

Fisica delle Interazioni Fondamentali

All'inizio del '900 due grandi rivoluzioni scientifiche

Meccanica Quantistica

Relatività Ristretta

(più tardi anche Relatività Generale)

ONDE GRAVITAZIONALI

MECCANICA QUANTISTICA

Planck (1858-1947)

Bohr (1885-1962)

de Broglie (1892-1987)

Schroedinger (1887-1961)

Heisenberg (1901-1976)

Pauli (1900-1958)

Dirac (1902-1984)

Born (1882-1970)

Principio di indeterminazione e stabilità dell'atomo di H

Principio di sovrapposizione

Materia e Radiazione

La Meccanica Quantistica mostra come molte quantità non sono continue, come suggerito dalla Teoria Classica, ma discrete

Ad esempio un fascio di luce propaga la sua energia (e impulso) per quantità discrete: i Fotoni

$$E = h\nu$$

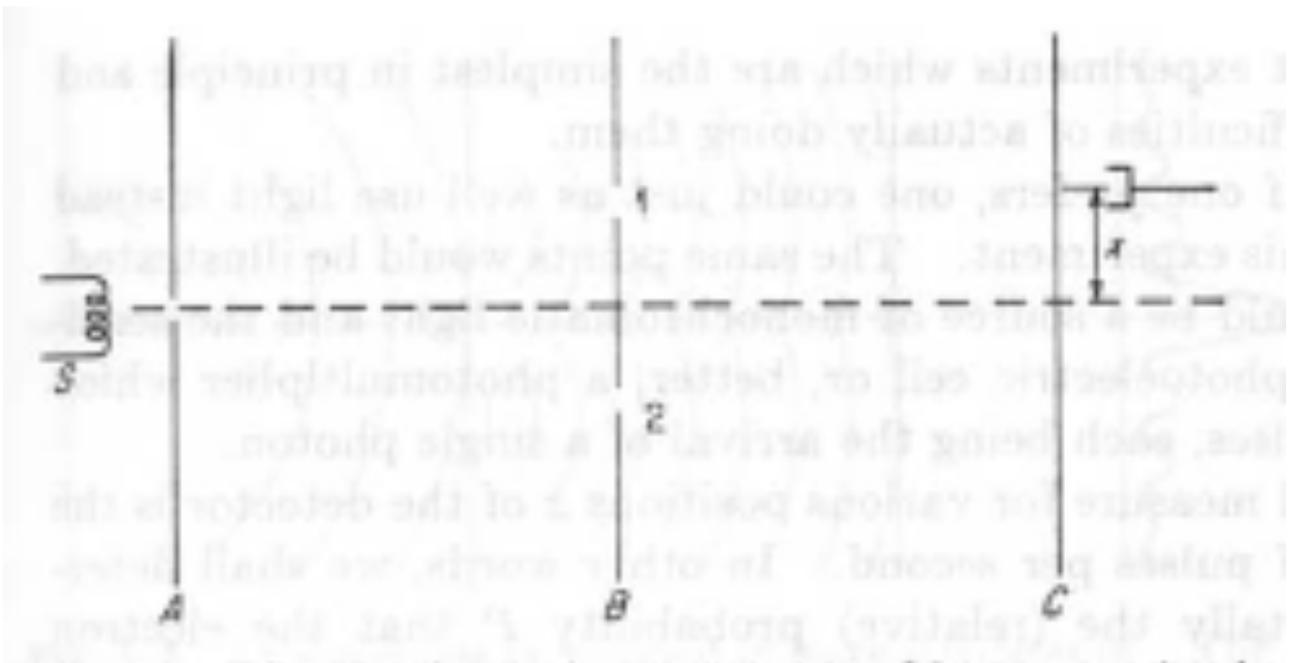
$$p = \frac{h\nu}{c}$$

ν è la frequenza (?) dell'onda elettromagnetica
(in Meccanica Quantistica dualismo onda \Leftrightarrow particella)

