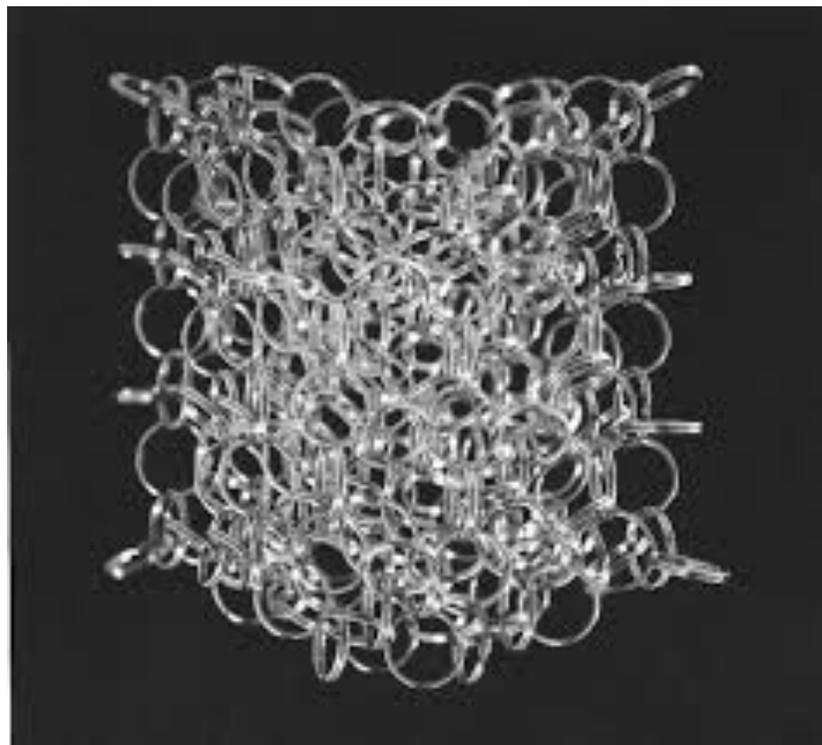


Carlo Rovelli  
L'ordine del tempo  
Adelphi, 2017





Kali nella fisica moderna  
Shantena, Eranos 2001

Il tempo è la nostra esperienza più  
prossima e insieme la più elusiva.

Lo sperimentiamo costantemente nella  
mente e nel corpo.

Ma è l'universalità della sua presenza,  
l'essere precondizione di tutta  
l'esperienza che lo rende così elusivo.

Per conoscere il tempo dovremmo stare,  
almeno per un momento, fuori del  
tempo...

Kali

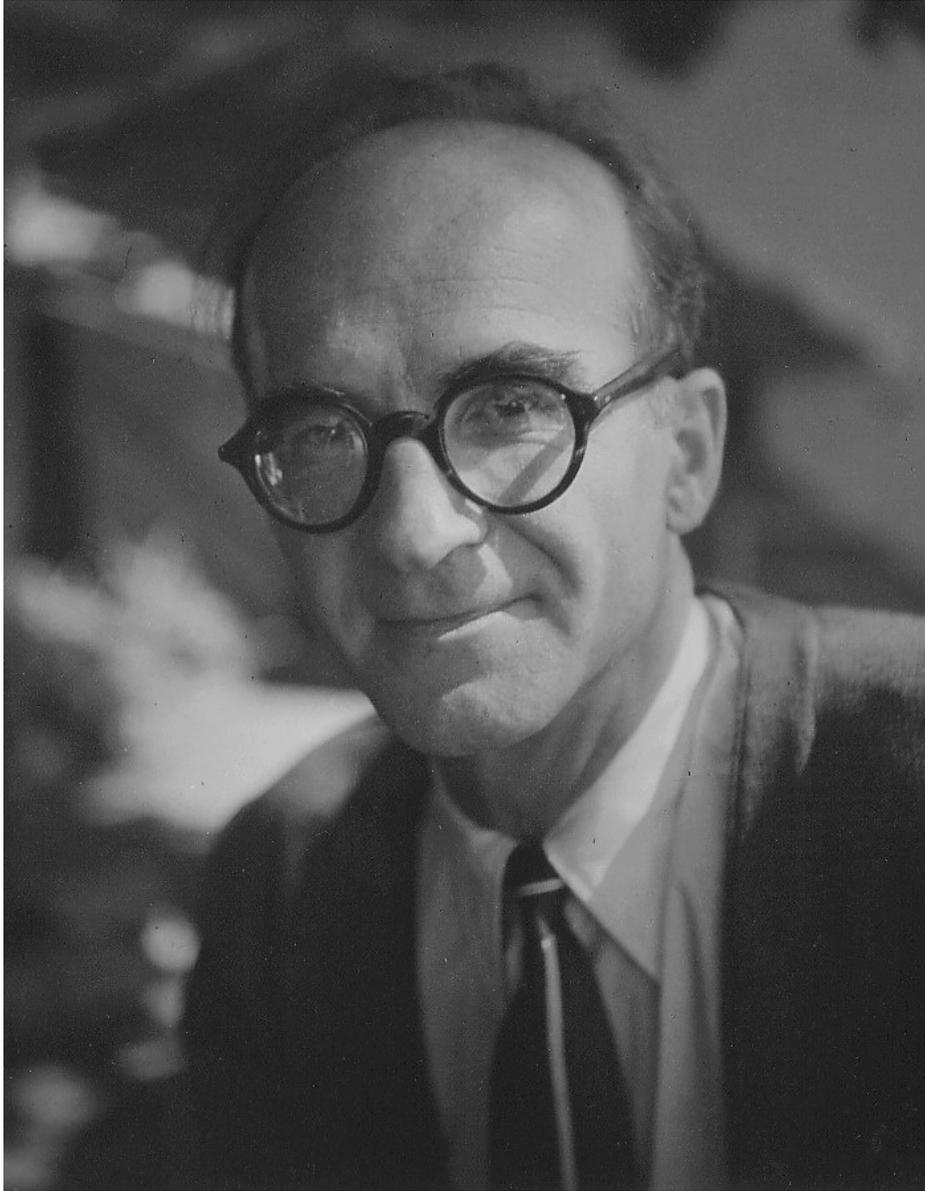


50 anni prima: convegno di Eranos 1951, *L'uomo e il tempo*: “un incontro che polverizzò particolarmente bene ogni certezza dei presenti” Joseph Campbell

**Jung** raccontò l'episodio dello scarabeo e presentò il suo lavoro sulla *sincronicità*, come “relativizzazione psichica dello spazio e del tempo”

**Mircea Eliade** parlò di tempo e eternità nel pensiero indiano.

Vishnu reclining on the cosmic snake and dreaming the universe



“Le società tradizionali si proponevano coscientemente e volontariamente di *abolire il tempo a intervalli periodici*... Il mito sottrae gli esseri umani al loro tempo, al loro tempo individuale, cronologico, ‘storico’ - e li proietta, almeno simbolicamente, nel Grande Tempo, in un attimo paradossale che non può essere misurato perché non ha durata.”

