

ESPERIMENTI STORICI

NELL'INSEGNAMENTO DELLA FISICA

di Lorenzo Mazzoni

Valorizzare la dimensione storica nell'insegnamento della fisica consiste non tanto nel fare «storia della fisica», quanto nell'introdurre questa dimensione in modo trasversale nella quotidianità didattica: si tratta per esempio di ricostruire un percorso che renda visibile l'intreccio di ipotesi ed esperimenti che hanno portato a una legge fisica. L'analisi degli «esperimenti storici», che costituiscono punto di inizio, o di svolta, o conclusivo di ambiti di ricerca, è una delle modalità di inserimento della dimensione storica, di cui l'autore fornisce esempi significativi.

Uno dei pericoli più comuni nell'apprendimento della fisica è il dogmatismo: esso si verifica quando lo studente accetta come una regola fissa e immutabile, in qualche modo necessariamente vera e definitiva, la legge fisica che gli viene insegnata. Questo è in gran parte dovuto al fatto che una legge fisica, più in generale l'impianto teorico della fisica, appare spesso allo studente qualcosa di estraneo e di astratto, un evento intellettuale senza coordinate spazio-temporali. Ciò impedisce una vera comprensione del sapere scientifico, storico e approssimato, e può anche creare false certezze, che si infrangono quando l'orizzonte teorico subisce una mutazione: allora la certezza si può mutare in scetticismo sul valore stesso della conoscenza scientifica.

Per superare l'estraneità non basta sottolineare che una certa teoria fisica nasce da un certo problema, che venga però posto astrattamente, perché ciò non mostra il contesto storico culturale in cui il problema stesso si pone; tale contesto non solo illumina l'origine della domanda e determina in gran parte la modalità di formulazione del problema (rendendolo al tempo stesso più comprensibile), ma rende anche più comprensibile la modalità della risposta costituita appunto dalla legge fisica.

Invece una trasmissione del sapere che ne sottolinei il carattere evolutivo, verso orizzonti sempre più ampi, può stimolare un interesse non superficiale, e in qualche modo il coinvolgimento in un'avventura umana. Innanzitutto non si tratta di fare sistematicamente la «storia della fisica». Le esigenze di chiarezza didattica richiedono

spesso di usare formulazioni diverse da quelle iniziali, senza ripercorrere sempre tutto il cammino, in molti casi tortuoso, con cui si è arrivati a una formulazione chiara. Si tratta invece di un lavoro prevalentemente trasversale, quindi intimamente connesso alla quotidianità della didattica. Tale lavoro è teso a ricostruire un percorso, almeno in modo semplificato e tradotto didatticamente, che renda comprensibile l'intreccio di formule ed esperimenti, e la legge fisica che ne deriva.

Questo percorso aiuta a mostrare la ricchezza e i limiti di qualsiasi teoria, e quindi a rispettare la natura stessa della conoscenza scientifica, di natura storica, cioè in continua evoluzione, intessuta di tentativi, errori e revisioni.

L'apprendimento della fisica si ridurrebbe altrimenti o a nozionismo puro o, nel migliore dei casi, alla verifica di una coerenza interna di modelli e teorie, che è però pura facciata, consegnata «chiavi in mano», e quindi a un puro esercizio applicativo, scarsamente critico.

È proprio la consapevolezza del valore non assoluto di una teoria scientifica, dei suoi limiti di validità, delle ipotesi all'interno della quale nasce, che costituisce uno stimolo all'indagine e permette di non trasformare una fiducia acritica nella certezza scientifica, nell'atteggiamento contrario, di negazione di ogni contenuto conoscitivo (o veritativo) nei confronti di una (eventuale) realtà, una volta che un livello di teorizzazione venga superato da uno più raffinato.

Si arriva così a riconoscere che c'è un aspetto di validità permanente in molte teorizzazioni del passato.

Segnaliamo, senza la pretesa di essere esaustivi, alcune modalità per introdurre, talora trasversalmente, talora esplicitamente, una dimensione storica nei percorsi didattici.

