



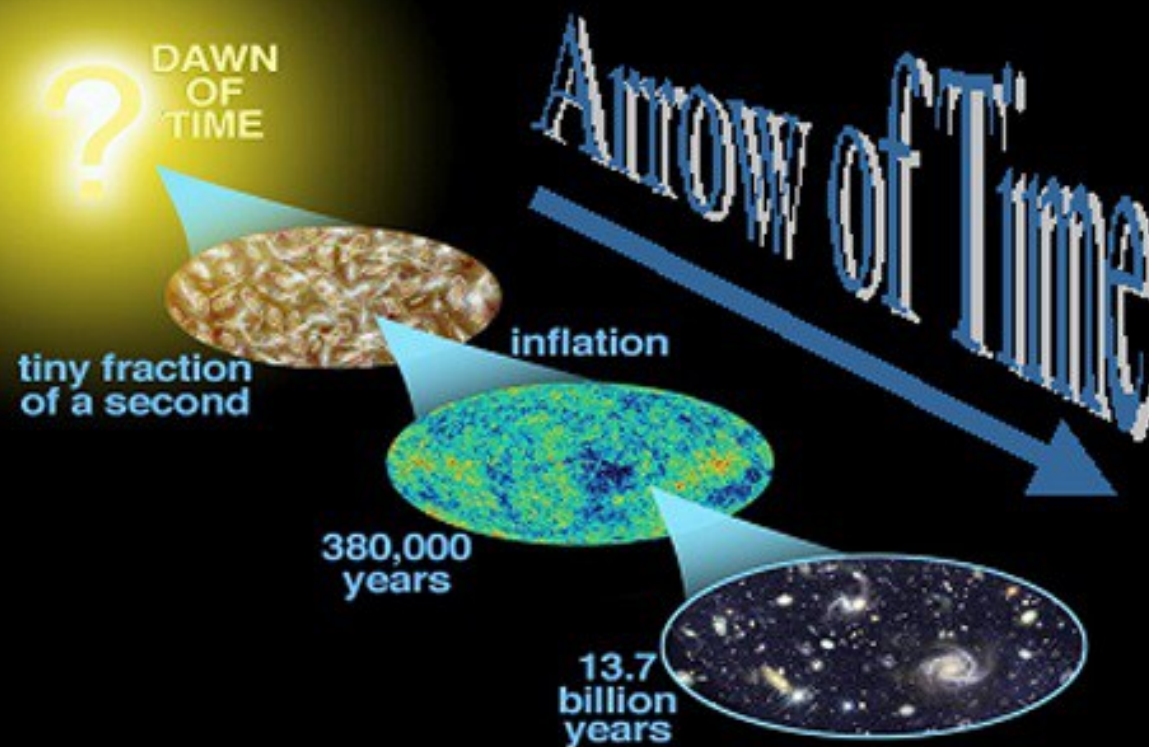
Istituto Nazionale di Astrofisica

Osservatorio astronomico di Brera



LA FRECCIA DEL TEMPO

Gabriele Ghisellini



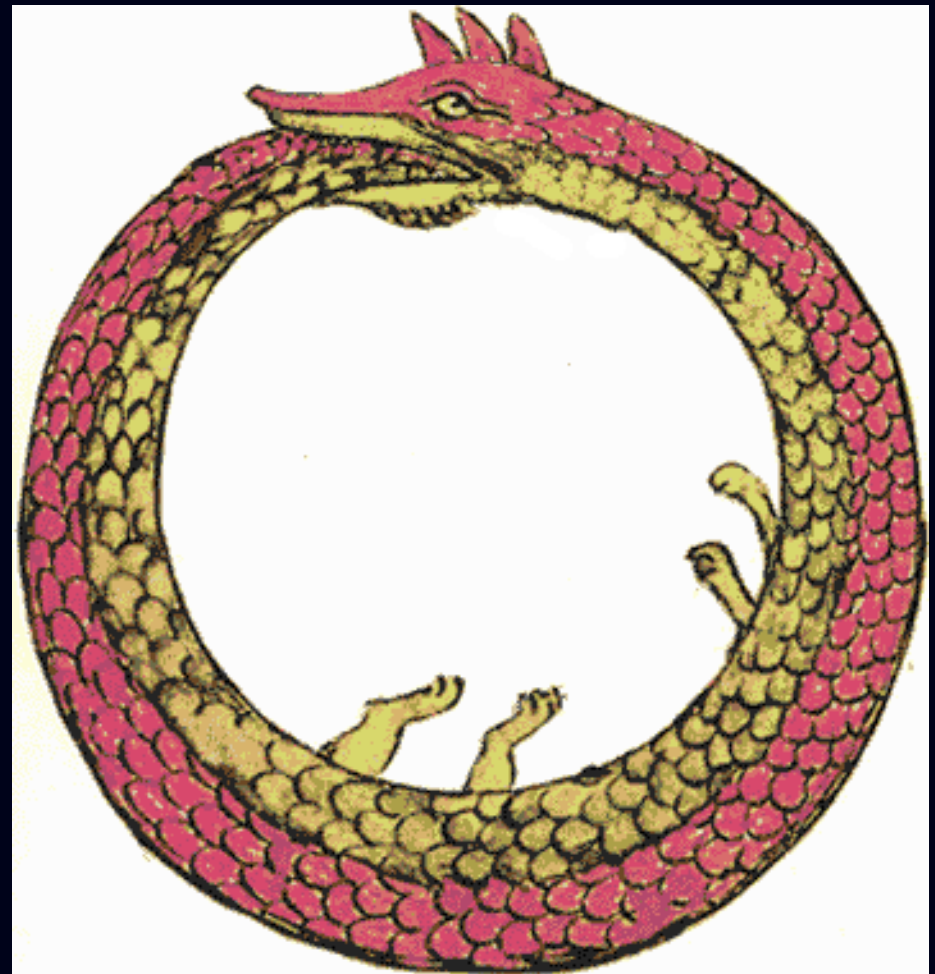
“Allora che cosa è il tempo? Se nessuno me lo domanda, lo so. Se voglio spiegarlo a chi me lo domanda, non lo so più”.

Confessioni, Sant'Agostino (354-430 d.C.)

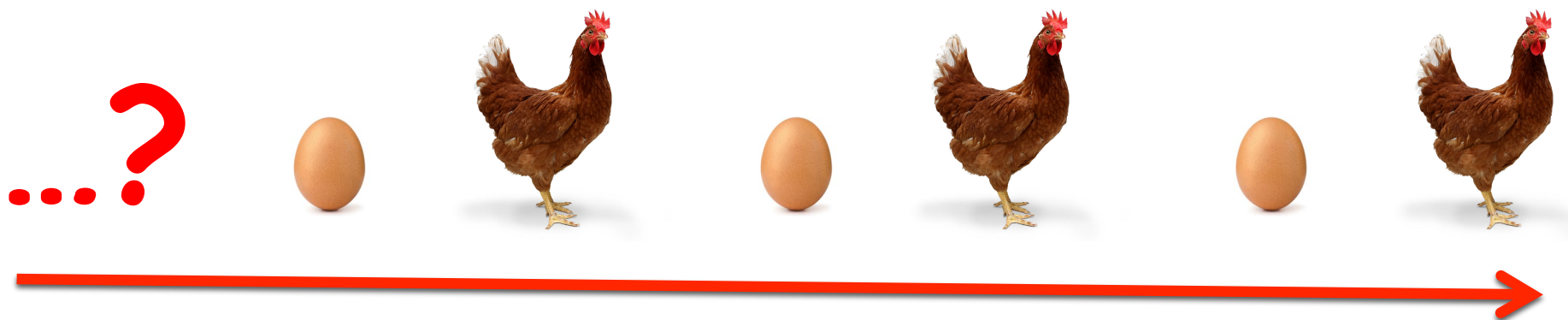
Il tempo e' il modo in cui Dio impedisce che le cose accadano tutte insieme.

