



Zeno Martini (admin)

IL FOTONE E LA MASSA

24 July 2020

Premessa

Alcuni mesi fa, [Clavicordo](#), dopo la lettura dell'[articolo](#) sulla formula fisica più famosa, mi aveva invitato a scrivere qualcosa sui fotoni. Io non sono fisico esperto, leggo solo qualche libro divulgativo, ma dopo avergli risposto che non mi sentivo all'altezza del compito, ho cercato di saperne qualcosa di più. Quanto segue sono un paio di appunti del mio tentativo di capire: non sono andato oltre. Li pubblico nel blog sperando che qualche lettore sia in grado di proporre approfondimenti per i frequentatori di EY.

Particelle di massa nulla?

La formula di Einstein, $E = mc^2$, stabilisce l'equivalenza tra massa ed energia.

Quali conseguenze comporta sulla nostra conoscenza della realtà fisica?
Ha senso continuare a distinguere tra massa ed energia?

Precisiamo intanto la differenza tra massa a riposo e massa relativistica.

La massa a riposo di un corpo, indichiamola con m_0 , è quella misurata da un osservatore solidale al sistema di riferimento ancorato al corpo, ed è quella che facciamo corrispondere alla quantità di materia che lo costituisce.

Se il sistema di riferimento ha una velocità v rispetto a quello dell'osservatore, la massa misurata è data da

$$m = m_0\gamma$$

con

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ fattore di Lorentz}$$

La precedente espressione per m è detta massa relativistica.

La formula di Einstein, considerando m come massa relativistica, rappresenta tutta l'energia del corpo che viaggia alla velocità v . Essa comprende sia l'energia cinetica del corpo che l'energia della massa a riposo.

Poiché $\gamma \rightarrow \infty$ per $v \rightarrow c$, un qualsiasi corpo avente massa a riposo non nulla, avrebbe energia

infinita alla velocità della luce, cosa che non possiamo ammettere.

Ne deriva che:

1. un corpo di massa non nulla non potrà mai muoversi alla velocità della luce;
2. se c'è qualcosa che viaggia alla velocità della luce, affinché possa avere un'energia finita, la sua massa a riposo deve essere nulla. Matematicamente in tal caso $m = 0 \cdot \infty$, forma indeterminata il cui risultato può essere qualsiasi numero finito.

Relazione tra energia e quantità di moto

Consideriamo la totale energia di una particella, quindi energia a riposo ed energia cinetica:

$$E = mc^2$$

dove

$$m = \gamma m_0$$

Alla velocità v la quantità di moto (o momento) è

$$p = mv$$

Con qualche elaborazione otteniamo:

$$p = \gamma m_0 v$$

$$p^2 = \gamma^2 m_0^2 v^2 = \frac{m_0^2 v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0^2 v^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

$$p^2 (c^2 - v^2) = m_0^2 v^2 c^2$$

$$p^2 c^2 = m_0^2 v^2 c^2 + p^2 v^2 = v^2 (m_0^2 c^2 + p^2)$$

$$v^2 = \frac{p^2 c^2}{m_0^2 c^2 + p^2}$$

$$E^2 = m^2 c^4 = \gamma^2 m_0^2 c^4 = \frac{m_0^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0^2 c^4}{1 - \frac{p^2 c^2}{m_0^2 c^2 + p^2}} =$$

$$= \frac{m_0^2 c^4 (m_0^2 c^2 + p^2)}{m_0^2 c^2} = c^2 (m_0^2 c^2 + p^2)$$

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

L'ultima espressione consente di scrivere che, se $m_0 = 0$, si ha

$$E = pc \quad [1]$$

Quindi, l'energia di qualcosa la cui massa a riposo è nulla, coincide con il prodotto del suo momento per la velocità della luce.

Questo qualcosa esiste: sono i componenti della luce, cioè delle onde elettromagnetiche: i fotoni.