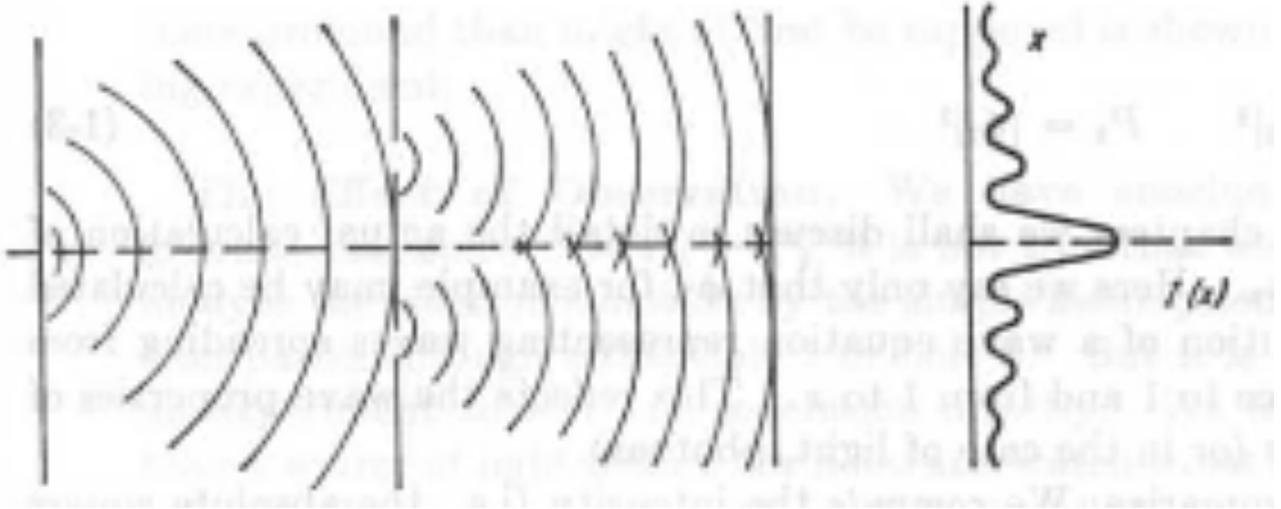
$$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Questa discretizzazione dell'energia e dell'impulso è estesa dalla Meccanica Quantistica a tutte le forme di materia
I fotoni e in generale le cosiddette particelle non sono particelle in senso classico

Interferenza



Luce



$$I = \vec{E}^2$$

I intensità, \vec{E} Campo elettrico

Linearità

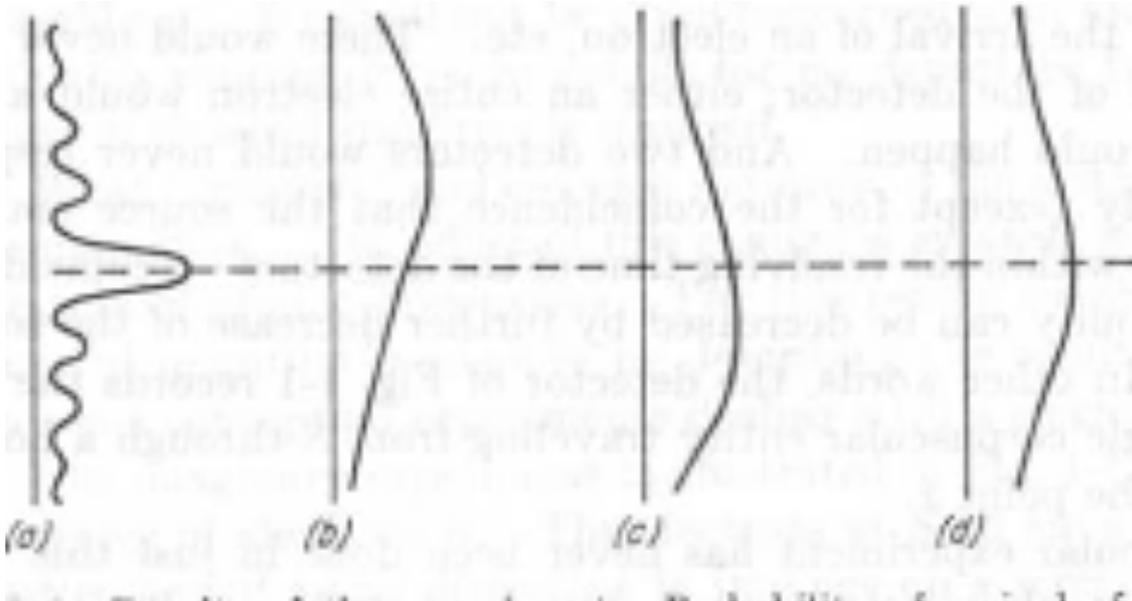
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Interferenza (I per alte frequenze)

$$I \propto \vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2 + 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \neq I_1 + I_2$$

Ridistribuzione dell'intensità

Elettroni (Fotoni)?



