

PAOLO CAVALLO (*)

L'emergere del concetto di trasmutazione in Rutherford

Forse il più difficile dei compiti posti allo studioso di una rivoluzione scientifica è quello di ricostruire l'epigenesi dei nuovi concetti in cui la teoria emergente va articolandosi; quei concetti non sono, in generale, i medesimi che costituivano l'apparato della teoria precistente: ed è grande, perciò, la tentazione di attribuire il mutamento concettuale a un processo discreto e improvviso, secondo l'analogia istituita da Kuhn con il *Gestalt switch* della psicologia della forma (1). La questione nella sua forma più impegnativa, circa quale sia cioè la natura del cambiamento scientifico in generale, rappresenta certamente una sfida enorme; credo, però, che la sfida possa essere raccolta con profitto già su un terreno più ristretto: quello dell'analisi dettagliata di un ramo, o di pochi rami, di una singola rivoluzione scientifica.

In questa comunicazione, mi occuperò di una serie di riferimenti ricavati da testi che stanno all'origine della teoria delle trasformazioni radioattive, teoria pubblicata da Rutherford e Soddy tra il 1902 e il 1903 (2). L'elaborazione di tale teoria costituì senz'altro una delle maggiori rivoluzioni scientifiche a cavallo del secolo: andando infatti a investire quella che era allora la principale superficie di contatto tra chimica e fisica (il problema dei costituenti fondamentali della materia), essa portò a una ridefinizione radicale dei compiti istituzionali delle due scienze; e fu in seguito a essa che l'indagine intorno alla struttura della materia divenne affare quasi esclusivo dei fisici. Nel passaggio di consegne che ne seguì, inoltre, i concetti stessi della teoria atomica subirono una profonda trasformazione di significato e di ruolo, così che l'atomo, prima la sede stabile dell'identità chimica degli elementi (e dunque più *principio esplicativo* che oggetto fisico), da allora in poi si presentò nella teoria come il luogo di trasformazioni radicali e violente, di processi e forze misteriosi (l'atomo si costituì perciò finalmente come un *problema*, un oggetto d'indagine — una struttura).

In un contrasto più o meno aperto con le teorie atomiche concorrenti (quella dell'atomo chimico innanzitutto, riflessa dai Curie; ma anche la teoria elettronica, elaborata in connessione con la teoria dell'etere elettromagnetico da Thom-

(*) P. CAVALLO, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna.

(1) T. S. KUHN, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago 1970, trad. it., Torino 1978; *The Essential Tension*, Chicago 1977.

(2) R. RUTHERFORD, F. SODDY, «The Radioactivity of Thorium Compounds», *Trans. Chem. Soc.*, 41, 1902; anche in R. RUTHERFORD, *Collected Papers*, 3 voll., London 1962, vol. I, 445.

son, e condivisa in parte da Becquerel e da Perrin, i risultati prodotti da Rutherford e Soddy indicavano un fatto prima insospettato: che nei fenomeni radioattivi si rifletteva una realtà subatomica di grande complessità e ricchezza, dalla quale emergevano sotto forma di radiazioni delle particelle « di un tipo speciale di materia »; lo straordinario fenomeno era dovuto, secondo i due scienziati, a un processo sottostante ancora più notevole: un « cambiamento chimico subatomico », la trasformazione di un atomo dell'elemento radioattivo nell'atomo di un altro elemento.

Questa vera e propria *trasmutazione*, che si accompagnava sempre alla espulsione di una particella materiale carica, veniva ricondotta da Rutherford « all'azione di forze interne o esterne, delle quali attualmente non abbiamo alcuna conoscenza » (3); ma di qualsiasi tipo fossero le forze in gioco, il fenomeno andava « a sostegno dell'opinione che gli atomi di queste sostanze siano costituiti, in parte almeno, da sistemi rapidamente oscillanti o vibranti di corpi pesanti carichi, grandi in confronto all'elettrone ». Su questo intreccio di problemi irrisolti e di intuizioni ancora oscure (ma siamo nel 1903) Rutherford saldò un vasto programma di ricerca, forse il più ricco di successi nel panorama della fisica del primo Novecento: furono fra le tappe di tale programma la determinazione della natura delle particelle α (1909), la scoperta del nucleo atomico (1911), la realizzazione della prima disintegrazione atomica artificiale (1919), e la previsione su basi teoriche dell'esistenza del nucleo di deuterio e del neutrone (1920).