Studiando queste società tradizionali, una caratteristica ci colpisce particolarmente: la loro rivolta contro il tempo concreto, storico, la loro nostalgia di un ritorno periodico al tempo mitico dell’inizio di tutte le cose, al Grande Tempo”

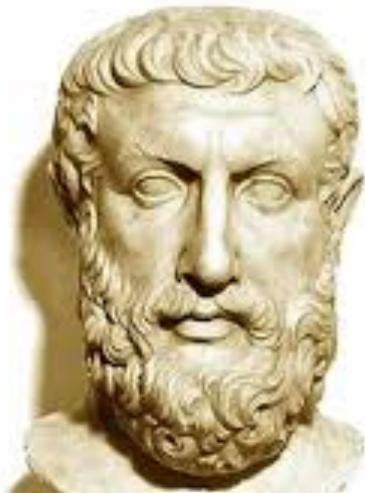
Mircea Eliade

La **negazione del tempo** “individuale, cronologico, storico” accomuna il mito e la fisica moderna...

Due diverse concezioni del tempo in seno sia al mito che alla fisica moderna:  
il filone dell'**essere** e quello del **divenire**

Il primo corrisponde a una visione del mondo in cui tutto è simultaneamente dato.  
Il tempo non è dotato di una realtà ultima, passato, presente e futuro coesistono

Nel secondo approccio il tempo è assolutamente reale, ogni cosa è in costante mutamento, il mondo è flusso irreversibile, “il sole è nuovo ogni giorno”



Parmenide



Eraclito

Cosa intendiamo quando parliamo di tempo?

Una prima fondamentale constatazione è che il tempo ci si presenta sotto tre aspetti radicalmente differenti

- il **presente**, ora, adesso, questo momento che condividiamo, “qui e ora”
- il **passato**, che si accresce continuamente degli istanti presenti che “precipitano via”
- non ho accesso ad alcun istante del passato, se non attraverso le tracce che incontro nel presente, alcune di queste essendo ciò che chiamo memoria
- il **futuro**, al quale ho ancor meno ho accesso che al passato, in quanto esiste unicamente come proiezione che faccio nel presente sulla base delle tracce del passato



Il passato e il futuro sono *work in progress* nella mente nel presente.  
Né il nostro ricordo del passato, né la nostra anticipazione del futuro  
sono totalmente affidabili.  
Ma, come vedremo, anche la nozione del presente presenta i suoi  
problemi...



“È nella mia mente allora che misuro il  
tempo... Quando misuro il tempo sto  
misurando qualcosa nel presente della mia  
mente. O il tempo è questo, o non so cosa  
sia.” Sant’Agostino, *Confessioni XI*

## Una breve storia della nozione di tempo in fisica

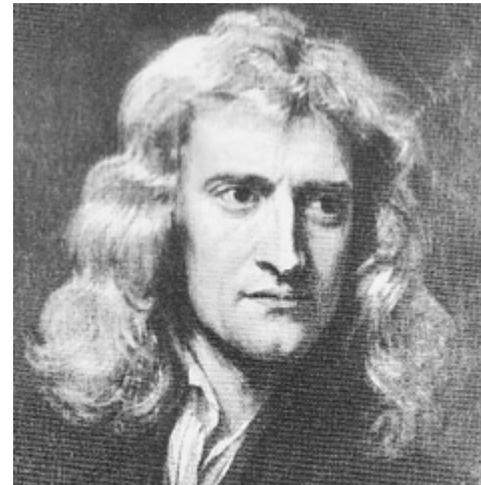
**Galileo:** “il libro della natura è scritto in caratteri matematici”

**Newton, *Principia Mathematica*:** “un tempo assoluto, vero e matematico, che per sua natura scorre uniformemente senza relazione con alcunché di esterno”

Insieme alle coordinate cartesiane che descrivono lo spazio, il tempo assoluto di Newton è la premessa per descrivere matematicamente il movimento.

Le equazioni del moto di Newton abbracciano un'immensa varietà di fenomeni, dal moto dei corpi celesti alla caduta di una mela

In un universo atomistico descrivono in linea di principio il moto degli atomi e quindi la totalità dei fenomeni.





Le equazioni di Newton sono **deterministiche** e **reversibili**.

**Pierre Simon de Laplace:** “Se immaginiamo un demone dotato di un potere di osservazione tanto acuto da poter conoscere la posizione e la velocità attuali di tutte le particelle che compongono l’universo, quel demone sarebbe in grado di *prevedere esattamente l’intero futuro dell’universo.*”

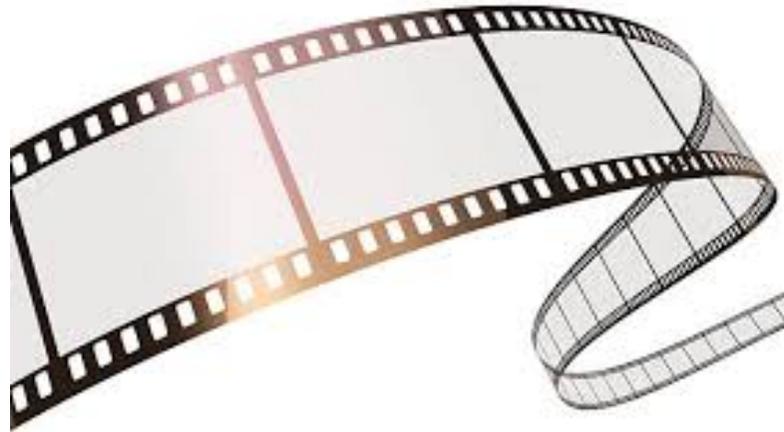
*(e l’intero passato...)*

Il “film” della realtà” è **interamente determinato** dato un qualsiasi suo fotogramma

In esso coesistono passato presente e futuro

Può **scorrere indifferentemente in avanti o all’indietro**

Entrambe le possibilità sono legittime soluzioni delle equazioni del moto



Il tempo non è in senso ultimo reale, **nulla di nuovo accade mai**  
A partire da Newton **la fisica opta per la filosofia dell’essere**, non  
per quella del divenire

La prossima rivoluzione nella concezione del tempo: **Einstein**  
Il tempo **perde il carattere assoluto**  
Ma si rafforza ulteriormente la filosofia dell'essere

ALBERT EINSTEIN  
Ulm, Germany,  
March 14, 1879—  
Princeton, New Jersey,  
April 18, 1955



