Paradossi «fisici»

C. Cosmelli

Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

Villa Mirafiori
25.5.2017

DIPARTIMENTO DI FISICA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Cosa è un paradosso

‘’Una conclusione evidentemente inaccettabile, che deriva da premesse evidentemente accettabili per mezzo di un ragionamento evidentemente accettabile’’ Mark Sainsbury – Un. Of Texas - Austin

Un paradosso è un’affermazione che contraddice:

- L’esperienza
- Il buon senso
- L’opinione comune
- Un Principio Scientifico
- La logica
- …….

Paradosso	Cosa dice	Va contro	Errore	Soluzione
Zenone: Achille	Achille non raggiungerà mai la Tartaruga.	L'esperienza.	Nel ragionamento matematico.	Una somma di infiniti termini maggiori di zero può essere finita.
Zenone: Freccia	La freccia in volo non si muove.	Il buon senso.	Nella definizione di velocità.	Il rapporto di due grandezze che tendono a zero può essere diverso da zero.
Diavoletto di Maxwell	Guardando gli atomi posso creare due sorgenti a temperatura diversa.	Il II Principio della Termodinamica.	Trascura un aspetto della procedura di misura.	Avere un'informazione costa energia.
Motore (nottolino) browniano	Con una ruota opportuna posso generare lavoro da un sistema ad una sola temperatura	Il II Principio della Termodinamica.	Trascura un aspetto della procedura di misura.	Gli oggetti reali non sono "ideali".
Mesoni mu	I mesoni mu arrivano sulla Terra, ma non dovrebbero arrivarci.	L'esperienza - Il calcolo classico.	Utilizza le formule della meccanica classica.	Spazi e Tempi sono realtivi e dipendono da chi li ossserva e dal loro moto.
Relatività Gemelli	Dei due gemelli, uno in viaggio e l'altro no, chi è il più veccchio alla fine del viaggio?	Il buon senso - la logica.	Trascura un aspetto dell'esperimento.	I due gemelli non sono equivalenti dal punto di vista dei sistemi di riferimento.
Elettroni e fenditure	Un elettrone singolo e indivisibile come fa a passare contemporaneamente attraverso due fenditure diverse?	Il buon senso - la logica.	Non è un errore, la Meccanica Quantistica va contro il buon senso.	Ciò che "viaggia" non è l'elettrone ma la funzione d'onda.
Gatto di Schrodinger	Posso avere un gatto contemporaneamente vivo e morto, fin quando non lo guardo.	Il buon senso - la logica.	E' un esempio "ridicolo" come disse Schrodinger.	Gli oggetti macroscopici subiscono il collasso in tempi brevissimi. Ma la soluzione "vera" ancora non esiste
Non località di Bell	Posso agire su di un oggetto ed avere un'azione immediata su di un altro oggetto molto lontano dal primo.	La teoria della Relatività Speciale.	Non è un errore, la Meccanica Qauntistica va contro il buon senso.	La grandezzza che si trasmette non è un segnale, è una correlazione.
Monthy Hall (i pacchi)	Alla fine del gioco cambiare pacco mi fa aumentare di molto la probabilità di vincere	L'intuito	Non è un errore, la statistica non è intuitiva.	Le due situazioni - iniziale e finale - sono diverse, va calcolata correttamente la probabilità condizionata.

Zenone: Achille e la tartaruga 1

Se Achille venisse sfidato da una tartaruga nella corsa e concedesse alla tartaruga un piede di vantaggio, egli non riuscirebbe mai a raggiungerla, dato che Achille dovrebbe prima raggiungere la posizione occupata precedentemente dalla tartaruga che, nel frattempo, sarà avanzata raggiungendo una nuova posizione che la farà essere ancora in vantaggio; quando poi Achille raggiungerà quella posizione nuovamente la tartaruga sarà avanzata precedendolo ancora. Questo stesso discorso si può ripetere per tutte le posizioni successivamente occupate dalla tartaruga e così la distanza tra Achille e la lenta tartaruga pur riducendosi verso l'infinitamente piccolo non arriverà mai ad essere pari a zero.

Il problema di base: in una retta (successione di numeri reali) non esiste il ''successivo'', mentre esiste sicuramente la posizione ''successiva»; differenza fra punto ''fisico'' e punto ''matematico''.