La tesi che cercherò di illustrare, circa gli sviluppi che portarono all'introduzione nella teoria del concetto rivoluzionario di trasmutazione radioattiva, è la seguente: l'elaborazione definitiva del concetto (e dunque la determinazione di che cosa e come, esattamente, trasmutasse) va attribuita alla collaborazione tra Rutherford e Soddy, iniziata nell'ottobre del 1901; prima di tale data, il concetto di trasmutazione e lo stesso termine *change* (usato per riferirsi al meccanismo all'origine del fenomeno radioattivo), pur apparendo nei lavori di Rutherford, hanno una semantica ancora aperta e indeterminata, non esistendo ancora un modello fisico in grado di interpretare tale semantica. Ciò nonostante, quel concetto e quel termine furono di un'importanza determinante nell'evoluzione delle idee di Rutherford, e ciò almeno in due sensi: in primo luogo, essi rappresentarono l'equivalente di un'intuizione vaga e azzardata (« qualcosa 'cambia' lì dentro da qualche parte ») e in quanto tali indicarono a Rutherford una direttiva di ricerca altrimenti non individuabile; in secondo luogo, proprio nel suo scarso « rigore » e nella sua scarsa « scientificità » (non a caso, Rutherford si sforza di occultarlo, o di tacerlo) il termine *change* rivestiva un ruolo irrisolvibilmente negativo rispetto alle teorie già esistenti, indicava un'oggettiva difficoltà a descrivere i fenomeni quali essi apparivano, rivelava insomma l'incommensurabilità delle vecchie teorie di fronte alla radicale novità della realtà appena scoperta.

(3) E. RUTHERFORD, « The Magnetic and Electric Deviation of the Easily Absorbed Rays from Radium », *Phil. Mag.*, 1, 1903; anche in E. RUTHERFORD, *Collected...*, vol. I, 557.

Si noti che, se questa tesi è corretta, il ricorso da parte di Rutherford al termine *change* non può in alcun modo essere identificato con un *Gestalt switch*, con l'emergere improvviso di una forma percettiva compiutamente definita; esso rappresenta piuttosto (se si mantiene l'analogia con la psicologia) l'equivalente di una confusione nella percezione, una confusione che può ben essere persistente e penosa, come quella dei soggetti dell'esperimento di Bruner e Postman con le carte da gioco (4). Ciò nonostante, va ricordato che il termine *change* rappresenta a tutti gli effetti un precursore del futuro paradigma e non è, semplicemente, espressione di un « disagio » per il venir meno del paradigma preesistente, come vorrebbe Kuhn.

Il materiale, sul quale va argomentata la tesi susposta, è costituito dagli articoli scritti da Rutherford tra il 1898 e il 1901 sui fenomeni radioattivi. Il primo di tali articoli (5) ci si presenta già come un lavoro di grande rilievo: in esso Rutherford proponeva un'analogia tra l'irraggiamento X e la radiazione dell'uranio, basandosi sulle comuni proprietà ionizzanti, e sviluppava tale analogia col supporre che la radiazione potesse dimostrarsi costituita, come i raggi X, da una varietà di componenti fisiche distinte. Mettendo alla prova la sua congettura, Rutherford poté stabilire l'esistenza di almeno due forme diverse di emissione con proprietà di penetrazione e di ionizzazione differenti, che egli chiamò radiazione α e β .

L'analogia con i raggi X consentiva una seconda congettura ancora; il maestro di Rutherford, Thomson, aveva avanzato l'ipotesi che i fenomeni prodotti dal passaggio dei raggi X nei gas potessero essere ricondotti a processi nella dinamica interna dell'atomo e dei suoi costituenti (elettroni); richiamando tale ipotesi, sempre nello stesso articolo Rutherford proponeva che il meccanismo all'origine della radioattività potesse venire individuato in una forma di « riordinamento dei costituenti dell'atomo ». Questa proposta è per noi della massima importanza perché, se essa è in accordo con l'idea dei Curie che la radioattività fosse una proprietà atomica, se ne allontana però in questo: che per Rutherford tale proprietà era un'indicazione rivelatrice della dinamica interna dell'atomo e delle *trasformazioni* occorrenti in essa.