Sottolineare il momento di genesi delle teorie significa mettere in evidenza: la situazione problematica iniziale e i dati eventualmente già acquisiti; i tentativi di risposta operati in passato; le ipotesi, che affondano spesso la loro origine in ambiti culturali più ampi di quello scientifico, ma che devono poi essere formalizzate in un linguaggio quantitativo; il quadro concettuale all'interno del quale si situa una teoria; le riduzioni più o meno esplicite che si operano passando dalla realtà ai modelli.

Sottolineare i momenti di svolta, significa analizzare i nodi che richiedono un cambiamento della modalità stessa dell'indagine. Esporre e discutere gli esperimenti storici (eventualmente riprodotti in laboratorio o con simulazioni interattive) permette di sottolineare alcune categorie peculiari del lavoro sperimentale, come quelle di esperimento «ideale», esperimento «iniziale» o di svolta; esperimento «cruciale». Quest'ultima modalità viene illustrata nel seguito attraverso alcuni esempi.



La nascita del concetto di esperimento in Galileo

L'inizio della scienza, con lo studio del moto, è intimamente legato al superamento dei dati «istintivi» dell'esperienza comune e della loro teorizzazione fatta nella fisica aristotelica.

Il percorso non è stato facile, perché occorre prima sgombrare il campo da idee ormai radicate, e non analizzate criticamente.

Il problema del moto veniva infatti impostato, secondo la tradizione aristotelica, sulla distinzione fra moto naturale e moto violento. Un esempio di moto naturale può essere costituito dalla caduta dei gravi: in questo caso il senso comune portava a concludere che tanto più pesante è un corpo, tanto più cade velocemente.

È interessante la contestazione che fa Galileo di queste conclusioni, perché non viene usato un argomento basato su ipotesi teoriche nuove, ma una semplice analisi del fenomeno in termini quantitativi, attraverso un esperimento «ideale», per la cui analisi viene usato quel linguaggio matematico che sarà poi lo strumento essenziale delle teorie fisiche.

Salviati: Quando dunque noi avessimo due mobili, le naturali velocità dei quali fossero inuguali, è manifesto che se noi congiungessimo il più tardo con il più veloce, questo dal più tardo sarebbe in parte ritardato, ed il tardo in parte velocitato dall'altro più veloce. Non concorrete voi meco in quest'opinione?

Simplicio: Parmi che così debba indubitabilmente seguire

Salviati: Ma se questo è, ed è insieme vero che una pietra grande si muova, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, adunque, congiungendole, amendue insieme, il composto di loro si muoverà con velocità minore di otto gradi: ma le due pietre, congiunte insieme, fanno una pietra maggiore che quella prima, che si muoveva con otto gradi di velocità: adunque questo composto (che pure è maggiore che quella prima sola) si muoverà più tardamente che la prima sola, che è minore; che è contro alla vostra supposizione. Vedete dunque come dal suppor che 'l mobile più grave si muova più velocemente del men grave, io vi concludo, il più grave muoversi men velocemente.»

(G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*)

All'uso della deduzione di tipo matematico si aggiunge un altro elemento essenziale: la legge fisica non parte dal dato dell'esperienza così come si presenta, ma coglie in esso l'elemento principale e semplifica tutti gli elementi accessori.

Il problema dell'esperimento sarà d'ora in poi quello di realizzare condizioni in cui gli elementi accessori siano trascurabili: sarà ciò che avviene in queste condizioni controllate e non la realtà nella sua complessità il banco di prova di una legge.

Il metodo di concentrarsi su quella che appare la caratteristica principale, che può anche non emergere in modo del tutto

pulito da un esperimento «grezzo», cioè in condizioni non controllate, è esemplificato dalla continuazione del dialogo sopra riportato sulla caduta dei gravi. Salviati contesta a Simplicio la dipendenza del tempo di caduta dalla massa del corpo, affermando che l'esperienza mostra che due corpi diversissimi cadono «quasi» nello stesso tempo:

«Simplicio: Il vostro discorso procede benissimo veramente: tuttavia mi par duro a credere che una lagrima di piombo si abbia a muover così veloce come una palla di artiglieria.