Soluzione matematica: La somma di infiniti termini diversi da zero **può** essere un numero finito:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{k^n} [k = 2] = 1 + \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \cdots = \frac{k}{k-1} = 2 \;\; ; \; n = 1\!: \; 1 + \frac{1}{2} = 1{,}5 \;\; ; \;\; n = 2\!: \; 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = 1{,}75$$

$\mathbf{n = 3}$ 1,875 ; $\mathbf{n = 5}$ 1,96875 ; $\mathbf{n = 10}$ 1,999023438 ; $\mathbf{n = 30}$ 1,99999999069

Zenone: Achille e la tartaruga 2

Soluzione fisica-grafica:

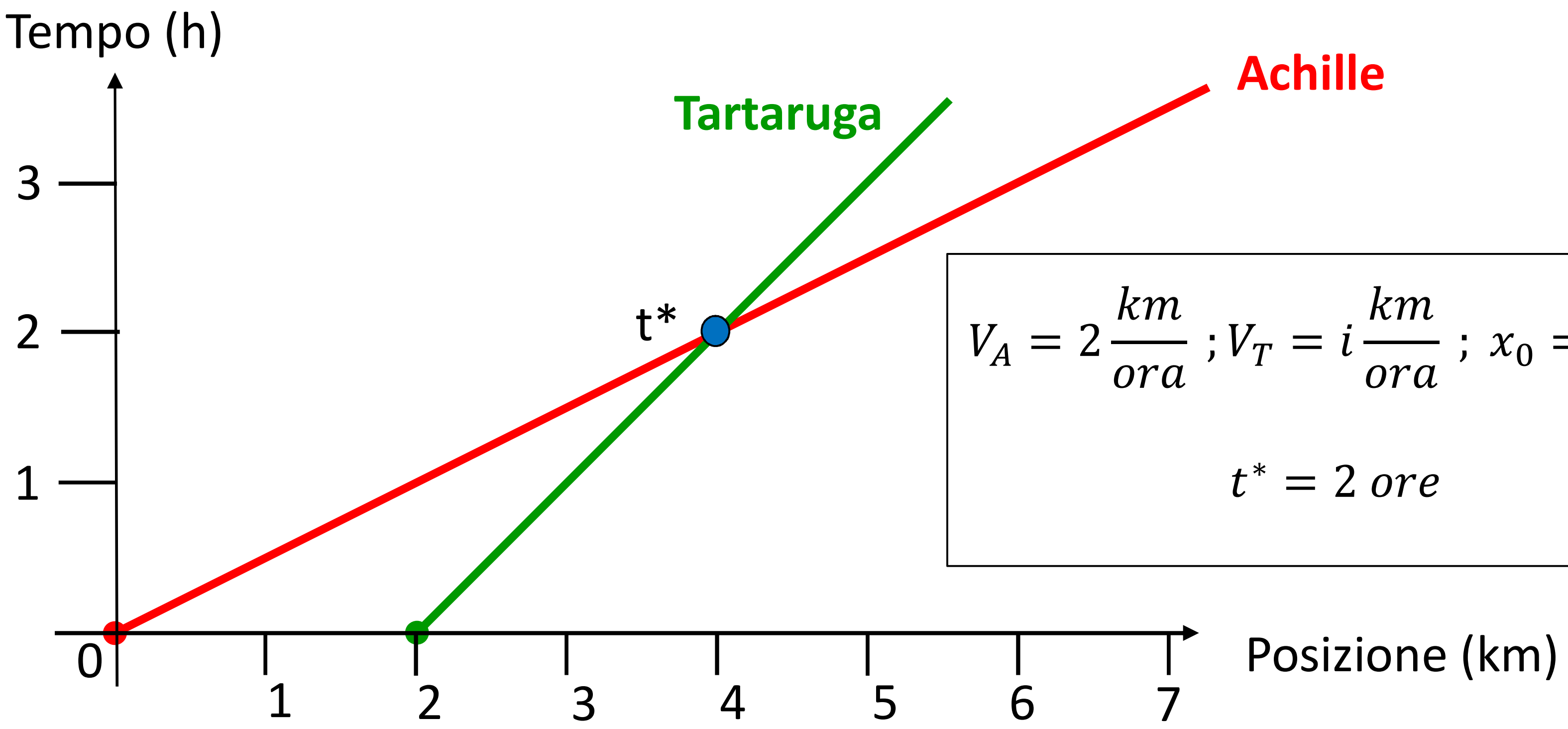
La posizione di Achille, che parte da zero, al tempo t: **$A(t) = V_A\ t$**

