

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
Febbraio 2023

Fisica Classica (<1900)

MECCANICA

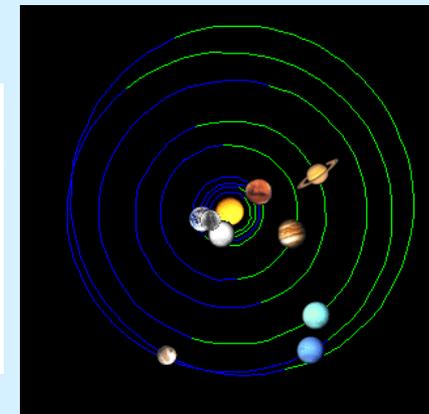
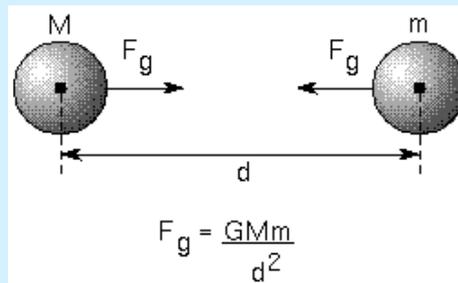


Newton 1686

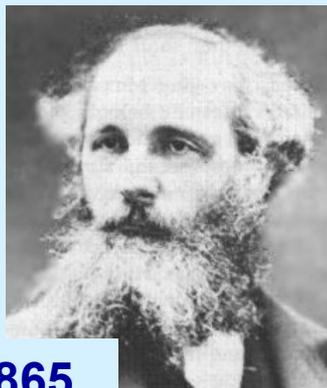
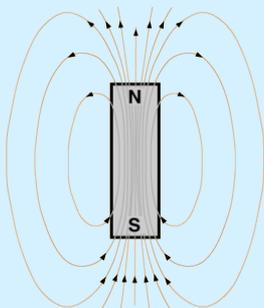
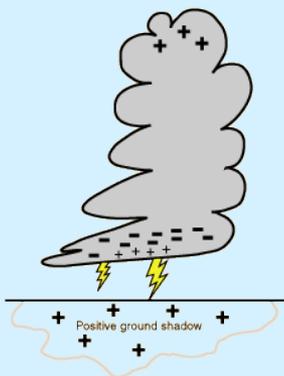
$$F = m \cdot a$$

Equazione
del moto

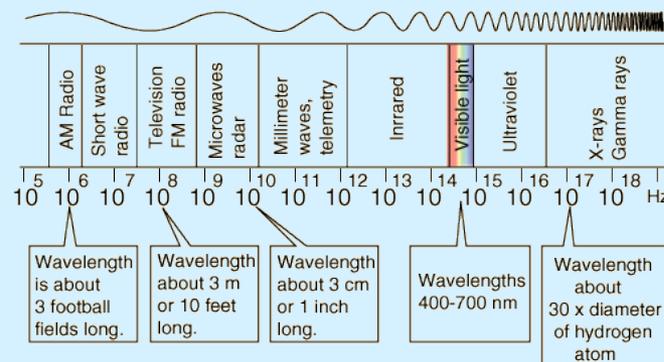
GRAVITAZIONE UNIVERSALE



ELETTRO-MAGNETISMO



Maxwell 1865



Fine '800 – Inizio '900

Studio di Fenomeni su Scala Atomica:

AZIONE $\approx h=6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
(grandezza che caratterizza un sistema
(e le sue dimensioni)
e permette di studiarne il moto)

