

POINCARÉ E LA TEORIA DEGLI ELETTRONI DI LORENTZ

Il principale contributo di Poincaré alla teoria degli elettroni tra l' '800 e il '900 è indubbiamente "Sur la dynamique de l' électron" del 1906<sup>2</sup>. Il contesto in cui si situa questo articolo è rappresentato dal vasto programma di Poincaré teso a confrontare principi fisico-matematici classici, come quelli di conservazione e di relatività, con le nuovissime evidenze relative alla struttura della realtà fisica che emergevano dalle scoperte sperimentali effettuate a cavallo tra i due secoli, ed in particolare dalle misure del rapporto massa/carica dell' elettrone fatte da J. J. Thomson a partire dal 1897<sup>3</sup>. Ma queste evidenze a favore dell' esistenza di una particella subatomica dotata della carica elettrica elementare non erano comunque evidenze veramente dirette dell' esistenza dell' elettrone, per cui si dovevano ancora attendere le tracce elettroniche individuate per condensazione di vapore da C. T. R. Wilson, studente di Thomson<sup>4</sup>, su cui lo stesso Thomson effettuò alla fine del secolo le prime misure assolute della carica<sup>5</sup>. Esse però erano già state anticipate teoricamente dalla teoria degli elettroni di H. A. Lorentz sin dai primi anni '90 dell' '800<sup>6</sup> - una teoria cui lo stesso Poincaré aveva contribuito per tempo, anche prima della scoperta sperimentale del 1897<sup>7</sup>. La teoria di Lorentz non era in effetti il risultato di ricerche fenomenologiche derivate da scoperte empiriche, ché anzi essa stessa ne preparò ed interpretò subito nei suoi termini alcune, come nel 1896 quella dell' effetto Zeeman relativo all' allargamento delle righe spettrali del sodio da parte di un campo magnetico, come effetto del moto oscillatorio degli elettroni all' interno dell'atomo<sup>8</sup>. Essa ci appare piuttosto legata al nuovo clima teorico della fisica dell' ultimo quarto del XIX secolo, la cosiddetta concezione elettromagnetica del mondo (che tentava di unificare la fisica sotto le leggi dell' elettromagnetismo invece che sotto quelle della meccanica, come aveva tentato di fare in precedenza la concezione meccanicistica)<sup>9</sup>, dotando l' ipotetica particella materiale elementare di carica elettrica intrinseca e chiamandola elettrone. Per la verità, questo nome fu adottato da G. J. Stoney per la sola unità di carica nel 1891<sup>10</sup>, mentre Lorentz usò fino al 1899 il nome di "ione" nel senso di particella elementare carica<sup>11</sup>.

La visione corpuscolare dell' elettricità era naturalmente anteriore alla teoria degli elettroni e fu contrapposta per gran parte del XIX secolo alla

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica, Università di Lecce, I

<sup>2</sup> Cfr. J. H. Poincaré, "Sur la dynamique de l' électron", *Rend. del Circ. Mat. di Palermo*, 21 (1906), pp. 129-175.

<sup>3</sup> Cfr. J. J. Thomson, "Cathode rays", *Phil. Mag.*, 44(1897), pp. 293-316.

<sup>4</sup> Cfr. C. T. R. Wilson, "On the production of a cloud by the action of ultra-violet light on moist air", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 9(1898), pp. 392-393.

<sup>5</sup> Cfr. J. J. Thomson, "Ueber die Masse der Träger der negativen Elektrisierung in Gasen von niederen Drucken", *Phys. Zeitschrift*, 1 (1899-1900), pp. 20-22 e "On the Masses of the Ions in Gases at Low Pressures", *Phil. Mag.*, 48(1899), pp. 547-567.

<sup>6</sup> Cfr. H. A. Lorentz, "La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants", *Arch. néerl.*, 25 (1892), p. 363.

<sup>7</sup> Cfr. J. H. Poincaré, "A propos de la théorie de M. Larmor", *L' Eclairage électrique*, 3(1895), pp. 5-13, 285-295, e 5(1895), pp. 5-14, 385-392.

<sup>8</sup> Cfr. P. Zeeman, "Light radiation in a magnetic field", Nobel Lecture, 1903, in *Nobel Lectures in Physics 1901-1921*, Elsevier Publ. Co., 1967, pp. 33-44.