La posizione della Tartaruga che parte più avanti, al tempo t: $T(t) = x_0 + V_T\ t$

supponendo che $V_T = V_A/2$ si ha: **$T(t) = x_0 + V_A\ t/2$**

Achille e la Tartaruga si troveranno nello stesso punto all'istante di tempo t*:

$$A(t^*) = T(t^*) \quad \text{quindi} \quad V_A t = x_0 + \frac{V_A}{2} t \quad \text{da cui} \quad t^* = \frac{2x_0}{V_A}$$



$$V_A = 2\frac{km}{ora}\ ; V_T = i\frac{km}{ora}\ ;\ x_0 = 2\ km$$

$$t^* = 2\ ore$$

Zenone: Achille e la tartaruga 3

Soluzione fisica-grafica:

La posizione di Achille, che parte da zero, al tempo t: **$A(t) = V_A\, t$**

La posizione della Tartaruga che parte più avanti, al tempo t: $T(t) = x_0 + V_T\, t$

supponendo che $V_A = k\, V_T$ si ha: **$A(t) = V_A\, t = kV_T\, t$**

$$A_0 \rightarrow x_0 \qquad T_0 \rightarrow x_0\left(1+\frac{1}{k}\right)$$

$$A_1 \rightarrow x_0\left(1+\frac{1}{k}\right) \qquad T_0 \rightarrow x_0\left(1+\frac{1}{k}+\frac{1}{k^2}\right)$$

$$A_2 \rightarrow x_0\left(1+\frac{1}{k}+\frac{1}{k^2}\right) \qquad T_0 \rightarrow x_0\left(1+\frac{1}{k}+\frac{1}{k^2}+\frac{1}{k^3}\right)$$

$A_\infty = T_\infty = x_0 \sum_0^\infty \frac{1}{k^n} = x_0 \frac{1}{1-{}^1/_k} = x_0 \frac{k}{k-1}$ se k=2 $A_\infty = 2x_0$ al tempo $t^* = 2\frac{x_0}{V_A}$

Zenone: La freccia in moto 2

La freccia nell'aria appare in movimento ma, in realtà, è immobile.
Il Tempo è composto di istanti. In ogni istante essa occuperà solo uno spazio che è pari a quello della sua lunghezza, quindi sarà ferma; e poiché il tempo in cui la freccia si muove è fatto di singoli istanti, essa sarà immobile in ognuno di essi.

In ciascuno degli istanti in cui è divisibile il tempo la freccia occupa uno spazio determinato, la freccia è quindi a riposo in ogni istante. Quindi il movimento è… la somma di istanti di riposo, quindi la freccia non si muove ma è immobile per l'eternità.

La freccia nell'aria appare in movimento ma, in realtà, è immobile.
Il Tempo è composto di istanti. **[di durata nulla $\Delta t=0$]**
In ogni istante essa occuperà solo uno spazio che è pari a quello della sua lunghezza, quindi sarà ferma **[lo spostamento sarà $\Delta x=0$]** ; e poiché il tempo in cui la freccia si muove è fatto di singoli istanti, essa sarà immobile in ognuno di essi.

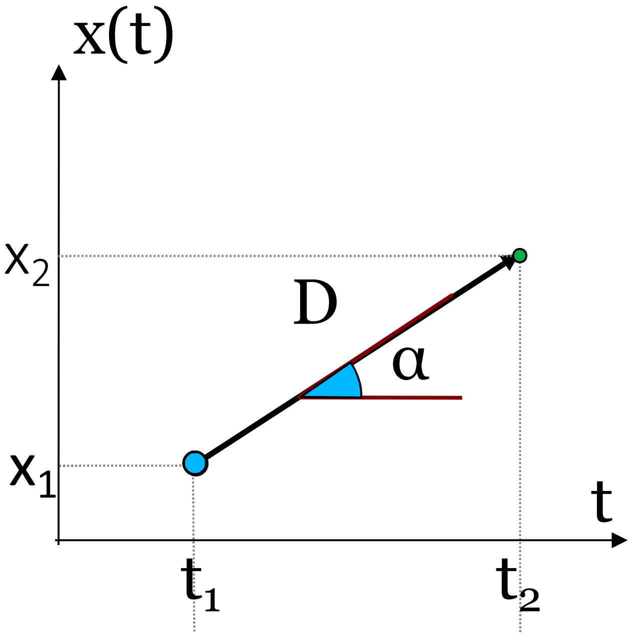
La velocità $\mathbf{V} = \frac{\mathbf{\Delta x}}{\mathbf{\Delta t}} = \frac{\mathbf{0}}{\mathbf{0}} = ?$

Il problema della definizione di velocità istantanea

La velocità media di un «oggetto» in movimento

La velocità media è definita come il rapporto fra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo.