Salviati: Voi dovevi dire, un grano di rena come una macina da guado. Io non vorrei, signor Simplicio, che voi faceste come molt'altri fanno, che, divertendo il discorso dal principale intento, vi attaccaste a un mio detto che mancasse dal vero quant'è un capello, e che sotto questo capello voleste nascondere il difetto di un altro, grande quanto una gomena da nave. Aristotele dice: "Una palla di ferro da cento libbre, cadendo dall'altezza di cento braccia, arriva in terra prima che una libbra sia scesa di un sol braccio"; io dico ch'elle arrivano nello stesso tempo; voi trovate, nel farne l'esperienza, che la maggiore anticipa di due dita la minore, cioè che quando la grande percuote in terra, l'altra ne è lontana due dita: ora vorreste dopo queste due dita appiattar le novantanove braccia di Aristotele, e parlando solo del mio minimo errore, metter sotto silenzio l'altro massimo.»

(G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*)

Tuttavia, anche una lieve differenza fra una previsione teorica e un dato sperimentale può essere significativa: l'affermazione di Galileo che due corpi cadono «quasi» nello stesso tempo, presa in sé, potrebbe apparire un po' semplicistica. Essa si chiarisce però nel contesto del metodo galileiano; l'osservazione è solo un primo passo, che può fornire un'ipotesi, in questo caso l'ipotesi che tutti i corpi cadano nel medesimo tempo, a esso deve seguire una verifica sperimentale rigorosa, un esperimento in condizioni controllate, in cui si tenta di eliminare i fattori di disturbo che provocano una discrepanza fra previsione teorica e dato sperimentale.

Così la descrizione dell'esperienza della caduta dei gravi lungo un piano inclinato mostra, più di ogni commento, questa attenzione ai particolari.

«In un regolo, o vogliam dire corrente, di legno, lungo circa 12 braccia, e largo per un verso mezzo braccio e per l'altro tre dita, si era in questa minor larghezza scavato un canaletto, poco più largo di un dito; tiratolo drittissimo, e, per haverlo ben pulito e liscio, incollatovi dentro una carta pecore zannata e lustrata al possibile, si faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotonda e pulita; costituito che si era il detto regolo pendente, elevando sopra il piano orizzontale una delle sue estremità un braccio o due ad arbitrio, si lasciava scendere per il detto canale, notando, nel modo che appresso dirò, il tempo che consumava nello scorrerlo tutto, replicando il medesimo atto molte volte per assicurarsi bene della quantità del tempo, nel quale non si trovava mai differenza né anco della decima parte d'una battuta di polso.»

(G. Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*)

Un esperimento «iniziale»: l'esperimento di Oersted

La genesi di un esperimento scientifico nega in molti casi l'affermazione semplicistica che «la legge fisica deriva dal risultato degli esperimenti». Normalmente un esperimento nasce da un'ipotesi che si vuole verificare e che può avere le radici più disparate. Inoltre, dopo l'esperimento, al di là di una eventuale relazione matematica che ne esprime i risultati, sorge il problema della sua interpretazione alla luce di un modello più generale.

Nel caso dell'esperimento di Hans C. Oersted (1777-1851), che possiamo considerare come un esperimento «iniziale» perché apre la strada a una ricerca, le premesse arrivano da lontano.

