondizione B

## Il significato della meccanica statistica (p.61)

- 1 Se una legge termodinamica ci dice che si passa dal macrostato A a quello B
- 2 allora segue logicamente dalla meccanica newtoniana che la stragrande maggioranza del volume dello spazio delle fasi associato con A è occupato da microstati o microdestinazioni che portano deterministicamente nel volume associato con la macrocondizione B
- 3 ovvero, la probabilità che si passi da A a B è altissima (se la probabilità che il microstato associato ad A è proporzionale alla sottoregione dello spazio delle fasi associato ad A)

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Come estrarre comportamento irreversibile da leggi reversibili?

## Come estrarre comportamento irreversibile da leggi reversibili?

- non è possibile. Se si passa da A a B a C, deve essere possibile anche passare da C a B a A (basta rovesciare le velocità delle particelle che compongono il sistema)

## Come estrarre comportamento irreversibile da leggi reversibili?

- non è possibile. Se si passa da A a B a C, deve essere possibile anche passare da C a B a A (basta rovesciare le velocità delle particelle che compongono il sistema)
- questa è l'obiezione dovuta a Loschmidt: *dallo stato B deve essere equiprobabile arrivare a C come ad A*, senza ulteriori assunzioni: non c'è asimmetria nella probabilità

## Come estrarre comportamento irreversibile da leggi reversibili?

- non è possibile. Se si passa da A a B a C, deve essere possibile anche passare da C a B a A (basta rovesciare le velocità delle particelle che compongono il sistema)
- questa è l'obiezione dovuta a Loschmidt: *dallo stato B deve essere equiprobabile arrivare a C come ad A*, senza ulteriori assunzioni: non c'è asimmetria nella probabilità
- dato il teorema di Liouville sulla conservazione del volume nello spazio delle fasi, possiamo formulare quello di Poincaré, che afferma che ogni sistema classico confinato in una regione finita dello spazio delle fasi tornerà dopo un tempo arbitrariamente lungo arbitrariamente vicino alle sue condizioni iniziali e questo avverrà un numero indefinito di volte

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

## Alcune conseguenze assurde del teorema di ricorrenza

## Alcune conseguenze assurde del teorema di ricorrenza

- Una goccia di inchiostro nell'acqua (in una stanza chiusa), un uovo caduto a terra in una stanza chiusa, due gas di diversa temperatura in una scatola, mostreranno comportamenti reversibili

## Alcune conseguenze assurde del teorema di ricorrenza

- Una goccia di inchiostro nell'acqua (in una stanza chiusa), un uovo caduto a terra in una stanza chiusa, due gas di diversa temperatura in una scatola, mostreranno comportamenti reversibili
- questa reversibilità è generalizzabile a tutti i processi irreversibili che accadono in un ambiente isolato e in un volume finito dello spazio delle fasi.

## Alcune conseguenze assurde del teorema di ricorrenza

- Una goccia di inchiostro nell'acqua (in una stanza chiusa), un uovo caduto a terra in una stanza chiusa, due gas di diversa temperatura in una scatola, mostreranno comportamenti reversibili
- questa reversibilità è generalizzabile a tutti i processi irreversibili che accadono in un ambiente isolato e in un volume finito dello spazio delle fasi.
- si può quindi affermare che la maggioranza schiacciante delle traiettorie che passano attraverso un macrostato di entropia non massimale  $B$  aumentano la loro entropia nel futuro, ma si deve aggiungere che lo stesso accade verso il passato:  $B$  è un punto di minima entropia locale

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

Le conseguenze assurde del postulato statistico dipendono da quel che ricordiamo del passato: dalle tracce del passato nel presente

# Le conseguenze assurde del postulato statistico dipendono da quel che ricordiamo del passato: dalle tracce del passato nel presente

- se a  $t=0$  ci sono cubetti di ghiaccio (ad A), dopo 5 minuti, a B, sono quasi sciolti, e dopo 5 minuti a C sono completamente sciolti

## Le conseguenze assurde del postulato statistico dipendono da quel che ricordiamo del passato: dalle tracce del passato nel presente

- se a  $t=0$  ci sono cubetti di ghiaccio (ad A), dopo 5 minuti, a B, sono quasi sciolti, e dopo 5 minuti a C sono completamente sciolti
- l'ipotesi simmetrica del postulato statistico ci costringe invece ad assumere che il punto B è un punto di minimo locale e quindi che a  $t=0$  il ghiaccio è ancora più sciolto

## Le conseguenze assurde del postulato statistico dipendono da quel che ricordiamo del passato: dalle tracce del passato nel presente

- se a  $t=0$  ci sono cubetti di ghiaccio (ad A), dopo 5 minuti, a B, sono quasi sciolti, e dopo 5 minuti a C sono completamente sciolti
- l'ipotesi simmetrica del postulato statistico ci costringe invece ad assumere che il punto B è un punto di minimo locale e quindi che a  $t=0$  il ghiaccio è ancora più sciolto
- l'entropia cresce sia verso il passato che verso il futuro, ciò che contraddice l'ipotesi iniziale che ad A  $t=0$  il ghiaccio era compatto!