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

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

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

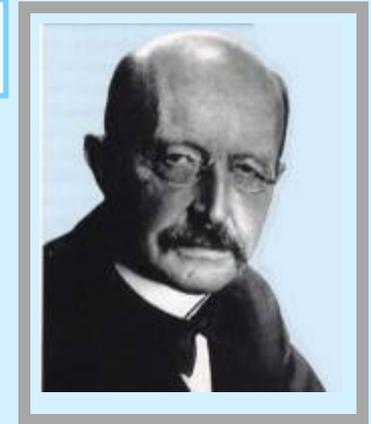
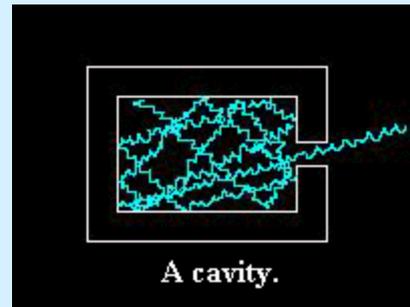
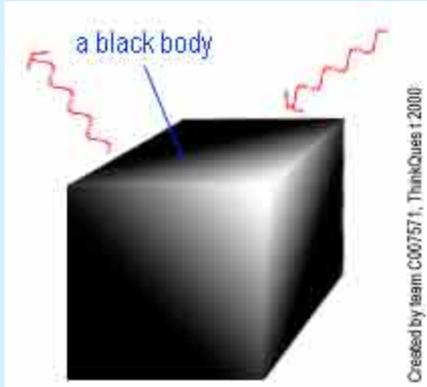
- c : velocità assoluta
- Dilatazione dei Tempi
- Non-conservazione della Massa
- ...
- ...

RELATIVITA'
[Einstein]

MECCANICA QUANTISTICA

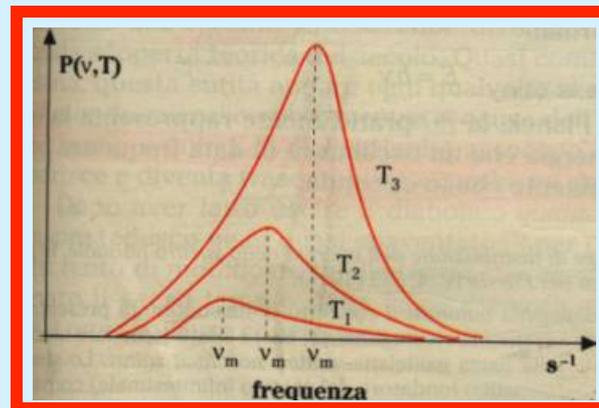
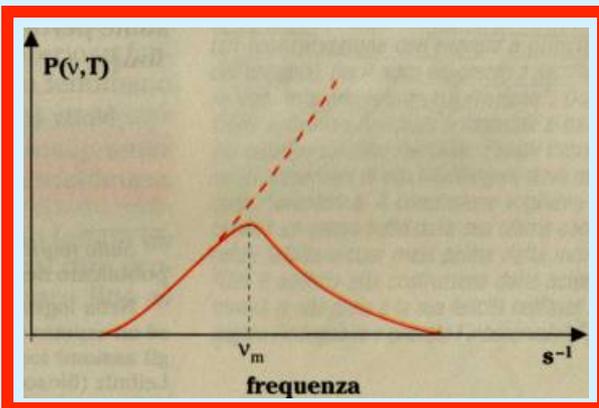
Proprietà Corpuscolari della Radiazione elettromagnetica

SPETTRO DEL CORPO NERO



Planck 1900

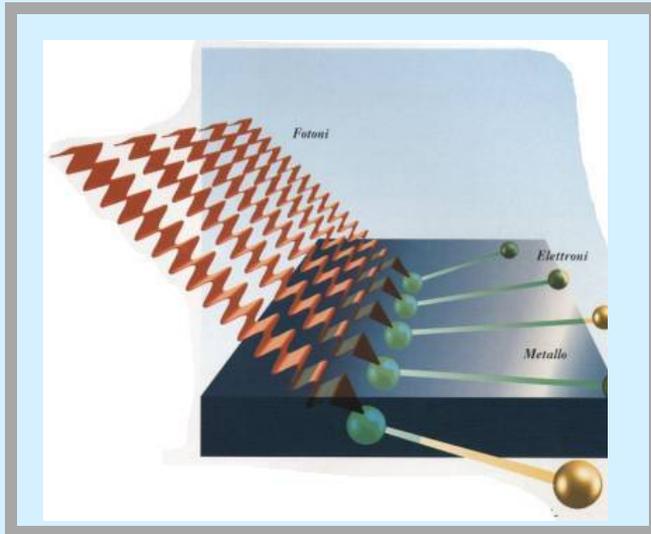
$$h = 6.6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$