Consideriamo un corpo che al tempo $\mathbf{t_1}$ si trovi nella posizione $\mathbf{x_1}$ e all'istante $\mathbf{t_2}$ si trovi nella posizione $\mathbf{x_2}$.
La legge oraria corrispondente al suo moto può essere rappresentata nel piano (x,t):



La velocità media **<v>** è data dal rapporto fra lo spazio percorso ed il tempo impiegato a percorrerlo:

$$< \mathbf{v} > = \frac{(\mathbf{x_2}-\mathbf{x_1})}{(\mathbf{t_2}-\mathbf{t_1})} \overset{!}{=} \frac{\mathbf{D \cdot sen\,\alpha}}{\mathbf{D \cdot cos\,\alpha}} = \mathbf{tan\,\alpha}$$

Questo rapporto, «geometricamente», è la pendenza del tratto percorso, uguale alla tangente dell'angolo α: attenzione alle unità di misura!

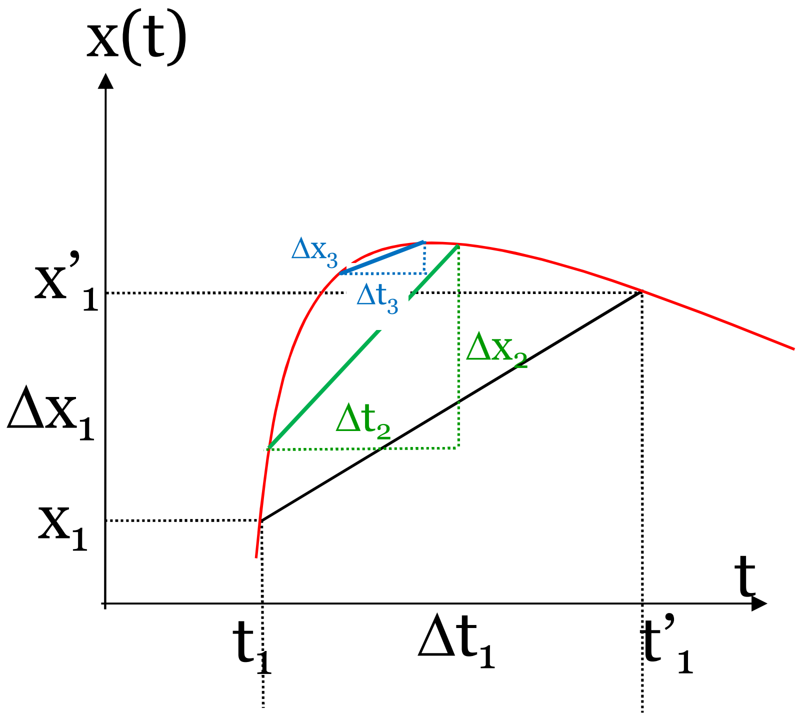
$$< \mathbf{v} > = \mathbf{tan\,\alpha} \quad \frac{[L]}{[t]}$$, le unità di misura sono quelle di $\left[\frac{\mathbf{x}}{\mathbf{t}}\right]$

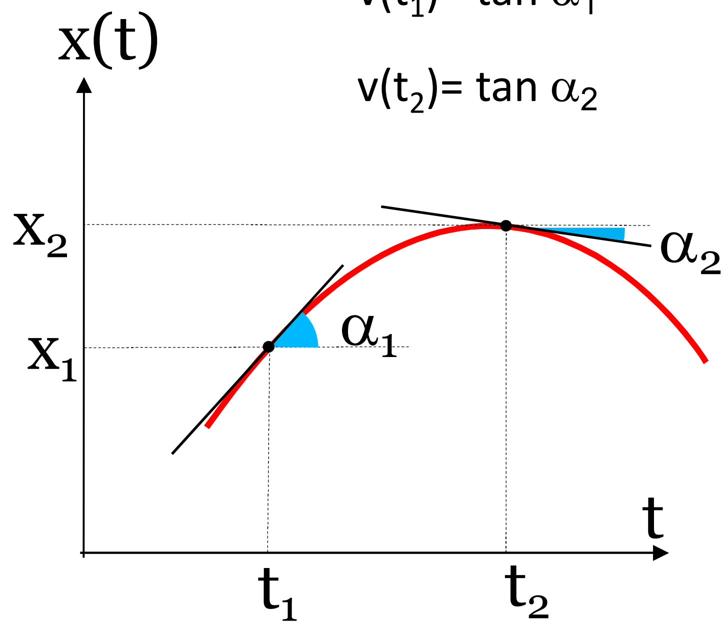
La velocità istantanea – moto in una dimensione