Graffito anonimo texano

Tempo ciclico: Uroboro

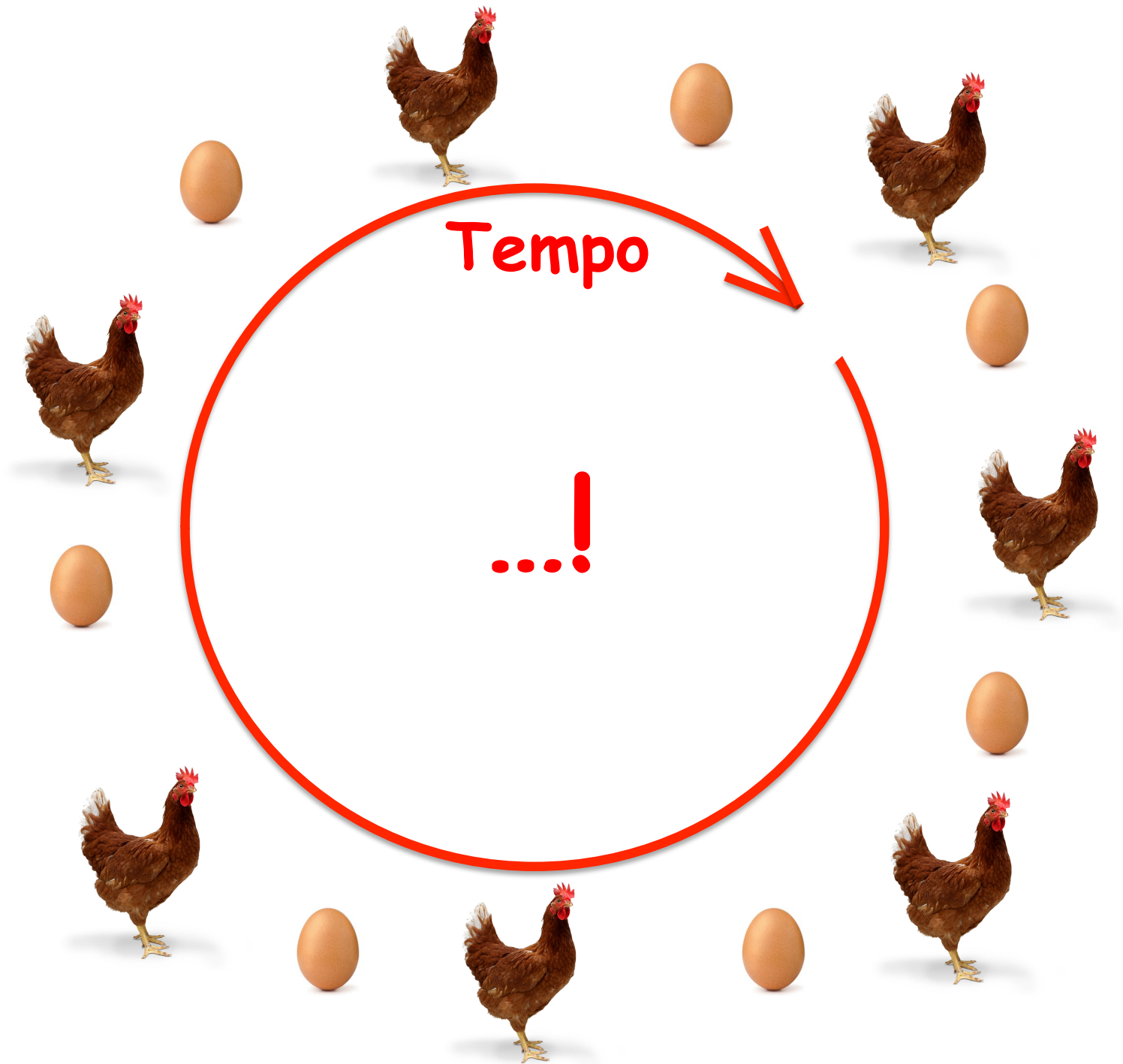


India - antico Egitto - antica Grecia - Maya - Atzechi

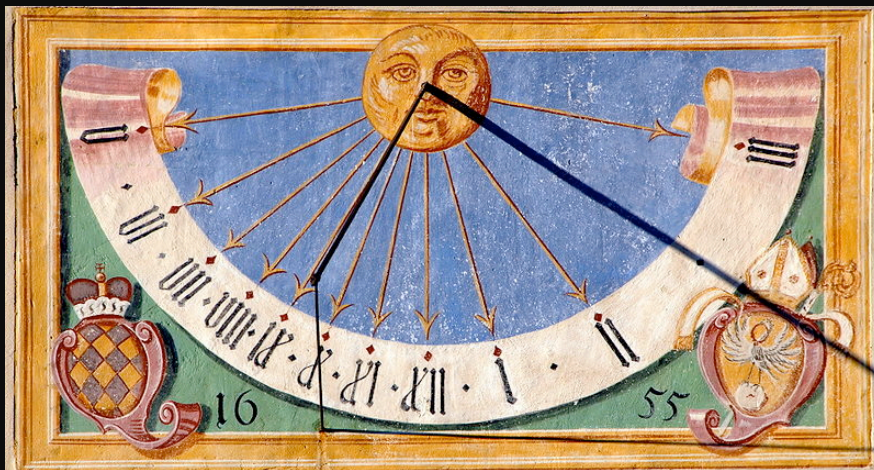


Tempo

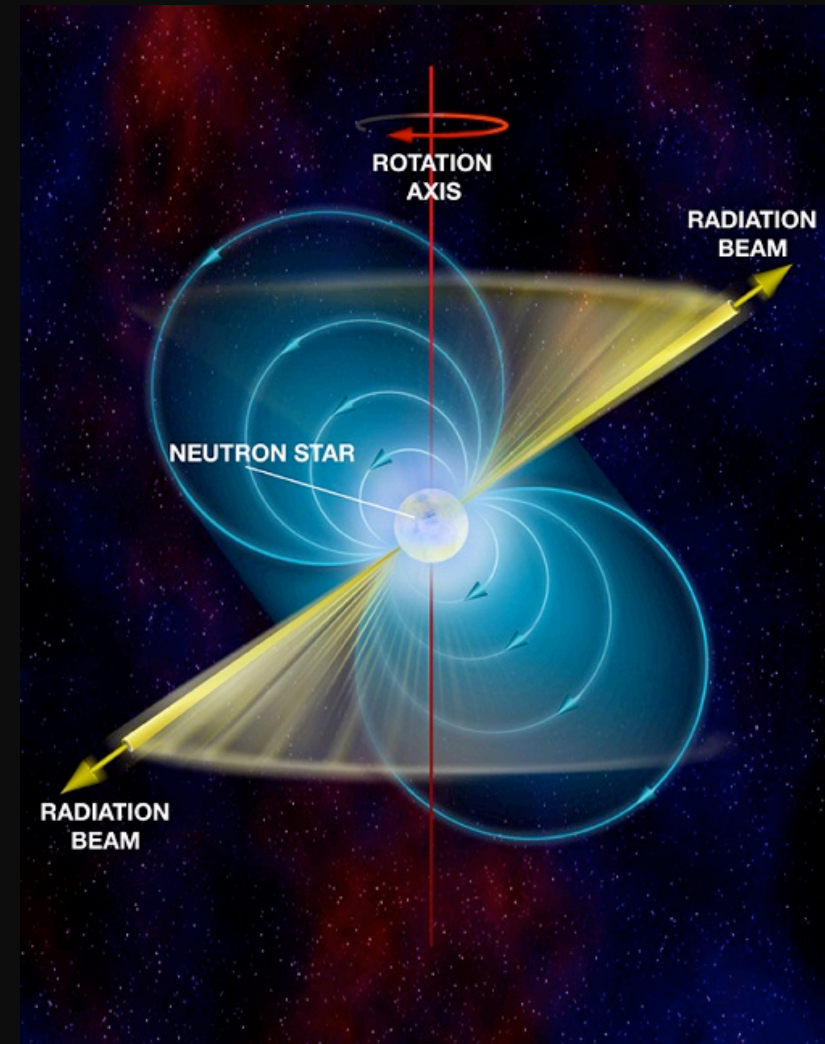
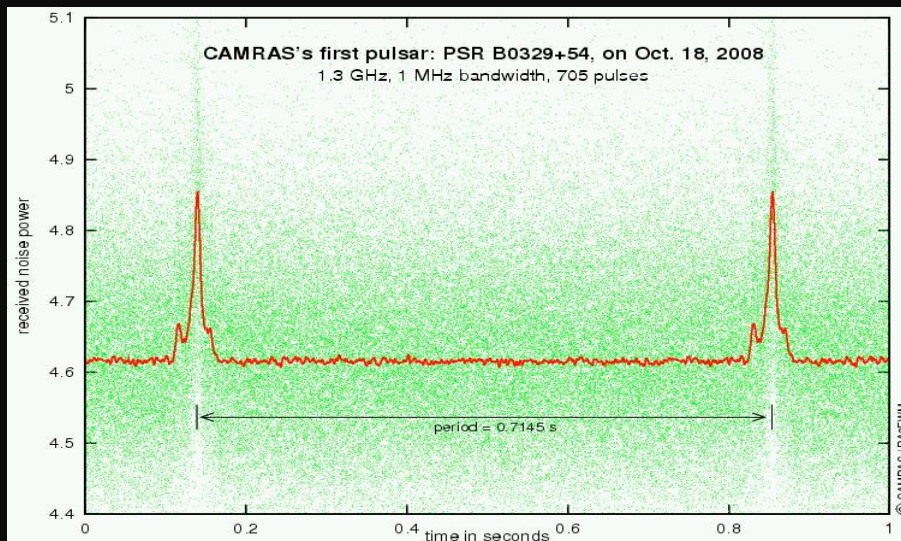
Religioni monoteiste → Creazione → inizio del tempo



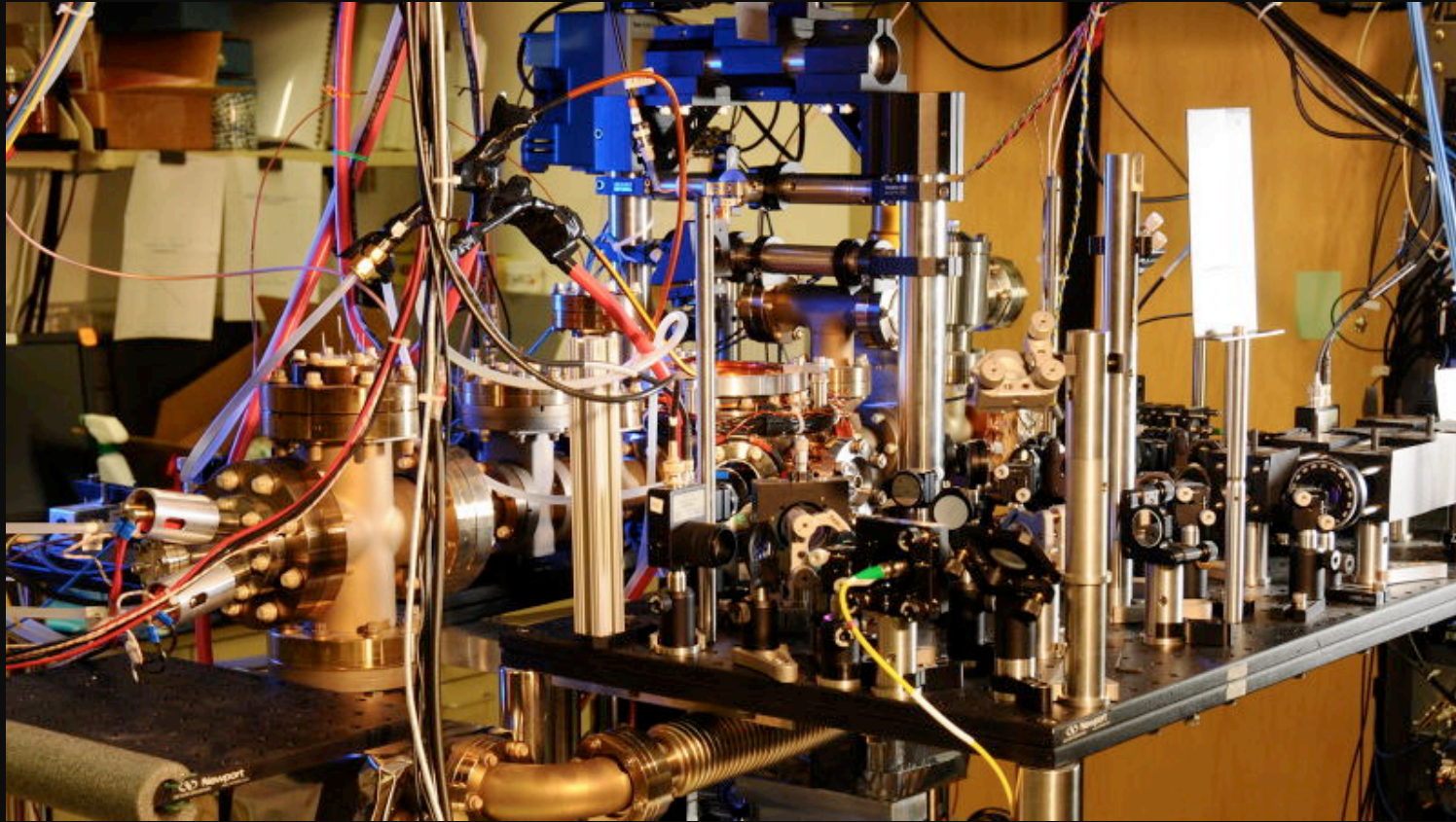
Misurare il tempo



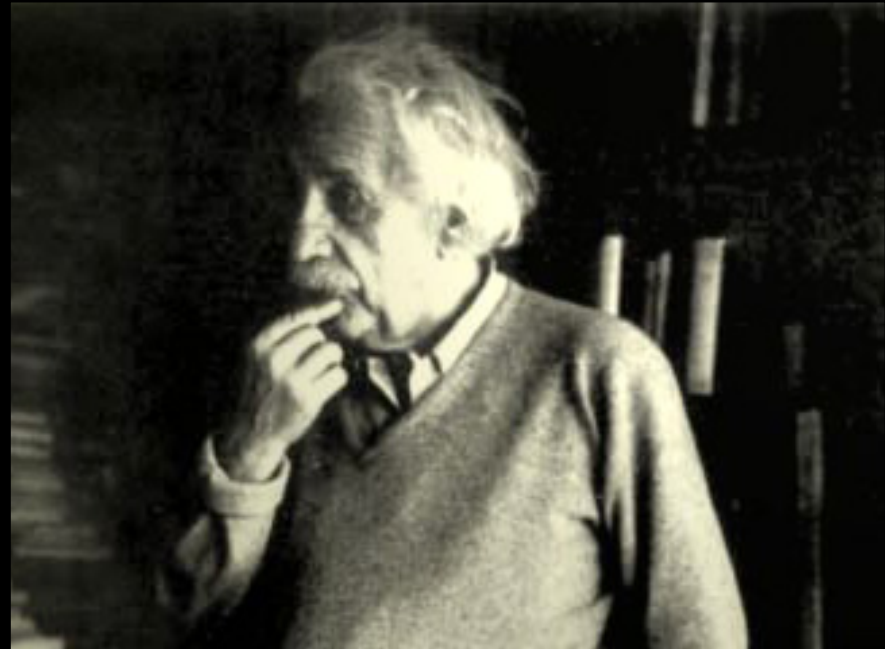
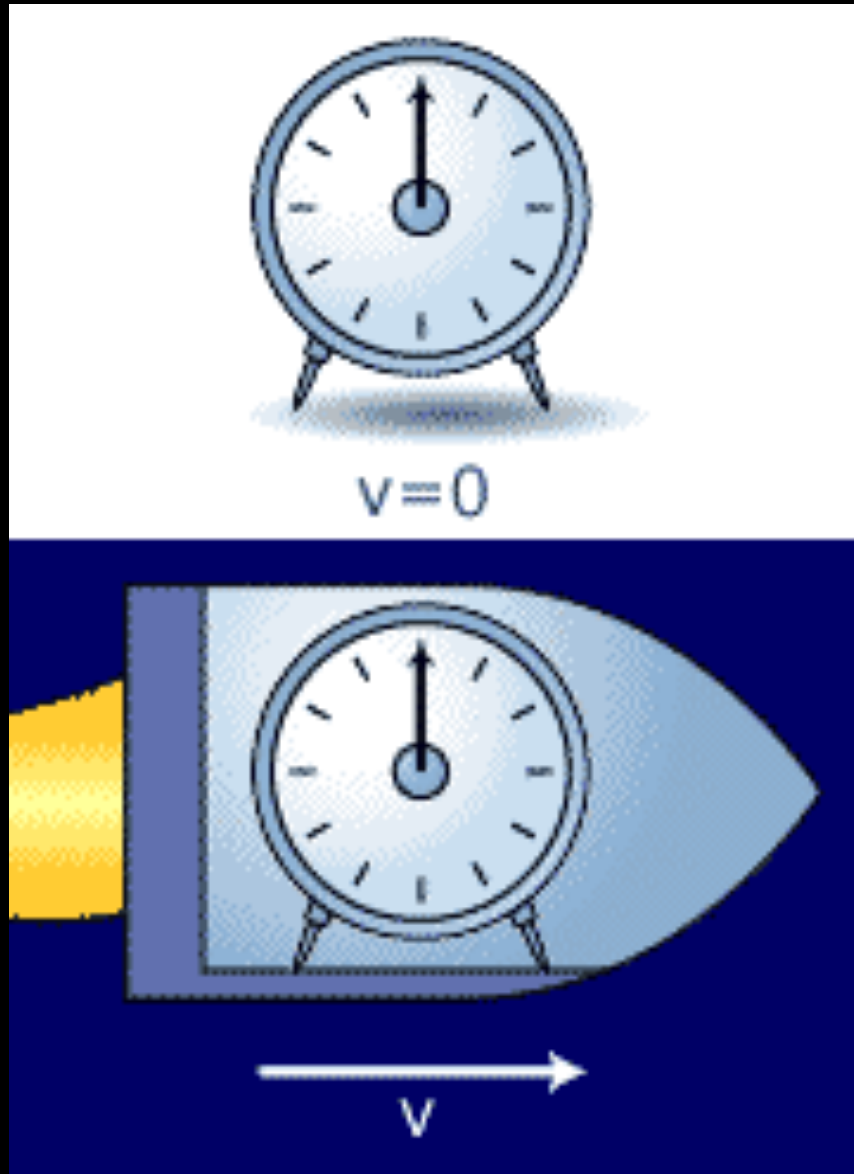
Stelle di neutroni: 1 secondo ogni 30 milioni di anni



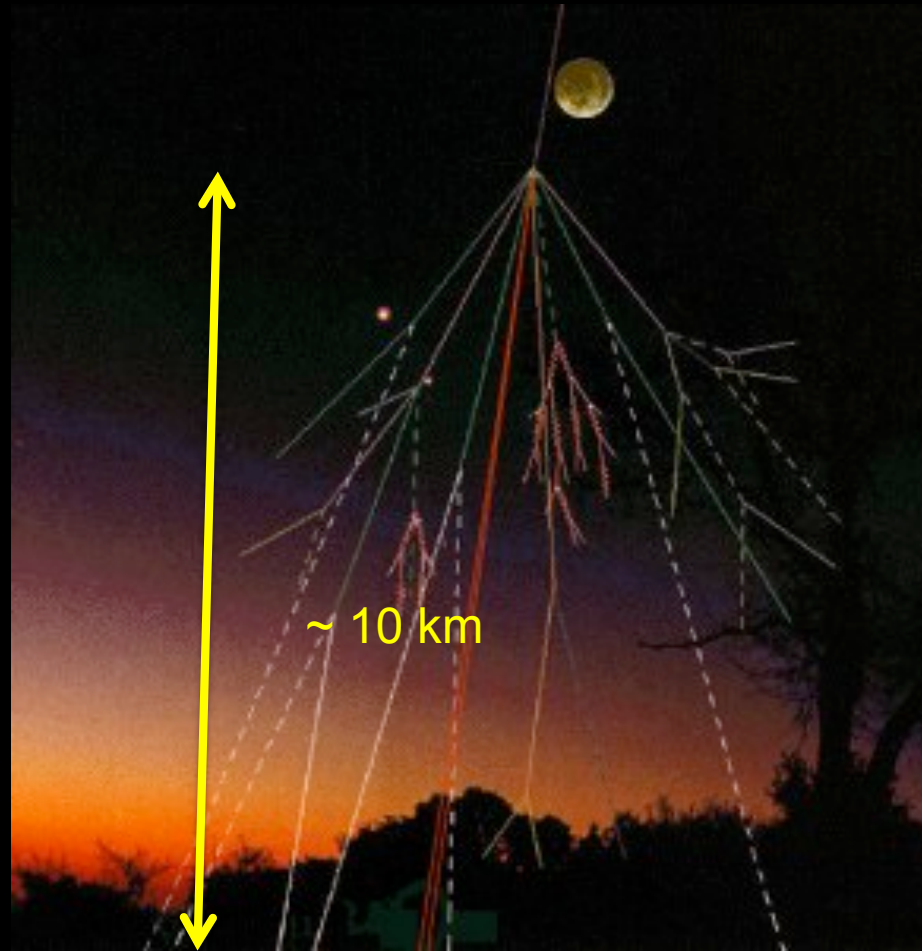
Orologi atomici: 1 secondo ogni 15 miliardi di anni



Einstein rivoluziona spazio e tempo



Mesoni longevi ...