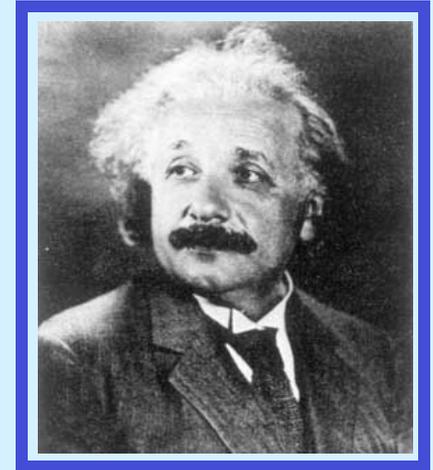
$$u_\nu(\Omega) = \frac{2h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

EFFETTO FOTOELETTRICO



Scoperta:
Hertz 1887



Teoria: Einstein 1905

Effetto a soglia: $\nu > \nu_s$

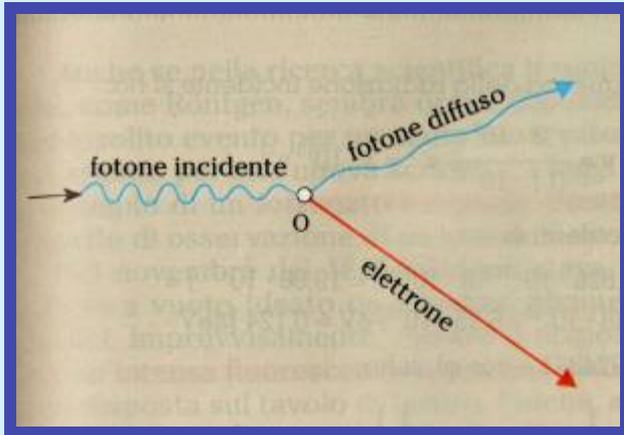
$E_{\text{elett.}} \sim$ frequenza ν dell'onda

$N_{\text{elett.}} \sim$ intensità dell'onda

FOTONI

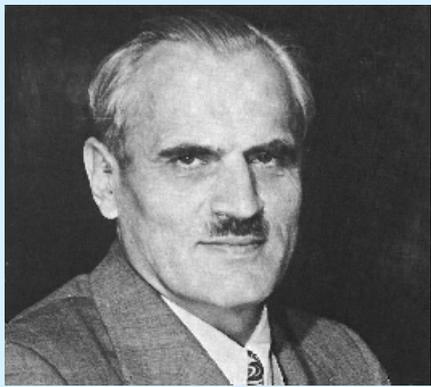
$$\frac{1}{2} m v^2 = h \nu - W$$

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"

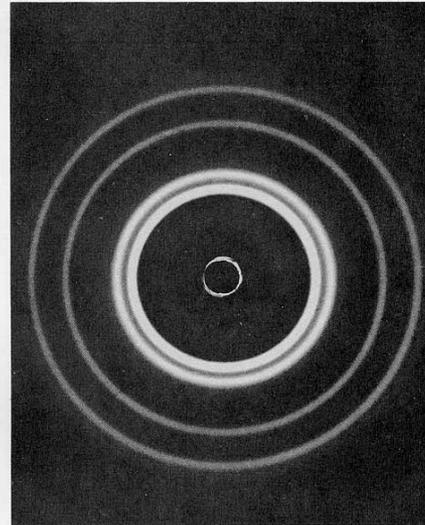


$$p = h/\lambda$$

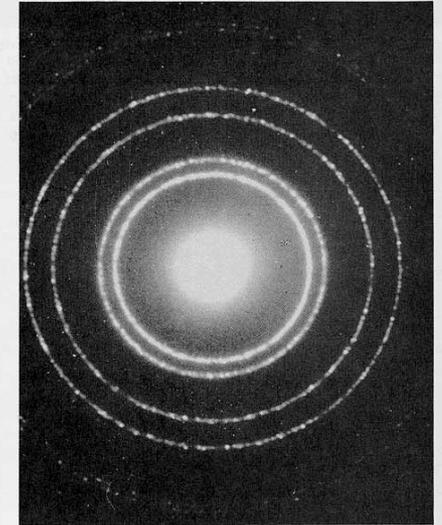


$$\lambda = h/p$$

Raggi X



Elettroni



Davisson e Germer 1927

1926-1927: Principi Fondamentali della Meccanica Quantistica

Su scala atomica:

