

# La visione del mondo della Relatività e della Meccanica Quantistica

Settimana 1

Lezione 1.1 – Il punto della situazione

Carlo Cosmelli



**coursera**



# Il XX secolo, nascono due nuove teorie fisiche

1900: Lord Kelvin all'Associazione britannica per il progresso della Scienza dice...

E invece no! Tante, troppe, cose non tornavano.  
Nel XX secolo nascono due nuove teorie:



## Le Teorie della Relatività

## La Meccanica Quantistica

Create da una sola persona,  
Albert Einstein,  
in due anni precisi:

- ❖ La Relatività speciale nel **1905**
- ❖ La Relatività generale nel **1916**

Creata a partire dal **1900** fino  
al **1927** da Bohr, Planck, Born,  
Pauli, Einstein, De Broglie,  
Dirac, Heisenberg,  
Schrödinger, von Neumann...  
Ampliata nel 1940, 1986,  
2012...

# Facciamo il punto della situazione 1

- ❖ 1600/1700 (ri)nasce la scienza. Nasce la scienza moderna
  - ❖ La Meccanica: Galileo, Newton...
  - ❖ «sensate esperienze», «necessarie dimostrazioni», «provare e riprovare».
- ❖ 1815... La Termodinamica ci fornisce la direzione dei fenomeni naturali. Il Tempo.
- ❖ La seconda metà del XIX secolo:
  - ❖ 1859 C. Darwin – nasce la teoria dell'evoluzione, L'origine delle specie.
  - ❖ 1863 Möbius: l'anello ad una sola superficie (...J. S. Bach)
  - ❖ 1864 Maxwell, Faraday...: Elettricità + Magnetismo = nasce l'elettromagnetismo (onde e.m. con velocità  $c$ )
  - ❖ 1866 Mendel: nasce la genetica
  - ❖ 1869 Mendeleev – Il sistema periodico degli elementi.
  - ❖ 1873 Levi Strauss brevetta i (blue)jeans con i rivetti di rame.
  - ❖ 1874 Scade il brevetto sul telefono di Meucci.
  - ❖ 1874...1927 Parigi, Salon des Indépendantes: Braque, Cezanne, Duchamp, Léger, Matisse, Van Gogh.
  - ❖ 1887 Michelson & Morley provano a misurare **l'etere: ...che non c'è (?)**.
  - ❖ 1895 I fratelli Lumière – nasce il Cinema.
  - ❖ 1895 Marconi: nasce la radio



# Da dove partiva la scienza nel 1900



## ❖ Il mondo:

- Esiste lo Spazio Assoluto → Euclideo.
- Esiste il Tempo assoluto (indipendente dallo Spazio).
  - Entrambi isotropi e omogenei.
- Vale la Relatività galileiana (vedremo meglio dopo).
- Valgono i Principi della Dinamica (Newton).
  - Se ho molte particelle: Termodinamica.
  - Esistono due forze: gravitazionale & elettrica/magnetica.
- ❖ Leggi deterministiche, o probabilistiche per i sistemi complicati (per mancanza di conoscenza oppure per ragioni intrinseche) →
- ❖ Per definire lo stato di un sistema mi basterebbe sapere: [posizione e velocità] + [massa e carica elettrica].

### INDETERMINAZIONE CLASSICA

- P. S. Laplace 1776: le certezze.
- L. Boltzmann 1897: l'incertezza 1.
- H. Poincaré 1903: l'incertezza 2.
- E. N. Lorentz 1963: il caos deterministico.





## ❖ La teoria della Relatività ristretta fu postulata:

1. Un secolo prima della meccanica quantistica
2. In parallelo con gli studi meccanica quantistica
3. Diversi secoli dopo la formulazione della meccanica quantistica da parte di Planck.

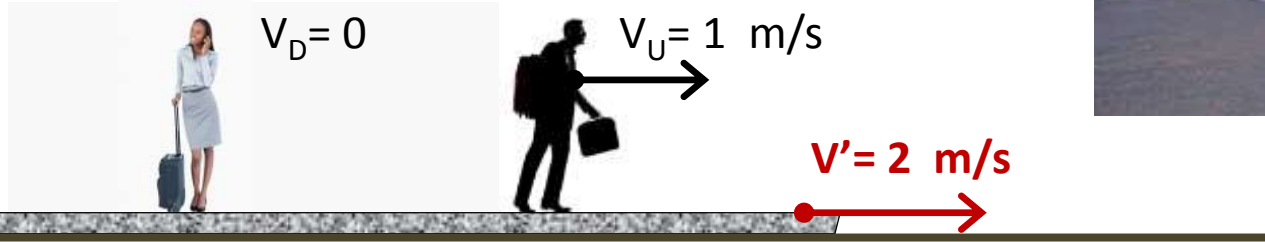
## ❖ Lo spazio assoluto

1. Non è mai stato ipotizzato prima del 1900.
2. E' stato ipotizzato dai Greci 2400 anni fa e poi abbandonato.
3. E' stato considerato esistente e reale fino ai primi del '900.

