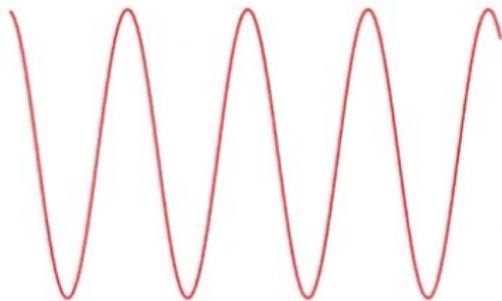
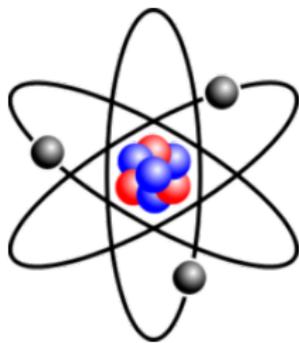


Il Tempo Esiste?

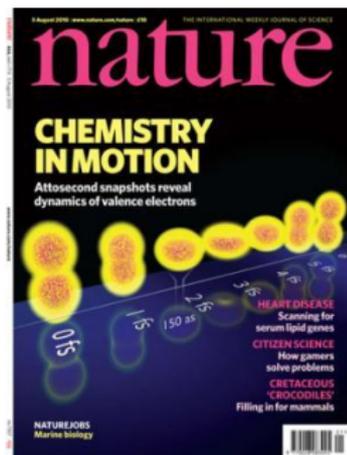
La “misura” di precisione del **tempo** è in realtà una misura di **frequenza** della radiazione elettromagnetica emessa da un atomo (**orologio atomico**)



$$1 \text{ secondo} = \frac{9192631770}{\text{particolare frequenza del Cesio}}$$

precisione: una parte su **10 miliardi**

Frontiera attuale della metrologia temporale: **attosecondo**
(1 **miliardesimo di miliardesimo di secondo**)
Osservazione “in tempo reale” e controllo di processi atomici e
reazioni chimiche





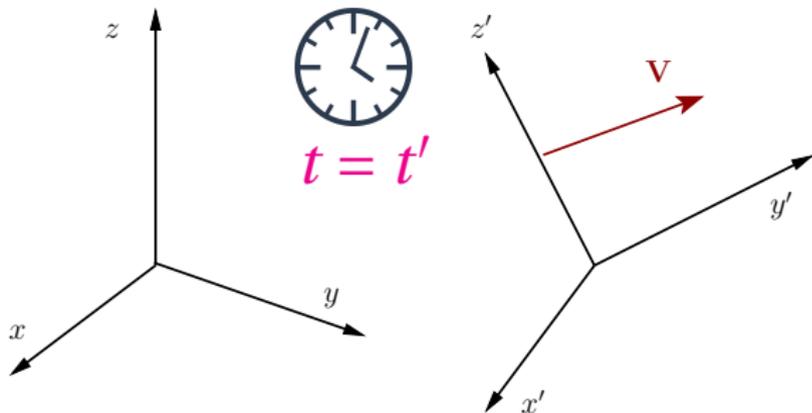
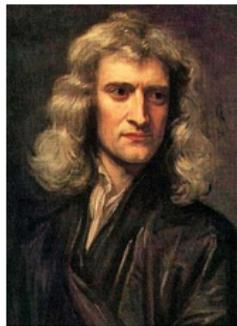
“Galileo si accorge che le oscillazioni di un pendolo sono uguali [misurandone] la durata contando i battiti del suo polso. Da allora, il pendolo è sfruttato per misurare il tempo. Poi abbiamo cominciato a usare gli orologi per misurare i battiti del polso ...”



Carlo Rovelli, “La realtà non è come ci appare” (Raffaello Cortina, 2014)

Il **tempo** ha una sua essenza fisica o è solo un “confronto tra ritmi”?