Se la velocità non è costante, quindi se la legge x(t) non è una retta, per calcolare la velocità istantanea, che può essere differente istante per istante, bisogna calcolare la pendenza della retta tangente alla curva in ciascun istante di tempo.

$$v(1.1') = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} \; ; \; v(2,2') = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} \; ; \; v(3,3') = \frac{\Delta x_3}{\Delta t_3}; \; \text{al limite} \ldots$$

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \tan \alpha \quad \text{questo rapporto è} \neq 0!!!$$



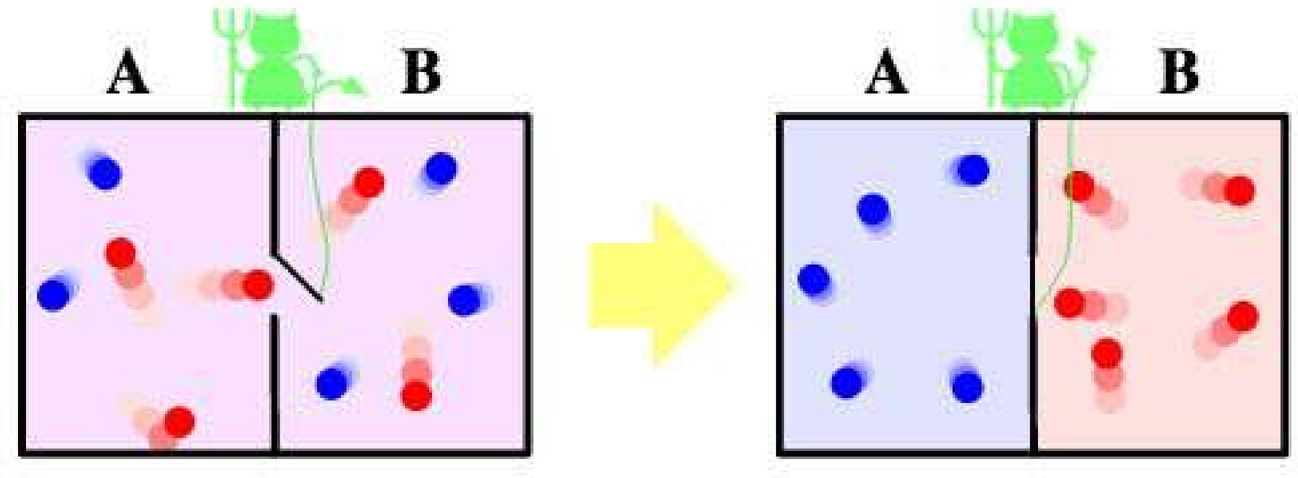


Zenone oggi: L'effetto Zenone quantistico

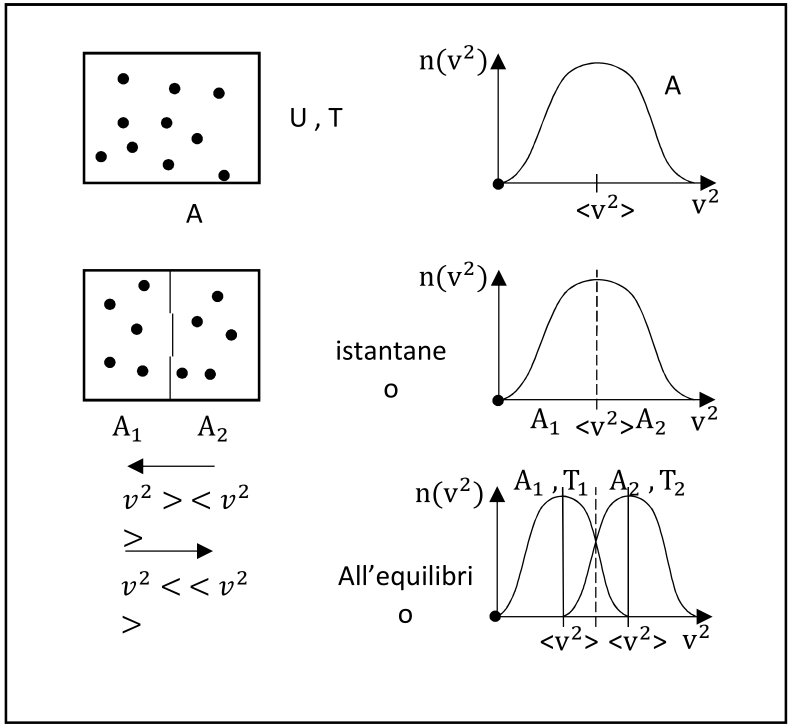
La funzione d'onda, se ''osservata'' non evolve nel tempo, o evolve molto molto lentamente, quindi l'oggettivazione della posizione si ha in posti molto molto vicini

