

Dal peso atomico al numero atomico

Un nuovo criterio ordinatore della Tavola Periodica di Mendeleev

Antonio Testoni

Società Chimica Italiana – Divisione di Didattica
Scuola di Didattica Chimica U. Segre - G. Del Re, Abano Terme (PD), 11 Novembre 2024

«Questa dimostrazione di Moseley si pone, secondo me, sullo stesso piano della scoperta del sistema periodico degli elementi e dell'analisi spettroscopica e, per certi aspetti, è più fondamentale di entrambi»

E. Rutherford

Dal Peso Atomico al Numero Atomico nei libri di testo:

“Nella tavola periodica di Mendeleev, come abbiamo visto, gli atomi erano ordinati secondo il loro peso atomico crescente. Le conoscenze successive sulla struttura atomica hanno portato a ordinare gli elementi in funzione del loro numero atomico...”

La chimica è la scienza che per prima, ha rivestito di *significato scientifico* l'antica concezione atomistica e l'ha fatta diventare una *teoria scientifica* e non solo un sistema filosofico. “Senza quella teoria lo sviluppo della chimica moderna sarebbe semplicemente impensabile.” (C. Gillispie, *Il Criterio dell'oggettività*)

Dalton riteneva che gli elementi lavoisieriani fossero veramente sostanze non più decomponibili perché pensava che *ciascun elemento fosse costituito da atomi tutti uguali, indivisibili e diversi da elemento ad elemento sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, in quanto aventi peso atomico diverso. Nella formazione dei composti, egli riteneva che gli atomi si combinassero interi secondo rapporti definiti e costanti caratteristici della sostanza considerata.*

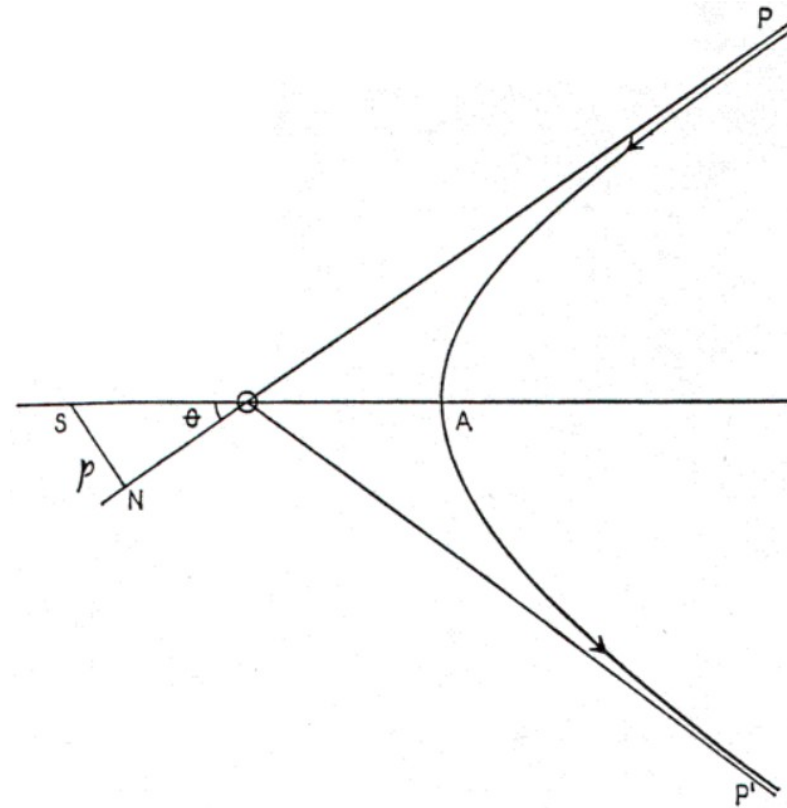
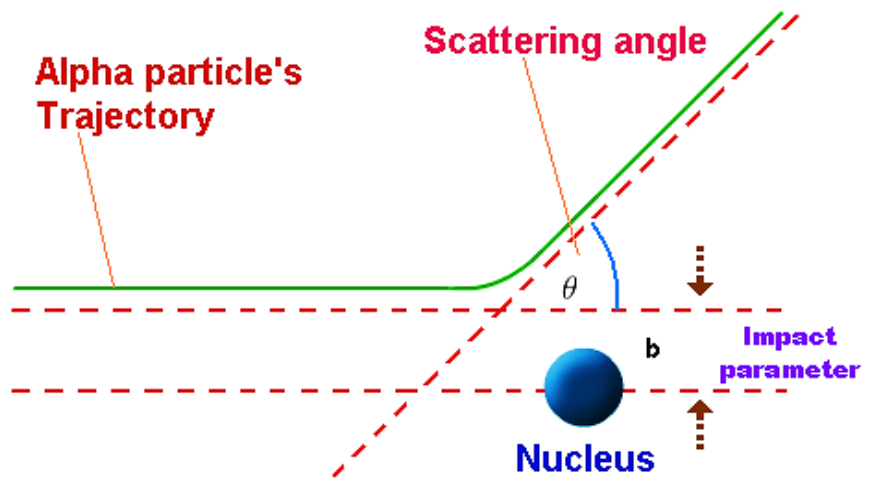