Tempo di vita del muone:
2.2 microsecondi.

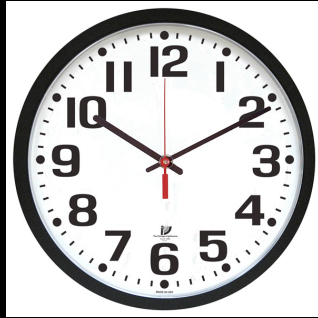
$$c \times 2.2 \text{ ms} = 660 \text{ metri}$$

Come fa a percorrere 10 km?

$$10 \text{ km} / 0.66 \text{ km} = 15$$

$$t_{\text{osservato}} > 15 t'_{\text{proprio}}$$

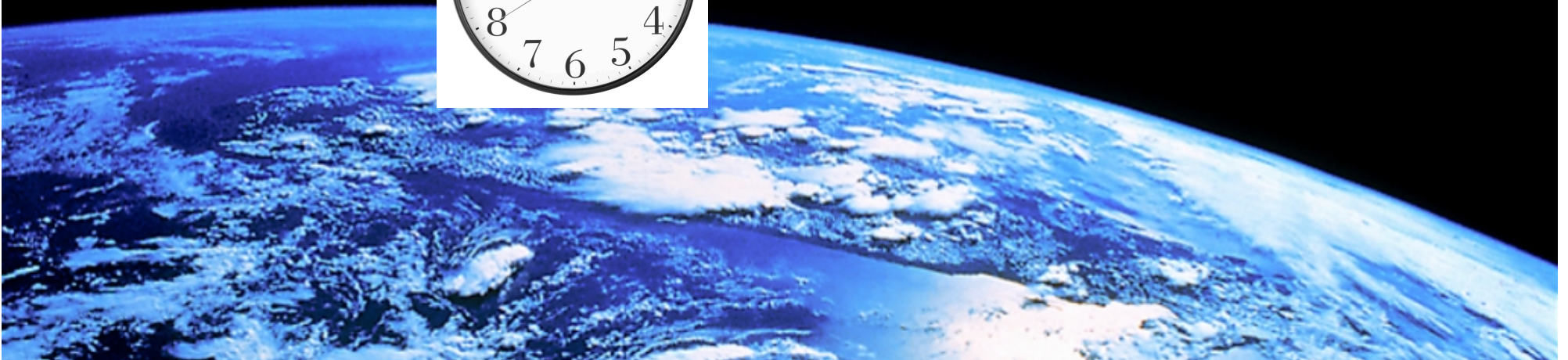
La gravita' rallenta il tempo....



Tempo scorre piu' velocemente



Tempo scorre piu' lentamente

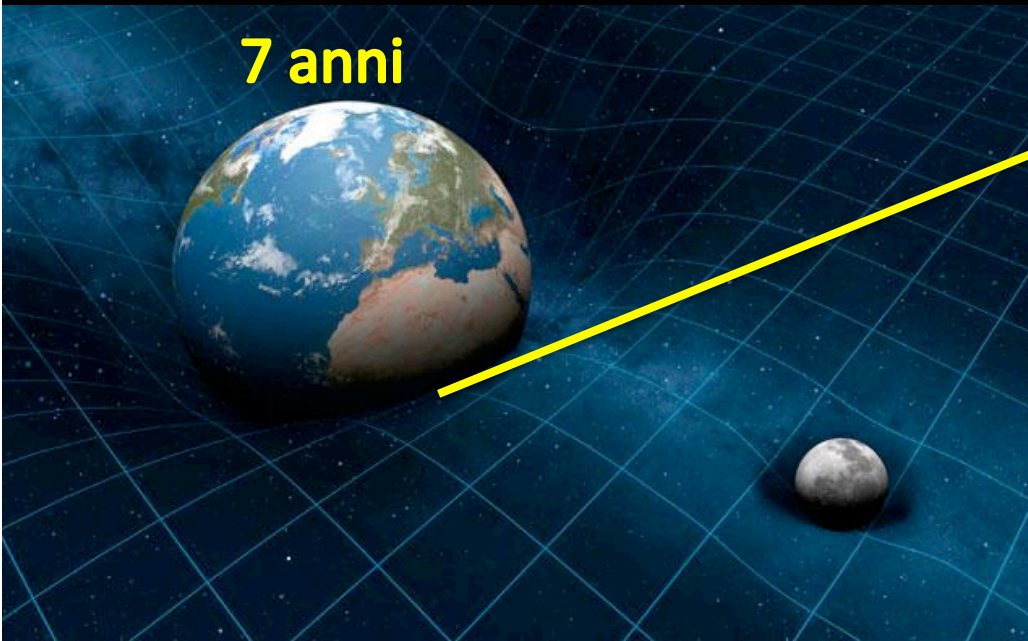


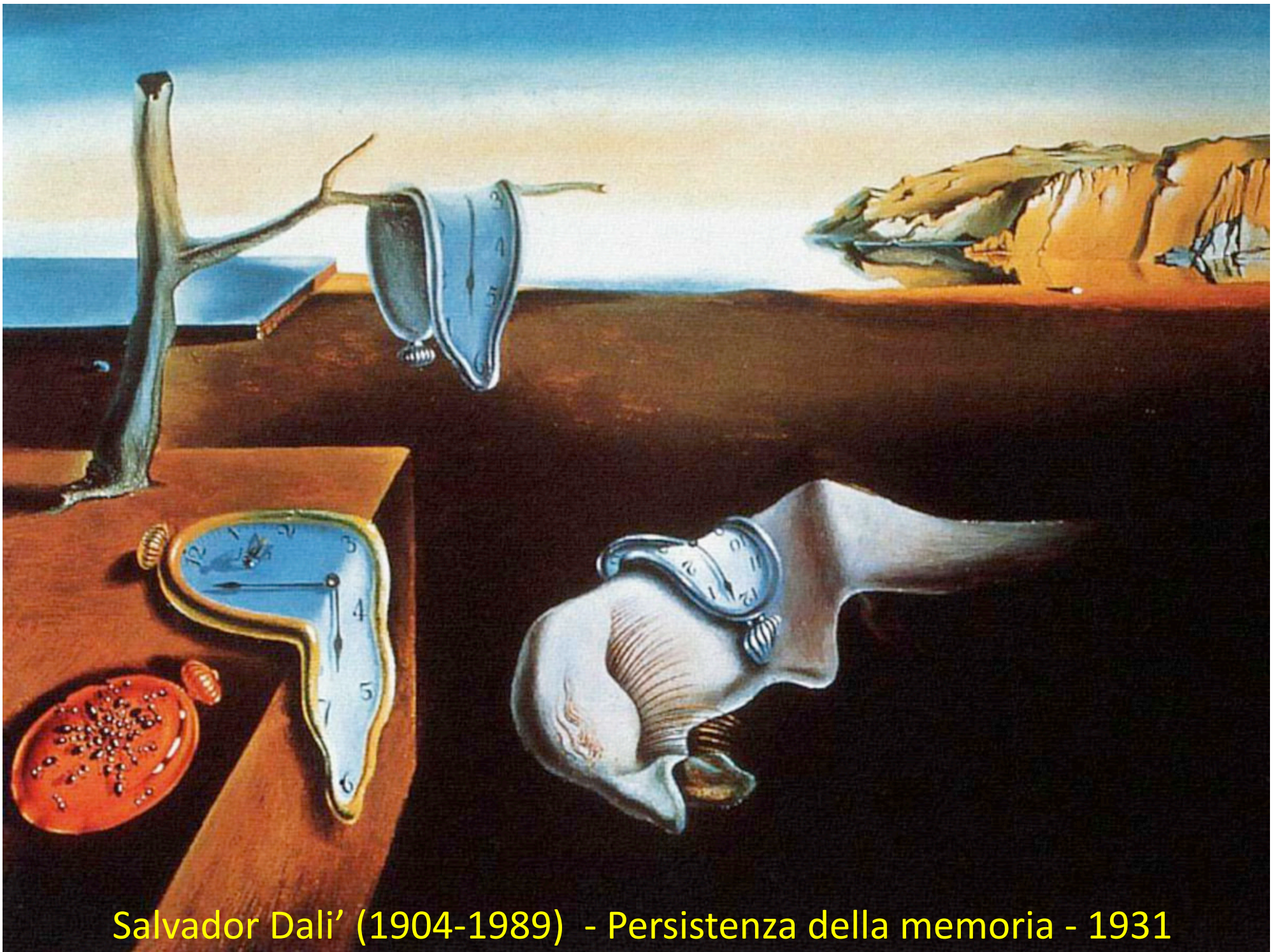
Interstellar...

Un'ora



7 anni





Salvador Dalí' (1904-1989) - Persistenza della memoria - 1931

Il tempo meccanico, misurabile con gli orologi, è messo in crisi dalla memoria umana, che del tempo ha una percezione ben diversa. L'opera sembra dunque richiamare una visione del mondo parallela a quella introdotta dalla teoria della relatività speciale di Einstein.

In risposta ad una lettera di Ilya Prigogine, Dalì spiegò che il concepimento della sua opera fosse in realtà legato ad una sua personale riflessione surrealista riguardo all' "ipermollezza" e allo scioglimento del formaggio al sole (probabilmente il celebre Camembert)

(*La Dimensione di Dalì: Decifrando la Mente di un Genio*).

Problema

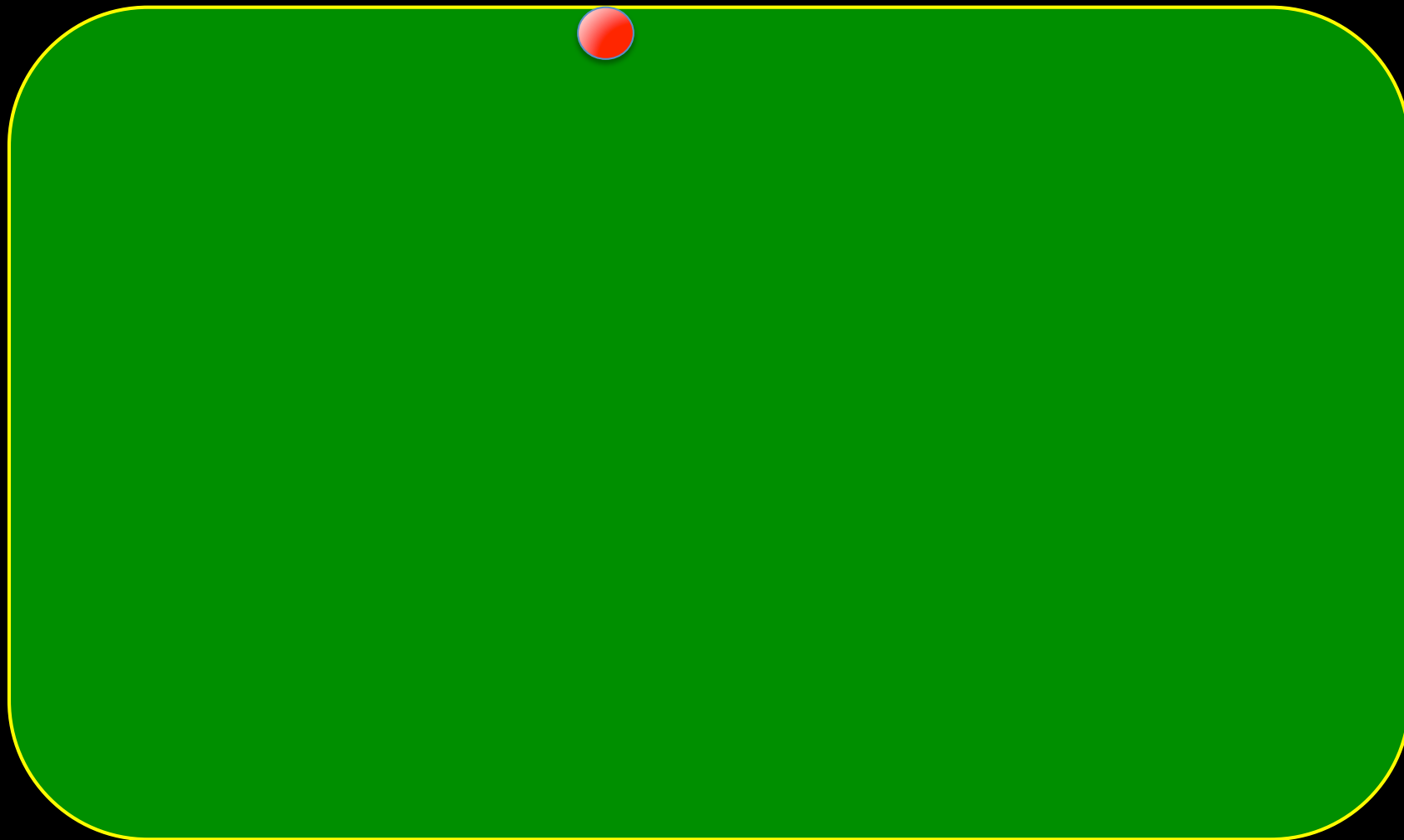
**Noi percepiamo chiaramente che il tempo
“va sempre in avanti” (purtroppo!!!)**

