

Oltre la Fisica Classica: Evidenze Sperimentali di Meccanica Quantistica e Relatività

Crisi della Fisica Classica:
• **Meccanica Quantistica**
• **Relatività**

Cecilia Tarantino
Università degli Studi Roma Tre
10 Marzo 2011

Fisica Classica (<1900)

MECCANICA

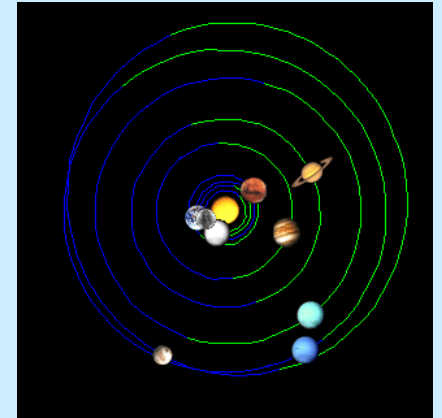
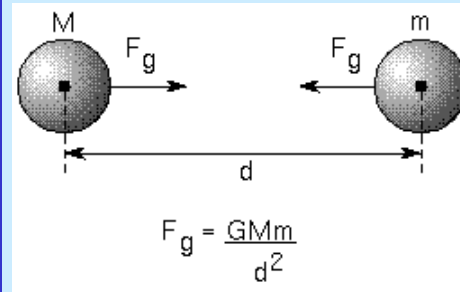


Newton 1686

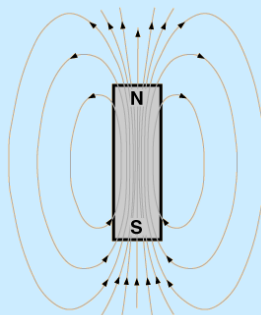
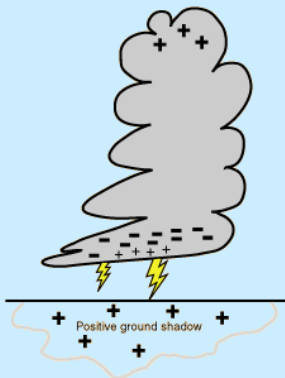
$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

Equazione
del moto

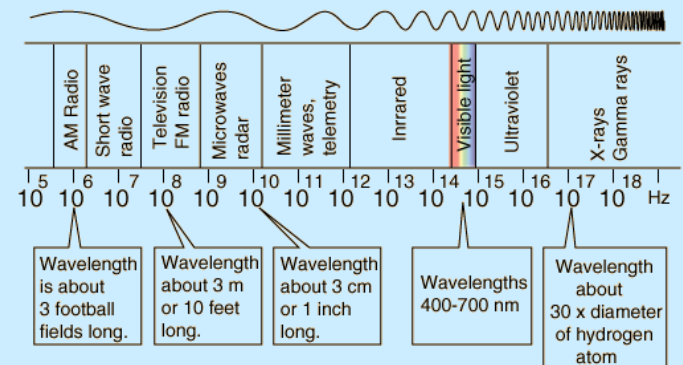
GRAVITAZIONE UNIVERSALE



ELETTRO-MAGNETISMO



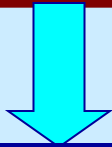
Maxwell 1865



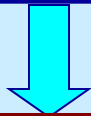
Fine '800 – Inizio '900

Studio di Fenomeni su Scala Atomica:

AZIONE $\approx h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J s}$

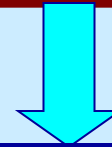


- **Dualismo Onda-Particella**
- **Relazione di Indeterminazione**
- **Probabilismo**
- ...
- ...



MECCANICA QUANTISTICA
[Schrödinger, Heisenberg, Born,...]

VELOCITA' $\approx c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$



- **c: velocità assoluta**
- **Dilatazione dei Tempi**
- **Non-conservazione della Massa**
- ...
- ...