# Alcune cose non tornano: La luce – calamite e correnti

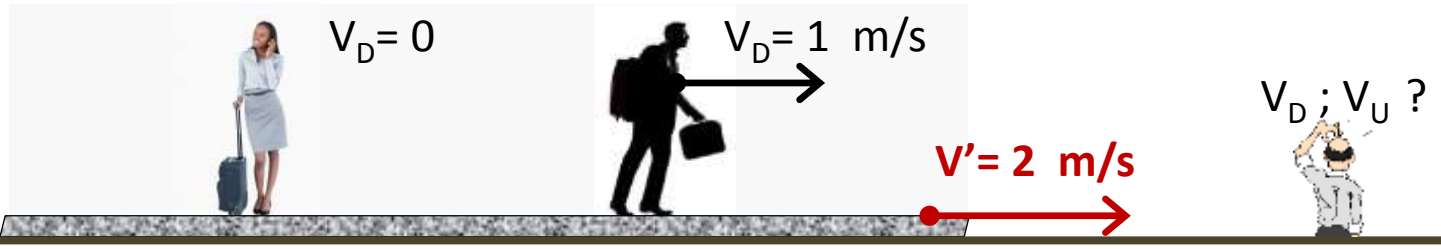
## Il problema della velocità della luce

- Come si compongono le velocità secondo Galileo.



- Il nastro trasportatore si muove con velocità  **$V' = 2 \text{ m/s}$ , rispetto al terreno.**
- La signora sta ferma sul nastro; **rispetto al nastro ha una velocità  $V_D = 0 \text{ m/s}$**
- Il signore si muove sul nastro; **rispetto al nastro ha una velocità  $V_U = 1 \text{ m/s}$**

# La composizione delle velocità secondo Galileo



- Il nastro trasportatore si muove con velocità **V' = 2 m/s, rispetto al terreno.**
- La signora sta ferma sul nastro, **rispetto al nastro ha una velocità V\_D = 0 m/s**
- Il signore si muove sul nastro, **rispetto al nastro ha una velocità V\_U = 1 m/s**

**Che velocità hanno le due persone rispetto ad un osservatore fermo sul terreno?**

**Somma di velocità secondo Galileo:** 

**V<sub>D/U</sub> (terreno) = V<sub>D/U</sub> (rispetto al nastro) + V (nastro), quindi:**

$V_D$  (terreno) =  $V_D$  (rispetto al nastro) + V (nastro) = 0 + 2 = 2 m/s

$V_U$  (terreno) =  $V_U$  (rispetto al nastro) + V (nastro) = 1 + 2 = 3 m/s

# La composizione delle velocità

Lo stesso discorso vale per qualunque velocità, in un verso o nell'altro:

$$V(\text{donna}) = 5 \text{ km/ora} \quad V'(\text{tapis roulant}) = - 5 \text{ km/ora}$$

$$V(\text{donna rispetto al terreno}) = V + V' = 5 - 5 = 0!$$



...e dovrebbe valere anche per la velocità della luce quando viene emessa da un sistema che si muove, per esempio da una persona che sta sulla terra.

Il problema di Faraday e altri: dove «sta» l'energia della luce mentre viaggia? (vedi altri tipi di onde)

L'ipotesi è che la luce venga trasportata dall'etere, immobile rispetto alla Terra.

**Nel 1887 Michelson e Morley fanno la misura «lanciando» la luce una volta nel senso di rivoluzione della Terra, una volta in senso contrario, e perpendicolarmente:**



**NON VEDONO NESSUNA DIFFERENZA!**

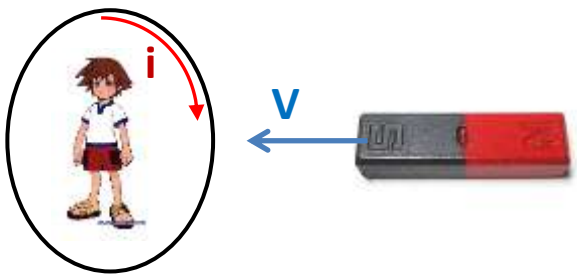
**Le formule della Relatività galileiana non funzionano!**



