

GIAN PAOLO GUIDETTI (*)

Il modello dell'elettrone in periodo postquantistico

I primi modelli di elettrone esteso risalgono al periodo compreso tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del nostro secolo, e nascono nel quadro di un'aspirazione abbastanza diffusa a fornire la spiegazione dei fenomeni sulla base del campo elettromagnetico, attribuendo ad esso una priorità ontologica rispetto alla stessa materia. Questo comportava che si potesse concepire un modello per le supposte particelle elementari e in particolare di poter motivare la massa in termini del campo e delle sue proprietà; l'elettrone sembrò prestarsi bene da questo punto di vista.

Le dimensioni finite dell'elettrone costituiscono la soluzione più immediata per rendere finita l'energia totale del campo coulombiano. Abraham pensava l'elettrone come rigido, con la carica distribuita sulla superficie (1). Fino al 1904 la teoria di Abraham non ebbe sostanziali alternative, tanto più che pareva in perfetto accordo con i risultati sperimentali. In quell'anno Lorentz pubblicò la sua teoria dell'elettrone. Non ammettendo l'esistenza di corpi rigidi classici, Lorentz postulò un elettrone deformabile, che subiva la cosiddetta « contrazione di Lorentz ». Anche questa teoria si accordava con i dati sperimentali disponibili. Abraham difese il suo modello sostenendo l'instabilità dell'elettrone di Lorentz: la repulsione coulombiana fra le cariche avrebbe avuto effetti dirimpenti in una superficie non rigida, a meno di non ammettere la presenza di forze di origine non elettromagnetica. Tali forze, la cui necessità fu positivamente dimostrata da Poincaré (forze di Poincaré), insieme alla corretta formulazione delle equazioni di trasformazione (trasformazioni di Lorentz), diedero all'elettrone di Lorentz una posizione abbastanza solida nell'ambito della teoria della relatività (con la conseguente inevitabile rinuncia all'origine puramente elettromagnetica della massa dell'elettrone). Ben presto, i problemi della struttura dell'elettrone non furono più al centro dell'interesse dei fisici a causa dello sviluppo e del successo della meccanica e soprattutto dell'elettrodinamica quantistica.

Al modello esteso dell'elettrone si riferì di nuovo, nel 1953, H. B. G. Casimir, avanzando l'ipotesi (« as a curiosity ») che le forze di Poincaré, di origine

(*) G. P. GUIDETTI, Dipartimento di Fisica, Università di Parma.

(1) Per i modelli di Abraham e Lorentz si veda per esempio: R. MCCORMACK, *Id.*, 41, 1970, 459; S. GOLDBERG, *Arch. Hist. Exact Sci.*, 7, 1970, 7; A. I. MILLER, *Arch. Hist. Exact Sci.*, 14, 1973, 207.

ignota, potessero essere spiegate mediante l'effetto previsto dallo stesso Casimir nel 1948 e che da lui prese il nome (2). È noto che, in meccanica quantistica, i livelli energetici di un oscillatore armonico sono dati da $(n + 1/2) h\nu$, così che anche nello stato più basso c'è un'energia $1/2 h\nu$, energia di punto zero. Se si considerano le componenti di Fourier del campo elettromagnetico, cui siano imposte le usuali condizioni al contorno, ciascuna di esse deve avere un'energia di punto zero $1/2 h\nu$; è ovvio pertanto che l'energia di punto zero dello spazio vuoto è infinita e viene normalmente trascurata, presupponendo che non abbia effetti fisici in quanto si tratta di una costante additiva. È tuttavia possibile ottenere, con opportune tecniche di rinormalizzazione, un risultato finito per la differenza fra l'energia di punto zero dello spazio vuoto e quella dello spazio occupato da conduttori, per esempio due conduttori piani paralleli a distanza L ; tale quantità finita viene a dipendere da L , ed è interpretata come energia potenziale del sistema di conduttori. Questo implica l'esistenza di una forza attrattiva fra i due conduttori piani paralleli, forza che Casimir calcola essere

$$F = \frac{hc\pi^2}{480} \cdot L^3$$

per unità di superficie. Tale pressione è stata poi misurata sperimentalmente (3).