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# la versione sbagliata del postulato statistico

## la versione sbagliata del postulato statistico

- “this latest version of the statistical postulate, if applied in the present, is *flatly inconsistent* with what we take to be true, with what we remember, with what is recorded (that for example, everybody was younger, that ice was less melted, and so on), of the past ” (A. p.81)

## la versione sbagliata del postulato statistico

- “this latest version of the statistical postulate, if applied in the present, is *flatly inconsistent* with what we take to be true, with what we remember, with what is recorded (that for example, everybody was younger, that ice was less melted, and so on), of the past ” (A. p.81)
- per rimediare a questo problema si fa ricorso a ciò che sappiamo dall'esperienza

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Un nuovo postulato basato sulla memoria o sull'esperienza

## Un nuovo postulato basato sulla memoria o sull'esperienza

- postuliamo che 5 minuti fa il ghiaccio era non sciolto e che la probabilità legata al microstato era uniforme rispetto al macrostato di 5 minuti fa

## Un nuovo postulato basato sulla memoria o sull'esperienza

- postuliamo che 5 minuti fa il ghiaccio era non sciolto e che la probabilità legata al microstato era uniforme rispetto al macrostato di 5 minuti fa
- iterando la procedura a 10 minuti fa, otteniamo un altro postulato tale che c'è una distribuzione di probabilità relativamente alla quale quel che ricordiamo degli ultimi 10 minuti e quel che sappiamo del presente, e quel che ci aspettiamo del futuro è tipico.

## Un nuovo postulato basato sulla memoria o sull'esperienza

- postuliamo che 5 minuti fa il ghiaccio era non sciolto e che la probabilità legata al microstato era uniforme rispetto al macrostato di 5 minuti fa
- iterando la procedura a 10 minuti fa, otteniamo un altro postulato tale che c'è una distribuzione di probabilità relativamente alla quale quel che ricordiamo degli ultimi 10 minuti e quel che sappiamo del presente, e quel che ci aspettiamo del futuro è tipico.
- tipico significa che una certa sequenze ristretta di macrostati è più probabile di ogni altra sequenza non compatibile con quel che sappiamo del passato del presente e quel che ci aspettiamo del futuro

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# La cosmologia ci viene in soccorso: l'ipotesi del passato o past hypothesis

# La cosmologia ci viene in soccorso: l'ipotesi del passato o past hypothesis

- 1 anche l'ultimo postulato, prima di 10 minuti fa, non funziona, se non andiamo abbastanza indietro nel passato in modo da includere il settore dell'universo al quale abbiamo accesso e il Big Bang

# La cosmologia ci viene in soccorso: l'ipotesi del passato o past hypothesis

- 1 anche l'ultimo postulato, prima di 10 minuti fa, non funziona, se non andiamo abbastanza indietro nel passato in modo da includere il settore dell'universo al quale abbiamo accesso e il Big Bang
- 2 Esistono però altre spiegazioni dell'origine dell'irreversibilità dato che questa rimanda alle condizioni iniziali dell'universo?

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# La soluzione di albert al problema dell'origine dell'irreversibilità

# La soluzione di albert al problema dell'origine dell'irreversibilità

- 1 le leggi newtoniane del moto, ovvero  $F=ma$

# La soluzione di albert al problema dell'origine dell'irreversibilità

- 1 le leggi newtoniane del moto, ovvero  $F=ma$
- 2 l'universo all'inizio era in uno stato di bassa entropia

# La soluzione di albert al problema dell'origine dell'irreversibilità

- 1 le leggi newtoniane del moto, ovvero  $F=ma$
- 2 l'universo all'inizio era in uno stato di bassa entropia
- 3 il postulato statistico: la distribuzione di probabilità che è corretto usare per fare inferenze sul passato e sul futuro è quella uniforme, rispetto alla misura standard, in quelle regioni dello spazio delle fasi che sono compatibili con tutta l'informazione in nostro possesso

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Un'alternativa esplicativa minacciosa

## Un'alternativa esplicativa minacciosa

- 1 tutta l'evidenza che abbiamo rispetto al passato parte della distribuzione di probabilità uniforme nello spazio delle fasi e associata alla macrocondizione del mondo al momento presente