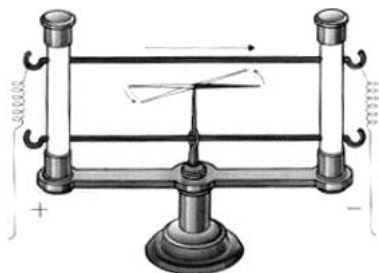
Come si può leggere anche nella relazione originale di Oersted, l'ipotesi che ha motivato l'esperimento è addirittura di natura extrascientifica: deriva dalla corrente dei «Filosofi della Natura» del primo Ottocento, che sostenevano che tutte le forze esistenti nella natura sono manifestazioni diversificate di un'unica forza, sempre presente, anche se con proporzioni diverse nei suoi effetti, così da apparire, volta per volta, una forza diversa, a seconda dell'effetto che si manifesta in modo preponderante.

«Per molto tempo s'è detto che i fenomeni magnetici, elettrici chimici e persino organici avrebbero dovuto intrecciarsi in una grande associazione. [...] Questa grande associazione, che una fisica scientifica deve evidenziare, si estende all'intera Natura.»

(F.W.J. Schelling, *Idee per una filosofia della Natura*)

Ciò non significa che ci sia confusione di livello fra filosofia e scienza. Una concezione filosofica può servire di stimolo, ma perché sorga una teoria scientifica occorre una formalizzazione in termini precisi e la possibilità di sottoporre la teoria al vaglio di un esperimento. Questa è stata l'opera di Oersted. Se però vogliamo intendere la relazione originale dell'esperimento e comprenderne le difficoltà non si può prescindere dalle sue ipotesi. Seguendo i Filosofi della Natura egli si aspettava che un effetto magnetico, cioè la deviazione di un ago magnetico in prossimità di un filo percorso da corrente, fosse più visibile quando tutti gli aspetti dell'unica forza prevista dai filosofi fossero compresenti.

Per questo motivo, nei primi esperimenti usò, per la corrente, fili sottili, che si riscaldavano più facilmente (anche il calore era considerato una delle manifestazioni della «forza»). Con ciò compromise il risultato dell'esperimento, perché usò correnti deboli (maggiore resistenza), mentre oggi sappiamo che la deviazione non dipende dallo stato fisico del filo, ma solo dall'intensità di corrente. Non si lasciò tuttavia condizionare dall'ipotesi iniziale, ma cercò le condizioni per un migliore esito dell'e-



sperimento: fili molto più spessi (bassa resistenza), quindi con corrente maggiore, individuando così la vera causa del moto dell'ago magnetico: la corrente.

Usando il termine «iniziale» per l'esperimento di Oersted, si vuole intendere che tale esperimento, se da una parte offre una risposta positiva alla domanda sull'esistenza di un rapporto fra correnti e magneti, dall'altra pone una serie di interrogativi come conseguenza del suo stesso risultato. Infatti, non si rivela l'esistenza di una forza diretta come la congiungente due corpi, ma piuttosto «di un effetto della corrente che ha un movimento circolare intorno a essa». Il significato della frase è alquanto oscuro, e altrettanto doveva esserlo per lo stesso Oersted. Prima ancora di tradurre l'esito dell'esperimento in leggi quantitative generalizzabili sorgeva quindi un problema di interpretazione.

Storicamente furono prese due vie. La prima, percorsa da André M. Ampère (1775-1836), tentò di riconciliare il risultato dell'esperimento con la meccanica newtoniana basata sull'esistenza di forze attrattive e repulsive elementari. La seconda via fu percorsa dallo stesso Oersted, sia pure in modo confuso (con l'ipotesi del conflitto elettrico) e, in seguito, da Michael Faraday (1791-1867) e infine da James C. Maxwell (1831-1879), portando come è noto all'affermazione del concetto di campo.

Gli esperimenti di Faraday

Nel 1831 Faraday esegue alcuni esperimenti che contribuiscono in modo determinante a evidenziare in modo ambiguo il fenomeno dell'induzione elettromagnetica.

Vale la pena di esaminare con attenzione le premesse dei suoi esperimenti. Di particolare interesse era la situazione sperimentale, e la conseguente difficoltà di interpretazione teorica, che si era venuta a creare nello studio delle interazioni fra magnetismo ed elettricità, messe in evidenza per la prima volta da Oersted.