Dopo la redazione dell'articolo ora citato, Rutherford si trasferì dal Cavendish Laboratory di Cambridge alla McGill University di Montreal. Qui egli continuò le ricerche sulla radioattività, pubblicando di lì a poco una breve « nota preliminare » (6); la maggior parte della nota concerneva le proprietà del torio, e soprattutto lo strano fenomeno della apparente dipendenza di tali proprietà dalle correnti d'aria presenti nel laboratorio. Nella nota si legge che il fenomeno appariva « come se nei pori [del minerale] avesse luogo col tempo qualche cambiamento, che accrescesse l'intensità della radiazione »: le correnti d'aria influen-

(4) Cf. T. S. KUHN, *The Structure...*, cit., 78.

(5) E. RUTHERFORD, « Uranium Radiation and the Electrical Conduction Produced by It », *Phil. Mag.*, 1899; anche in E. RUTHERFORD, *Collected...*, cit., vol. I, 169.

(6) E. RUTHERFORD, R. B. OWENS, « Thorium and Uranium Radiation », *Trans. Roy. Soc. Can.*, 1899; anche in E. RUTHERFORD, *Collected...*, cit., vol. I, 216.

zavano « il risultato di un cambiamento nelle condizioni della sostanza radioattiva ». Bisogna sottolineare il fatto che Rutherford e Owens si preoccupavano di spiegare fin dall'inizio che gli esperimenti erano stati intrapresi nella speranza che il risultato « potesse fornire qualche indizio sulla causa e l'origine della radiazione emessa da queste sostanze ». Se tali speranze investivano proprio dei fenomeni così capricciosi e instabili, c'è da credere che ciò avvenisse a motivo del « cambiamento » che essi sembravano evidenziare: il cambiamento consisteva in un « riordinamento dei costituenti atomici »? Rutherford e Owens non accennano a questa possibilità, come non fanno cenno ad alcun altro modello.

Nella « esposizione dei fatti », cui la relazione cerca evidentemente di ridarsi, i due autori privilegiano però proprio alcuni « fatti » oscuri, difficilmente interpretabili, e soggetti a pesanti fluttuazioni. L'impressione è che Rutherford volesse limitarsi, almeno nell'ambito di una nota preliminare, a quelle sole affermazioni che potevano essere enunciate senza troppo azzardo, evitando di rendere esplicite delle ipotesi avventurose che pure i fatti potevano autorizzare. È infatti difficile, sulla base dei dati esposti, *non* pensare che « il risultato del cambiamento » avesse una natura corpuscolare; nella nota non c'è alcun riferimento in proposito: di lì a poco, però, Rutherford pubblicò un articolo (7) dove sosteneva che la capricciosa variabilità nelle proprietà del torio era dovuta al fatto che esso (e, come si scoprì, anche il radio), liberava « una emanazione » composta di « particelle radioattive [...] che conservano il loro potere radioattivo per parecchi minuti »; il carattere corpuscolare del « risultato del cambiamento » era perciò stabilito, secondo Rutherford (P. Curie, al contrario, avversò a lungo e decisamente l'idea che l'emanazione fosse un fenomeno radicalmente nuovo e intrinsecamente corpuscolare). Il termine « cambiamento » non compare nell'articolo appena citato: Rutherford aveva ritirato la congettura, peraltro generica, avanzata nella nota preliminare con Owens?

Credo che la risposta debba essere negativa. Nell'articolo successivo (8), se pure non parlava di un « change », Rutherford si preoccupava di mettere bene in risalto le differenze tra le proprietà sperimentali del torio e quelle dell'emanazione. Secondo i dati pubblicati da Rutherford, l'emanazione aveva « una proprietà assai notevole »; quella di conferire alle pareti del contenitore il potere di emettere autonomamente « una radiazione molto più penetrante di quella del torio stesso »; in altri termini, l'emanazione aveva « proprietà che il torio stesso non possiede ». Questa conclusione non consentiva che due soluzioni.

La prima, che sarebbe stata proposta da P. Curie (9), consisteva nell'ipotizzare che la radioattività del torio, quella dell'emanazione, e quella « eccitata » sulle pareti del contenitore, non fossero che le forme diverse nelle quali una

(7) F. RUTHERFORD, « A Radioactive Substance Emitted from Thorium Compounds », *Phil. Mag.*, 49, 1900; anche in E. RUTHERFORD, *Collected Papers*, vol. I, 220.

(8) E. RUTHERFORD, « Radioactivity Produced in Substances by the Action of Thorium Compounds », *Phil. Mag.*, 49, 1900; anche in E. RUTHERFORD, *Collected Papers*, vol. I, 240.