Library of E. T. Hochschule, Zürich



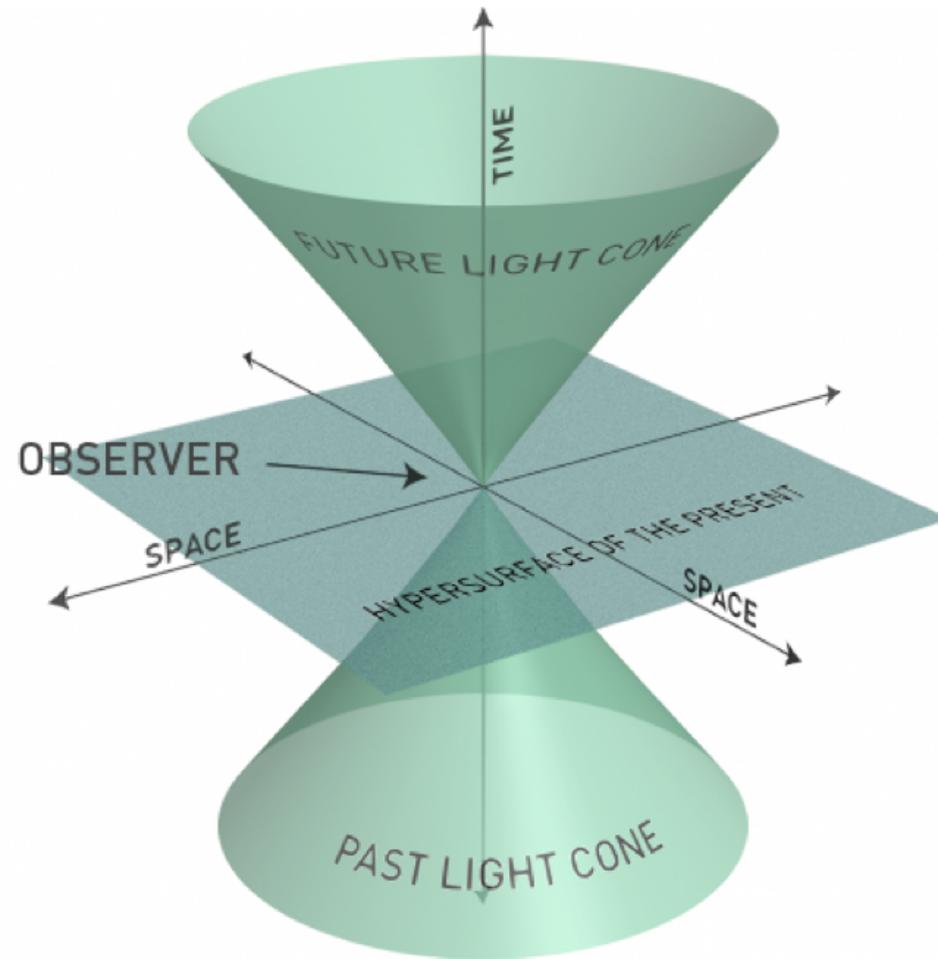
Académie des Sciences, Paris



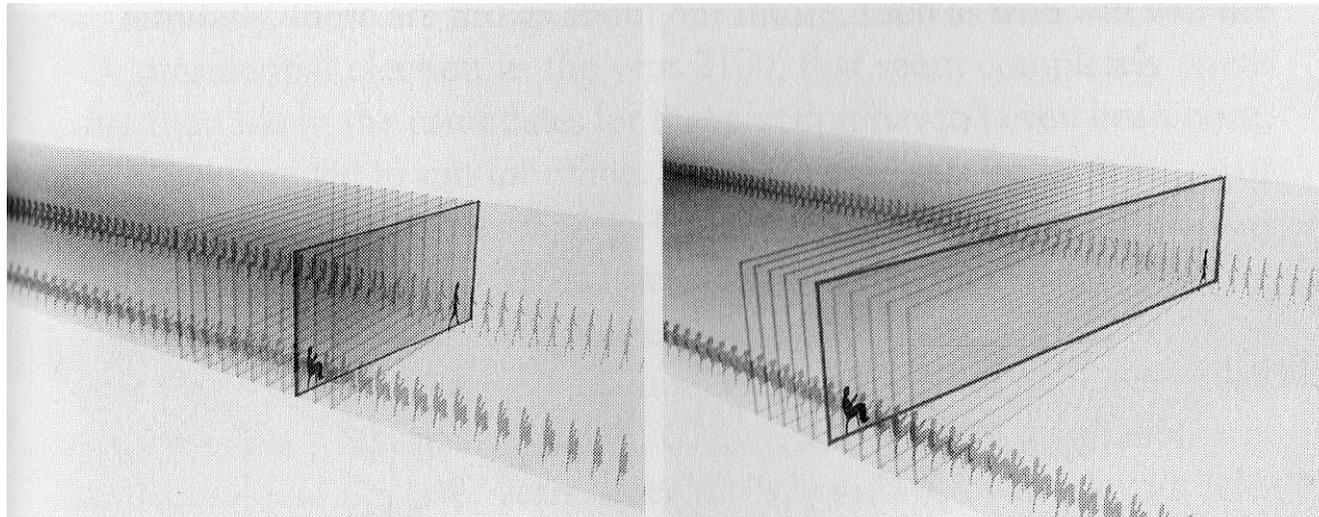
Archives of California Institute of Technology

SEAL: Courtesy of the Lewis and Rosa Strauss Foundation and Princeton University Press

Il tempo è una quarta dimensione dello spazio, o più precisamente dello spaziotempo. Come vediamo lo spazio sotto diverse prospettive a seconda di come ci orientiamo nello spazio, così percepiamo diversamente il tempo a seconda di come ci orientiamo nello spaziotempo. L'orientamento nello spaziotempo corrisponde al movimento.



## Relativity of 'now' 1

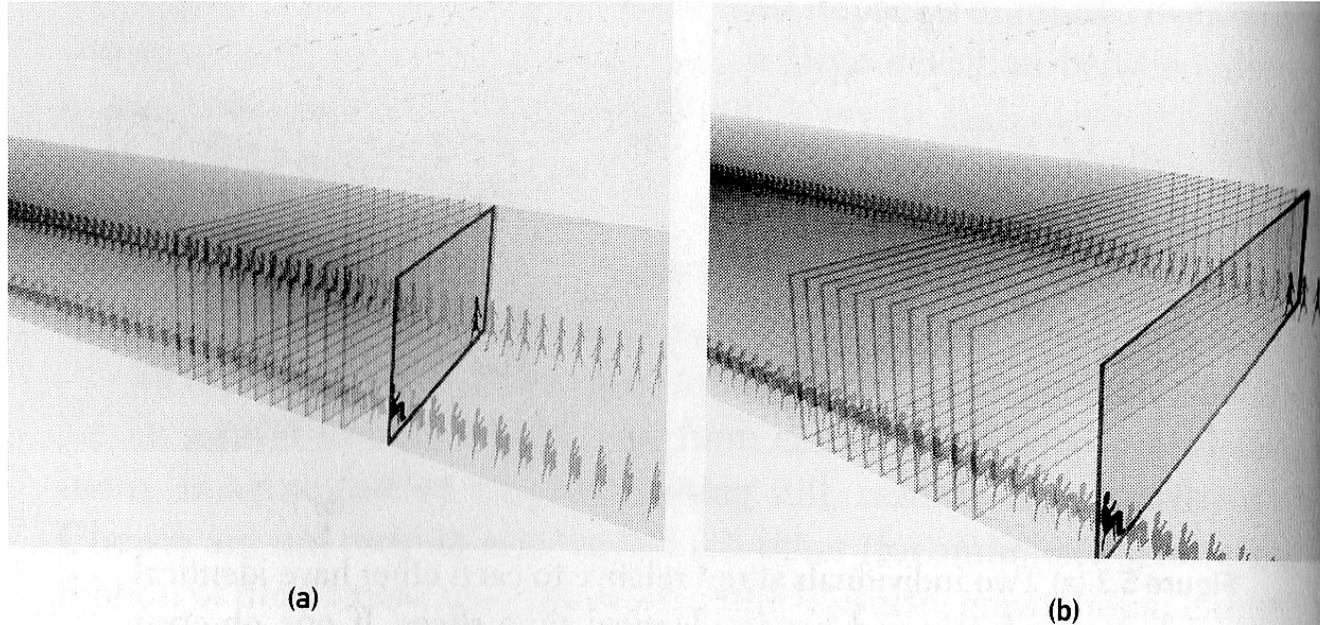


(a)