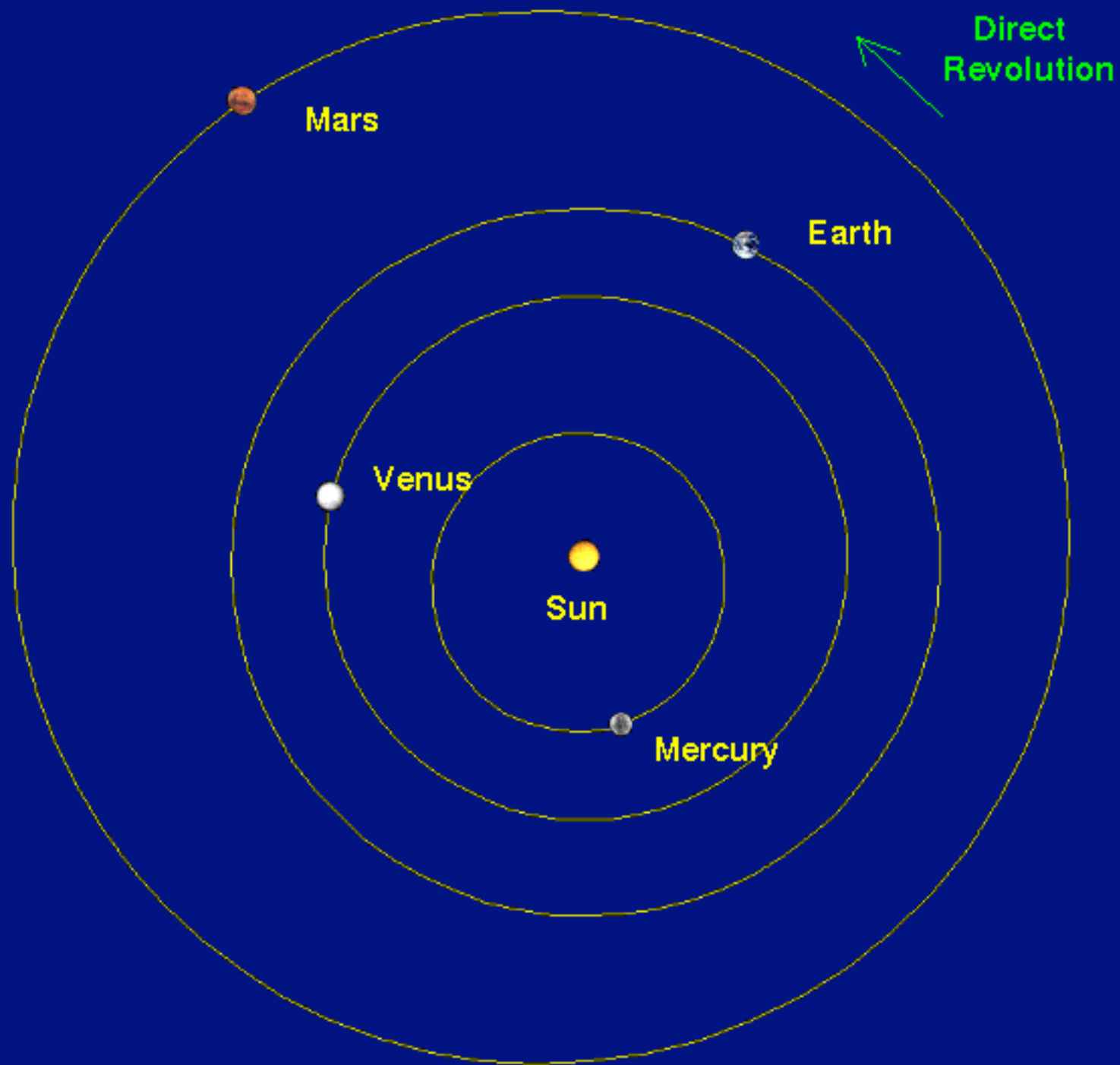
**Le leggi fisiche non distinguono lo scorrere
in avanti o indietro del tempo**

**Le leggi fisiche non distinguono lo scorrere
in avanti o indietro del tempo**



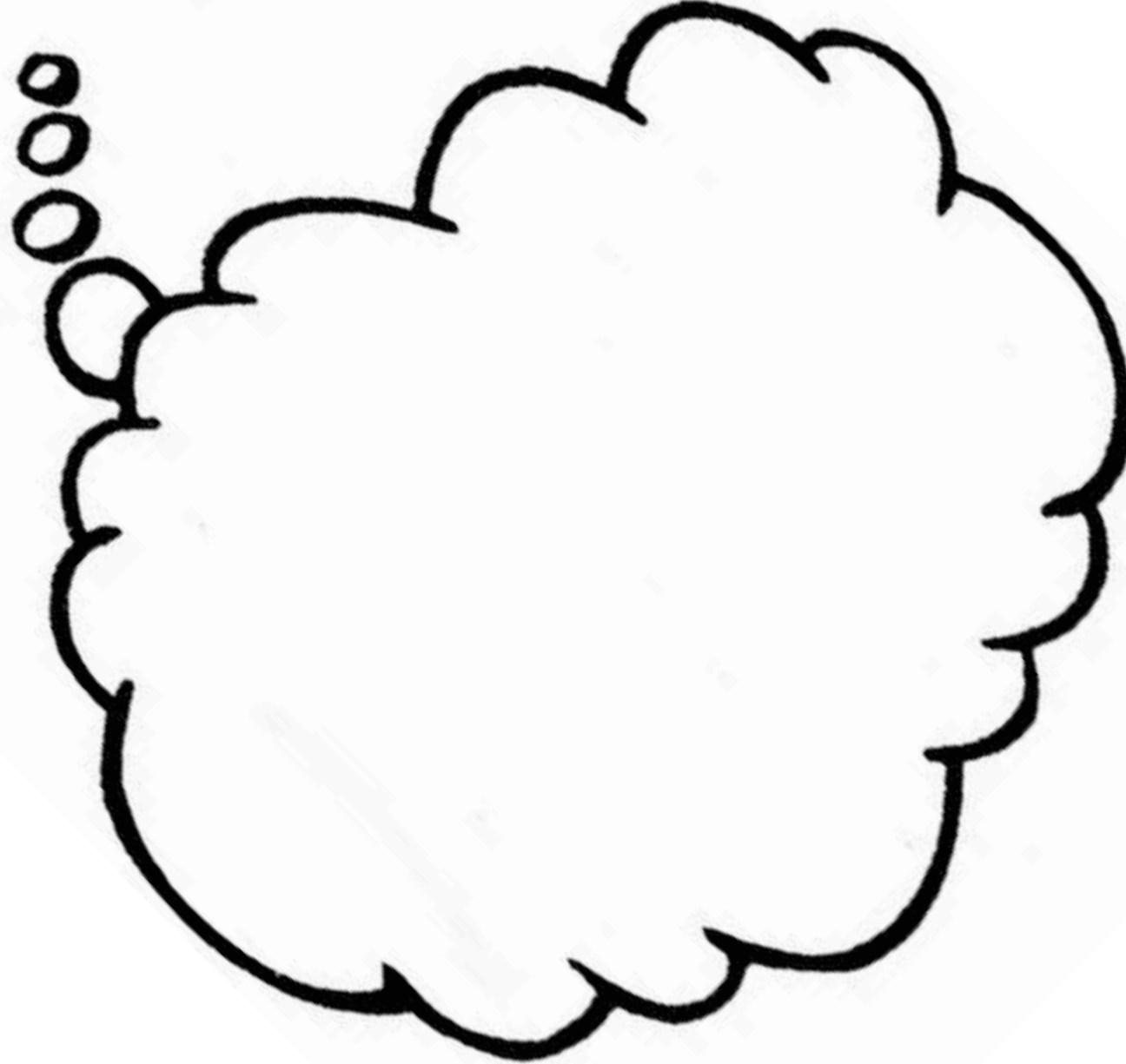
**Le leggi fisiche non distinguono lo scorrere
in avanti o indietro del tempo**











Secondo principio della termodinamica

Mattone caldo



Mattone freddo



Calore

$$S = k \cdot \log W$$

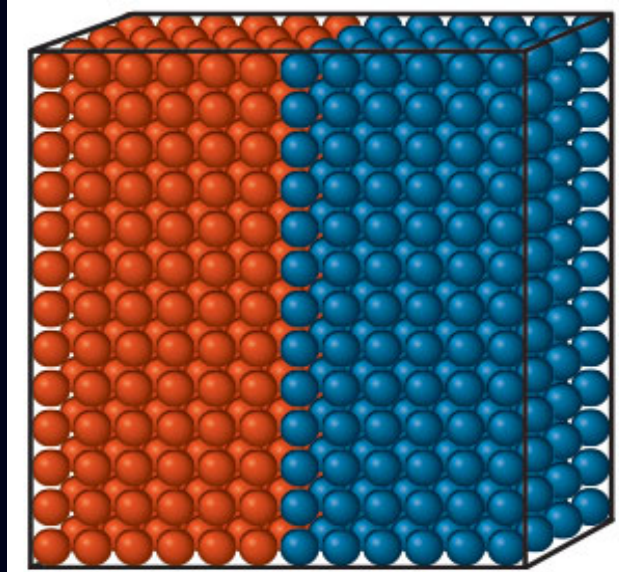


LVDWIG
BOLTZMANN
1844 - 1906

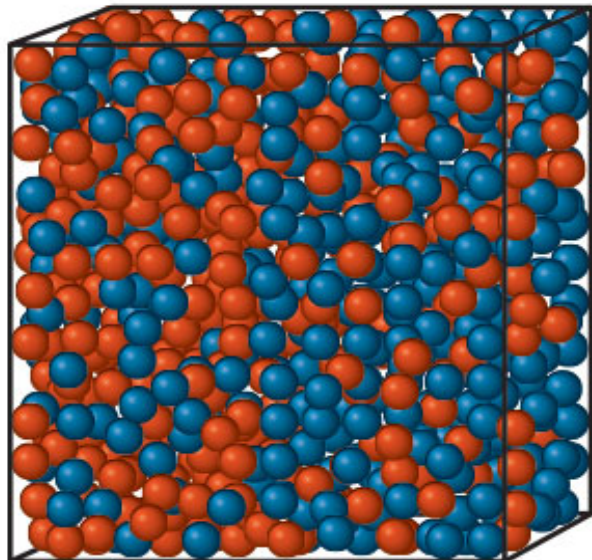
DR PHIL
BOLTZ
GEB.

Entropia

Ordine

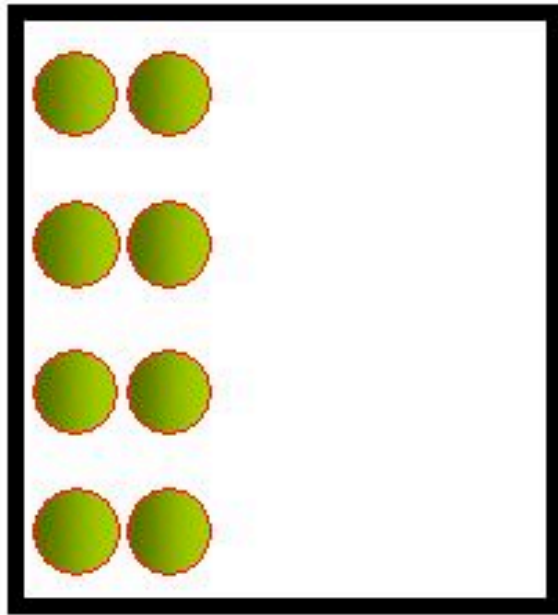


Disordine

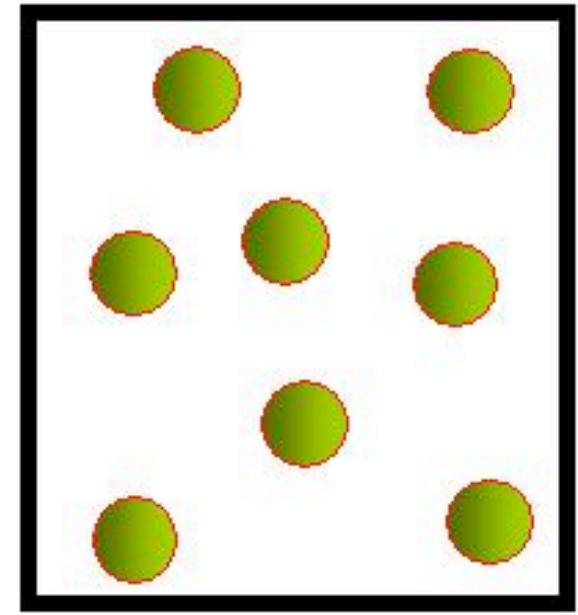
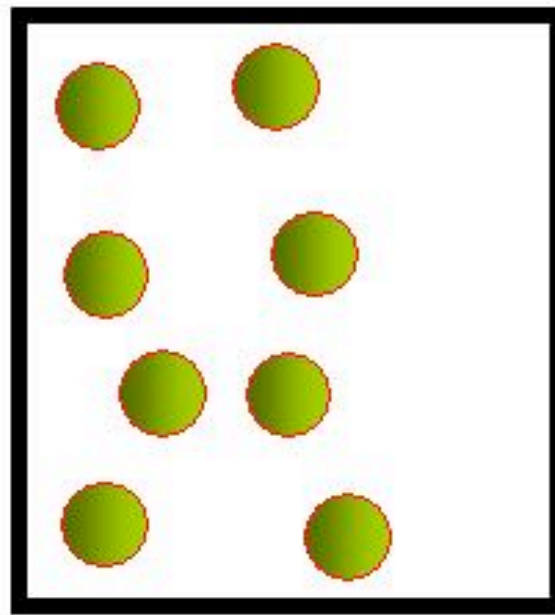