Five wooden balls, made by Peter Ewart of Manchester, 1810, and used by John Dalton for demonstrating his atomic theory, Science Museum Group Collection

Quell'idea di atomo, concepito come la quantità di un elemento che è presente per multipli interi nei vari composti e che rimane inalterata nelle reazioni chimiche, era basata su *operazioni sperimentali* esattamente definite, il cui risultato determinava in modo *univoco* una caratteristica dell'atomo, la sua massa relativa, comunemente detta peso atomico.

*“L’idea principale con la quale si può giungere a spiegare la legge della periodicità consiste proprio nella **differenza radicale** dei concetti di elemento e di sostanza semplice... Gli elementi non vanno soggetti a varietà e a trasformazioni reciproche e appaiono, stando alle attuali risultanze, l’**essenza immutabile** di una sostanza che invece cambia (sotto il profilo chimico, fisico, meccanico), essenza che entra a far parte sia dei corpi semplici sia di quelli composti. Questa concezione ci presenta gli elementi chimici come qualcosa di **astratto**, dato che non siamo in grado né di vederli né di sapere alcunché di essi... Non si tratta di un corpo concreto, quanto piuttosto di una sostanza ponderabile (materiale)...”*

D.I. Mendeleev, *La legge della periodicità degli elementi chimici (1898)*



Let r = distance from point of incidence of α rays on scattering material, then if Q be the total number of particles falling on the scattering material, the number y of α particles falling on unit area which are deflected through an angle ϕ is given by

$$y = \frac{Qdm}{2\pi r^2 \sin \phi \cdot d\phi} = \frac{ntb^2 \cdot Q \cdot \operatorname{cosec}^4 \phi/2}{16r^2} \dots (5)$$

Since $b = \frac{2NeE}{mu^2}$, we see from this equation that the number of α particles (scintillations) per unit area of zinc sulphide screen at a given distance r from the point of incidence of the rays is proportional to

- (1) $\operatorname{cosec}^4 \phi/2$ or $1/\phi^4$ if ϕ be small ;
- (2) thickness of scattering material t provided this is small ;
- (3) magnitude of central charge Ne ;
- (4) and is inversely proportional to $(mu^2)^2$, or to the fourth power of the velocity if m be constant.

E. Rutherford, *The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom*,
 Phil. Magazine Series 6, 669 — 688, 1911

Secondo questo modello di scattering e in base all'equazione di cui sopra, ipotizzando che la *carica del nucleo sia proporzionale al peso atomico A* (considerando fogli di metalli diversi contenenti lo stesso numero di atomi per unità di volume) il numero delle particelle α deviate di un determinato angolo dovrebbe essere proporzionale ad A^2 . Per cui, se si mantengono inalterate le condizioni sperimentali e si cambia solo la lamina metallica, il rapporto fra il numero di dette particelle e A^2 dovrebbe rimanere *costante*, in quanto l'unica grandezza che varia è la carica nucleare.