Da una parte esisteva la teoria riduzionista di Ampère: il magnetismo non è altro che il risultato di forze fra correnti. Tale teoria, come abbiamo accennato, parte da una ipotesi valida, ma si sviluppa attraverso una concezione newtoniana di forza, insufficiente per rendere conto dei fenomeni elettromagnetici. Vengono messi in evidenza, negli anni Venti, dei fenomeni difficilmente interpretabili nella visione amperiana: l'esperimento di Arago, quello della sfera di Barlow, le rotazioni elettromagnetiche, messe in evidenza dallo stesso Faraday.



Nasce allora un'impostazione diversa, inizialmente alquanto qualitativa, che sposta l'attenzione dai corpi interagenti allo spazio intorno a essi, e arriva progressivamente al concetto di linea di forza di un campo. In effetti, solo dopo aver compiuto i suoi esperimenti Faraday parlerà esplicitamente di linee di forza, ma il primo passo importante fu quello di tener conto della modificazione del mezzo intorno a magneti o correnti, come elemento essenziale dell'interpretazione.

Dopo i primi esperimenti sui fenomeni elettromagnetici, Faraday si era dedicato per un certo periodo a studi di ottica e di acustica. Da ciò trasse spunto per l'ipotesi che il meccanismo di trasmissione delle azioni elettromagnetiche fosse simile a quello di una propagazione ondosa. Si trattava quindi di provocare una perturbazione degli effetti magnetici che fosse simile a un impulso che genera un'onda.

«[...] io sono incline a paragonare la diffusione di forze magnetiche da un polo magnetico, alle vibrazioni sulla superficie di acqua disturbata, o a quelle di aria nei fenomeni del suono; cioè io sono incline a pensare che la teoria delle vibrazioni si applicherà a questi fenomeni, come si applica al suono o molto probabilmente alla luce. Per analogia io penso che può essere possibile applicarla anche a fenomeni di induzione dell'elettricità di tensione.»

(M. Faraday, *Experimental researches in electricity*, 1832)

Nel 1831 un articolo di Gerard Moll (1785-1838), metteva in evidenza che la polarità di un elettromagnete poteva variare istantaneamente invertendo il segno della corrente. Ciò suggerì a Faraday che un apparato sperimentale costruito a partire da un elettromagnete poteva essere il dispositivo giusto per provocare un'«onda di forza magnetica» e per rivelarne gli effetti. Faraday ideò quindi una serie di esperimenti, di cui il più noto è quello dell'anello: una brusca variazione di corrente nel circuito primario provoca una corrente nel secondario.

«Con una sbarra di ferro venne costruito un anello saldato. Tre eliche vennero avvolte su un lato di questo anello, ciascuna contenente 24 piedi di filo di rame avente un diametro pari a 1/20 di pollice; esse erano isolate dal ferro e saldate fra loro. Dall'altra parte dell'anello vennero avvolti, nello stesso modo, 60 piedi di filo di rame simile, così da formare un'elica B. L'elica B venne connessa con fili di rame al galvanometro G. Gli estremi di A vennero connessi in modo da formare una lunga elica, le cui estremità furono connesse con una batteria di 10 coppie di piastre quadrate di 4 pollici di lato. Il galvanometro fu immediatamente influenzato. Continuando il contatto, l'effetto non permaneva, perché l'ago tornava quasi subito in posizione naturale. Interrompendo il contatto con la batteria, l'ago era ancora deflesso notevolmente, ma in direzione contraria a quella precedente.»

(M. Faraday, *Experimental researches in electricity*, 1832)

In questo esperimento il passaggio di corrente nel secondario si verifica solo all'apertura o alla chiusura del primario.

Sembra quindi che il meccanismo di produzione di corrente sia legato a una modificazione delle influenze magnetiche. Faraday pensò che questa modificazione potesse realizzarsi in vari modi.