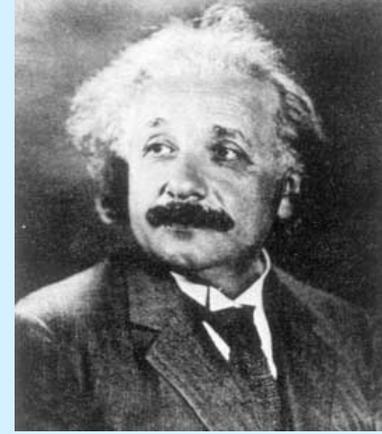
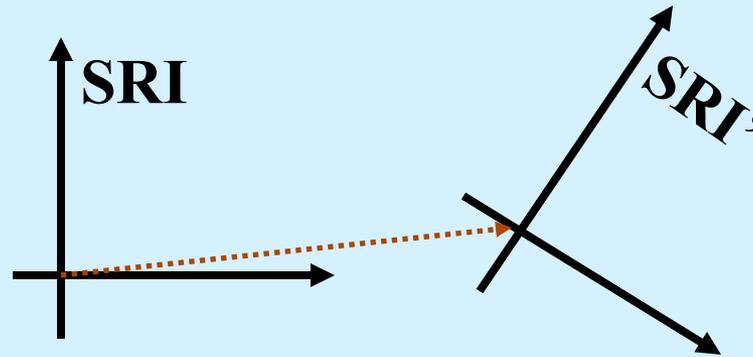
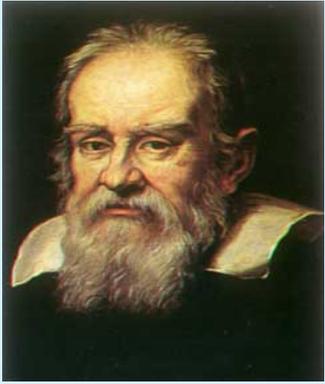
• materia e radiazione \longleftrightarrow onde-particelle

• non è possibile definirne la traiettoria
[Heisenberg] relazione di indeterminazione $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$



~~• determinismo~~ \longrightarrow probabilismo

RELATIVITA'



Galileo ('600):
Stesse leggi della MECCANICA
in ogni SRI

Einstein (1905):
Stesse leggi della FISICA
in ogni SRI

Trasformazioni di Galileo:

- Tempo assoluto
- Composizione lineare delle velocità

Trasformazioni di Lorentz:

- Tempo relativo
- c : velocità assoluta

PROBLEMI:

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

CONSEGUENZE:

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

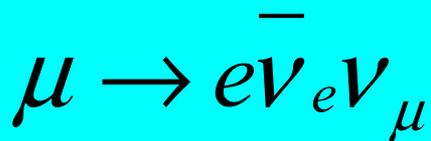
Dilatazione dei Tempi

Einstein:

il tempo dipende dal SRI in cui si osserva il fenomeno

Evidenza sperimentale:

i muoni prodotti nell'alta atmosfera arrivano sulla terra



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

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

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

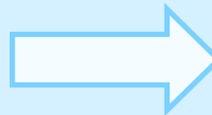
energia cinetica

$$E = E_0 + E_k$$

$$E_0 = mc^2$$

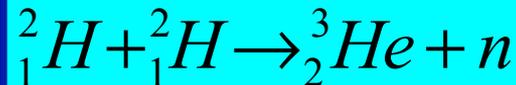
$$E_k = (\gamma - 1)mc^2$$

L'energia totale si conserva



La massa non si conserva

**Evidenza sperimentale:
reazioni nucleari**

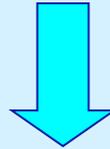


$$M_f < M_i$$

'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"