Diavoletto di Maxwell 1

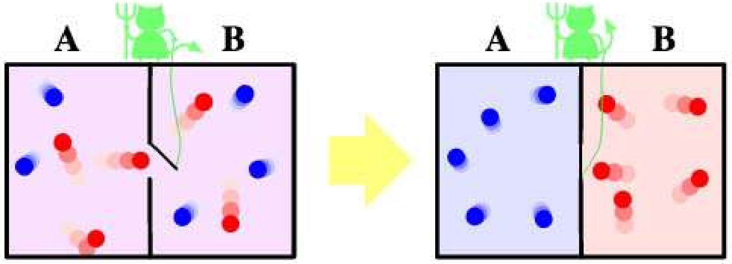
Il diavoletto di Maxwell, detto anche demone di Maxwell, è una minuscola creatura immaginaria che può controllare una porta in un gas per separare gli atomi caldi da quelli freddi. Maxwell propose questo *esperimento intellettuale* circa 150 anni fa come una sorta di sfida, per verificare se il secondo principio della termodinamica sia veramente un principio, e come tale inviolabile.
L'esperimento infatti sembra offrire un modo piuttosto semplice di violarlo, producendo una variazione di temperatura tra due corpi senza alcuna spesa di energia e riducendo così l'entropia in un sistema isolato.
Dal nuovo sistema a due temperature diverse si poteva poi ricavare Lavoro.



Diavoletto di Maxwell 2



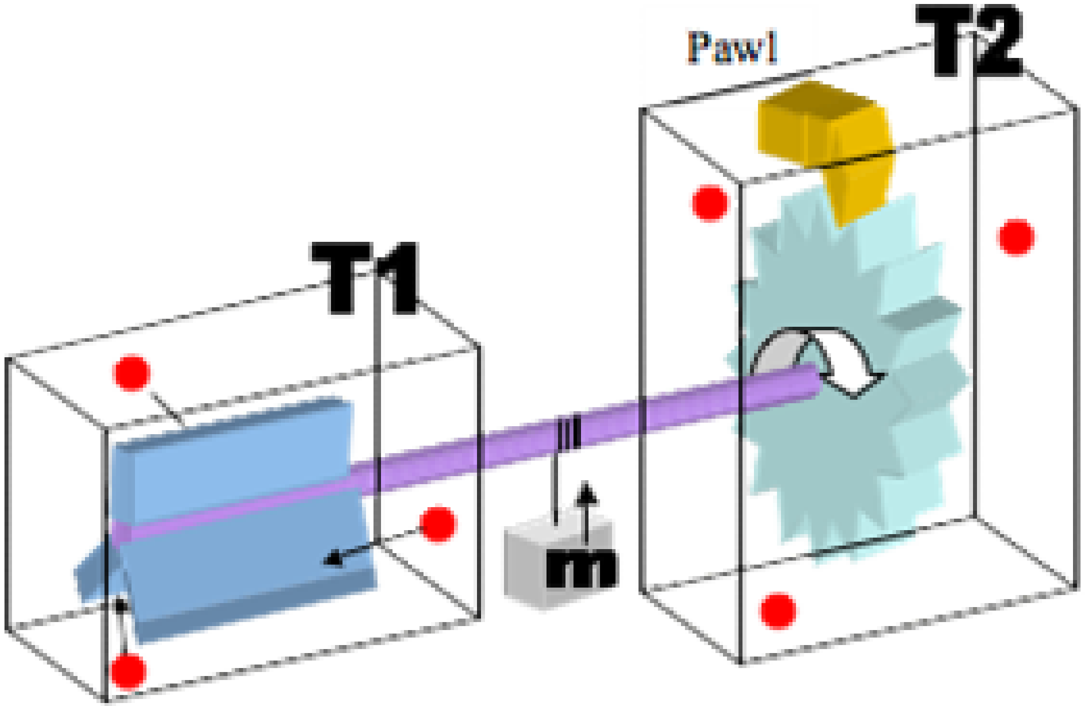
7.1 Schema di quello che succede nell'ipotesi del "diavoletto" formulata da Maxwell



Motore (nottolino) browniano - 1912 M. Smoluchowski - 1962 R. Feynman

La ruota dentata riceve urti che la farebbero muovere sia avanti che indietro, ma dato che c'è un dente d'arresto girerà sempre in una sola direzione…..sollevando il peso, quindi compiendo Lavoro.

