ANGELO BARACCA, EDVIGE SCHETTINO (*)

La nascita del concetto di momento magnetico intrinseco dell'elettrone in chimica e magnetismo prima del lavoro di Uhlenbeck e Goudsmit (1915-1921)

Come abbiamo anticipato in un precedente lavoro [Baracca, Lunardini, Schettino, 1982], la cosa apparentemente paradossale nella storia dello spin è costituita dal fatto che attorno al 1920, mentre la spettroscopia e i modelli d'atomo si barcamenavano nell'alchimia dei numeri quantici senza giungere all'idea fondamentale dello spin dell'elettrone, l'ipotesi dell'esistenza di un momento magnetico intrinseco dell'elettrone si presentava invece come necessaria in studi tutto sommato più « marginali », in un ambito ancora classico, o al più legato alle prime ipotesi dei quanti, di chimica, sulla radiazione (X e ottica) e sui fenomeni magnetici. Qui si sviluppò nel primo quarto del secolo un filone che elaborò modelli di « atomo chimico » finanizzati alla comprensione euristica di proprietà quali la regola dell'ottetto o la direzionalità dei legami chimici, in base a modelli d'atomo *statici*, nei quali gli elettroni occupano posizioni fisse nello spazio [Lewis, 1923 e 1916; Parson, 1915*a*; Langmuir, 1919; cfr. Kohler, 1971, 1972 e 1975; Baracca, Ruffo, Russo, 1979]. Il contributo di Parson contiene per la prima volta l'idea di un momento magnetico intrinseco dell'elettrone.

1. Il « ring electron » o « magnetone » di A. L. Parson, 1915

L'idea sostanziale del modello di Parson era che la configurazione più stabile dell'atomo si realizzi con gli elettroni disposti ai vertici di un cubo, che il legame chimico sia di natura magnetica e sia realizzato proprio dagli elettroni, considerati come anelli di carica elettrica uniformemente distribuita e ruotante con altissima velocità (*ring-electron*). Il modello di Parson è già stato analizzato diffusamente da Schettino [1983]. « L'ipotesi essenziale di questa teoria è che l'elettrone è in sé magnetico, avendo esso in aggiunta alla sua carica negativa le proprietà di un circuito di corrente il cui raggio, stimato essere 1.5×10^{-9} cm, è minore di quello dell'atomo ma dello stesso ordine di grandezza. Quindi si parlerà usualmente di esso come del *magnetone* » [Parson, 1915*a*, p. 3].

(*) A. Baracca, Dipartimento di Fisica, Università di Firenze; E. Schettino, Istituto di Fisica Teorica, Università di Napoli.

Il valore del magnetone magnetico di Parson risultava $3{,}5 \times 10^{-19}$ erg/gauss (da confrontare col valore $9{,}1 \times 10^{-19}$ erg/gauss del magnetone di Bohr), mentre il raggio del magnetone non entrava nei calcoli e veniva valutato successivamente in base a considerazioni riguardanti il volume dell'edificio atomico, risultando essere 1.5×10^{-9} cm. Parson si propose successivamente di verificare sperimentalmente la sua teoria con un elettrometro molto sensibile [Parson, 1915*b*, e *c*], ma tornato in Inghilterra e scoppiata la guerra si arruolò, subì uno shock e abbandonò poi la ricerca [Kohler, 1971, p. 365].

2. Ulteriori sviluppi dell'idea di Parson

D. L. Webster sviluppò vari aspetti sostanziali dell'idea del magnetone. In un primo lavoro [Webster, 1915*a*] egli prese in esame la teoria di Planck per la radiazione del corpo nero, che appariva inconsistente con l'elettrodinamica classica, per mostrare come il « ring electron » potesse invece risolvere questi problemi. Webster insisteva sul fatto che l'idea del magnetone consentiva così di giungere a un quadro unitario, correlando i fenomeni del calore raggiante con quelli dell'ottica e dell'elettromagnetismo e della combinazione chimica. Successivamente [Webster, 1915*b*] egli riprendeva la discussione proprio di questi aspetti chimici della concezione di Parson, sostenendo che essa « copre un insieme di fenomeni chimici molto più vasto delle teorie precedenti ». Si registrò poi la misura di effetti sperimentali [Grondahl, 1917], ma l'attenzione si concentrò soprattutto sui problemi della massa elettromagnetica del magnetone di Parson e della consistenza di fondo della teoria [Webster, 1917*a*, *b*, *c*; Davisson, 1917], mentre Webster [1918*a*, *b*] insisteva di nuovo sulle evidenze sperimentali e sulla necessità dell'ipotesi del « ring electron » [Webster, 1919].