## Un'alternativa esplicativa minacciosa

- 1 tutta l'evidenza che abbiamo rispetto al passato parte della distribuzione di probabilità uniforme nello spazio delle fasi e associata alla macrocondizione del mondo al momento presente
- 2 per es., la mia foto all'età di 5 anni prima era assai più ingiallita (entropia più alta) più rovinata e molto tempo fa, si è formata spontaneamente in modo puramente casuale (evento assai improbabile)

## Un'alternativa esplicativa minacciosa

- 1 tutta l'evidenza che abbiamo rispetto al passato parte della distribuzione di probabilità uniforme nello spazio delle fasi e associata alla macrocondizione del mondo al momento presente
- 2 per es., la mia foto all'età di 5 anni prima era assai più ingiallita (entropia più alta) più rovinata e molto tempo fa, si è formata spontaneamente in modo puramente casuale (evento assai improbabile)
- 3 ne segue che non c'era nessuno di cui quella foto è una foto e questa spiegazione contraddice la nostra evidenza che esiste un passato con entropia più bassa

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# In che modo conosciamo il fatto che l'universo è iniziato in un macrostato di bassa entropia?

# In che modo conosciamo il fatto che l'universo è iniziato in un macrostato di bassa entropia?

- ① non come conosciamo fatti empirici particolari, ma con le stesse ragioni che abbiamo per credere leggi *teoriche* generali (p. 94)

## In che modo conosciamo il fatto che l'universo è iniziato in un macrostato di bassa entropia?

- 1 non come conosciamo fatti empirici particolari, ma con le stesse ragioni che abbiamo per credere leggi *teoriche* generali (p. 94)
- 2 l'assunzione di cui al punto 1 ci serve a rendere coerente una serie di predizioni empiriche particolari

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# L'asimmetria della conoscenza

## L'asimmetria della conoscenza

- Wallace (2011): 'That region of phase space corresponding to a system being at equilibrium is so very large compared to the rest of phase space that unless either the dynamics or the initial state are (as Goldstein (2001) puts it) “ridiculously special”, then the system will in fairly short order end up in the equilibrium region.'

## L'asimmetria della conoscenza

- Wallace (2011): 'That region of phase space corresponding to a system being at equilibrium is so very large compared to the rest of phase space that unless either the dynamics or the initial state are (as Goldstein (2001) puts it) "ridiculously special", then the system will in fairly short order end up in the equilibrium region.'
- 'the tendency of entropy to increase rather than decrease, can be derived from time-symmetric microphysics provided we are willing to postulate that the entropy of the early universe is very low compared to the current entropy of the universe what Albert has memorably dubbed the *Past Hypothesis*'

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
**La portata della termodinamica**  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Alcuni fuorvianti considerazioni su biologia e termodinamica

## Alcuni fuorvianti considerazioni su biologia e termodinamica

- non c'è contraddizione tra sviluppo di un embrione e crescita dell'entropia, stesso dicasi dell'evoluzione biologica: l'entropia complessiva sale

## Alcuni fuorvianti considerazioni su biologia e termodinamica

- non c'è contraddizione tra sviluppo di un embrione e crescita dell'entropia, stesso dicasi dell'evoluzione biologica: l'entropia complessiva sale
- l'argomento del diavoleto di Maxwell sembra implicare una teoria epistemica dell'entropia, che viene invocata per mostrare che l'argomento non contraddice le leggi della crescita dell'entropia

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
**La portata della termodinamica**  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia I

## Ancora sul diavoleto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia I

- la spiegazione standard del perchè il diavoleto di Maxwell è non può far diminuire l'entropia è che si formano microstati nella sua memoria (o, il che e' lo stesso, estrae informazione dai due gas in contatto attraverso lo sportellino)

## Ancora sul diavoleto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia I

- la spiegazione standard del perchè il diavoleto di Maxwell è non può far diminuire l'entropia è che si formano microstati nella sua memoria (o, il che e' lo stesso, estrae informazione dai due gas in contatto attraverso lo sportellino)
- due distinti microstati del gas corrispondenti alla fase in cui i gas sono in iniziale entropia  $A$  generano due distinti microstati nel cervello del demone; quindi quando l'entropia va giu'a  $B$  dopo l'operzione del demone e il numero di microstati sembra diminuire, quel che accade e' invece che si formano stati potenzialmente distinti nella mente del demone, ognuno