Element	scattering per atom/ A^2	
	Experiment 1	Experiment 2
Cu	3.7	3.95
Ag	3.6	3.4
Sn	3.3	3.4
Pt	3.2	3.4
Au	3.4	3.1

Figure 3.7. Geiger and Marsden's experiments on the degree of scattering in various metals.

Nello stesso periodo, un giovane fisico olandese, *Van den Broek*, propose (con scarso successo) diverse versioni della tavola periodica degli elementi nel tentativo di superare alcune delle criticità della tavola di Mendeleev, in particolare quella dell'inversione di alcuni pesi atomici. Inversione che, secondo lui, metteva in dubbio la validità del peso atomico come criterio ordinatore. Un dubbio avvalorato anche dalle scoperte dell'elettrone, della radioattività e degli isotopi che portarono ad un *ripensamento* profondo dei concetti di atomo e di elemento intesi come “*unità chimiche indivisibili e immutabili*”. Profondamente influenzato/colpito dai lavori di Rutherford, van den Broek ritenne che la grandezza caratterizzante l'elemento andasse ricercata nel *nucleo* dell'atomo, non nel suo peso, ma nella sua *carica*. Aveva contemplato anche l'idea che la carica potesse corrispondere al *numero d'ordine* degli elementi della TP.

A supporto di tale ipotesi, *Van den Broek*, riprese gli stessi dati che Geiger e Marsden ricavarono per verificare se il rapporto “*scattering per atom/A²*” rimaneva costante al variare del metallo.

Element	scattering per atom/A ²	
	Experiment 1	Experiment 2
Cu	3.7	3.95
Ag	3.6	3.4
Sn	3.3	3.4
Pt	3.2	3.4
Au	3.4	3.1

Figure 3.7. Geiger and Marsden's experiments on the degree of scattering in various metals.

Assumendo che la carica positiva del nucleo dell'atomo fosse esattamente uguale al *numero d'ordine dell'elemento nel sistema periodico (M)*, giunse alla conclusione che il rapporto fra il numero di particelle deviate e M^2 risultava effettivamente una costante, come previsto dal modello di Rutherford:

“If now in these values the number M of the place each element occupies in Mendeleev's series is taken instead of A , the atomic weight, we get a real constant $(18,7 \pm 0,3)$...”

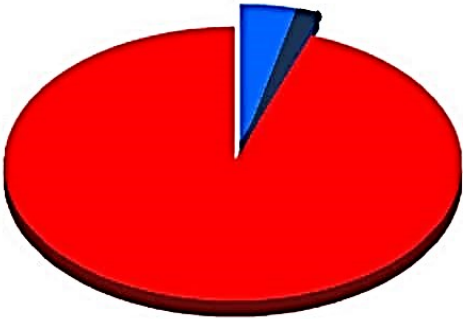
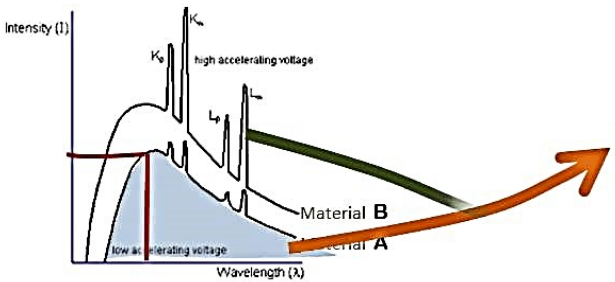
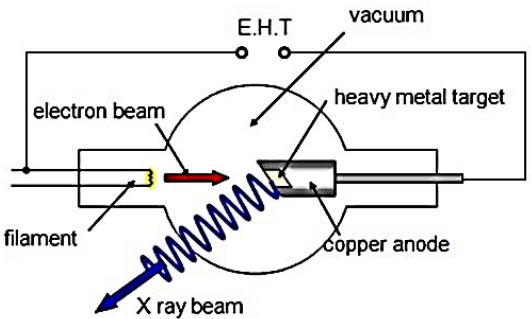
A. Van der Broek, *Intra-atomic charge*, Nature, 1913