# Altre cose che non tornano: spire, magneti e correnti indotte



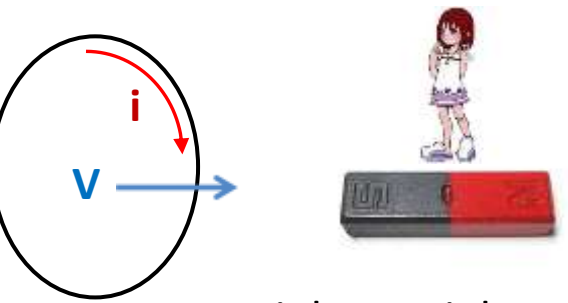
1. L'osservatore è solidale con la spira:



1) Muovo il magnete rispetto alla spira: nella spira passa una corrente  $i$

$$i = \frac{f}{R}; \quad f = -\frac{d\phi(B)}{dt}$$

2. L'osservatore è solidale con il magnete:



2) Muovo la spira rispetto al magnete: nella spira passa una corrente  $i$

$$i = \frac{f}{R}; \quad f = \oint \bar{E} \cdot d\bar{l} = -\oint \bar{v} \times \bar{B} \cdot d\bar{l}$$

Nei due casi devo utilizzare due formule diverse per calcolare la corrente  $i$ , **in realtà ho sempre e solo un movimento relativo del magnete rispetto alla spira...** quale formula scegliere?

**NON VA BENE!**

## Quiz 2



- ❖ Una persona seduta su di un autobus in movimento risulta ferma per qualunque osservatore, perché lei non cammina.
  1. vero
  2. falso
  
- ❖ L'esperimento di Michelson and Morley è servito a dimostrare che:
  1. Le leggi di composizione delle velocità postulate da Galileo sono sempre valide in tutti i sistemi di riferimento
  2. Non esiste un mezzo chiamato "etere" in cui si propagano i segnali luminosi
  3. La velocità del suono è inferiore alla velocità della luce

# Il problema delle asimmetrie nei fenomeni elettro-magnetici

Cosa dice la Relatività galileiana (Galileo):

Se ho dei sistemi che si muovono uno rispetto all'altro con velocità costante, le leggi della fisica devono rimanere le stesse. Cioè devo poter utilizzare le stesse formule.

Se devo utilizzare formule diverse per calcolare la corrente nei due casi, allora c'è qualcosa che non va. C'è un'asimmetria che non dovrebbe esserci. Oppure la relatività di Galileo vale solo per la Meccanica.

**Il fatto che la velocità della luce non si possa sommare come tutte le altre velocità, e che alcuni fenomeni elettromagnetici, legati al movimento relativo dei corpi, siano asimmetrici preoccupa molto Albert Einstein.**



## Altre cose che non tornano

- ❖ Il colore del cielo, è nero di notte e azzurro di giorno, perché? (Keplero 1601, Olbers 1826).
- ❖ Il colore degli oggetti in funzione della temperatura.
- ❖ La quantità di radiazione elettromagnetica, di energia radiante, che esce da un corpo nero ( $\sim$  un forno caldo ).
- ❖ L'elettrone gira intorno al nucleo senza caderci dentro, perché?.
- ❖ Le proprietà assolutamente costanti degli elementi.
- ❖ Le differenze di comportamento fra gli elementi: 1 elettrone in meno fa molta più differenza che molti elettroni in meno:  $\text{Xe}^{54} \neq \text{I}^{53}$  ; ma  $\text{Xe}^{54} \cong \text{Kr}^{36}$ .



# Le soluzioni a (quasi) tutti questi problemi



- **Relatività Ristretta (1905)**
- **Relatività Generale (1915)**
- **Meccanica Quantistica «ortodossa» (1900-1927)**
- **...Meccanica quantistica-relativistica (1940...)**
- **...Modello Standard (→ 2013)**
- **...Modello del Big Bang (→ 2013)**
- **...**



## ❖ La velocità della luce:

1. Si somma con le altre velocità dei corpi secondo le regole date dalla relatività galileiana.
2. E' costante in tutti i sistemi di riferimento.
3. E' costante in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