Feynman dimostrò che se l'intero dispositivo è alla stessa temperatura, la ruota non si muoverà sempre nella stessa direzione ma casualmente avanti e indietro e così non produrrà alcun lavoro utile. Il motivo di ciò è che il dente d'arresto, essendo alla stessa temperatura delle pale, subirà anch'esso il moto browniano, muovendosi casualmente in alto e in basso, così da fallire ogni tanto nel proprio scopo consentendo a un dente della ruota di scivolare indietro. Un altro fatto è che mentre il nottolino rimane sulla faccia del dente che sta scivolando, la molla che richiama il nottolino esercita una forza laterale sul dente che tende a muovere la ruota dentata in direzione inversa.



Mesoni mu

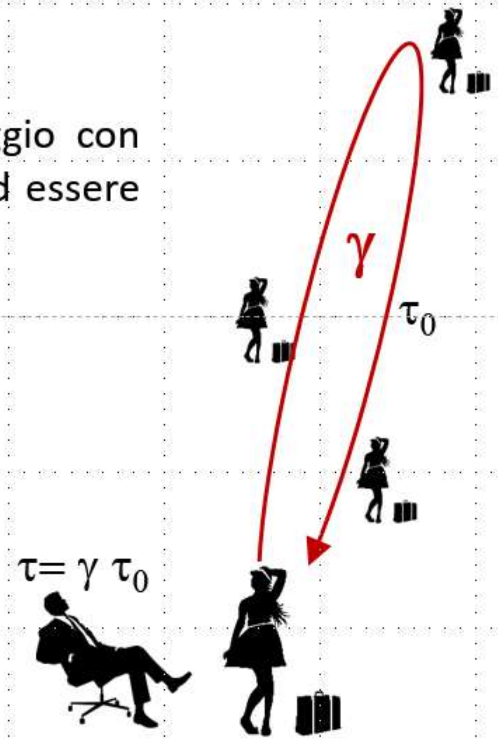
Relatività - Gemelli

Cosa dice la RS: Un orologio standard, in moto rispetto ad un osservatore, appare a questo andare più lentamente di un identico orologio standard solidale con lo stesso osservatore. Quindi quando li confronto l'orologio dell'osservatore segna un tempo τ maggiore di un fattore γ rispetto la tempo τ_0 misurato dall'oggetto in moto.

$$\boxed{\tau = \gamma \cdot \tau_0}$$

Come viene posto: L'uomo e la donna sono due gemelli che hanno la stessa età. L'uomo sta sulla Terra. La donna parte per un viaggio con velocità $\gamma = 10$, e torna dopo $t_0=1$ anno, sul suo orologio. Per l'uomo il tempo passato è $t=\gamma t_0= 10$ anni.
Quindi l'uomo è 10 anni più vecchio, mentre le donna solo 1 anno più vecchia.
Ma, nel sistema di riferimento della donna, è l'uomo che ha fatto il viaggio con velocità γ, quindi la donna vede il tempo dell'uomo dilatato di $\gamma\tau$, ed è lei ad essere più vecchia di lui. Quindi chi sarà più vecchio alla fine del viaggio?

La soluzione: I due sistemi [l'uomo, la donna] **non sono equivalenti.**
Perché l'uomo sta fermo, è quindi un sistema inerziale, mentre la donna in almeno tre punti [partenza, inversione della velocità, arrivo] DEVE accelerare, quindi il suo non è un sistema inerziale e non posso scrivere banalmente le relazioni relativistiche.
Quello che succede in realtà è che alla fine è l'uomo ad essere più vecchio.
Ma non è semplice da vedere (calcolare).



Elettroni e fenditure

Cosa dice la Meccanica Quantistica:
Gli elettroni, appena vengono emessi dalla sorgente, sono descritti da una funzione d'onda che ''rappresenta'' il sistema.

La funzione d'onda è un'ampiezza di probabilità, cioè è legata alla probabilità di ottenere certi risultati «SE FACCIO UN'OSSERVAZIONE», cioè se misuro il sistema.

L'elettrone prima di essere misurato ha solo la potenzialità di avere certe proprietà, ma non le possiede (quindi non è né un'onda né una particella)…solo dopo acquisirà una delle possibili proprietà, a seconda dell'oggetto con cui interagisce.