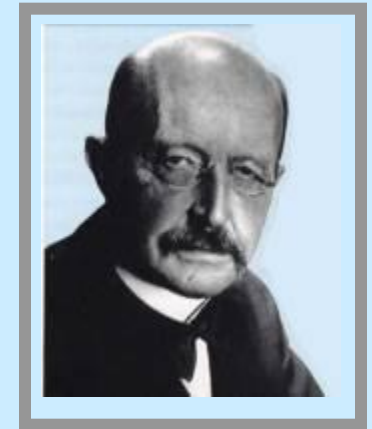
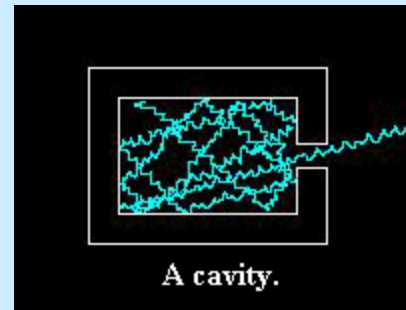
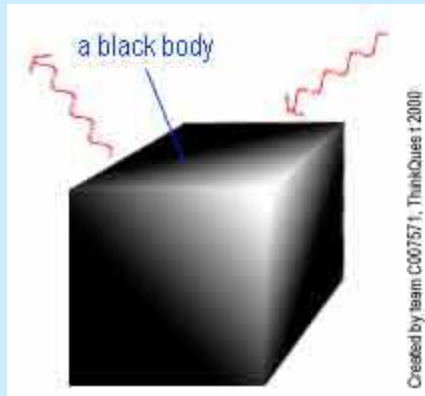


RELATIVITA'
[Einstein]

MECCANICA QUANTISTICA

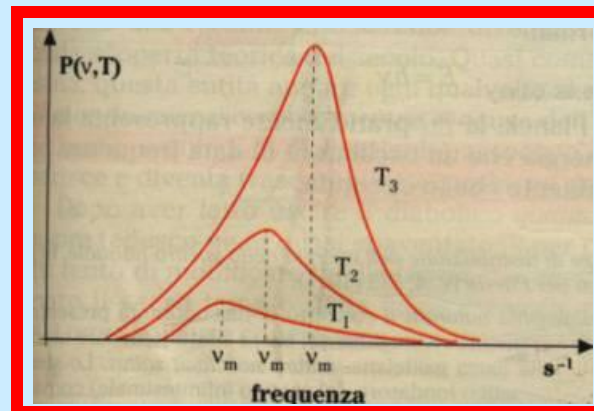
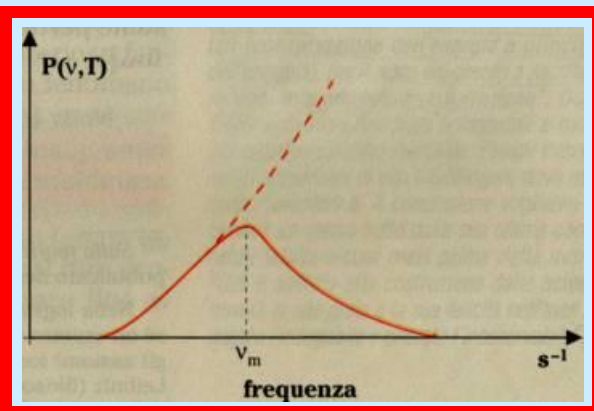
Proprietà Corpuscolari della Radiazione elettromagnetica

SPETTRO DEL CORPO NERO



$$h = 6.6260755 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

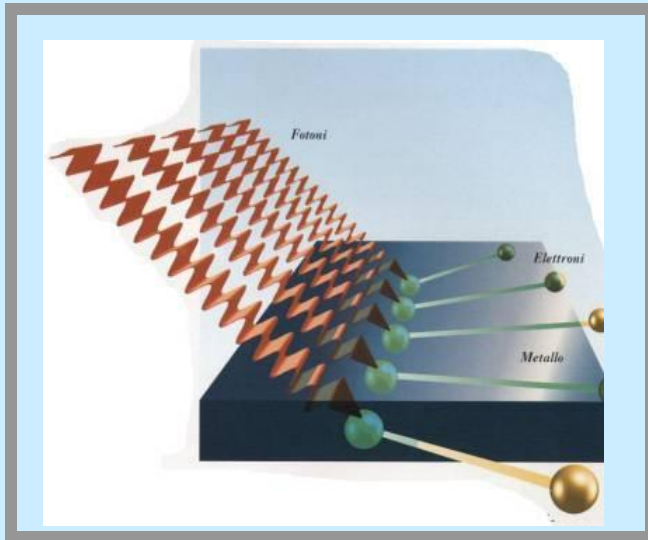
Planck 1900



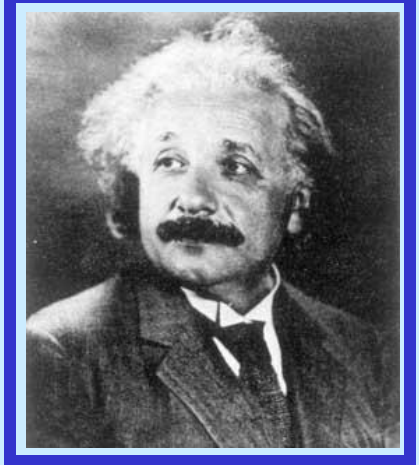
$$u_\nu(\Omega) = \frac{2h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