Nel 1953, dunque, Casimir propose di estendere il modello classico di Lorentz tenendo conto dell'energia di punto zero del campo elettromagnetico e attribuendo a questa l'origine delle forze di Poincaré (4). Se l'elettrone è un guscio sferico conduttore, di spessore infinitesimo, su cui è distribuita uniformemente la carica e , l'energia elettrostatica della configurazione è $e^2/2a$ (essendo a il raggio del guscio), cui corrisponde una pressione $e^2/8\pi a^4$ che tende a espandere il guscio. D'altra parte, la presenza della superficie sferica conduttrice modifica l'energia di punto zero dell'universo: Casimir ipotizzò che l'effetto da lui scoperto tendesse appunto a comprimere il guscio sferico. L'aspetto più interessante di quest'idea è che la condizione di equilibrio fra le pressioni risulta indipendente dal raggio a e conduce a una determinazione del valore numerico della costante di struttura fine. Purtroppo i calcoli rigorosi eseguiti nel 1968 da T. H. Boyer portarono alla conclusione che per un guscio conduttore l'effetto Casimir tende anch'esso a espandere l'elettrone (5).

Un'altra proposta di modello esteso dell'elettrone venne avanzata da Dirac nel 1962 (6). Motivo ispiratore fu l'esistenza del muone, che Dirac si propose di interpretare, nel suo modello, come stato eccitato dell'elettrone. L'elettrone di Dirac è ancora una volta un guscio sferico conduttore su cui si trova uniformemente distribuita la carica. La repulsione coulombiana si ritiene neutralizzata da forze non maxwelliane del tipo della tensione superficiale (ancora cioè da forze

(2) H. B. G. CASIMIR, *Proc. Kon. Ned. Wetensch. Amsterdam*, 57, 1948, 793.

(3) J. SPANNAAY, *Physica*, 24, 1958, 751; M. FIERZ, *Helv. Physica Acta*, 33, 1960, 855.

(4) H. B. G. CASIMIR, *Physica*, 19, 1953, 846.

(5) T. H. BOYER, *Phys. Rev.*, 174, 1968, 1764.

(6) P. A. M. DIRAC, *Proc. Royal Soc., A264*, 1962, 57.

di Poincaré, anche se Dirac non usa tale denominazione). A differenza di quanto avviene per l'elettrone di Casimir però, Dirac assume che all'interno del guscio non ci sia alcun campo elettromagnetico mentre all'esterno valgono normalmente le equazioni di Maxwell. Avendo così definito un modello classico e ottenuta la relativa lagrangiana, Dirac passò a trattarlo in modo quantistico. Egli calcolò che il primo stato eccitato a simmetria sferica possedeva un'energia pari a 53 volte l'energia a riposo dell'elettrone, il che portava a poter riconoscere in tale stato il muone. Il modello non poteva che essere approssimato in quanto non teneva conto dello spin; esso non fu ulteriormente sviluppato da Dirac.

L'elettrone di Dirac può essere considerato come un prototipo dei recenti modelli a « bag » per le particelle elementari, a patto di tenere in conto che i campi che intervengono nel caso degli adroni sono nulli all'esterno delle particelle, mentre Dirac suppone nullo il campo elettromagnetico all'interno dell'elettrone (7).

Quest'ultima configurazione risulterebbe anche considerando l'elettrone come una sfera perfettamente conduttrice; si potrebbe allora sperare che in questa nuova ipotesi la variazione dell'energia di punto zero del campo elettromagnetico rispetto a quella del vuoto sia tale da mantenere l'equilibrio. Ma, come s'è visto, il modello che venne studiato in un primo tempo fu quello a guscio, che prevede la presenza del campo sia all'esterno che all'interno. Purtroppo anche per una sfera conduttrice l'effetto Casimir porta a forze che tendono a dilatarla, come s'è trovato in seguito (8).

(7) Per i modelli a « bag » si veda l'articolo di rassegna: P. HADENPATE, J. KUTI, *Phys. Rep.*, **40C**, 1978, 75.

(8) K. A. MILTON, *Am. Phys.*, **117**, 1980, 49.