<sup>9</sup> Cfr. H. Kragh, "The New Rays and the Failed Anti-Materialistic Revolution", in AA. VV., *The Emergence of Modern Physics. Proceedings of a Conference Commemorating a Century of Physics, Berlin 22-24 March 1995*, D. Hoffmann, F. Bevilacqua, R. H. Stuewer eds., Pavia, La Goliardica Pavese, 1996.

<sup>10</sup> Cfr. G. J. Stoney, "On the cause of the double lines and the equidistant satellites in the spectra of gases", *Scientific Transactions of the Royal Dublin Society*, 4 (1891), pp. 518-529.

<sup>11</sup> Cfr. H. A. Lorentz, "Théorie simplifiée des phénomènes électriques et optiques dans des corps en mouvement", *Versl. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam*, 7(1899), P. 507.

concezione di campo<sup>12</sup>. Fu invece, com'è ben noto, tipico della teoria di Lorentz il tentativo di conciliare le due opposte concezioni. Nella sua teoria l'elettrone è la sorgente del campo ed è, al tempo stesso, il mediatore tra il campo e la materia, poiché la materia è formata proprio di elettroni, le cui cariche danno origine al campo elettromagnetico che riempie in modo continuo, con le sue proprietà elettromagnetiche, tutto lo spazio situato all'esterno e all'interno dei corpi materiali, costituendo il cosiddetto etere<sup>13</sup>. Ma subito sorge un problema: nel quadro della concezione elettromagnetica del mondo tutta la massa dell'elettrone è di carattere elettromagnetico, essendo in generale la massa dei corpi almeno in parte imputabile ad un'azione del campo elettromagnetico sui corpi, come lo stesso J. J. Thomson aveva suggerito già nel 1881<sup>14</sup>. Ora, nella teoria di Lorentz, la necessità di spiegare sia l'assenza di "vento d'etere" rivelata dagli esperimenti sia l'ipotesi di un etere almeno in parte stazionario suggerita da altri esperimenti, come quello relativo all'aberrazione della luce di Fizeau, spingeva ad introdurre una deformazione degli elettroni, come una contrazione nella direzione del moto, che compensasse esattamente gli effetti del loro movimento attraverso l'etere<sup>15</sup>. Ma la sua possibile causa, per garantire la coesione degli stessi elettroni, non poteva essere elettromagnetica quanto piuttosto meccanica, una pressione negativa attiva all'interno degli elettroni che fosse soggetta sia al principio di conservazione del momento, il grande principio di conservazione della meccanica classica, sia al principio di relatività. Fu proprio Poincaré ad insistere con Lorentz suggerendogli correzioni alla sua teoria, inizialmente puramente elettromagnetica, per garantire un accordo sempre migliore tra i principi generali e le spiegazioni ipotetiche di Lorentz, cui egli generalmente aderiva<sup>16</sup>. In particolare lo stesso Poincaré introdusse infine l'ipotesi di una pressione meccanica, la cosiddetta "pressione di Poincaré", nel suo articolo del 1906<sup>17</sup>, anzi prima ancora in una breve comunicazione con lo stesso titolo apparsa l'anno precedente<sup>18</sup>, proprio per mantenere quell'accordo, anche a costo di contraddire la concezione del mondo elettromagnetica che escludeva forze di natura non elettromagnetica<sup>19</sup>. Precedentemente, in un articolo scritto in occasione dell'anniversario del Dottorato di Lorentz nel 1900, Poincaré aveva perfino attribuito proprietà meccaniche, come un'inerzia o un momento meccanico, alla radiazione elettromagnetica proprio allo scopo di salvaguardare il principio di azione e reazione di Newton di fronte all'esperienza<sup>20</sup>.

La preoccupazione di salvaguardare i principi, quali che fossero i dettagli dei meccanismi invisibili subiacenti ai fenomeni, e anche a costo di lasciarli provvisoriamente almeno parzialmente inespliciti, fatti salvi la coerenza astratta e il successo sperimentale, era stata fatta presente con chiarezza da Poincaré, prima di "Sur la dynamique" del 1906, nella sua relazione su "L'etat actuel et l'

---

<sup>12</sup> Cfr. E. Witthaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. I, *The Classical Theories*, Londra, Nelson & Sons, 1953, e J. Z. Buchwald, *From Maxwell to microphysics, Aspects of electromagnetic theory in the last quarter of the nineteenth century*, Chicago University Press, 1985.