Entropia
aumenta





ordine

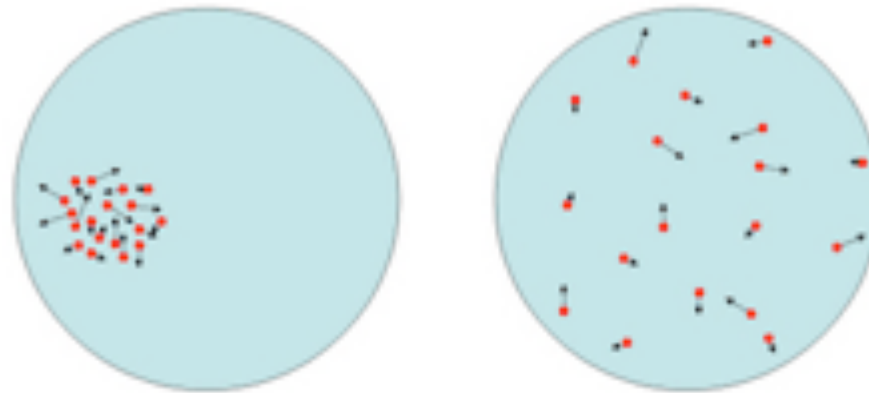


disordine

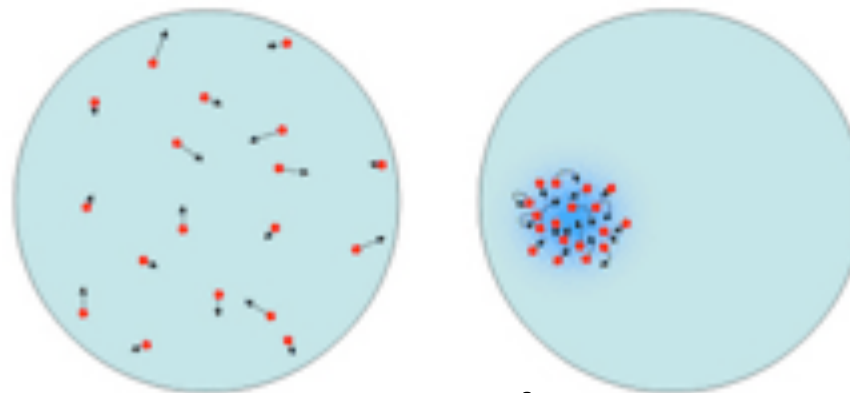


Entropia aumenta

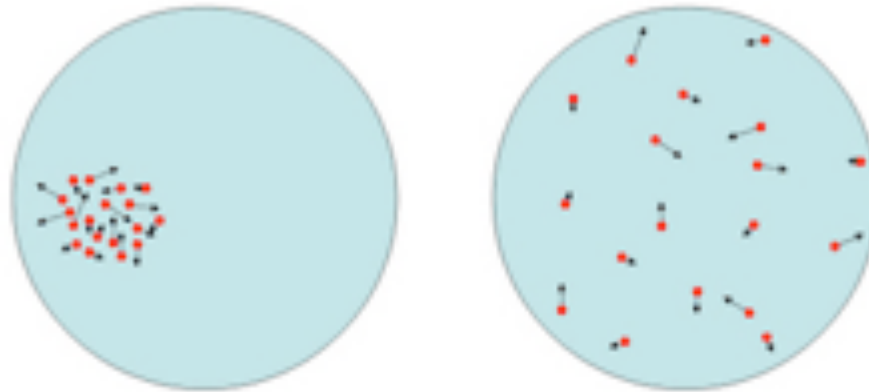
Senza gravita'



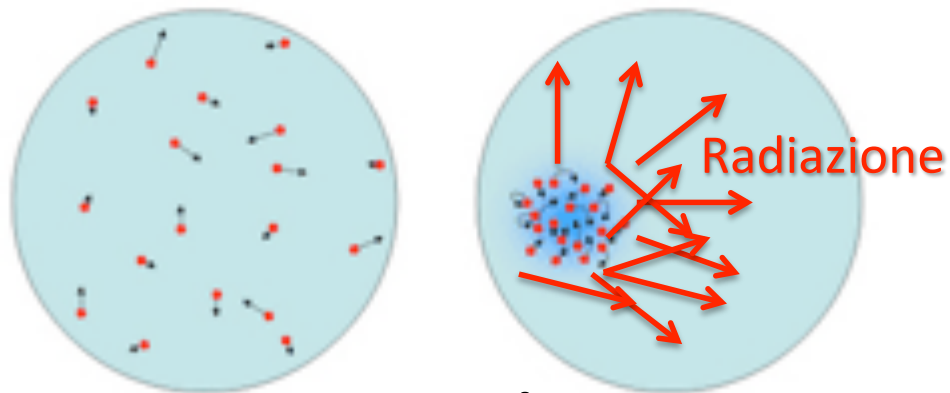
Con gravita'



Senza gravita'



Con gravita'



**Vita: diminuzione di entropia!! (maggiori informazioni
→ maggiore ordine)... Ma per farlo dissipiamo calore...
→ l'entropia dell'ambiente aumenta.**



Aumento entropia → Freccia del tempo



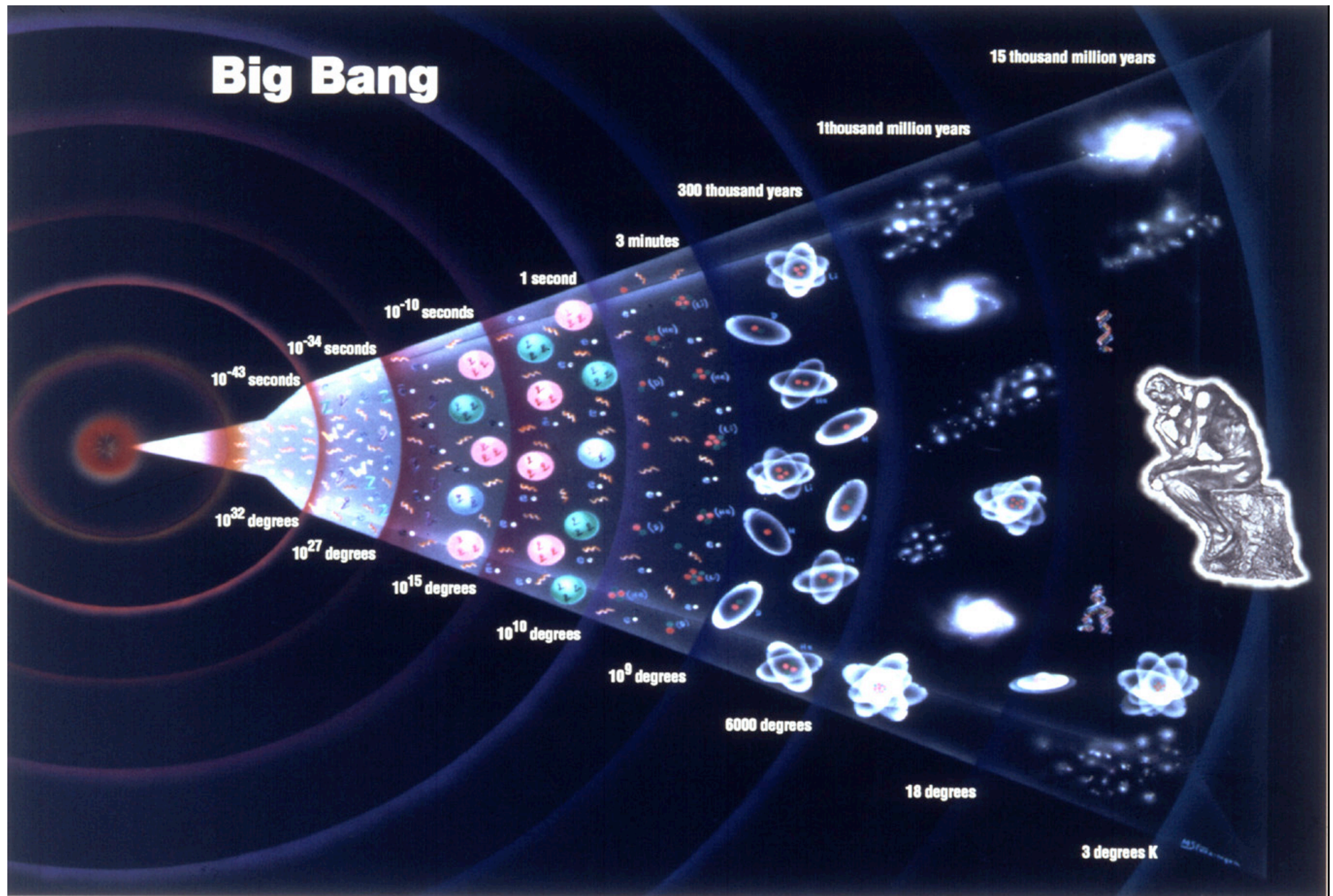
Artur Eddington 1888-1944

Nonostante le leggi fisiche non distinguano la direzione del tempo, l'aumento di entropia indica il futuro

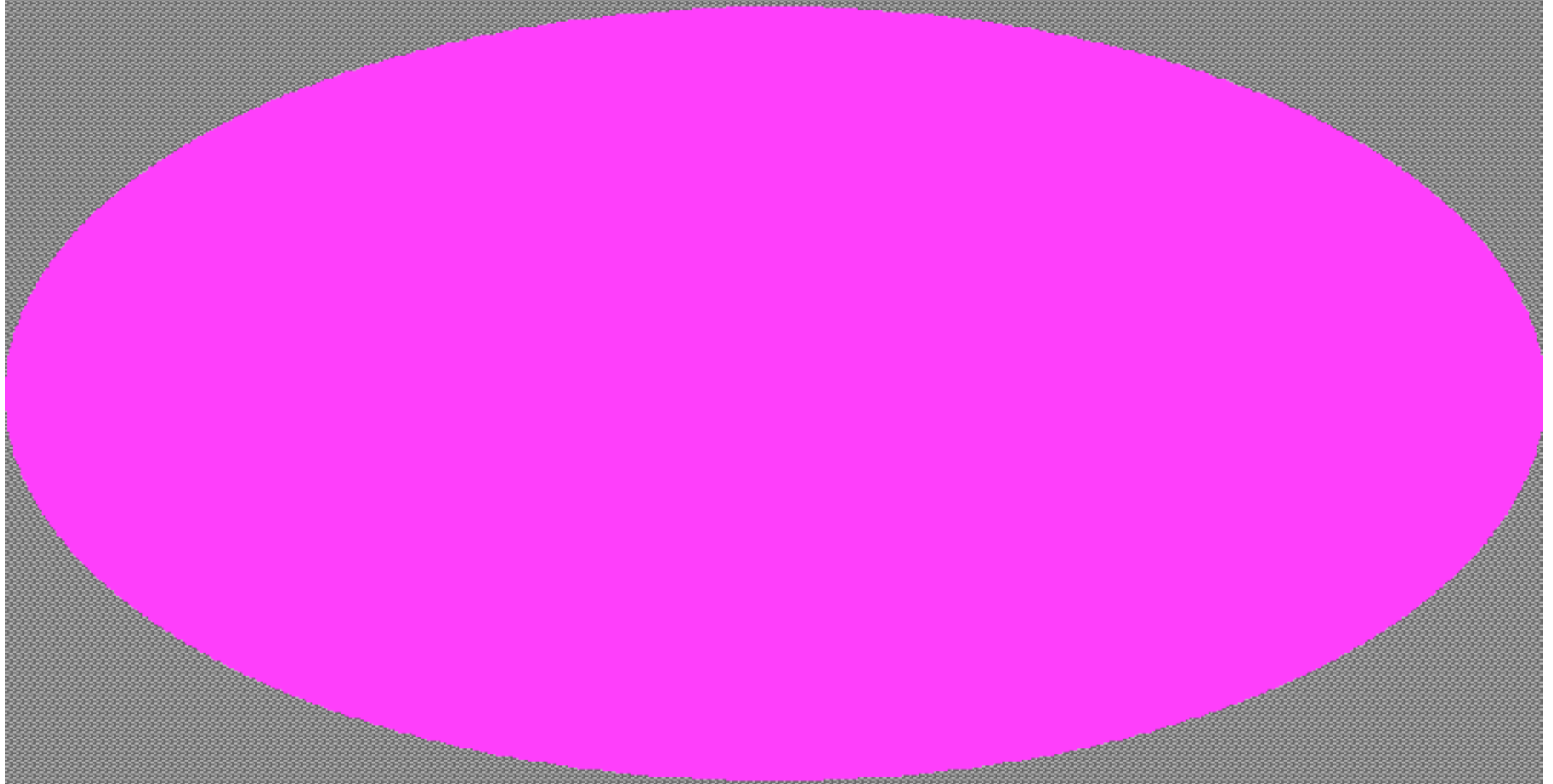
Quindi nel passato l'Universo intero aveva meno entropia: era piu' ordinato....