Meccanica Quantistica (Linearità)

Funzione d'onda e probabilità (Riduzione della Funzione d'Onda)

$$|\psi(x)|^2 dx$$

Linearità

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_1(x) + \psi_2(x))$$

Interferenza

$$|\psi(x)|^2 = \frac{1}{2}(|\psi_1(x)|^2 + |\psi_2(x)|^2 + 2\text{Re}\psi_1\psi_2^*)$$

RELATIVITA' RISTRETTA

Einstein (1879-1955) Elettromagnetismo e velocità della luce:
etere ed esperienza di Michelson-Morley

Tutte le interazioni si propagano con velocità finita

La velocità della luce è la velocità limite

Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz

(Essenziali per la tecnologia moderna)

Macchine acceleratrici

Composizione delle velocità

Contrazione delle lunghezze e dilatazione dei tempi

Paradosso dei gemelli e orologi in movimento

Relatività della simultaneità

Un'onda elettromagnetica trasporta
quantità di moto \vec{p}
ed energia E ,
collegati dalla relazione

$$E = c|\vec{p}|$$

Inerzia dell'energia ed energia associata all'inerzia

$$E = mc^2$$

Non si conservano separatamente massa ed energia, si
conserva solo l'energia

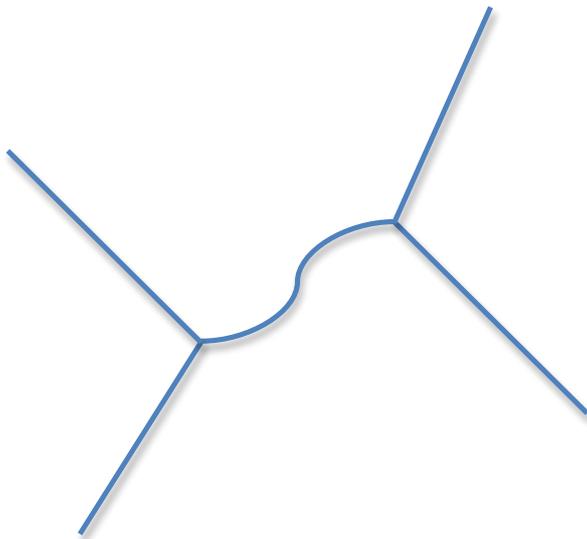
$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

**Bisogna aspettare la Meccanica Quantistica per avere
una prova generale della convertibilità
massa-energia**

Energia di legame nucleare

$$e^+e^- \leftrightarrow \gamma\gamma$$

La relatività della simultaneità,
insieme al principio di Azione e Reazione, richiedono che le
interazioni siano tutte di contatto!



La discretizzazione è vera, in particolare, oltre che per l'impulso, la carica, anche per il momento angolare: una radiazione trasferisce, oltre ad impulso-energia anche momento angolare, portato dai singoli quanti del campo.

Parliamo dello "spin", momento angolare minimo intrinseco

$$S = \frac{n}{2} \frac{h}{2\pi} \equiv \frac{n}{2} \hbar \quad n = 0, 1, \dots$$

$$\hbar \equiv \frac{h}{2\pi} = 1.054 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Ad esempio per il fotone abbiamo