(9) P. CURIE, « Sur la radioactivité induite et sur l'émanation du radium », *Compt. Rend. Acad. Sci.*, 136, 1903, 225.

stessa energia si manifestava in presenza di sostrati materiali differenti quali il torio, l'aria e le pareti; secondo Curie, anche la legge di variazione dell'attività nel tempo, osservata in effetti solo nel caso dell'emanazione e della « excited radioactivity », era affatto peculiare ai due fenomeni.

La seconda soluzione era quella che Rutherford si sforzò in tutti i modi di dimostrare: l'emanazione era una « sostanza » distinta dal torio e con proprietà emissive intrinseche peculiari; quanto Rutherford tenesse a questa tesi è dimostrato anche dal fatto che, volendo dimostrarla, prese per buono un dato grossolanamente errato. In un articolo scritto con H. T. Brooks (10), gli autori mostravano di aver stabilito che l'emanazione del radio era costituita da un elemento di peso atomico compreso tra 40 e 100; si trattava invece, come sappiamo, del Rn 222. Basandosi sul proprio risultato, comunque, Rutherford e la Brooks giungevano alla conclusione corretta che l'emanazione era « un nuovo gas pesante radioattivo » della famiglia dell'argon.

Com'era possibile che il torio liberasse un simile gas? Rutherford e la Brooks evitavano accuratamente di alludere a « un cambiamento » nelle condizioni del torio. È però significativo il modo in cui essi spiegavano la relazione tra l'emanazione stessa e la radioattività « eccitata » delle pareti: secondo i due autori, l'emanazione era soggetta « a un cambiamento progressivo col tempo », e in questo modo produceva « a partire da se stessa [from itself] una sostanza carica positivamente » responsabile della radioattività eccitata.

L'evoluzione del termine e del concetto di « cambiamento » in questa fase credo che possa essere descritta così: l'idea di un cambiamento, concepita secondo un modello insieme abbastanza *ben definito* nel suo meccanismo e *compatibile* con preesistenti teorie dell'atomo e dell'identità chimica, poté essere avanzata da Rutherford in modo esplicito e in riferimento alla stessa questione centrale dell'origine dei fenomeni radioattivi in generale; mano a mano, però, che i fenomeni si rivelavano più complessi del previsto e la spiegazione appariva meno a portata di mano (11), la semantica del termine « change » si andò indebolendo, e il termine stesso venne via via espunto dal centro della trattazione, per ricomparire con nuovi elementi e implicazioni in riferimento a questioni meno generali e di natura più problematica.

L'aspetto notevole del processo ora descritto è che in questa fase (immediatamente precedente la collaborazione con Soddy) al termine teorico « change » accade qualcosa di apparentemente paradossale: da una parte il suo contenuto, la sua interpretazione in termini di un modello fisico definito si fa *più incerta* col procedere delle ricerche; dall'altra parte, mentre nel primo articolo la conget-

(10) E. RUTHERFORD, H. T. BROOKS, « The New Gas from Radium », *Trans. Roy. Soc. Can.*, 7, 1901; anche in E. RUTHERFORD, *Collected Papers*, vol. I, 301.

(11) I motivi per i quali la spiegazione proposta da Rutherford nel primo articolo perde rapidamente plausibilità sono molteplici; fra questi, la scoperta della compositorialità delle radiazioni. In questa sede non posso far altro che rimandare alla mia tesi di laurea da cui questa comunicazione in parte è tratta. (P. CAVALLO, « Analisi storica dell'evoluzione del concetto di neutrone »).

tura su un « riordinamento dei costituenti atomici » aveva carattere apertamente speculativo, nell'articolo del 1901 con la Brooks l'ipotesi di « un cambiamento » è un'ipotesi forte, strettamente necessaria a giustificare la connessione diretta tra emanazione e radioattività eccitata.

Ciò nonostante, il concetto di cambiamento è per Rutherford, nel 1901, più che mai un concetto aperto e indefinito; il termine indica in qualche modo il meccanismo alla base della radioattività, e dà così voce alla convinzione di Rutherford (i Curie erano di altro avviso) che la comprensione di tale meccanismo fosse essenziale alla comprensione della natura stessa delle radiazioni; ma proprio intorno a tale meccanismo, il termine stesso dà questa sola informazione; esso supera le capacità espressive disponibili alla scienza attuale, Rutherford e Soddy dovranno rassegnarsi a trovare altrove nuovi strumenti espressivi: nell'idea, alchimistica ed eretica, di trasmutazione.