Per esempio, in un secondo esperimento si ha un passaggio di corrente senza alcun circuito primario, per la semplice introduzione o estrazione di un magnete da un solenoide. Mentre il magnete è all'interno del solenoide non si registra alcuna corrente: solo l'introduzione o l'estrazione del magnete provoca il fenomeno.

In entrambi gli esperimenti, la produzione di elettricità dal magnetismo avviene in modo transitorio; allora l'obiettivo dei successivi esperimenti è quello di produrre corrente in modo continuo. In un terzo esperimento, la produzione di corrente elettrica avviene per effetto della rotazione di un disco fra le espansioni polari di un magnete. In questo caso il movimento del disco provoca una corrente il cui valore rimane costante, se viene mantenuta costante la velocità di rotazione del disco: si tratta del primo generatore di corrente continua diverso da una pila voltaica!

In seguito a una riflessione sui propri esperimenti Faraday ne fornisce un'interpretazione in termini di linee di campo.

«Per curve magnetiche io intendo le linee di forza magnetiche, comunque modificate dalla giustapposizione dei poli, che possono rendersi palesi mediante la limatura di ferro; ossia quelle curve alle quali un piccolissimo ago magnetico si disporrebbe tangente [...]. Quando una corrente elettrica passa attraverso un filo metallico, questo è circondato da ogni parte da curve magnetiche che diminuiscono d'intensità secondo la loro distanza dal filo e che concettualmente possono essere assimilate ad anelli situati in piani perpendicolari al filo, o meglio alla corrente elettrica che circola in questo. Queste curve, sebbene differenti di forma, sono perfettamente analoghe a quelle esistenti fra due poli magnetici contrari, opposti l'uno all'altro; e quando un secondo filo, parallelo a quello che porta la corrente, si avvicina a quest'ultimo, esso attraversa le curve magnetiche esattamente come taglierebbe le curve magnetiche di due poli opposti.»

(M. Faraday, *Experimental researches in electricity*, 1832)

La corrente indotta si manifesta quindi, secondo Faraday, quando c'è un movimento relativo fra indotto e induttore, tale da «tagliare» le linee magnetiche. Quando tale movimento manca non c'è corrente indotta. Tuttavia è possibile ancora provocarla, come nel primo esperimento, provocando una variazione di corrente nell'induttore: è come se fossero le linee magnetiche stesse a muoversi.

«[...] dal momento in cui esse cominciano a svilupparsi sino a quando la forza magnetica della corrente raggiunge il suo massimo; espandendosi dal filo all'esterno e conseguentemente trovandosi nella stessa relazione, rispetto al filo indotto fisso, come se questo fosse mosso in direzione opposta attraverso ad esse, ossia verso il filo che porta corrente.»

(M. Faraday, *Experimental researches in electricity*, 1832)

Osserviamo che le conclusioni di Faraday, sostanzialmente condivisibili ancora oggi, mancano di una veste matematica. Questa sarà compito dell'opera di altri, in particolare di Maxwell, ma tale teorizzazione ha la sua radice nei risultati sperimentali di Faraday.

L'esperimento di Thomson

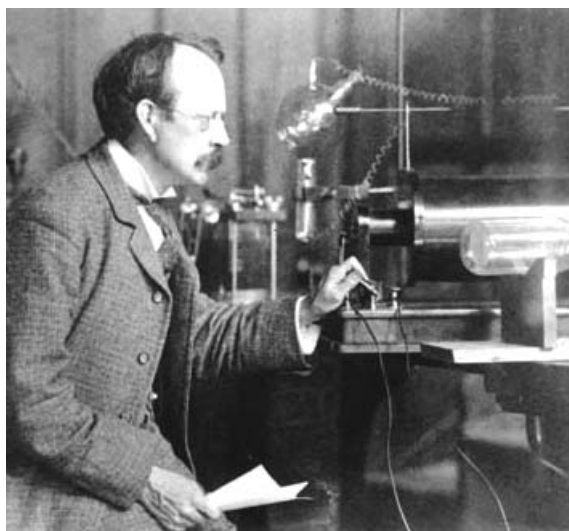
Questo esperimento ha in parte il carattere di un esperimento «iniziale» (apre la problematica della struttura atomica), mentre per altri versi costituisce un esperimento conclusivo e «cruciale» circa la natura dei raggi catodici.