$$s = \hbar,$$

mentre per l'elettrone

$$s = \frac{1}{2} \hbar$$

In Fisica Classica abbiamo, da una parte, l'equazione del
moto

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

poi serve la forma esplicita delle forze

Analogamente in MQ

Meccanica Quantistica+Relatività Ristretta



a) **Relazione tra Spin&Statistica**

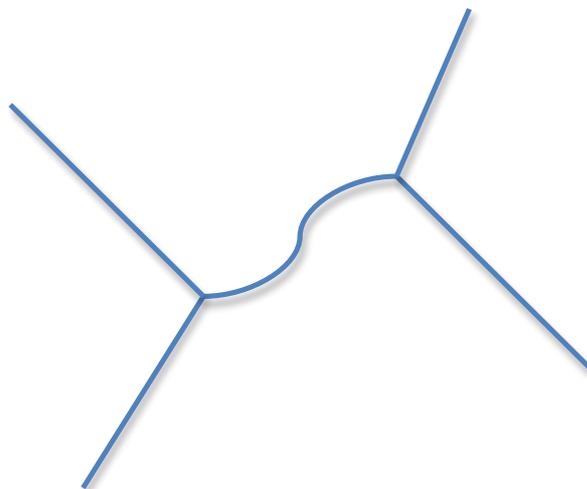
Particelle con spin semi-intero (es. elettroni) sono fermioni:
obbediscono al principio di esclusione di Pauli

Meccanica Quantistica+Relatività Ristretta



b) **Esistenza dell'Antimateria**

Diminuendo l'intensità delle onde classiche arriviamo ai
diagrammi di Feynman



Equazioni del moto, ovvero: come è fatto il mondo?

Modello Standard

Salam (1926-1996)-Weinberg (1933 →)

Interazioni Forti

Adroni (protoni, neutroni,.....mesoni, nuclei)

Interazioni a corto raggio $\approx 10^{-13}$ cm

Intensità $\equiv 10$

Vite medie $\approx 10^{-23}$ sec

Mediatori: **GLUONI** (m=0)

Quark (spin $1/2$) e Gluoni (spin 1)

Tre famiglie di quark: u, d, charm, strange, top, bottom

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

$$Q = \begin{pmatrix} 2/3 \\ -1/3 \end{pmatrix}$$

$$B = \frac{1}{3}$$

Colore e Confinamento



Protone uud

Neutrone udd

Mesoni $\bar{q}q$

Gluoni → Glueballs

Interazioni Elettromagnetiche

Partecipano tutte le particelle cariche

Range ∞

Intensità = $1/137$

Vite medie $\approx 10^{-16} - 10^{-18}$ sec ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$)

Mediatori: **FOTONI** (m=0)

Non portano carica

Interazioni (Elettro)-deboli

Adroni, leptoni

Range 10^{-16} cm

Intensità = 10^{-6}

Vite medie $\approx 10^{-6} - 10^{-12}$ sec

Importanza delle simmetrie e della loro violazione

Violazione della Simmetria di Carica

Violazione della Parità

Violazione dell'inversione Temporale

Mediatori: BOSONI VETTORIALI

(Estensione del concetto di fotone)

$m_{W^\pm} \approx 80.4$ Gev $m_{Z^0} \approx 91.2$ Gev

Tre famiglie di leptoni

$$\begin{pmatrix} \nu_{eL} \\ e_L \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_{\mu L} \\ \mu_L \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_{\tau L} \\ \tau_L \end{pmatrix}$$

Elettrone $m_e \approx .5 \text{ Mev}$

neutrino ν_e

Muone μ $m_\mu \approx 105 \text{ Mev}$

neutrino ν_μ

τ $m_\tau \approx 1776 \text{ Mev}$

neutrino ν_τ

Bosone di Higgs $M_H = 125.3 \text{ Gev}$

(Ultimo pezzo trovato)

**Quark e leptoni molto diversi, ma simili sotto il profilo
delle interazioni elettrodeboli**

Interazioni Gravitazionali

Mediatori: **GRAVITONI???** (m=0)

range infinito

intensità (su scala atomica) = 10^{-40}

Dal punto di vista quotidiano:

Interazioni Forti (quark u e d)+Elettromagnetismo+Gravitazione,

ma all'inizio dell'Universo.....

Strumenti sperimentali: **Acceleratori di Particelle**

$E = mc^2$ permette di produrre particelle con masse anche molto elevate

Acceleratori di particelle come radiografie
(per i quark)

Alte energie <-> piccole distanze

LHC

Energia per protone 8 Tev= $8 \cdot 10^3$ Gev

(1 Gev~peso del protone)

Circonferenza del Tunnel 27 Km

Velocita` massima dei protoni 0.99999991 c

Strumenti teorici

Campi di Yang&Mills

Analogia con Elettromagnetismo

Simmetrie e loro rotture

Geometrizzazione in analogia con Relatività Generale

Grande Unificazione

(uguaglianza della carica elettronica e protonica)