(b)

**Figure 5.3** (a) Two individuals at rest relative to each other have identical conceptions of *now* and hence identical time slices. If one observer moves away from the other their time slices—what each observer considers *now*—rotate relative to each other; as illustrated, the darkened *now* slice for the moving observer rotates into the past of the stationary observer. (b) A greater separation between the observers yields a greater deviation between slices—a greater deviation in their conception of *now*.

## Relativity of 'now' 2



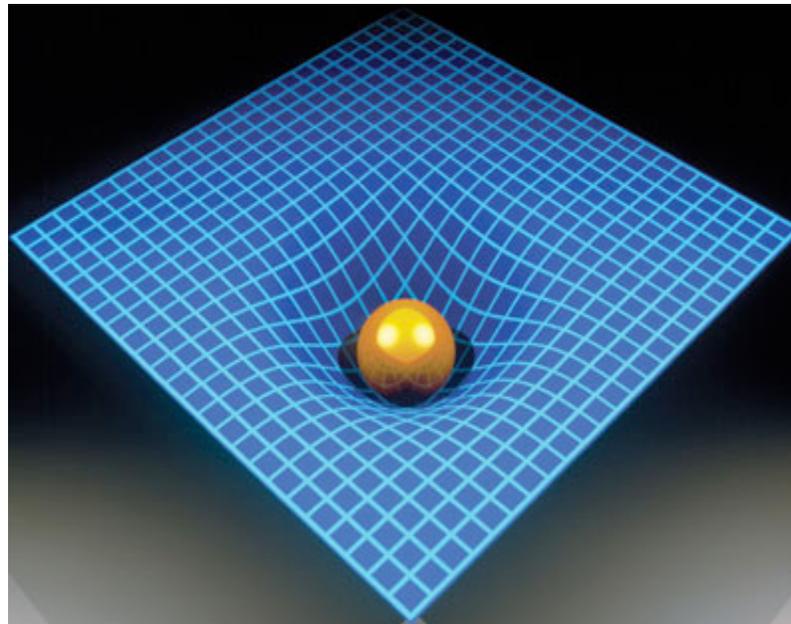
**Figure 5.4** (a) Same as figure 5.3a, except when one observer moves toward the other, her *now* slice rotates into the future, not the past, of the other observer. (b) Same as 5.3b—a greater separation yields a greater deviation in conceptions of *now*, for the same relative velocity—with the rotation being toward the future instead of the past.

**La relatività generale di Einstein:  
gravità = geometria dello spaziotempo**

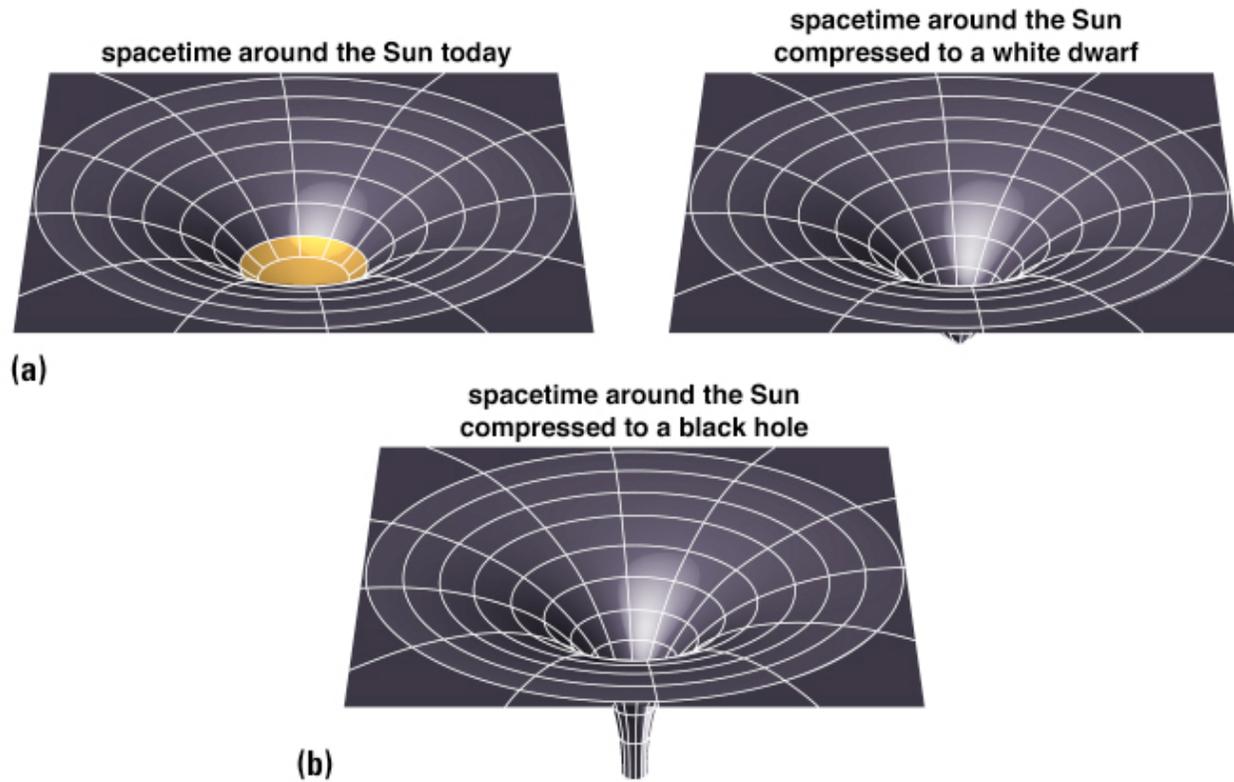
La presenza di una concentrazione di massa/energia deforma lo spaziotempo e quindi altera la traiettoria dei corpi

In prossimità di una concentrazione di massa/energia il tempo scorre più lentamente

“Noi che abbiamo l’ufficio al sesto piano dell’istituto di fisica...” (Jim Hartle)