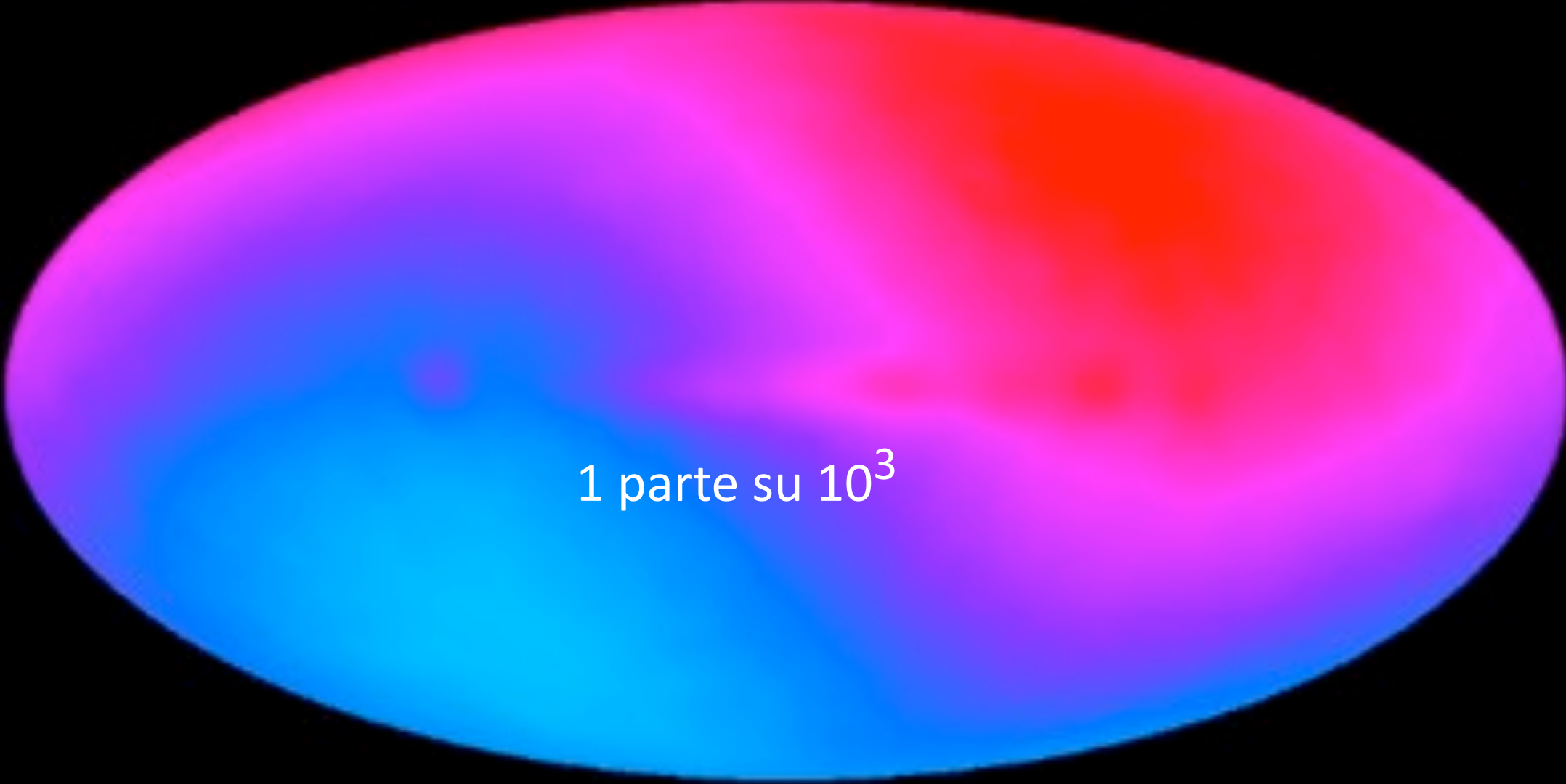
Ma come e' possibile??

Big Bang



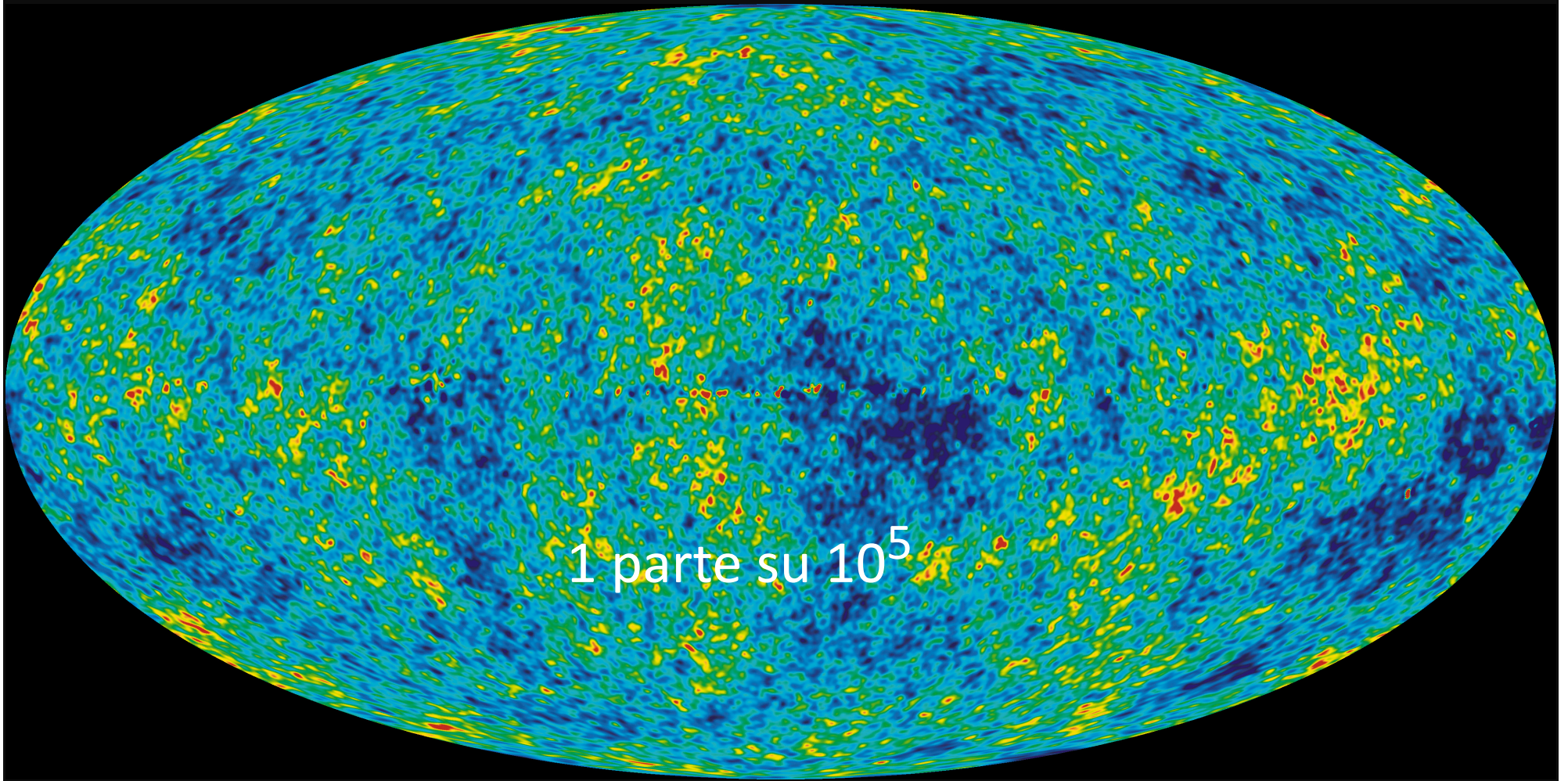
COBE DMR Microwave Sky at 53 GHz





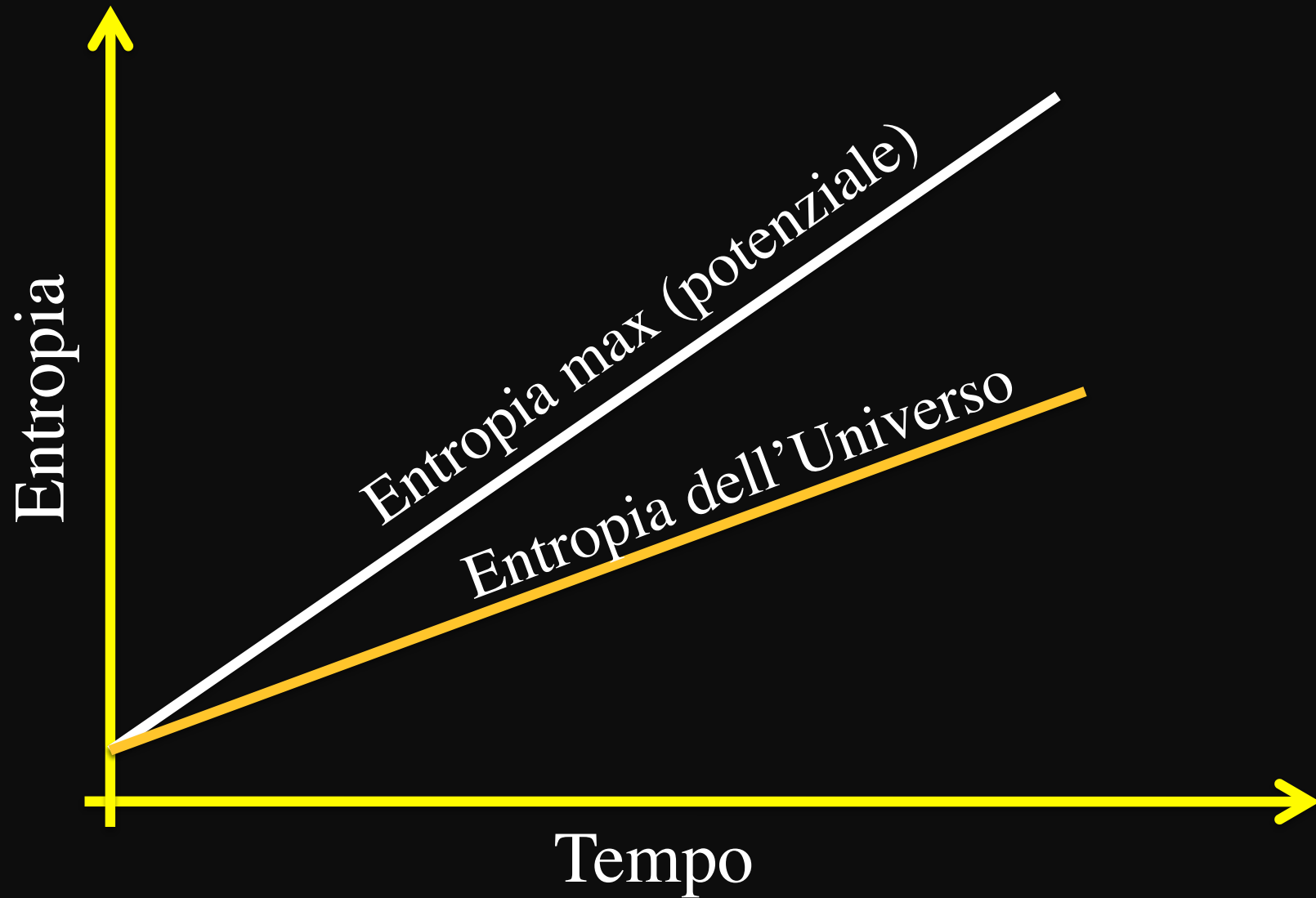
1 parte su 10^3

Radiazione cosmica di fondo



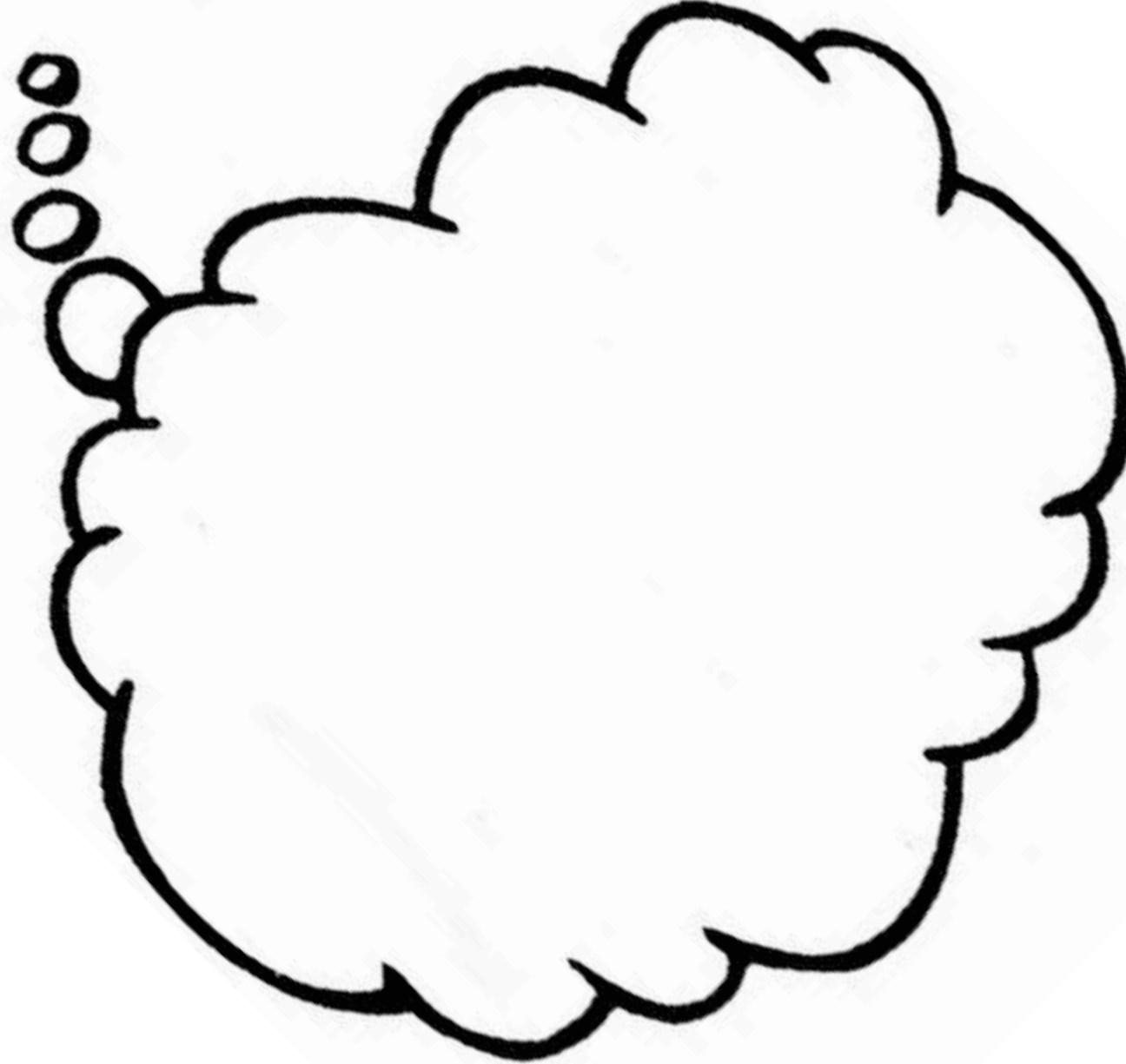
All'inizio: molto calda, molto uniforme → grande entropia...