Galileo & Newton: la fisica è descritta usando **sistemi di riferimento** (3 assi Cartesiani + un **orologio**), tutti equivalenti (diverse coordinate spaziali ma stessa fisica) se in moto relativo uniforme

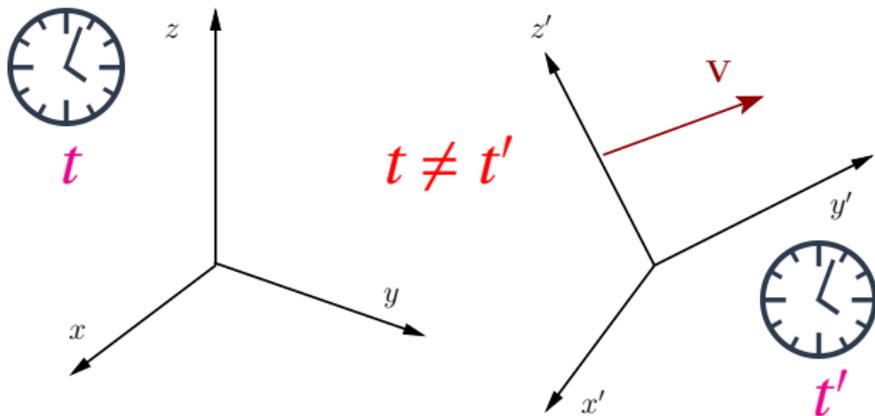
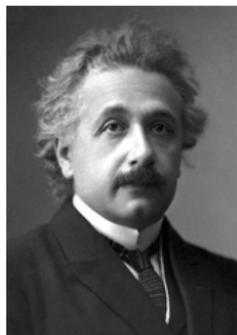


Il **tempo** è lo stesso in ogni riferimento (basta quindi un “orologio al centro dell’universo”)

Einstein: il **tempo** non è lo stesso in sistemi differenti (la “coordinata temporale” t è diversa).

Durata e **simultaneità** degli eventi sono **relative** al sistema.

Inoltre il **tempo** scorre diversamente in diversi punti di un **campo gravitazionale**



Il **tempo** è relativo al riferimento e “non separabile” dallo **spazio**
Cos'è lo **spazio-tempo**? (**Esiste?**)

Le leggi della dinamica sono **simmetriche** rispetto all'**inversione del tempo**¹: il film di un moto girato all'indietro è ancora un moto possibile. Da dove origina la “**Freccia del Tempo**” che percepiamo?



Estratto da
Bicycle Trick Riding,
Thomas A. Edison (1899),
publicdomainreview.org

¹In realtà la simmetria è (debolmente) rotta in meccanica quantistica, nel modello standard delle particelle elementari

Secondo principio della termodinamica: il **disordine** aumenta **sempre!**
I **sistemi macroscopici** evolvono **irreversibilmente** scegliendo lo stato più “probabile” a livello **microscopico**



www.mammafelice.it

“Insegnare l'ordine ai bambini”

Entropia: misura del “disordine” (\equiv “probabilità microscopica”)
Direzione verso la massima **entropia** \Rightarrow **freccia del tempo**

Ma disordine/entropia/freccia del tempo sono un effetto **statistico** oppure esistono per un singolo atomo, un nucleo, una particella elementare, . . . ?

Entropia come “**distruzione delle possibilità**”

Dado da lanciare: 6 possibili risultati

⇒ massima “informazione” sul sistema

Dado lanciato: 1 solo risultato

⇒ “distruzione” dell’informazione precedente



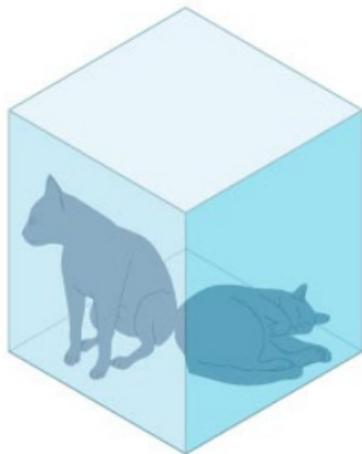
L’**informazione** su un sistema, ovvero il numero delle alternative possibili in cui esso si può presentare quando lo osserviamo, **non** aumenta mai spontaneamente (Claude Shannon, 1948)

Entropia ↑ ⇔ **Informazione** ↓

In **fisica quantistica**, un sistema può trovarsi in una **sovrapposizione di stati possibili** fino a quando non si effettua una misura (cioè il sistema interagisce)

Esempio (abbozzato) del “gatto di Schrödinger”, *sia sveglio che addormentato finché non si apre la scatola*²

Quando il sistema “realizza” un solo stato tra quelli possibili, l'informazione si riduce \Rightarrow l'entropia aumenta



“Proposta”: il **tempo** è il **ridursi progressivo delle alternative possibili** ovvero la **perdita progressiva di informazione**
“*Il tempo è la nostra ignoranza*” (Rovelli)

²“Sia vivo che morto” nella formulazione originale. 