## Stelle, nane bianche e buchi neri



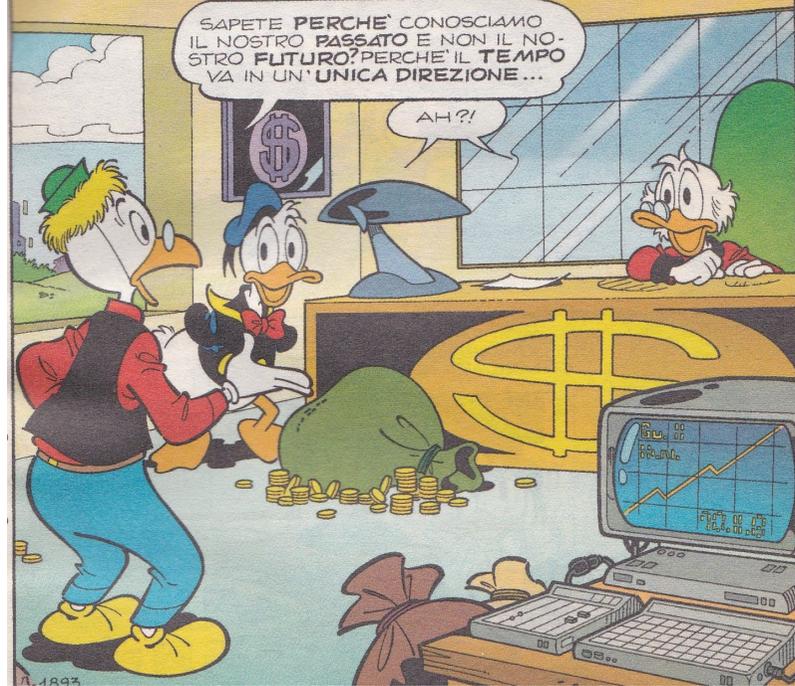
# ARCHIMEDE E L'INVERSIONE DEL TEMPO

WALT  
DISNEY



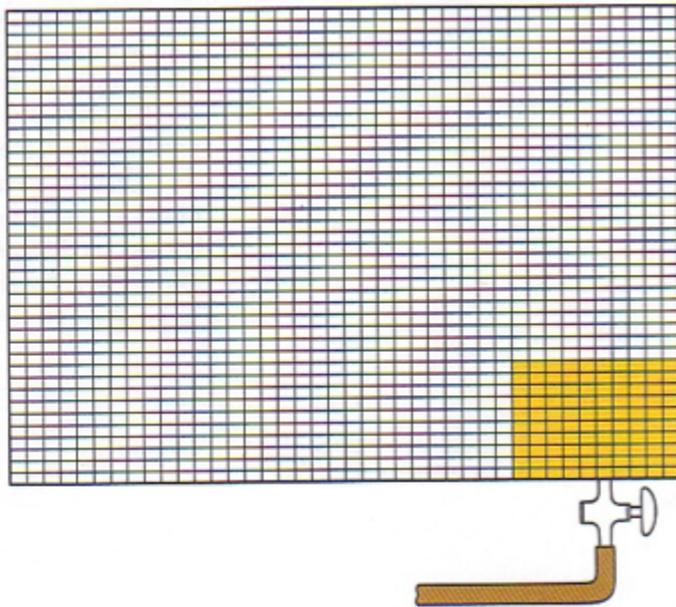
SAPETE PERCHE' CONOSCIAMO  
IL NOSTRO PASSATO E NON IL NO-  
STRO FUTURO? PERCHE' IL TEMPO  
VA IN UN'UNICA DIREZIONE ...

AH?!





Perché una tazza di tè si raffredda?



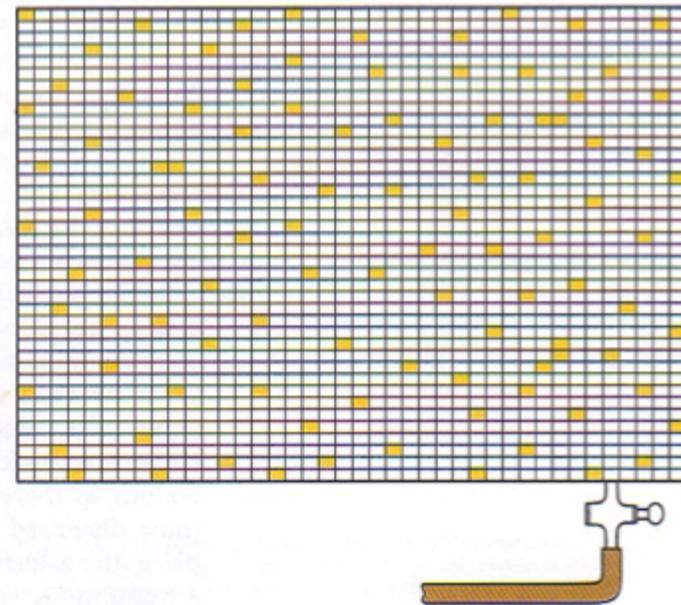
**La prima legge della termodinamica:** l'energia totale di un sistema isolato si conserva

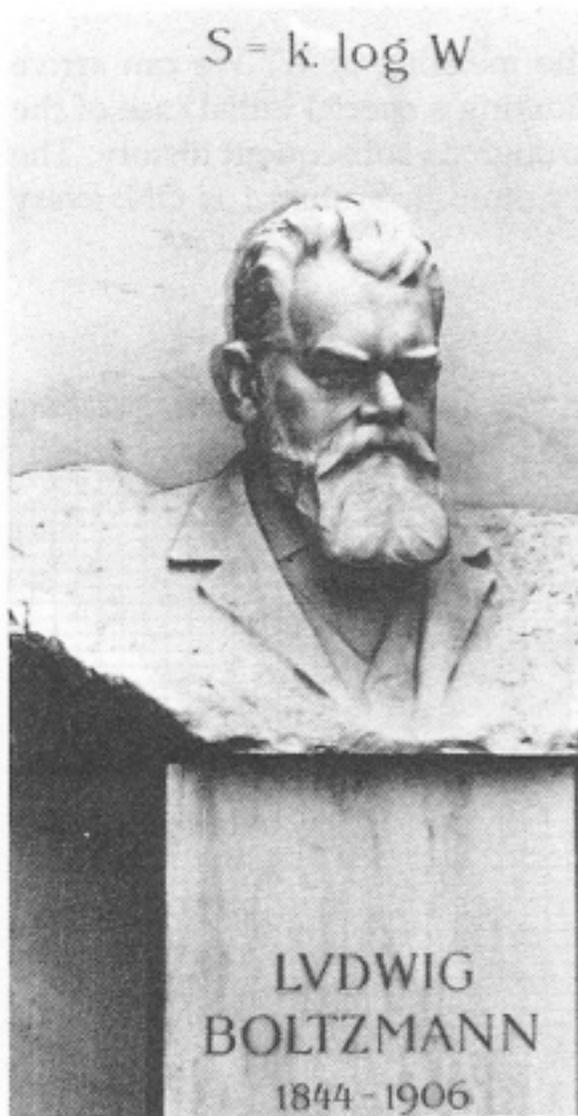
**La seconda legge della termodinamica:** l'energia totale si conserva, ma la 'qualità' dell'energia si degrada (in calore, cioè in moto disordinato delle particelle che compongono il sistema)