<sup>13</sup> Cfr. T. Hirose, "Origins of Lorentz' Theory of Electrons and Concept of the Electromagnetic Field", *Historical Studies in the Physical sciences*, 1(1969), pp. 151-209.

<sup>14</sup> Cfr. J. J. Thomson, "On the electric and magnetic effects produced by the motion of electrified bodies", *Phil. Mag.*, 11(1881), p. 229.

<sup>15</sup> Cfr. H. A. Lorentz, "La théorie électromagnétique...", 1892 cit. in nota 5, e *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, Brill, 1895.

<sup>16</sup> Come riferisce lo stesso Lorentz in "Electromagnetic Phenomena in a System Moving with Any Velocity Less than that of Light", *Proc. Royal Acad. Amsterdam*, 6(1904), p. 809.

<sup>17</sup> Cfr. J. H. Poincaré, *op. cit.*, p. 130.

<sup>18</sup> Cfr. J. H. Poincaré, "Sur la dynamique de l'électron", *Comptes rendus de l'académie des Sciences*, 140(1905), pp. 1504-1508.

<sup>19</sup> Lorentz ovviamente recepì il contributo di Poincaré nella propria teoria degli elettroni. Cfr. H. A. Lorentz, *The Theory of Electrons*, B. G. Teubner, Leipzig, 1909.

<sup>20</sup> Cfr. J. H. Poincaré, "La théorie de Lorentz et le principe de reaction", in *Recueil de travaux offerts par les auteurs à H. A. Lorentz*, Martinus Nijhoff, 1900, pp. 252-278.

avenir de la physique mathématique” al Congresso Internazionale di Arti e Scienze di S. Louis del 1904<sup>21</sup>. Il punto era che Poincaré pensava che i più venerabili principi fisico-matematici fossero in pericolo e che fosse quindi prioritario difenderli<sup>22</sup>. In particolare, il principio di relatività sembrava minacciato dal semplice fatto di ammettere, come erano allora comunemente ammessi, segnali fisici più veloci della luce<sup>23</sup>, e il principio di azione e reazione, strettamente legato al precedente, dalla perdita di evidenza della materialità dell'etere (da cui si potevano derivare reazioni meccaniche ai movimenti degli elettroni in accordo con il principio), come sembrava dimostrato sia dall'esperimento di Fizeau sia da quello di Michelson-Morley<sup>24</sup>. Ovviamente, si potevano aggiustare le ipotesi in modo da salvare i principi (che, secondo Poincaré, erano molto elastici), semplicemente immaginando spiegazioni ad hoc che estendessero i principi stessi secondo una strategia puramente convenzionalista. In particolare, semplicemente respingendo l'opinione di Laplace secondo cui la gravitazione come segnale fisico si propaga a velocità superiore a quella della luce, o semplicemente ammettendo movimenti invisibili dell'etere che compensassero esattamente quelli degli elettroni. Ma per Poincaré una strategia puramente convenzionalista sembrava inappropriata, data la sua incapacità di prevedere alcunché di nuovo<sup>25</sup>. Quindi era necessario per lui non solo difendere il più possibile i principi, ma anche adottare ipotesi plausibili in cui potere ragionevolmente credere, anche se al momento non fosse possibile confermarle esattamente, e neppure essere sicuri dei risultati sperimentali già ottenuti e la loro comprensione richiedesse ulteriori approfondimenti. In particolare, Poincaré metteva in discussione i risultati sperimentali di Kaufmann<sup>26</sup> che sembravano avvalorare la teoria degli elettroni puramente elettromagnetica di M. Abraham contro la teoria di Lorentz-Poincaré che, come già notato, attribuiva anche una componente meccanica alla massa dell'elettrone oltre a quella puramente elettromagnetica. Poincaré confermava dunque la sua opinione che la materia avesse una massa meccanica insieme ad una elettromagnetica, anche se soggetta, come l'altra, ad aumentare con la velocità. Per salvare il principio di relatività e la legge di conservazione del momento, di portata più generale del terzo principio di Newton, Poincaré attribuisce cioè esplicitamente ai corpi sia un'inerzia meccanica sia una elettromagnetica, ambedue crescenti con la velocità, che impediscono ai corpi stessi di raggiungere la velocità della luce<sup>27</sup>. Il che basta per escludere segnali fisici più veloci della luce, e per aprire la strada alla spiegazione nel 1906, prima ricordata, della deformazione contrattiva degli elettroni che compenserebbe il loro movimento attraverso l'etere come un effetto dovuto ad una pressione meccanica. In questo modo l'accordo con i principi è fatto salvo. Ovviamente, per avere un'interpretazione plausibile dei fatti, deve essere sacrificato qualcos'altro oltre al principio di azione e reazione di Newton, anche se il sacrificio è grande: il principio di conservazione della materia o principio di Lavoisier<sup>28</sup>. Tuttavia il sacrificio non è totale, infatti questo principio, non diversamente da altri principi, non è eliminato del tutto, ma mantiene una validità approssimativa per velocità ordinarie molto inferiori a quella della luce<sup>29</sup>.