La comprensione dell'esperimento di Joseph J. Thomson (1856-1940) richiede una premessa che renda chiaro il contesto in cui l'esperimento è stato effettuato: bisogna quindi ripartire dal problema dei raggi catodici.

La luminescenza emessa dal catodo in un tubo con gas a bassissima pressione fu studiata in modo quantitativo (anche grazie all'invenzione di una potente pompa a vuoto, dovuta a Glaiser, 1855) da Eugen Goldstein (1850-1930). Egli ipotizzò che dal catodo venissero emessi raggi rettilinei, che interpretò come «onde di etere», e chiamò per questo «raggi catodici» (1879).

Sui raggi catodici furono formulate due ipotesi. Secondo la prima, dovuta a Goldstein, i raggi catodici sono onde elettromagnetiche; infatti essi si propagano in linea retta e non mostrano deviazioni in un campo elettrico. Il suo maggior sostenitore fu Heinrich R. Hertz (1857-1894), che diede anche una spiegazione dell'unico dato che sembra contraddittorio, la deviazione dei raggi catodici in un campo magnetico: nell'articolo *Experiments on the cathode discharge* egli attribuì tale deviazione alla variazione delle proprietà del mezzo in cui si muovono i raggi catodici in presenza di campo magnetico. L'altra ipotesi era che i raggi catodici fossero particelle cariche negativamente; dati a sostegno erano la deviazione del fascio di raggi catodici in un campo magnetico nella direzione prevista per cariche negative e l'emissione di cariche negative dal catodo. Quest'ipotesi, suffragata da William Crookes (1832-1919) e da Jean B. Perrin (1879-1942) con diversi esperimenti, presentava alcuni punti deboli. Infatti, mancava una caratteristica fondamentale delle particelle cariche, la deviazione in un campo elettrico; inoltre si poteva dimostrare che il catodo produceva cariche negative, ma non che tali cariche coincidessero con il fascio di raggi catodici; infine non si riusciva a fare un'ipotesi valida sulla natura di tali particelle. Per esempio Crookes aveva fatto l'ipotesi di molecole ionizzate, ma alcuni esperimenti sembravano negare tale ipotesi.

L'esperimento di Thomson del 1897 fornisce una misura del rapporto massa/carica dei raggi catodici che, pur non essendo di per sé risolutivo, permette ipotesi circostanziate, da



verificare con successivi esperimenti, sulla natura di tali particelle. Una delle ipotesi possibili è che si tratti di particelle mille volte più piccole dell'atomo di idrogeno. L'esperimento non consiste soltanto, come appare spesso riportato, nell'aver misurato il rapporto massa/carica dell'elettrone, ma anche nell'aver preliminarmente dimostrato che i raggi catodici sono cariche negative. Per questo occorre raggiungere due obiettivi: dimostrare una deviazione dei raggi catodici in campo elettrico e studiare direttamente il comportamento del fascio, mostrando che le cariche negative uscenti dal catodo sono indivisibili dal fascio di raggi catodici.

La risposta, in entrambi i casi è fornita da una progettazione dell'esperimento atta a eliminare ogni ambiguità nelle misure.

Per la deviazione in campo elettrico si dimostra l'esistenza di un fattore di disturbo: il gas residuo che, ionizzato, costituisce uno schermo elettrostatico intorno al fascio di raggi catodici. Infatti, facendo via via un vuoto più spinto, Thomson è in grado di rilevare sempre meglio la deviazione, fino a mostrarla per un valore anche piccolo della differenza di potenziale, circa 2 volt, sempre nel verso previsto per cariche negative. Per confermare che i raggi catodici sono cariche negative, Thomson ricorre anche a una deviazione del fascio in campo magnetico, raccogliendo il fascio in un dispositivo atto a rivelare cariche elettriche; queste compaiono solo quando il fascio, per valori opportuni del campo magnetico, entra nel dispositivo: ciò mostra una stretta associazione fra raggi catodici e cariche elettriche.