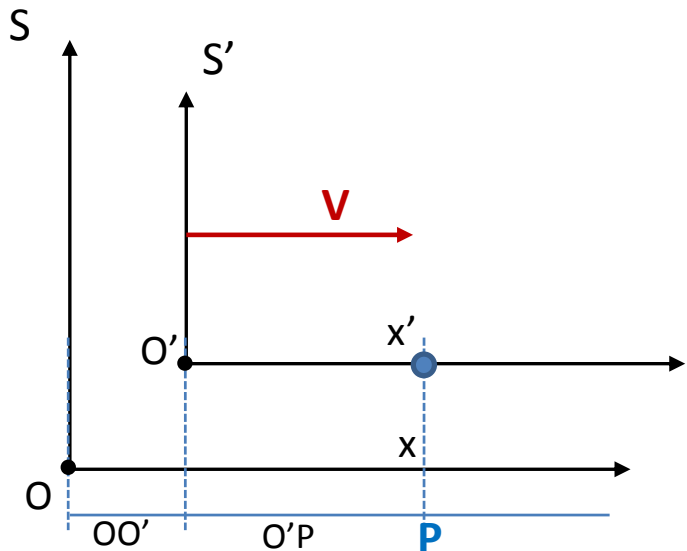
## ❖ La teoria della relatività unita oppure la meccanica quantistica serviranno a dare una giustificazione ad una delle seguenti osservazioni:

1. Tutti i corpi che si trovano sulla Terra e cadono lo fanno con la stessa velocità indipendentemente dalla loro massa
2. L'elettrone gira intorno al nucleo senza caderci dentro.
3. Una carica elettrica positiva ed una negativa si attraggono tanto più quanto più sono vicine.



**Nella prossima lezione cominceremo a vedere come è fatta la Teoria della Relatività, perché spiega alcune cose prima inspiegabili, e quali effetti produce nella vita di tutti i giorni e nella visione del mondo che ci circonda e di tutto l'universo.**

# Somma di velocità



$S(O,x)$ : è il sistema «fermo».

$S'(O',x')$ : è il sistema in moto rispetto ad  $S$  con velocità  $V$ .

$x$  e  $x'$  sono le posizioni del punto  $P$  misurate in  $S$  e in  $S'$ .

$$\overline{OP} = \overline{OO'} + \overline{O'P} \quad \text{(Spazio assoluto)}$$

$$x = Vt + x' = x' + Vt$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + V, \text{ ma: } \mathbf{t = t' !} \quad \text{(Tempo assoluto)}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt'} + V$$

$v = v' + V$  ... le velocità si sommano.

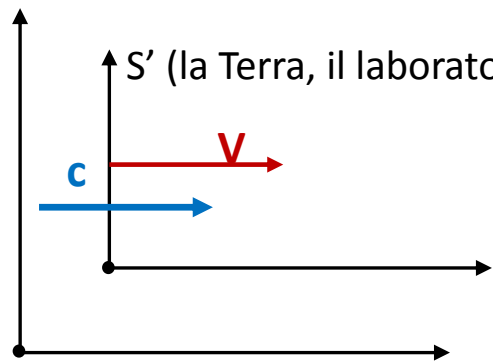




# Michelson & Morley (1887)



S(l'etere)

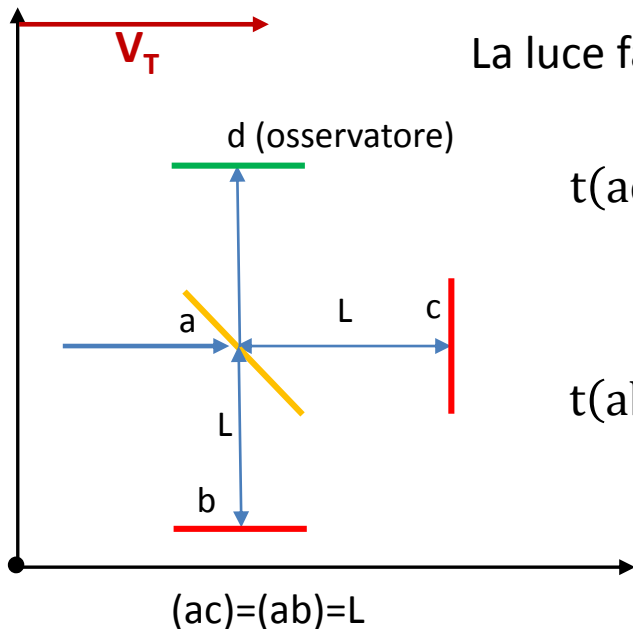


S: è il sistema «fermo» - l'etere che trasporta la luce.

S': è il sistema con velocità V, la Terra, il laboratorio.

$$t(aca) = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - V^2/c^2}$$

$$t(aba) = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$



La luce fa due percorsi: (acad) ; (abad)

$$t(ac) = \frac{L}{c - V} \quad ; \quad t(ca) = \frac{L}{c + V}$$

$$t(ab) = t(ba) = \frac{L}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