3. A. H. Compton: dal « ring electron » all'elettrone sferico

Verso il 1917 prese l'avvio un programma di ricerca originale di A. H. Compton, che riprendeva e approfondiva il problema lungo due linee complementari. Da un lato egli studiava le evidenze sperimentali che consentissero di individuare quale sia la « particella magnetica fondamentale ». Rifacendosi a uno studio di K. T. Compton e Trousdale [1915], ora A. H. Compton e Rogaley [1917, 1918] concludevano che « dobbiamo guardare al nucleo dell'atomo proposto da Merritt, o all'elettrone, come proposto da Parson, come particella magnetica fondamentale ».

Dall'altro lato [Compton, 1918*a*, *b*] egli indagava quali dovessero essere « le dimensioni e la forma dell'elettrone ». I dati relativi alla diffusione e all'assorbimento dei raggi X potevano essere spiegati solo « se l'elettrone, invece di essere una carica puntiforme, ha un raggio paragonabile con la lunghezza d'onda del fascio incidente. Si è calcolato la diffusione di raggi gamma su elettroni

di diametro apprezzabile, sia con l'assunzione che l'elettricità sia distribuita in un guscio sferico, sia nell'ipotesi del ' ring electron '. Si è trovato che entrambi i tipi di elettrone sono in grado di spiegare quantitativamente il basso assorbimento osservato se l'elettrone ha un raggio di circa $2{,}5 \times 10^{-10}$ cm » [Compton, 1918*b*]. Si noti che il diametro allora comunemente accettato per l'elettrone era dell'ordine di 10^{-13} cm (ma già Parson aveva stimato, come si è visto, $1{,}5 \times 10^{-9}$ cm).

Entrambe le linee di ricerca di Compton proseguirono negli anni successivi [Compton, 1919*a*, *b*; Compton e Rognley, 1920] e culminarono in un lavoro del 1921 [Compton, 1921*a*]: la particella magnetica fondamentale veniva individuata univocamente nell'elettrone, per il quale « possiamo suppore con Nicholson che invece di essere un anello di elettricità abbia una forma più isotropa con una forte concentrazione di carica elettrica vicino al centro e una diminuzione della densità al crescere del raggio » [*Ibidem*, pp. 147–148; per Nicholson cfr. un lavoro del 1914]. Inoltre, « in base all'ipotesi di Planck [...] alla temperatura dello zero assoluto ogni particella di materia — incluso l'elettrone — manterrebbe una quantità media di energia $^1/_2\ h\nu$ per ciascun grado di libertà. Per un sistema ruotante ciò corrisponde a un momento angolare di $h/2\pi$ [doppio dunque di quello che sarà realmente lo spin dell'elettrone!]. Pertanto, qualsiasi punto di vista adottiamo, i moti terminici dell'elettrone gli daranno un momento magnetico apprezzabile » [*Ibidem*, p. 150]. Seguiva poi l'analisi delle evidenze sperimentali a favore di questa conclusione, dalle quali veniva tra l'altro confermata la conclusione che il raggio dell'elettrone doveva essere « dell'ordine di 10^{-10} cm ».

4. I contributi di H. S. Allen (1918–1921)

Una serie di contributi, forse meno originali, venne anche in Gran Bretagna da H. S. Allen. Nel 1918 in una comunicazione alla Physical Society [Allen, 1918] egli elencava 13 argomenti a favore dell'idea di Parson, tra i quali i contributi di Compton, Webster e Grondhal che già abbiamo discusso. In un lavoro successivo [Allen, 1920] egli si proponeva di spiegare la rotazione del piano di polarizzazione di un raggio luminoso che attraversa un mezzo otticamente attivo.