L'Universo si espande! Lo spazio in piu' permette piu' "configurazioni": piu' modi in cui le particelle e la radiazione possono disporsi...



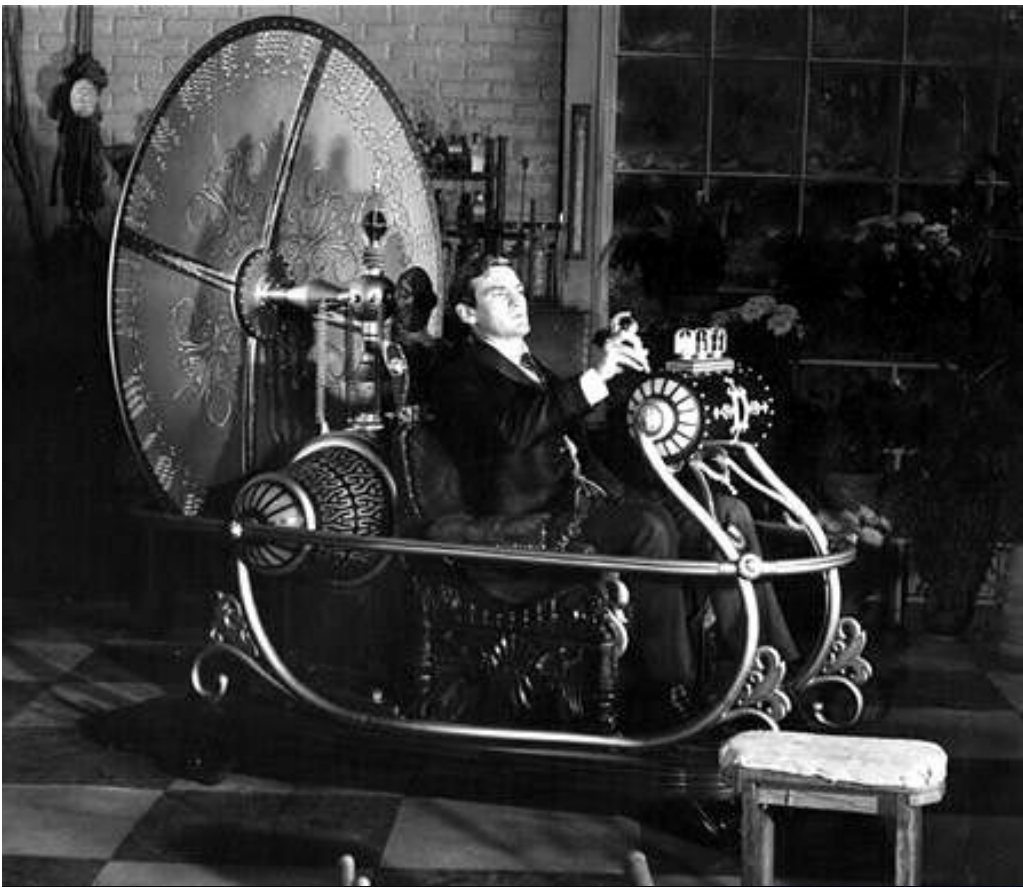








Viaggi nel tempo



Viaggiare nel futuro...

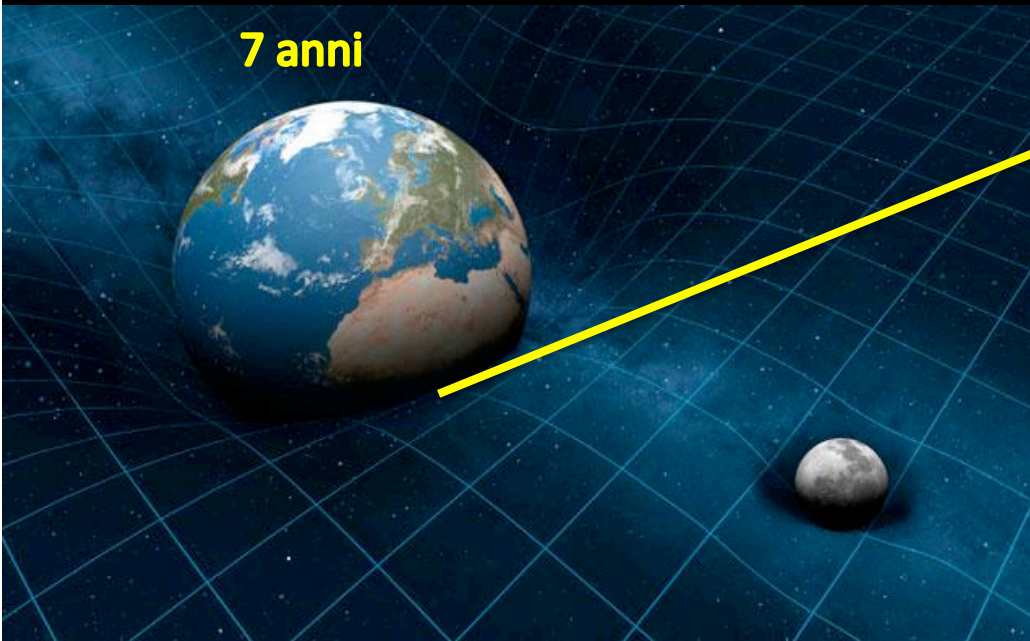
- Non c'è problema.
- Molti modi per farlo
- Non ci sono paradossi logici

Interstellar...

Un'ora



7 anni



Sirio, 9 anni luce da noi



~18 anni per Leila e Luke



Sirio, 9 anni luce da noi



99.5% c



~2 anni per Han Solo



Viaggiare nel passato...

Assumiamo che:

- La realta' e' una e non modificabile
- Esiste un solo Universo

L'Universo rotante di Godel



Il Cilindro rotante di Tipler



Tipler Cylinder



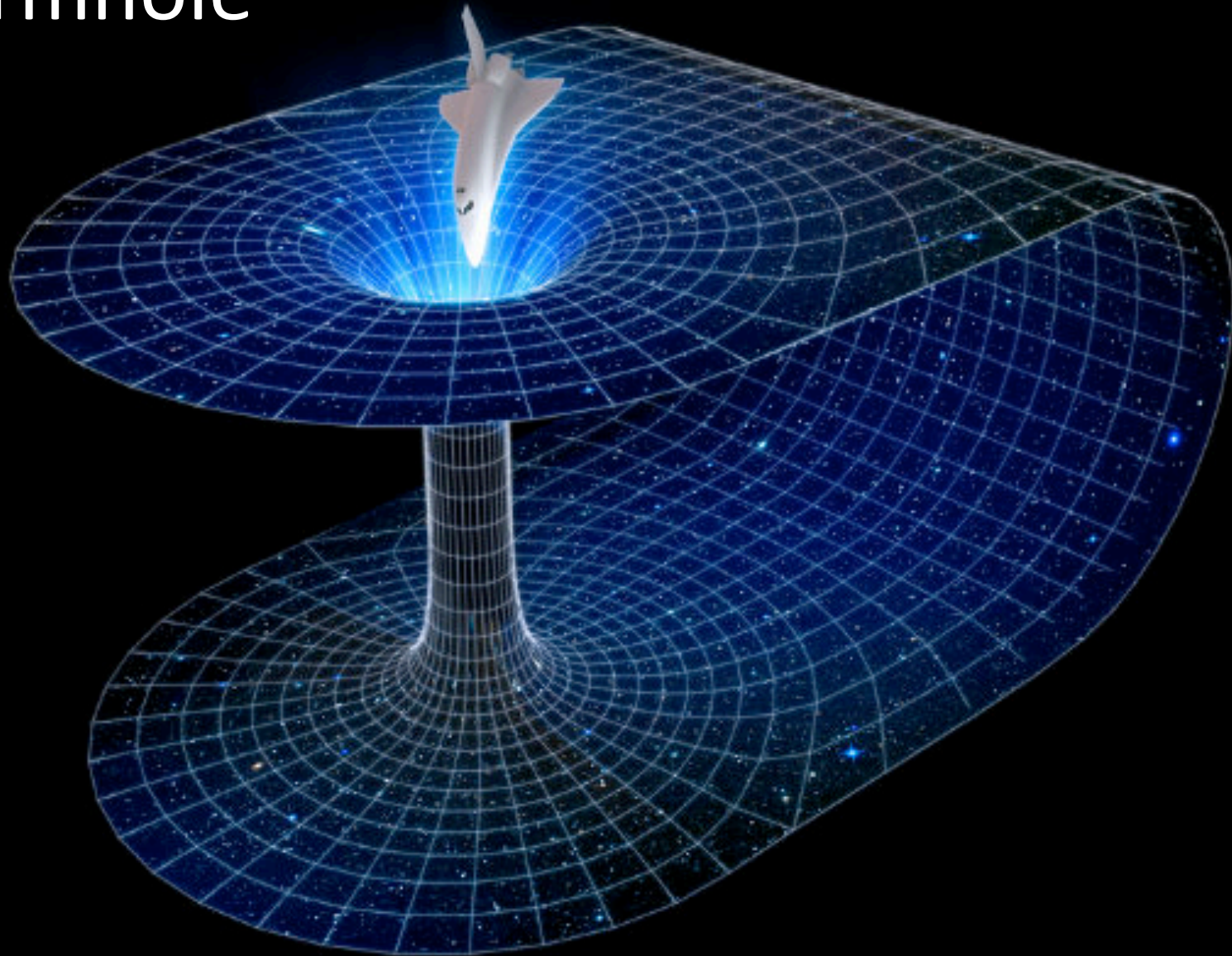
Tipler Cylinder: uses a massive and long cylinder spinning around its longitudinal axis.

The rotation creates a frame-dragging effect and fields of closed timelike curves traversable in a way to achieve subluminal time travel to the past.