**Cioè le cose tendono a disperdersi, a disordinarsi**

Esempi:

- un gas riempie il recipiente in cui è contenuto
- una tazza di tè si raffredda
- i rimbalzi di una palla si smorzano





S, **entropia** = misura del disordine

La **seconda legge** in termini di entropia:

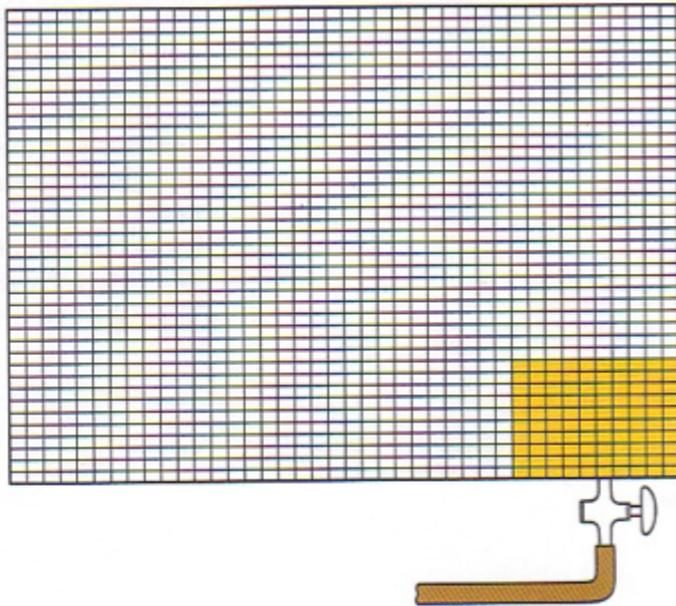
*in ogni processo spontaneo l'entropia cresce.*

k, costante di Boltzmann

log = logaritmo

**W, numero di stati microscopici che corrispondono a un determinato stato macroscopico**

I processi spontanei tendono a evolvere da stati macroscopici che possono essere realizzati microscopicamente in pochi modi verso stati macroscopici che possono essere realizzati microscopicamente in molti modi



## Sorpresa!

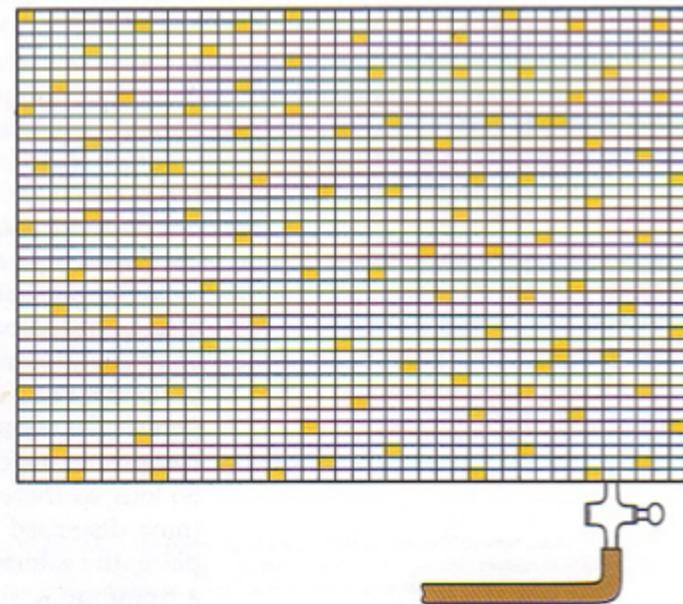
Non è una legge assoluta che un gas debba riempire il recipiente, che una tazza di tè si raffreddi o che i rimbalzi di una palla si smorzino...

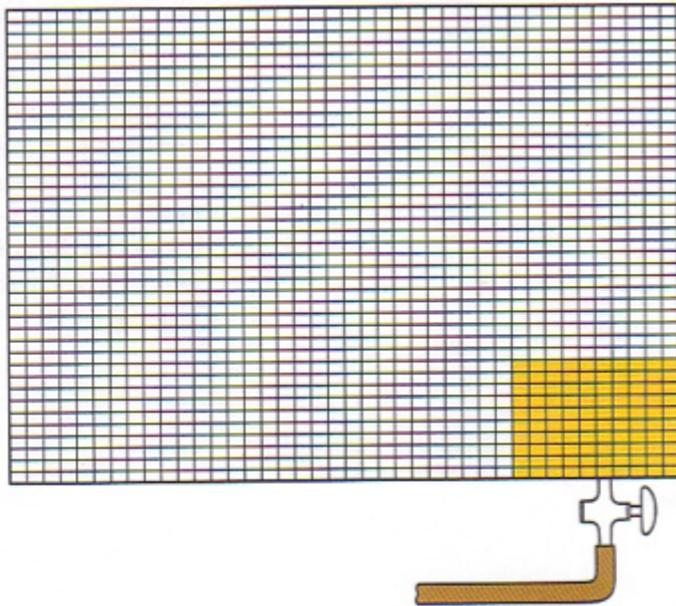
È solo più probabile!

Quanto più probabile?  
Enormemente!

$$N = 6 \cdot 10^{23}$$

Quanto grande è  $10^N$ ?

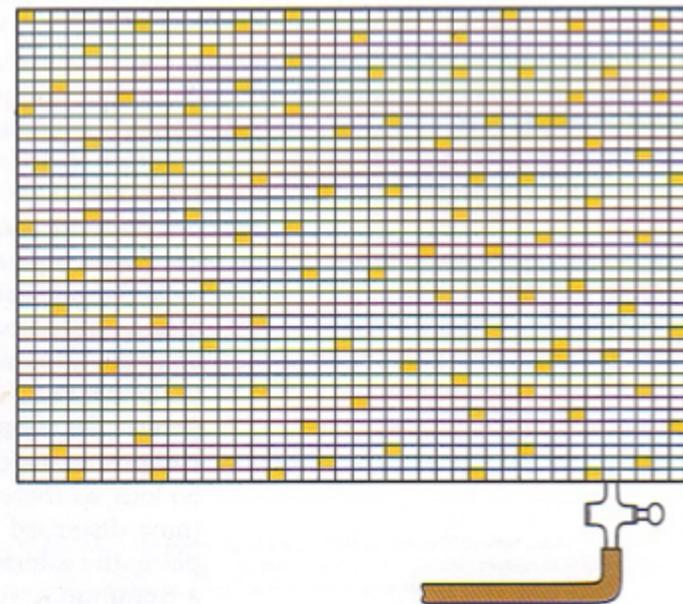




Ci sono molti più stati microscopici che corrispondono al gas diffuso in tutto il recipiente rispetto a quelli che corrispondono al gas tutto concentrato in un angolo.

P.e. se il volume del gas concentrato in un angolo è un decimo del recipiente, per ogni molecola che lasciamo libera di vagare il numero degli stati microscopici possibili aumenta di dieci volte.