$$\Delta E = h\nu$$

EFFETTO FOTOELETTRICO



Scoperta:
Hertz 1887



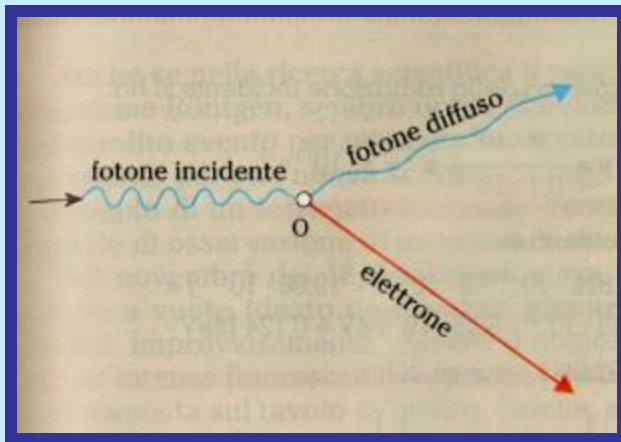
Teoria: Einstein
1905

- ◆ Effetto a soglia: $\nu > \nu_s$
- ◆ $E_{\text{elett.}} \sim \text{frequenza } \nu \text{ dell'onda}$
- ◆ $N_{\text{elett.}} \sim \text{intensità dell' onda}$

FOTONI

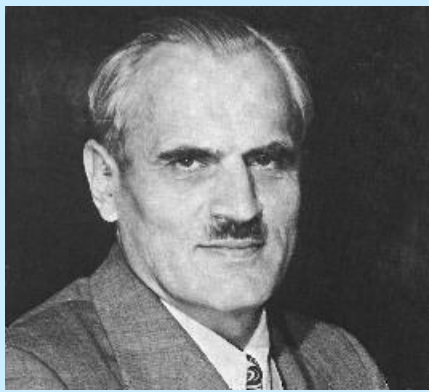
$$\frac{1}{2} m v^2 = h \nu - W$$

EFFETTO COMPTON



$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda \neq 0$$

Urto fotone-elettrone in cinematica relativistica:



Compton 1922

$$E_\gamma = h\nu = hc/\lambda$$

$$p_\gamma = E_\gamma/c$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = (h/mc) (1 - \cos\theta)$$

Proprietà Ondulatorie delle Particelle

DIFFRAZIONE DI ELETTRONI

De Broglie 1923:

anche le "particelle"
sono "onde"

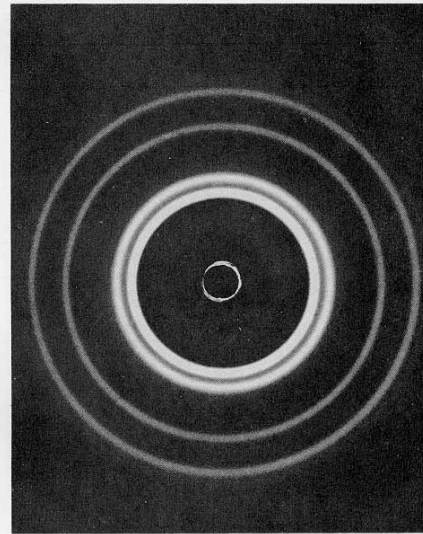


$$p = h/\lambda$$

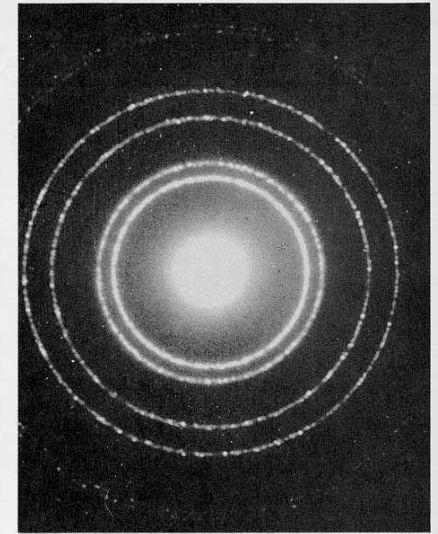


$$\lambda = h/p$$

Raggi X



Elettroni



Davisson e Germer 1927

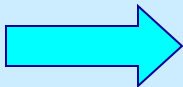
1926-1927:

Principi Fondamentali della Meccanica Quantistica

Su scala atomica:

