

Ottavio Serra

## Interazione elettrostatica quantistica

**Nella meccanica quantistica** la forza agente tra cariche elettriche si spiega con lo scambio di fotoni virtuali. Si ottiene repulsione se l'interazione avviene tra cariche di segno uguale (elettrone – elettrone, positrone – positrone, ...), attrazione tra particelle di carica opposta. Occorre pensare, con Feynman, che un'antiparticella si può interpretare come una **particella** che viaggia all'indietro nel **tempo**.

In generale, qualsiasi particella carica si può interpretare come la sua antiparticella che viaggia all'indietro nel tempo. Ciò permette, applicando la legge di conservazione dell'impulso, di spiegare sia la repulsione sia l'attrazione come uno scambio di bosoni (il fotone è il bosone del campo elettromagnetico). Nelle figure seguenti si immagini che il tempo scorra dal basso verso l'alto dei disegni, dove il basso è il passato e l'alto il futuro.

In generale, l'interazione elettromagnetica tra fermioni (spin semintero) è mediata dallo scambio di bosoni (vettori, spin intero) *virtuali* (virtuali perché ...).

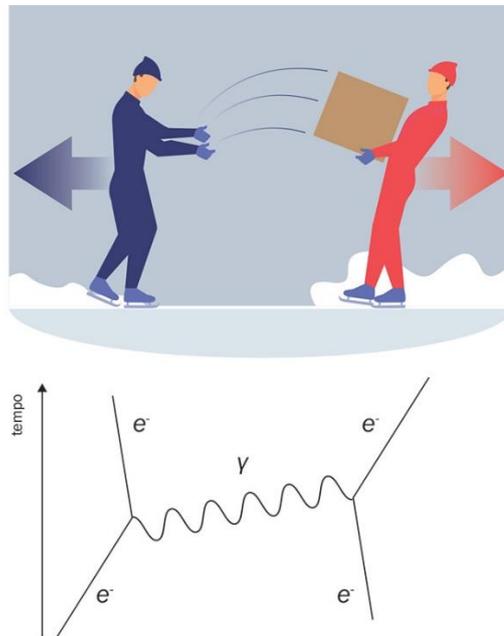


fig.1

Dalla fig.1 si nota che la traccia del fotone  $\gamma$  è lievemente inclinata verso l'alto (verso il futuro), **lievemente** perché il fotone ha la velocità massima **c**.

L'elettrone di sinistra emette fotoni virtuali  $\gamma$ , in modo casuale, in tutte le direzioni e in particolare uno di essi, di impulso **p**, interagirà con l'elettrone di destra comunicandogli l'impulso **p**. L'elettrone di sinistra **rincula** come per effetto di una forza repulsiva. Analogamente, l'elettrone di destra viene respinto verso destra.

Siccome il fotone è virtuale, la relazione di indeterminazione non può essere soddisfatta, perciò si richiede che

$\Delta x \cdot \Delta p < \hbar$ , da cui segue, indicando con  $r$  la distanza tra i due elettroni,  $r \cdot \Delta p < \hbar$ .

( $r$  rappresenta l'indeterminazione  $\Delta x$  nella posizione del fotone). La forza è perciò

$$[1] F = \frac{\Delta p}{\Delta t} < \frac{\hbar}{r \Delta t} = \frac{\hbar}{r \cdot r / c} = \frac{\hbar c}{r^2}.$$

La [1] giustifica, nell'ambito della meccanica quantistica, la dipendenza della forza dal quadrato della distanza. Si noti, però, che nella formula compare un segno di disuguaglianza, non di uguaglianza. Ciò è dovuto al fatto che sto facendo un modello di prima approssimazione.

Nel caso dell'interazione tra un elettrone e un positrone (antielettrone), questo viaggia all'indietro nel tempo e la forza appare attrattiva da chi viaggia in avanti nel tempo, cioè dal passato verso il futuro. (fig.2)

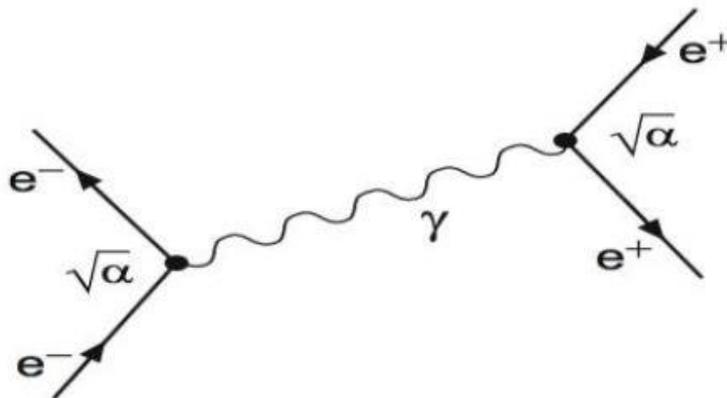


fig.2

**La costante  $\alpha$**  (costante di struttura fine) che compare nella fig. 2 è la costante (adimensionale) che misura l'intensità dell'accoppiamento tra elettrone e fotone e determina la struttura fine delle righe spettrali.

**Si noti che** il fotone, che interagirà con l'elettrone di destra, viaggia verso destra e verso l'alto (verso il futuro), perché, mentre viaggia l'elettrone di destra (negativo o positivo) ha fatto un certo cammino (verso il futuro o verso il passato).

**Osserviamo** che nella [1]  $\hbar c$  deve rappresentare  $e^2$  (nel sistema di unità cgs elettrostatico) **oppure**  $ke^2$  nel sistema MKSQ, dove  $k$  è la costante di Coulomb nel vuoto:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} .$$

Il rapporto  $\frac{e^2}{\hbar c}$  è la costante di struttura fine  $\alpha$  riportata nella fig. 2. La sua radice quadrata misura l'intensità dell'accoppiamento tra elettrone e fotone.

Il valore numerico di  $\alpha$  è il seguente (userò unità cgs elettrostatiche):

$$\alpha = \frac{\left(4,806 \cdot 10^{-10}\right)^2}{1,0546 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}} = 0,0073 \approx \frac{1}{137} .$$

La costante  $\alpha$  viene anche assunta come intensità relativa dell'interazione elettromagnetica rispetto all'intensità dell'interazione nucleare forte, assunta convenzionalmente uguale a 1.

### **Nota sull'interazione gravitazionale.**

Anche se non c'è ancora una teoria della gravità quantistica, si potrebbe interpretare l'interazione gravitazionale tra due masse (due cariche gravitazionali) come scambio di **gravitoni virtuali**. C'è però il grosso ostacolo che la forza gravitazionale è solo attrattiva, in quanto manifestazione della **curvatura dello spazio – tempo**<sup>1</sup> provocata dalle masse. Formalmente si trova ancora la [1], dove  $\hbar c$  rappresenta ora  $Gm^2$ . Per l'elettrone il rapporto adimensionale  $\alpha_G = \frac{Gm^2}{\hbar c} \approx 1,75 \cdot 10^{-45}$ . Il rapporto

$\frac{\alpha_G}{\alpha} = 137 \cdot \alpha_G = 2,4 \cdot 10^{-43} \approx 10^{-42}$  dice quanto l'interazione gravitazionale sia immensamente più piccola dell'interazione elettromagnetica.

**Spiegare** come mai, però, l'evoluzione e il destino dell'universo siano dovuti esclusivamente alla gravità.

---

<sup>1</sup> Vedi in <http://digilander.libero.it/ottavioserra0> la cartella *Articoli*, sezione *Miscellanea*, l'articolo n° 25 "Per il centenario della relatività generale".