Quindi esiste energia senza massa. L'energia appare da questo punto di vista un concetto più fondamentale della massa. I fisici, nel campo delle particelle, considerano del resto come unità di misura della massa, l'energia diviso la velocità della luce al quadrato eV / c^2 , che deriva proprio

dalla formula di Einstein.

Con la

Legge di Planck

si può ricavare il momento della quantità di moto di un fotone.

Nello studio della radiazione del corpo nero, Planck arriva a stabilire che un fotone ha un'energia

$$E = h\nu \quad [2]$$

dove

$h = 6,625 \times 10^{-34}$ J s (costante di Planck)

ν frequenza dell'onda elettromagnetica di cui il fotone fa parte.

Eguagliando la [2] alla [1], tenendo conto che la lunghezza d'onda dell'onda elettromagnetica è

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ si trova}$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Il fotone, il protagonista dell'interazione elettromagnetica, ha dunque massa a riposo nulla ed energia data dalla [1] o [2].

Dov'è la massa?

Per quel che se ne sa attualmente, la massa è concentrata nel nucleo dell'atomo e, verrebbe da dire, la massa dell'atomo è in pratica la somma della massa dei protoni e di quella dei neutroni presenti nel nucleo.

Gli elettroni hanno una massa che è circa 2000 volte inferiore a quella dei protoni, quindi il loro contributo alla massa si può anche trascurare.

Oggi sappiamo che protoni e neutroni sono costituiti da quark: un protone due quark u ed un quark d ; un neutrone due quark d ed un quark u .

I quark non esistono come particelle indipendenti, ma la loro massa viene stimata con un certo grado di affidabilità.

Il valore stimato per il quark u è di $2,3 \text{ MeV}/c^2$ mentre quello del quark d è di $4,8 \text{ MeV}/c^2$.

Nelle stesse unità di misura la massa dell'elettrone vale $0,51 \text{ MeV}/c^2$ ed è questa la grossa sorpresa.

I quark hanno una massa solo di alcune unità maggiore di quella dell'elettrone, quindi la massa stimata dei quark che compongono un protone è molto inferiore alla massa nota del protone.

Per la precisione la massa che risulta dalla somma dei quark di un protone, vale $2 \times 2,3 + 4,8 = 9,4 \text{ MeV}/c^2$, quindi solo l'1% della massa nota del protone è di $938,3 \text{ MeV}/c^2$!

Analogo discorso per il neutrone.

Quindi da dove viene il rimanente 99% della loro massa?

Indagini più approfondite non sono in grado di farne.

Mi limito perciò a riportare quanto leggo a pag. 200 del testo divulgativo di Jim Baggot citato nei riferimenti, dal quale derivano le osservazioni precedenti.

la massa del protone e del neutrone, è in gran parte dovuta all'energia dei gluoni ed al mare di coppie quark antiquark create dal campo di colore.

È una spiegazione che potrei solo imparare a memoria ma non sono in grado di capirla.

Per comprenderla occorre studiare la cromodinamica quantistica (QCD) che io non ho ancora iniziato a leggere.

Ad ogni modo riferisco che sono stati pubblicati, nel 2008 e nel 2015, risultati di calcoli effettuati con potentissimi calcolatori che confermerebbero l'origine della massa di protoni e neutroni secondo quanto prevede la QCD.

Beh, per ora almeno, è tutto quel che so dire.

Se qualche fisco arriverà a leggere questo finale, spero sia invogliato a scrivere qualcosa di più approfondito.

Riferimenti e link

- [Massa](#) - Jim Baggot - Biblioteca Scientifica Adelphi
- [Il fotone \(Fisica-Udine\)](#)
- [Il fotone](#)
- [Energia a riposo ed Energia relativistica totale](#)
- [Energy momentum](#)
- [Il lato oscuro dell'universo](#)
- [Le masse dei quark](#)



Flash

Flash



Meditazione sul ponte

Estratto da "<https://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Admin:fotoni-misteriosi>"