L'anno dopo egli si proponeva di determinare la proprietà fisiche intrinseche del « ring electron » [Allen, 1921] e infine egli legava alcune idee espresse da Whittaker all'idea del magnetone [Allen, 1921–1922].

5. Conclusioni

Dopo il 1921 l'interesse per il magnetone sembrò spegnersi quasi all'improvviso. Il principale protagonista di quel dibattito, A. H. Compton, fu completamente preso dalla riflessione sull'interazione dei raggi X con la materia, ma la considerazione del raggio finito dell'elettrone era un'idea che in qualche modo

doveva evolvere in quella di « lunghezza d'onda di Compton », mentre nel 1930 un allievo di Compton, J. C. Stearns provò sperimentalmente che nel ferromagnetismo non sono coinvolte le orbite degli elettroni, ma il momento magnetico intrinseco di quest'ultimo [Stearns, 1930]. In ogni caso, quest'ultima idea si era di fatto affacciata in quegli anni con una certa incinsività, anche se i fisici atomici europei e gli spettroscopisti non mostrarono mai di prenderla in considerazione.

Bibliografia

H. S. Allen [1918], *Nature*, *102*, 1920, 238, *Phil. Mag.*, *40*, 1921, 426; *Phil. Mag.*, *41*, 1921–1922, 113; *Proc. Roy. Soc. Edinburgh*, *42*, 1918, 213.

A. Baracca, A. Lunardini, E. Schettino [1982], *Atti del III Congresso Nazionale di Storia della Fisica*, Palermo 1982, 142.

A. Baracca, S. Ruffo, A. Russo [1979], *Scienza e industria*, 1848–1915, Laterza, Bari 1979.

A. H. Compton [1918*a*], *J. Washington Acad. Sci.*, *8*, 1918, 10; [1918*b*], *Phys. Rev.*, *11*, 1919, 330; [1919*a*], *Phys. Rev.*, *14*, 1912, 20; [1919*b*] *Phys. Rev.*, *14*, 1919, 247; [1921], *J. Franklin Inst.*, *2*, 1921, 145.

A. H. Compton, O. Rognley [1917], *Science*, *46*, 1917, 415; [1918], *Phys. Rev.*, *11*, 1918, 132; [1920], *Phys. Rev.*, *16*, 1920, 464.

K. T. Compton, Trousdale [1915] *Phys. Rev.*, *5*, 1915, 315.

C. Davisson [1917] *Phys. Rev.*, *9*, 1917, 570.

L. O. Grondhal [1917], *Phys. Rev.*, *10*, 1917, 586.

R. E. Kohler [1971], *Hist. Stud. Phys. Sci.*, *3*, 1971, 343; [1972], *Hist. Stud. Phys. Sci.*, *4*, 1972, 39; [1975], *Hist. Stud. Phys. Sci.*, *6*, 1975, 431.

P. Langevin [1905], *Annales de Chimie*, *5*, 1905, 70.

L. Langmuir [1919], *J. Amer. Chem. Soc.*, *41*, 1919, 868.

G. N. Lewis [1916], *J. Amer. Chem. Soc.*, *38*, 1916, 762; [1923] *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*.

J. W. Nicholson [1914], *Phyl. Mag.*, *28*, 1914, 90.

A. L. Parson [1915*a*], *Smithsonian Miscellaneous Collections*, *65*, 1915, 1. [1915*b*], *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1915, 400; [1915*c*], *Phys. Rev.*, *6*, 1915, 390.

E. Schettino [1983], *Physis*.

J. C. Stearns [1930], *Phys. Rev.*, *35*, 1930, 1.

D. Z. Webster [1915*a*], *Proc. Amer. Acad.*, *50*, 1915, 131; [1915*b*], *Phys. Rev.*, *6*, 1915, 54; [1917*a*], *Phys. Rev.*, *9*, 1917, 484, [1917*b*], *Phys. Rev.*, *9*, 1917, 484; [1917*b*], *Phys. Rev.*, *9*, 1917, 559, [1917*c*], *Phys. Rev.*, *9*, 1917, 561; [1918*a*], *J. Amer. Chem. Soc.*, *40*, 1918, 375; [1918*b*], *Chem. News*, *117*, 1918, 175; [1919], *Phys. Rev.*, *13*, 1919, 303.