

## Le particelle virtuali (11/10/06)

Ripartiamo dal principio d'indeterminazione di Heisenberg, che afferma  $Dx \times mDv = h$  (uso il termine "=", e  $h$  invece di  $h/2p$ , per semplificare). Moltiplichiamo e dividiamo per  $c$ : otteniamo  $mcDv \times Dx/c = h$ . Qual è la massima incertezza possibile sulla velocità? Ovviamente  $c$ , perché un corpo non può essere "meno che fermo" o "più veloce della luce". E che tempo impiega un corpo che va a velocità  $c$  a percorrere la distanza  $Dx$ ? Chiamiamo questo tempo  $Dt$ . Avremo dunque  $mc^2 \times Dt = h$  ovvero, essendo il primo termine un'energia,  $DE \times Dt = h$ , che è solo un modo diverso di scrivere il PdI. La cui interpretazione fisica è: "Di un qualsiasi oggetto fisico non è possibile determinare l'energia con precisione migliore di  $DE$  in un a misura che duri un tempo minore di  $Dt$ ". Come dire che anche l'energia e il tempo *non sono ben definiti*, al pari di posizione e velocità. È sempre un problema di "esistenza" e non di "conoscenza".

Dunque, se indaghiamo un volumetto di "vuoto" per un tempo inferiore a  $Dt$ , e se c'è dentro *qualcosa* la cui energia complessiva non superi  $DE$ , per noi sarà impossibile trovare quel *qualcosa*. Da qui il concetto di "particelle virtuali" poiché, se immaginiamo una zona di spazio "vuoto", in base al PdI è possibile che in esso "esistano in senso lato" particelle (per una carica elettrica totale zero, e così pure per la somma del numero di particelle e antiparticelle, per lo spin ecc.), che *spuntano fuori* a coppie e si annichilano l'una con l'altra entro un tempo  $Dt$ , purché la somma delle loro energie  $DE$  (incluso anche l'energia "di riposo", ovvero la massa per  $c^2$ ) sia tale che  $DE \times Dt = h$ . In sostanza, in MQ non è proibito *prendere in prestito energia dal vuoto*, purché la si restituisca in un tempo così breve che non sia possibile misurarla direttamente. Ma attenzione: un conto è la liceità della cosa, un conto che succeda veramente. E, comunque, ci si può chiedere: «Come facciamo a sapere che succede, se per principio non possiamo misurare?». Bene: ci "sono", e le misuriamo "indirettamente".

Un normale elettrone "reale" può essere immaginato come una carica elettrica che ruota attorno al proprio asse di spin. Dunque, dovrà generare un piccolo campo magnetico che, in effetti, si può misurare. D'altronde, le equazioni di Maxwell e la MQ dovrebbero permetterci di calcolare a priori il valore del "momento magnetico" dell'elettrone. Per comodità, diciamo che il risultato del calcolo teorico fornisca il valore 1. Misuriamo ora in laboratorio il valore sperimentale. Nelle stesse unità di misura, esso risulta 1.00115965219337 (questa è la precisione raggiunta sperimentalmente oggi). Cos'è che non va?

Supponiamo ora che ci siano, attorno all'elettrone, particelle virtuali secondo la distribuzione e la quantità ammessa dalla MQ e dal PdI. I positroni virtuali saranno, mediamente, più vicini all'elettrone reale rispetto agli elettroni virtuali loro partner, poiché la loro carica elettrica è positiva. Ogni coppia vive pochissimo, ma viene subito rimpiazzata da un'altra coppia, e così via all'infinito. Il risultato finale è che queste coppie perturbano un po' il momento magnetico dell'elettrone reale con i loro. Risultato del calcolo del momento magnetico, considerando però anche le particelle virtuali: 1.00115965219337 con **quattordici** cifre decimali identiche a quelle teoriche (due anni fa, quando ne parlammo la prima volta, erano solo  **tredici** cifre; Adriano: ora hai un'ottima scusa per cambiare idea.)

Abbiamo visto in che modo, per mezzo di *fotoni virtuali*, si spiega la forza elettrica tra due particelle: la "quantità di moto" della prima viene "succhiata" da un fotone virtuale e riversata sull'altra, per cui entrambe cambiano traiettoria senza che si tocchino e senza che ci sia scambio di energia. Vengono eliminate le "forze a distanza" e sostituite con "forze a contatto". Ma, per intraprendere il percorso della **interazione forte** o **di colore**, dobbiamo riflettere su un'altra conseguenza dell'esistenza di particelle virtuali: lo "schermo" che queste esercitano su una "carica" di qualsiasi tipo (elettrica, "debole", "forte"), usando proprio l'esempio dell'elettrone.

Se un elettrone reale è circondato da strati di coppie virtuali positrone – elettrone in cui il positrone è, in media, più vicino all'elettrone, ci si aspetta che questa distribuzione di carica asimmetrica eserciti un certo "schermo" sulla carica dell'elettrone, se la misuriamo da lontano. Quando ci avviciniamo lasciandoci alle spalle schermi virtuali successivi, dovremmo trovare che la carica elettrica dell'elettrone reale diventa sempre maggiore. Sperimentalmente, questo è proprio ciò che si misura negli acceleratori di particelle; minore è la distanza, maggiore è la carica dell'elettrone e, se non ci fossero infinite particelle virtuali a schermarla, essa sarebbe infinita. Anche qui, teoria e osservazione coincidono esattamente.