“Il suggerimento originale di van der Broek che la carica sul nucleo sia uguale al numero atomico ... mi sembra molto promettente. Questa idea è già stata usata da Bohr nella sua teoria della costituzione degli atomi. La prova più forte e convincente a sostegno di questa ipotesi si troverà in un articolo di Moseley su The Philosophical Magazine di questo mese ... Sembrerebbe che la carica sul nucleo sia la costante fondamentale che determina le proprietà fisiche e chimiche dell'atomo, mentre il peso atomico, pur seguendo approssimativamente l'ordine della carica del nucleo, è probabilmente una complessa funzione di quest'ultimo ...”

E.Rutherford, *The structure of the atom*, Nature, 92, 1913

“Per i nostri scopi è essenziale un solo punto: Bohr ricavò una formula che dava la lunghezza d’onda dei raggi X emessi quando un elettrone entrava in una delle orbite più interne dell’atomo, espressa in termini di carica elettrica del nucleo. Le lunghezze d’onda di questi raggi X potevano così essere usate per misurare la sola fondamentale grandezza incognita dell’atomo di Rutherford, la carica nucleare.”

S. Weinberg, *La scoperta delle particelle subatomiche*



- 99% ■ **Heat**
- 0.85% ■ **Continuous Spectrum** (Brems)
- 0.15% ■ **Characteristic X-Rays**

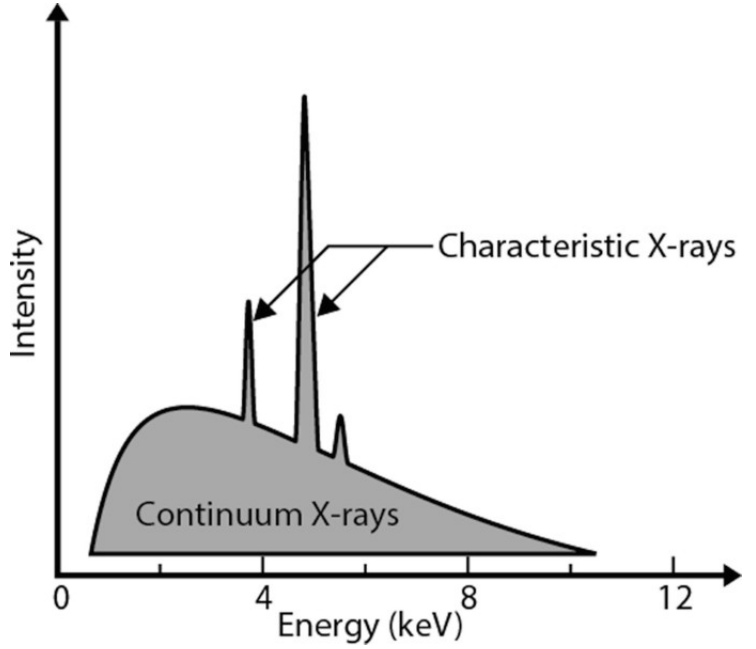


Tabella 4.2. Misure dei numeri atomici secondo Moseley.