Se immaginiamo che lo stato del gas passi casualmente attraverso tutti gli stati microscopici possibili, verrà a trovarsi con maggior frequenza nello stato diffuso in tutto il recipiente che nello stato tutto concentrato in un angolo.



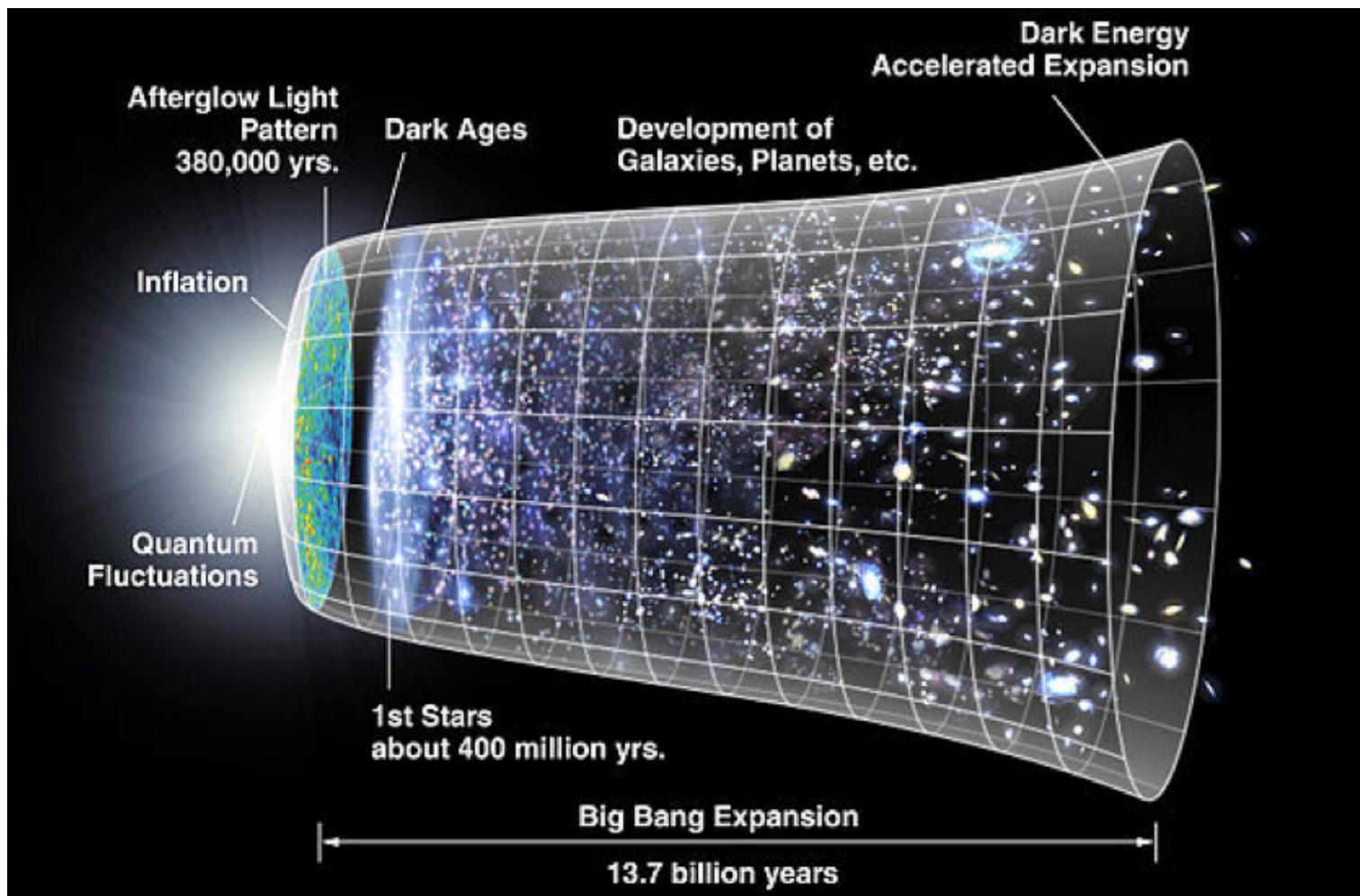
È questa l'**origine della freccia del tempo**? Non proprio!

Perché se capovolgiamo l'argomentazione verso il passato...

Da dove è venuta la tazza di tè caldo?

**Dal Big Bang!**





## Evoluzione dell'universo

Il **'matrimonio infuocato'**  
fra fisica quantistica e relatività generale

**Wheeler-DeWitt equation**

$$\left[ -G_{ijkl} \frac{\delta^2}{\delta\gamma_{ij}\delta\gamma_{kl}} - {}^3R(\gamma)\gamma^{1/2} + 2\Lambda\gamma^{1/2} \right] \Psi[\gamma_{ij}] = 0$$

$$G_{ijkl} = \frac{1}{2}\gamma^{-1/2} (\gamma_{ik}\gamma_{jl} + \gamma_{il}\gamma_{jk} - \gamma_{ij}\gamma_{kl})$$

**Sorpresa! Il tempo scompare!**

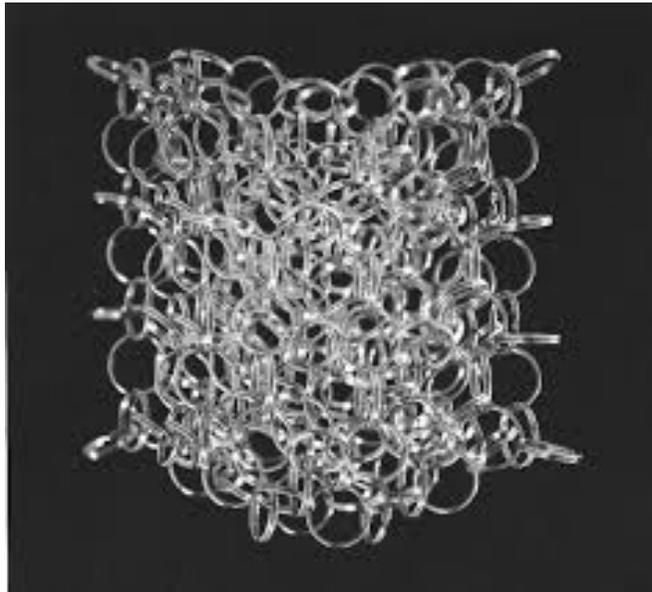
Fondamentalmente le equazioni della fisica  
descrivono relazioni fra i fenomeni, non l'evoluzione  
nel tempo di cose