• materia e radiazione \longleftrightarrow onde-particelle

• non è possibile definirne la traiettoria
[Heisenberg] relazione di indeterminazione


 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

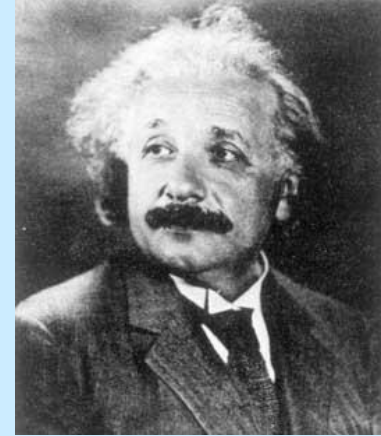
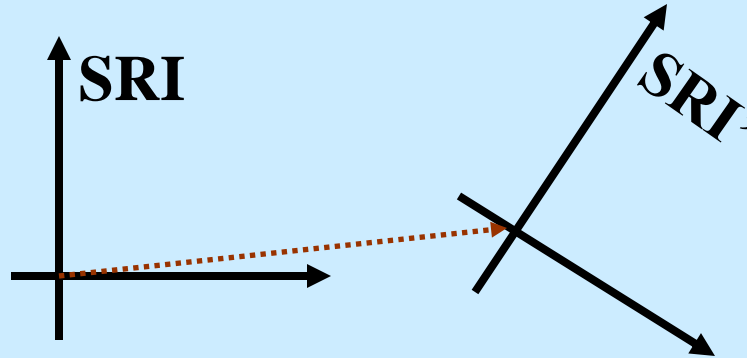
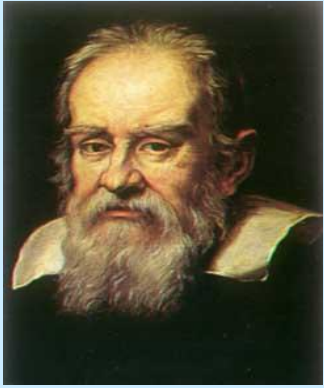


• ~~determinismo~~



probabilismo

RELATIVITA'



Galileo ('600):

Stesse leggi della MECCANICA
in ogni SRI

Trasformazioni di Galileo:

- Tempo assoluto
- Composizione lineare delle velocità

PROBLEMI:

- Sperimentalmente "c" in ogni SRI (Michelson-Morley)
- Eq. di Maxwell non invarianti sotto trasformazioni di Galileo

Einstein (1905):

Stesse leggi della FISICA in ogni SRI

Trasformazioni di Lorentz:

- Tempo relativo
- c: velocità assoluta

CONSEGUENZE:

- Dilatazione dei tempi
- Non-conservazione della massa
- ...

Dilatazione dei Tempi

Einstein:

il tempo dipende dal SRI in cui si osserva il fenomeno

Evidenza sperimentale:

i muoni prodotti nell'alta atmosfera arrivano sulla terra

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$$

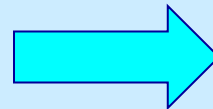
$$N_\mu \xrightarrow{\tau} \frac{N_\mu}{2.718} \xrightarrow{\tau} \frac{N_\mu}{(2.718)^2} \xrightarrow{\tau} \dots$$

$$\tau = 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Tempo proprio
(nel SR dei muoni)

Nel SR “terra” in cui i muoni sono in moto

$$t = \gamma \tau = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tau \cong 20\tau$$



Arrivano sulla terra!

Conversione tra “massa” e “energia”

energia a riposo

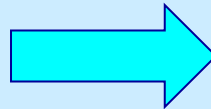
energia cinetica

$$E = E_0 + E_k$$

$$E_0 = mc^2$$

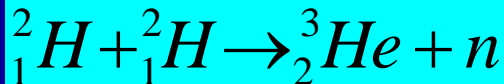
$$E_k = (\gamma - 1)mc^2$$

L'energia totale si conserva



La massa non si conserva

Evidenza sperimentale:
reazioni nucleari



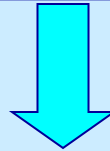
$$M_f < M_i$$

‘900:

Limiti della Fisica Classica—Nascita della Fisica Moderna

Su scala macroscopica:

- **velocità $\ll c$**
- **azione $\gg h$**



La fisica classica continua a descrivere bene la realtà di tutti i giorni (che conosciamo e capiamo)

Niels Bohr, 1927:

“Chi non resta sbalordito dalla meccanica quantistica evidentemente non la capisce”

Richard Feynman, 1967:

“Nessuno capisce la meccanica quantistica”