Rimane da chiarire la natura dei raggi catodici. Thomson non è in grado di misurare separatamente le caratteristiche delle particelle cariche che costituiscono i raggi, cioè la carica e la massa, ma solo il loro rapporto. Per far ciò ricorre a due metodi: la deviazione in campo magnetico, misurando il raggio di curvatura, l'energia cinetica totale delle particelle emesse e la carica totale trasportata; la deviazione in campo elettrico, previa misura della velocità delle particelle, con l'uso di campi elettrici e magnetici incrociati. L'importanza dell'esperimento, cioè la determinazione del rapporto m/q per i raggi catodici, può essere valutata solo se il suo risultato viene inserito in un contesto di altri risultati sperimentali e delle relative interpretazioni. Il punto di riferimento è costituito dalle acquisizioni sul rapporto fra massa atomica e carica elettrica. Dagli esperimenti di Faraday sull'elettrolisi, e dalla conoscenza del numero di Avogadro, è possibile ricavare il rapporto massa/carica per uno ione. Il più piccolo di tali rapporti si ha per lo ione idrogeno, circa 10^{-8} kg/C. Il rapporto per i raggi catodici appare più di mille volte inferiore: sembra quindi non poter identificare nei raggi catodici alcuno ione di elementi conosciuti. Se assumiamo che il valore della carica sia lo stesso della carica minima presente su uno ione, che si può dedurre dalle leggi di Faraday e dalla conoscenza del numero di Avogadro, ci troviamo di fronte a una particella quasi duemila volte più piccola di un atomo di idrogeno!

Conclusioni

Dopo queste esemplificazioni vorrei fare un'ultima osservazione. Abbiamo più volte citato, sia pur brevemente, i testi originali di alcuni scienziati, per esempio Galileo, Newton, Faraday.

Ciò può suggerire un'altra modalità di approccio storico: porre in alcuni casi lo studente di fronte alle formulazioni espresse dagli stessi autori, qualcosa di analogo a ciò che nelle materie letterarie si indica con «porre di fronte al testo».

Naturalmente occorre un criterio didattico di accurata selezione: per esempio se scegliamo scritti che appartengono a un momento faticosissimo della elaborazione del concetto di campo, troviamo concetti alquanto stravaganti come quello di «conflitto elettrico» di Oersted, o di «stato elettrotonico» di Faraday (concetti peraltro forse un po' oscuri agli stessi autori), che rischiano di ingenerare nello studente qualche confusione. Ma in altri casi, come in alcuni brani di Galileo, di Faraday, o ancora di Einstein, troviamo la sorpresa di un'esposizione spesso più chiara e perfino più comprensibile, di quella che si può trovare in un testo didattico adattato e semplificato in tutti i modi possibili.

Ciò può far superare una certa diffidenza di fronte alla scienza, quasi che gli scienziati necessariamente debbano sempre esprimersi in un linguaggio comprensibile solo a una ristretta cerchia di addetti ai lavori, e far percepire più direttamente il suo senso di avventura umana.

▽



APPARECCHI PER LABORATORI DI FISICA DI SCUOLE SECONDARIE

progettati

per un uso diretto da parte degli studenti

corredati

di accurate guide su carta o videocassetta

adatti

per eseguire

osservazioni e misure

secondo le più moderne linee didattiche

semplici da usare,

robusti e poco costosi

non richiedono particolare manutenzione

FDL

di M.Teresa De Luca

Apparecchi scientifici per laboratori didattici

Via F. Ghinaglia 20

27051 Cava Manara (PV)

Tel-fax 0382/553397