Elemento	Carica nucleare <i>(in unità di carica elettronica)</i>	Peso atomico
Calcio	20,00	40,09
Scandio	non misurata	44,1
Titanio	21,99	48,1
Vanadio	22,96	51,06
Cromo	23,98	52,0
Manganese	24,99	54,93
Ferro	25,99	55,85
Cobalto	27,00	58,97
Nichel	28,04	58,68
Rame	29,01	63,57
Zinco	30,01	65,37

Com'era prevedibile, le cariche nucleari risultavano tutte multipli interi della carica dell'elettrone, invece *non era del tutto previsto* che la carica nucleare aumentasse semplicemente di un'unità nel passare da un elemento a quello di peso atomico immediatamente superiore (questo schema risultò valido anche per gli altri elementi non studiati da lui direttamente). Ora è noto che nella classificazione periodica basata sul peso atomico crescente ci sono tre coppie di elementi (*cobalto-nichel*, *argo-potassio*, *tellurio-iodio*) per le quali fu necessario invertire l'ordine dettato dai pesi atomici. Ebbene, la successione dei valori della carica nucleare di questi elementi, come fece notare Moseley, giustificò pienamente questa inversione.

*“Abbiamo qui una prova che nell’atomo c’è una grandezza fondamentale N , che cresce per intervalli regolari quando si passa da un elemento a quello vicino. Questa grandezza può essere solo la carica positiva del **nucleo** centrale, della cui esistenza abbiamo già avuto una prova definitiva [...] Essa è uguale al **numero del posto** occupato dall’elemento nel sistema periodico [...] Possiamo prevedere con sicurezza che nei pochi casi in cui l’ordine dei pesi atomici A si scontra con l’ordine chimico del sistema periodico, le proprietà chimiche sono governate da N mentre A è probabilmente una funzione complessa di N . La somiglianza molto stretta tra gli spettri dei raggi X dei diversi elementi mostra che queste radiazioni hanno origine nella parte **interna** dell’atomo e non hanno alcuna connessione diretta con la complessità degli spettri di luce e le proprietà chimiche, che sono invece governate dalla **struttura** della sua parte più esterna.”*

H.G.J. Moseley, *The high-frequency spectra of the elements*, Phil. Mag., Vol. 26, 1024-1034, 1913

Grazie al lavoro di Moseley venne poi finalmente chiarito il problema degli *isotopi* (non sono nuovi elementi) e dei decadimenti *radioattivi*. Già nel 1911 Soddy aveva fatto notare che quando un elemento emetteva una particella alfa si trasformava in un altro elemento con proprietà chimiche relative alla casella situata due posti più indietro nel sistema periodico, mentre quando un elemento emetteva una particella beta si trasformava nell'elemento con proprietà chimiche della casella successiva del sistema periodico. Questi risultati si accordavano perfettamente con la scoperta di Moseley sul numero atomico ed era evidente che questa scoperta era la *dimostrazione* che le particelle in questione non potevano che venire dal nucleo, che era quindi sede della *radioattività*.

*“All’inizio il numero atomico era un vero numero ordinale; era, insomma, il numero che fissava il posto di sostanze elementari nelle serie delle linee orizzontali della tavola di Mendeleev. **Filosoficamente** il progresso compiuto a livello della nozione di numero atomico è consistito precisamente nel suo passaggio da funzione **ordinale** [primo, secondo, terzo...] alla funzione **cardinale** [1, 2, 3...]. Ci si è potuti rendere conto che con questa nozione non solo si ordinavano gli elementi ma si **contava** qualcosa.”*

G. Bachelard, *Il materialismo razionale*

“Le radici storiche della moderna teoria della struttura atomica si trovano non solo nello sviluppo della fisica, ma anche nello sviluppo della chimica. Tra i fenomeni chimici che hanno maggiormente influenzato la teoria atomica, il sistema periodico degli elementi è forse il più importante. L'esistenza di regolarità nelle proprietà degli elementi, come riassunte nella tavola periodica, è stata una fonte di enigma e di ispirazione per molti scienziati che volevano conoscere i meccanismi e le cause sottostanti che immaginavano esistessero. Lo schema di classificazione di Mendeleev svolse un ruolo euristico nelle prime visioni della struttura atomica.”

H. Kragh, *The first subatomic explanations of the periodic system*, Foundations of Chemistry, 2001

Grazie per l'attenzione!