## Ancora sul diavoleto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia I

- la spiegazione standard del perchè il diavoleto di Maxwell è non può far diminuire l'entropia è che si formano microstati nella sua memoria (o, il che e' lo stesso, estrae informazione dai due gas in contatto attraverso lo sportellino)
- due distinti microstati del gas corrispondenti alla fase in cui i gas sono in iniziale entropia  $A$  generano due distinti microstati nel cervello del demone; quindi quando l'entropia va giu'a  $B$  dopo l'operzione del demone e il numero di microstati sembra diminuire, quel che accade e' invece che si formano stati potenzialmente distinti nella mente del demone, ognuno

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
**La portata della termodinamica**  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia II

## Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia II

- Immaginiamo che il demone D nel macrostato M e il gas G nel macrostato A e che D e G sono vicini l'uno all'altro

## Ancora sul diavoleto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia II

- Immaginiamo che il demone D nel macrostato M e il gas G nel macrostato A e che D e G sono vicini l'uno all'altro
- supponiamo che dopo che il gas e' di nuovo isolato, l'entropia scende

## Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia II

- Immaginiamo che il demone D nel macrostato M e il gas G nel macrostato A e che D e G sono vicini l'uno all'altro
- supponiamo che dopo che il gas e' di nuovo isolato, l'entropia scende
- se possono esistere demoni di questo tipo, indipendentemente da quanto la loro entropia sale, la seconda legge non e' valida universalmente. Secondo A questi demoni possono esistere

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
**La portata della termodinamica**  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia III

## Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia III

- i demoni devono essere microscopicamente sensibili, ovvero devono essere in grado di adattare il loro comportamento macroscopico alle particolari microcondizioni del sistema su cui agiscono (p.109)

## Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia III

- i demoni devono essere microscopicamente sensibili, ovvero devono essere in grado di adattare il loro comportamento macroscopico alle particolari microcondizioni del sistema su cui agiscono (p.109)
- a causa del fatto che c'è esigenza di questo tipo di interazione, il macrostato finale non è predicibile

## Ancora sul diavoletto di Maxwell e sul carattere non epistemico dell'entropia III

- i demoni devono essere microscopicamente sensibili, ovvero devono essere in grado di adattare il loro comportamento macroscopico alle particolari microcondizioni del sistema su cui agiscono (p.109)
- a causa del fatto che c'è esigenza di questo tipo di interazione, il macrostato finale non è predicibile
- se tale sensibilità è considerata attentamente (p.112), allora there can be no such thing as a Maxwellian demon that reliably ends up in the macrocondition it starts off in". In una parola il demone di Maxwell sarebbe inutilizzabile

L'invarianza per inversione temporale  
La termodinamica  
La meccanica statistica  
Le obiezioni di reversibilità e l'ipotesi del passato  
La portata della termodinamica  
Le asimmetrie della conoscenza e dell'intervento

# L'asimmetria dell'intervento causale o dell'azione

## L'asimmetria dell'intervento causale o dell'azione

- L'asimmetria dell'azione (che A. chiama intervention) ridotta a quella controfattuale: ci sono molti più modi di manipolare il futuro (per quanto sempre molto ristretti rispetto alla macrocondizione presente) intervenendo nel presente di quanti ce ne siano di modificare il passato intervenendo nel presente.

## L'asimmetria dell'intervento causale o dell'azione

- L'asimmetria dell'azione (che A. chiama intervention) ridotta a quella controfattuale: ci sono molti più modi di manipolare il futuro (per quanto sempre molto ristretti rispetto alla macrocondizione presente) intervenendo nel presente di quanti ce ne siano di modificare il passato intervenendo nel presente.
- come afferma Lewis, il futuro dipende controfattualmente dal presente, ma il passato non dipende controfattualmente dal presente: mentre il fatto che una certa palla da biliardo (la 5) sia urtata o meno tra 10 secondi dipende dallo stato presente di tutte le altre palle, il fatto che 10 secondi fa essa sia stata urtata dipende solo dallo stato presente della palla (ovvero dalla sua velocità presente, nel senso che se questa velocità

## L'asimmetria dell'intervento causale o dell'azione

- L'asimmetria dell'azione (che A. chiama intervention) ridotta a quella controfattuale: ci sono molti più modi di manipolare il futuro (per quanto sempre molto ristretti rispetto alla macrocondizione presente) intervenendo nel presente di quanti ce ne siano di modificare il passato intervenendo nel presente.
- come afferma Lewis, il futuro dipende controfattualmente dal presente, ma il passato non dipende controfattualmente dal presente: mentre il fatto che una certa palla da biliardo (la 5) sia urtata o meno tra 10 secondi dipende dallo stato presente di tutte le altre palle, il fatto che 10 secondi fa essa sia stata urtata dipende solo dallo stato presente della palla (ovvero dalla sua velocità presente, nel senso che se questa velocità