Il Gatto di Schrödinger

Cosa dice la Meccanica Quantistica:

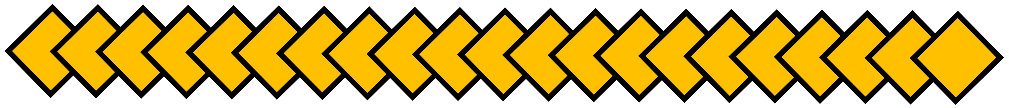
….fin quando non guardo il sistema, questo può stare in una sovrapposizione di stati |gatto vivo> + |gatto morto>…. Che non ha molto senso.

Soluzioni?

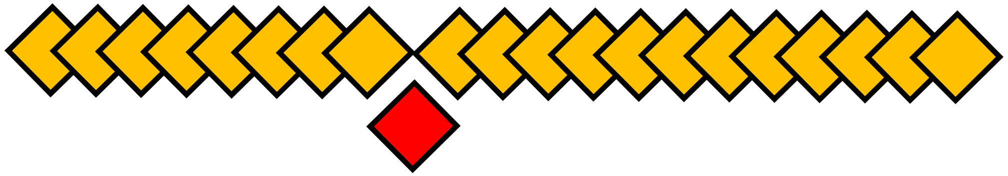
- Il gatto è un oggetto macroscopico, fatto di tantissimi atomi che interagiscono con l'ambiente, quindi ''collassa'' continuamente….sarà vivo oppure morto.
- Teoria dei multiversi di Everett: tutte le probabilità previste dalla funzione d'onda si realizzano in un universo diverso. Noi vediamo solo quello che succede in uno di questi, quello in cui siamo. [*Il giardino dei sentieri che si biforcano* di J.L. Borges]
- Foliazione delle menti, di D. Albert e B. Lower ….complicato.
- Teorie delle variabili nascoste alla Bohm (vale per tutta la MQ): in realtà il sistema è completamente deterministico, non probabilistico, solo che non conosco alcune variabili (posizione)
- Teoria GRW della localizzazione spontanea: tutti i costituenti elementari del modo fisico dotati di massa subiscono, a tempi a caso e con una certa frequenza media, dei processi spontanei di localizzazione spaziale…gli oggetti macroscopici si localizzano spontaneamente in miliardesimi di secondo, quelli microscopici devono spettare un'interazione.
  $\lambda \approx 10^{-16}\ s^{-1}$. Un elettrone si localizza ogni miliardo di anni – Un gatto quasi subito.

Il problema di Monthy Hall (i pacchi) 1.

1. Si parte con 20 (p.e.) pacchi, uno dei quali contiene un premio, gli altri nulla.



2. Il giocatore inizia scegliendo uno dei pacchi, a caso.



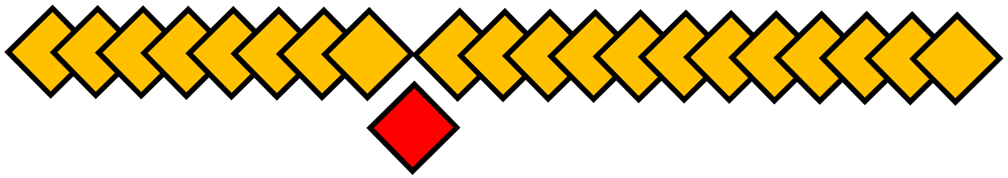
3. Si va avanti eliminando tutti i pacchi, ed alla fine si finisce con due pacchi, quello del giocatore ed un altro. Uno dei due è quello vincente. Al giocatore viene proposto di fare lo scambio dei due pacchi.
Gli conviene o no?

Il problema di Monthy Hall (i pacchi) 2.

4. Se il giocatore rimane con il suo pacco la probabilità che sia quello vincente è di 1/20 = 5%
5. Se cambia il pacco, la probabilità che l'altro sia quello vincente è ½ = 50%

Cambiando il pacco il giocatore aumenta la probabilità di vincita dal 5% al 50%, quindi di 10 volte!

6. Il giocatore inizia scegliendo uno dei 20 pacchi, la probabilità che quello che ha scelto sia quello vincente è di 1/20 = 5%



7. Alla fine l'altro pacco è l'unico dei due rimasti, uno dei due è quello vincente, la probabilità che il pacco rimasto sia quello vincente è di ½ = 50%

P(vincente)= 5% P(vincente)= 50%