Frank Tipler

Wormhole



1916 Ludwig Flamm

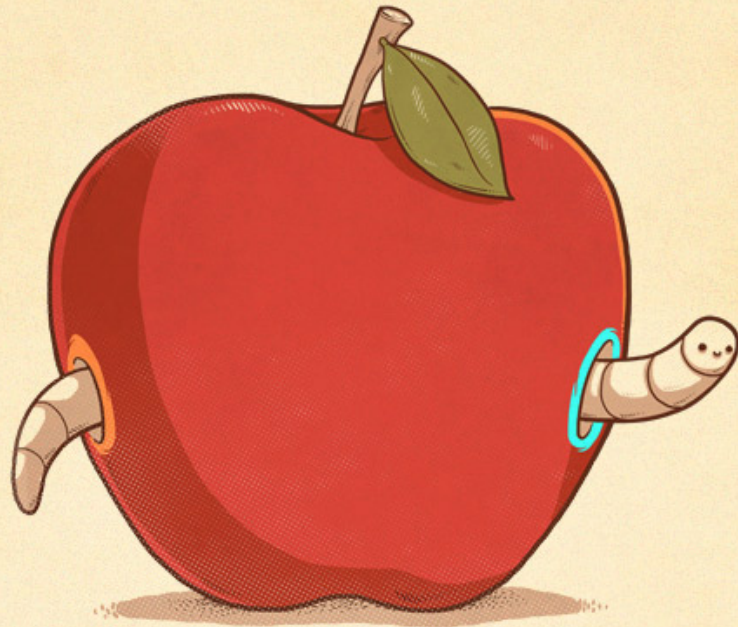
1935 Ponte di Einstein Rosen

1957 John Archibald Wheeler lo battezza “wormhole”

1916 Ludwig Flamm

1935 Ponte di Einstein Rosen

1957 John Archibald Wheeler lo battezza “wormhole”



1916 Ludwig Flamm

1935 Ponte di Einstein Rosen

1957 John Archibald Wheeler lo battezza "wormhole"

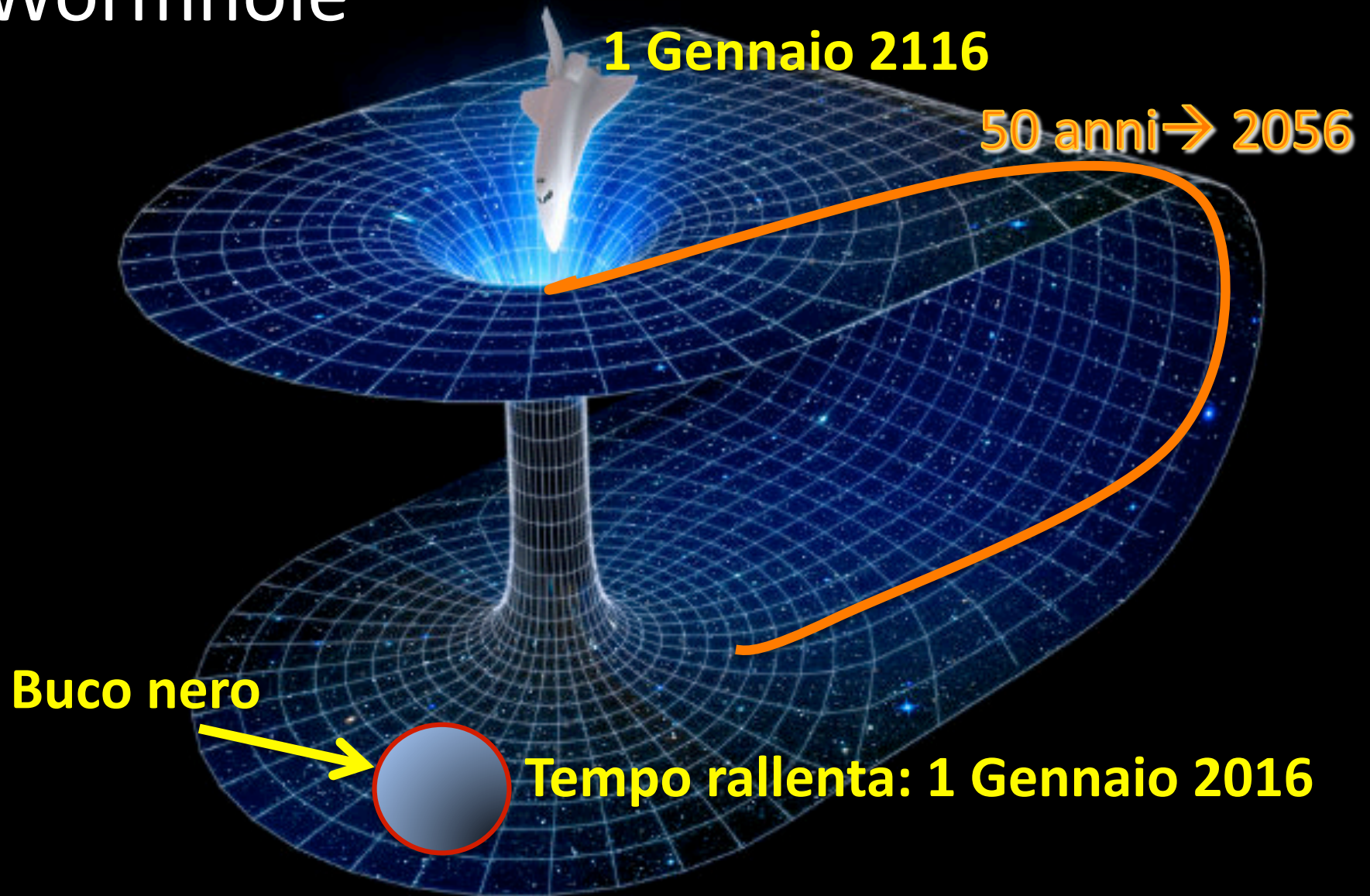
1962 Wheeler e Fuller dimostrano che e' instabile (impossibile attraversarlo)

1985 Kip Thorne lo stabilizza aggiungendo "exotic matter" (= energia negativa
- Teorema di Dennis Gannon del 1975)

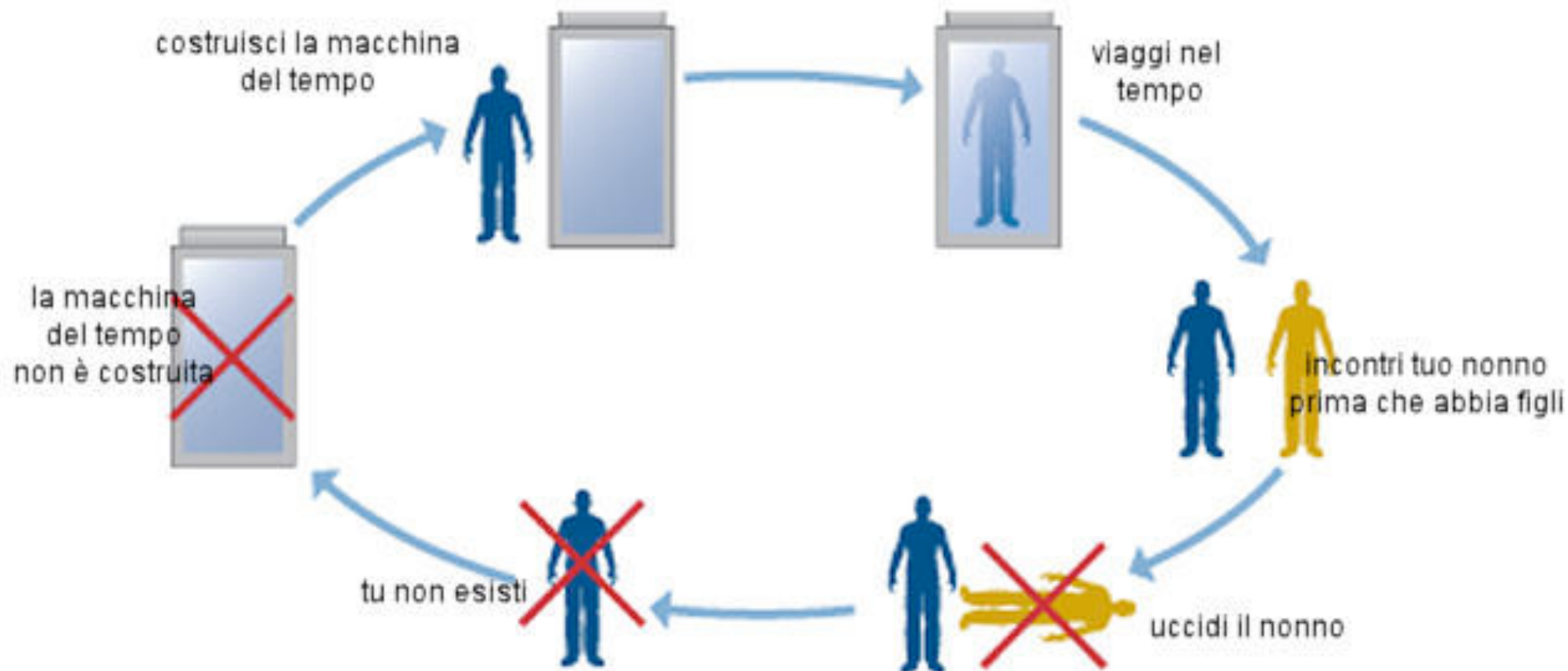
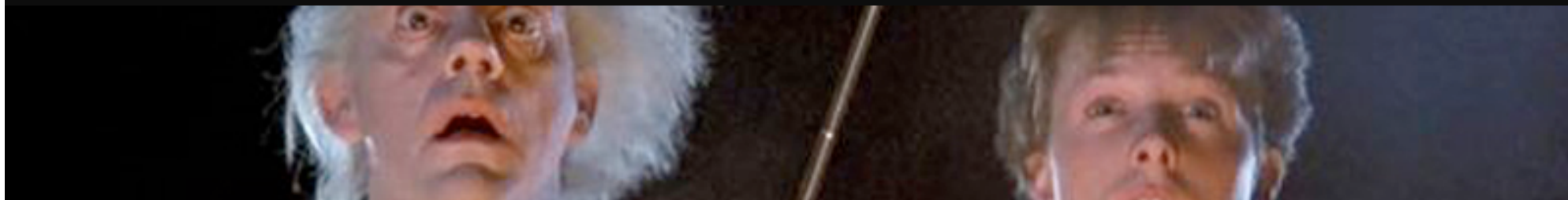


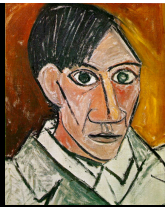
BIVERSO...

Wormhole

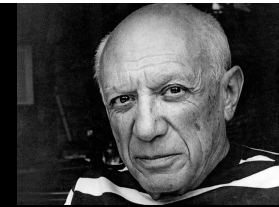


Paradosso del nonno

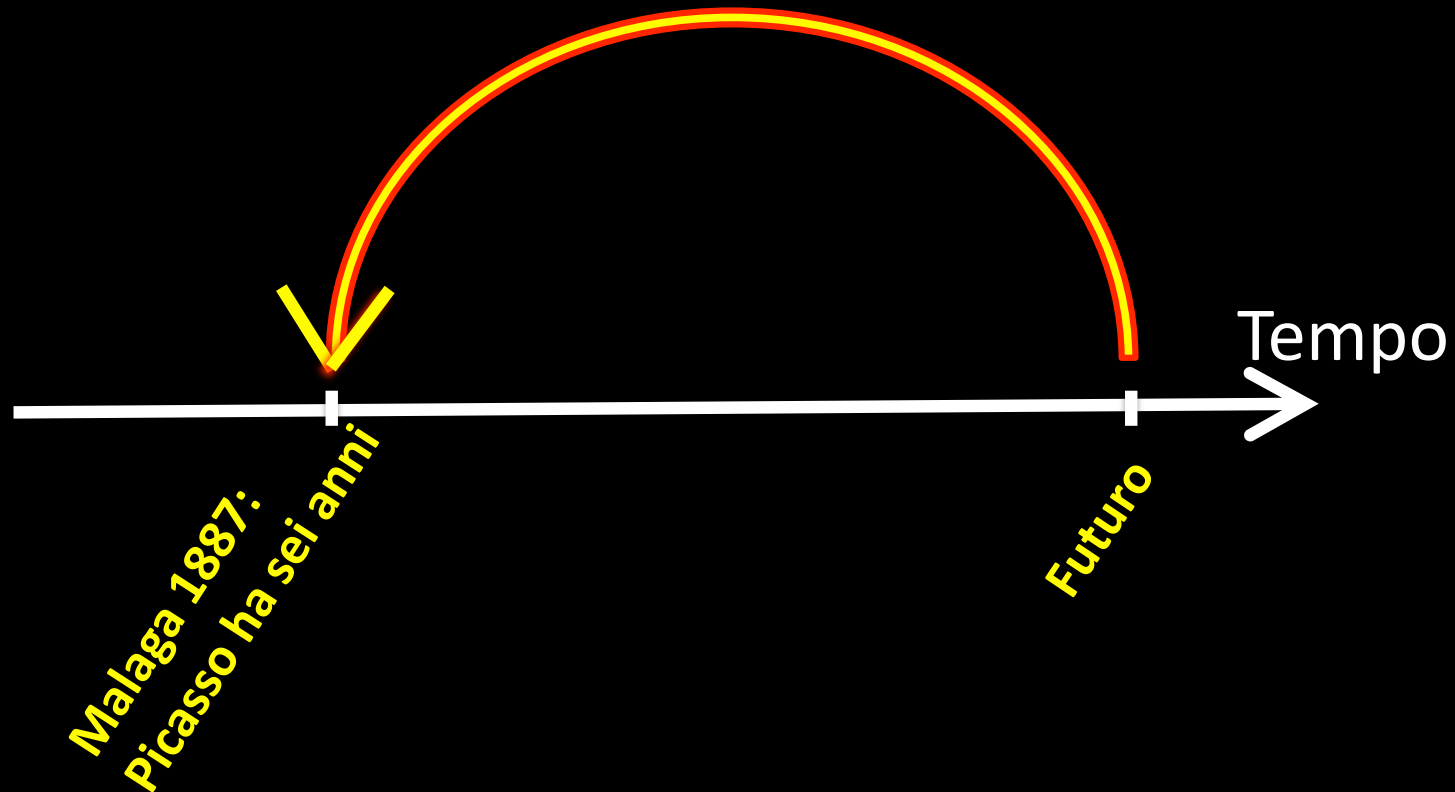




Paradosso di Picasso



Catalogo opere di Picasso



Conclusioni

- Siamo ancora lontani dal capire cos'è il tempo
- Perché tante dimensioni spaziali, ma solo una temporale?
- Il tempo è quantizzato?
- È una illusione?
- ◆ Forse però nei prossimi 20 anni ci sarà una svolta dalla gravità quantistica....

Grazie per l'attenzione

Science of Interstellar

Il fiume del tempo

Buchi neri e salti temporali

Costruire la macchina del tempo

Tempo. Guida per viaggiatori

I misteri del tempo

La nascita del tempo

The arrow of time

La freccia del tempo

L'universo elegante

La trama del Cosmo

La realta' nascosta

Sette brevi lezioni di fisica

Che cos'è la vita?

Kip Thorne 2014 Northon

Igor Novikov 2000 Longanesi

Kip Thorne (1994) 2013 Castelvevchi

John Gribbin 1992 Aporie

Clifford Pickover 1998 Cortina

Paul Davies 1996 Mondadori

Ilja Prigogine 1988 Bompiani

Peter Coveney & Roger Highfield 1990 Fawcett

Autori Vari 1997 Cuen-SISSA

Brian Green 2000 Einaudi

Brian Green 2004 Einaudi

Brian Green 2012 Einaudi

Carlo Rovelli 2015 Adelphi

Erwin Schrodinger 1944 (1955) Adelphi