Il polso e il candelabro:  $C(P)$  o  $P(C)$ , non  $C(t)$  o  $P(t)$

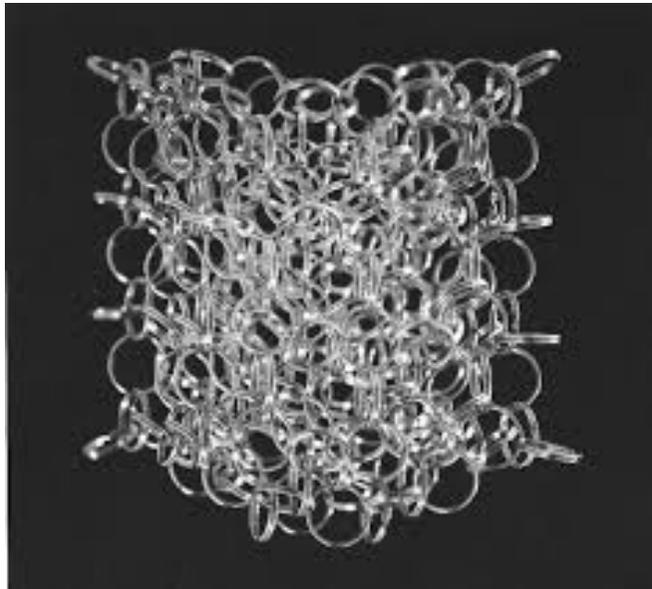
La realtà è un'effervescenza di processi elementari  
(campi interagenti) concatenati che non sono  
ordinabili in una sequenza temporale

Non c'è uno sfondo di spaziotempo: i processi stessi  
costituiscono lo spaziotempo



Il tempo emerge quando guardiamo questa effervescenza in maniera ‘sfocata’, selezionando certe osservabili macroscopiche

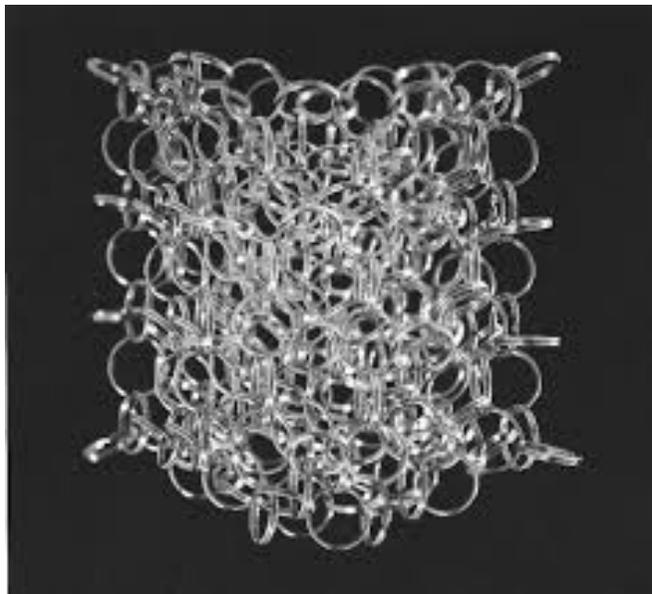
I diversi stati di un’osservabile macroscopica corrispondono a numeri di stati microscopici  $W$  molto diversi (a ‘territori’ di ‘estensioni’ molto diverse) di modo che l’osservabile ci appare evolversi verso gli stati con  $W$  più alto



Ciascuno di questi processi fluttua quantisticamente  
in maniera imprevedibile

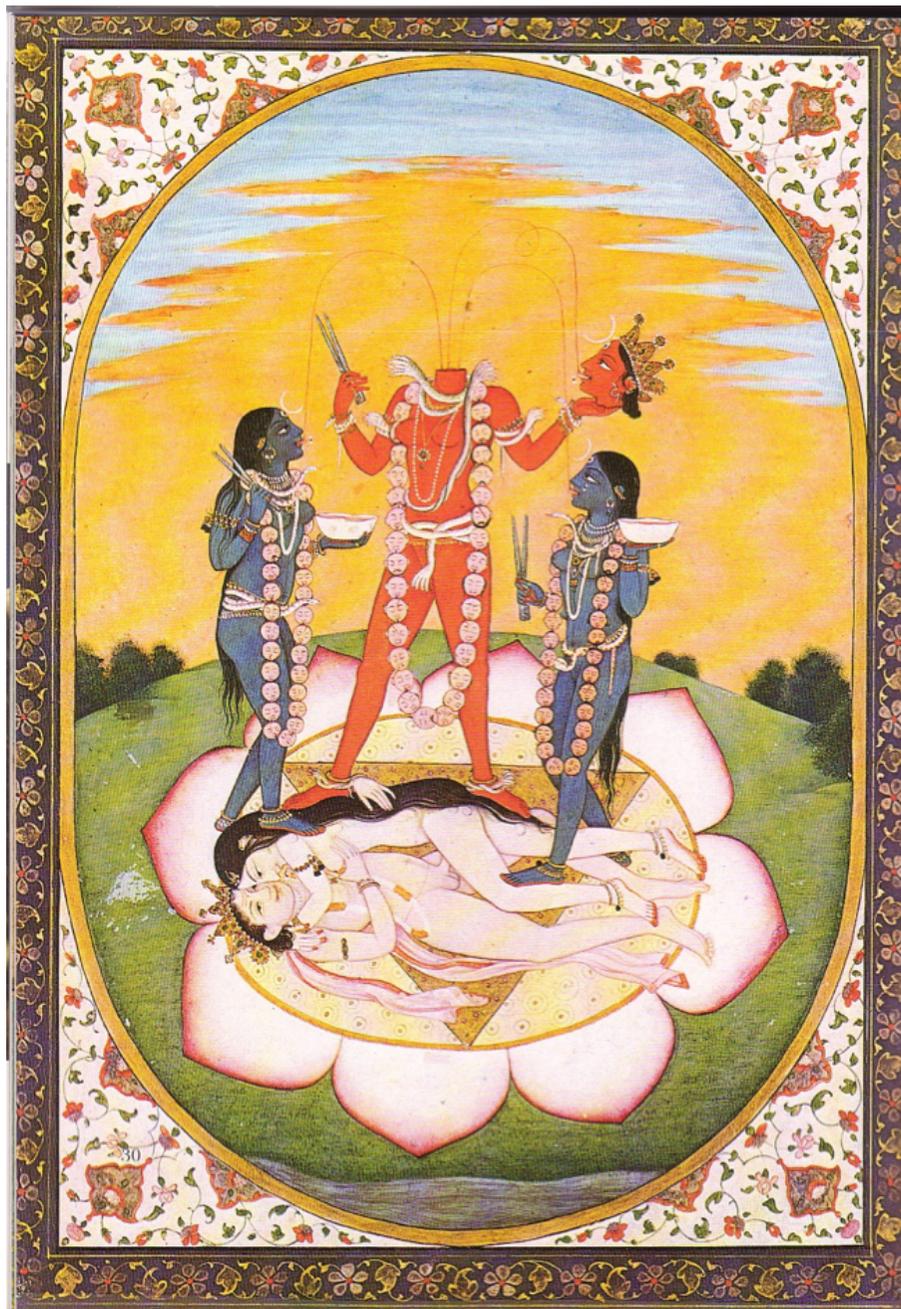
Queste fluttuazioni ‘casuali’ sono espressione della  
creatività dell’universo (il *clinamen* di Lucrezio)

**Un’ipotesi azzardata:  
indeterminazione  $\Leftrightarrow$  atomo di coscienza**





Kali standing on burning Shiva



Kali Chinnamasta