Evidentemente, la realtà che veniva emergendo degli elettroni costringeva non solo ad elaborare ipotesi fisiche del tutto nuove anche se provvisorie e

---

<sup>21</sup> Cfr. J. H. Poincaré, “L' état actuel et l' avenir de la physique mathématique”, Bull. Sci. Mat., 28(1904), pp. 302-324, ripubblicato come capp.VII - IX de *La Valeur de la Science*, Paris 1905; ed. it. *Il valore della scienza*, Bari, Dedalo, 1992, pp. 129-155, qui di seguito citata.

<sup>22</sup> *Ibidem*, p. 135.

<sup>23</sup> *Ibidem*, pp. 140-141.

<sup>24</sup> *Ibidem*, pp. 141-143.

<sup>25</sup> *Ibidem*, p. 143.

<sup>26</sup> Cfr. W. Kaufmann, “Die magnetische und elektrische Ablenkbarkeit der Bequerelstrahlen und die scheinbare Masse der Elektronen”, Nachr. Ges. Wiss. Goettingen, 2 (1901), p. 143; “Die elektromagnetische Masse des Elektrons”, Phys. Z., 4 (1902), p. 54; “Ueber die elektromagnetische Masse des Elektrons”, Goett. Nachr., 90 (1903).

<sup>27</sup> Cfr. J. H. Poincaré, *Il valore della scienza* cit., pp. 143-146.

<sup>28</sup> *Ibidem*, pp. 145-146.

<sup>29</sup> *Ibidem*, p. 155.

tentative, per mettere in accordo l'esperienza e i principi teorici, ma anche ad abbandonare, almeno in parte, quei principi se e quando essi si rivelassero sterili ed ingombranti, anche se non direttamente falsificati ed anzi perfino capaci di mantenere una validità approssimativa e parziale. Vi era comunque in Poincaré una tensione tra l'esigenza di salvare principi e preferenze teoriche, come la concezione elettromagnetica del mondo, e quella di prendere in considerazione risultati sperimentali sia positivi che negativi ed indizi di nuove realtà irriducibili a quei principi e a quella concezione, così mostrando, suo malgrado, i limiti di una strategia convenzionalista puramente conservatrice. Per Poincaré l'immagine risultante della realtà fisica era quindi controintuitiva e non familiare e doveva essere accettata come una nuova meccanica, ma non fino al punto di rinunciare ad alcune convinzioni molto profonde ed elementari, come la credenza nell'esistenza dell'etere, ed in alcuni principi fisico-matematici essenziali, come quelli di conservazione e di relatività<sup>30</sup>. Così fu indotto, invece di ripartire daccapo da considerazioni di simmetria massimamente generali sui fenomeni, come fece Einstein con la sua teoria della relatività, ad elaborare ulteriormente, sia matematicamente che teoricamente, ipotesi tentative, come nei successivi raffinamenti da lui arrecati alla teoria di Lorentz (Lorentz-Poincaré), nello sforzo di conciliare il più possibile profonde convinzioni intuitive, principi fisico-matematici e fenomeni. Fu in effetti questo atteggiamento "costruttivo" di Poincaré che gli impedì di arrivare alla formulazione einsteiniana della teoria della relatività, sebbene egli già possedesse tutte le basi matematiche e sperimentali per arrivare a formularla<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> *Ibidem*, pp. 154-155.

<sup>31</sup> Cfr. in questa prospettiva il classico lavoro di A. I. Miller, "A Study of Henri Poincaré's "Sur la Dynamique de l'Electron" ", *Archive for History of Exact Sciences*, 10 (1972), pp. 207-328.