Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
137° (2019), Vol. XLIII, Parte II, Tomo II, pp. 129-138

MARCO FONTANI* – MARIAGRAZIA COSTA*
MARY VIRGINIA ORNA**

Ipotesi sui limiti della Tavola Periodica di Mendeleev: dalla nascita agli albori della meccanica quantistica

Abstract – The present work reviews speculations related both to an upper and a lower limit to the periodic table: from possible elements lighter than hydrogen to the transuranic elements. We considered the fifty years period: from the formulation of the periodic law, to the end of WWI (1869-1919).

Keywords: Periodic Table, Theoretical Chemistry, Elements.

Riassunto – Il presente lavoro cerca di fornire un quadro delle speculazioni teoriche che hanno avuto per oggetto i limiti sia superiori che inferiori della tavola periodica degli elementi: i così detti transuranici e gli elementi più leggeri dell'idrogeno. Come arco temporale sono stati considerati, approssimativamente, cinquanta anni a partire dalla formulazione della legge periodica.

Paole chiave: Tavola periodica, chimica teorica, elementi.

I primi tentativi di porre un limite superiore alla tavola periodica degli elementi

Helge Kragh [8] e Paul J. Karol [7] hanno portato all'attenzione del pubblico la storia degli elementi transuranici con particolare riferimento al tentativo di fissare un limite superiore alla tavola degli elementi. Come è ben noto, il primo tentativo di estendere il numero degli elementi chimici nel novero della tavola periodica fu di John Alexander Reina Newlands. Giunta [5] ha fatto notare come

* Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Chimica «U. Schiff».
E-mail: marco.fontani@unifi.it
** College of New Rochelle, New Rochelle, New York, USA

il lavoro di classificazione degli elementi portato avanti da Newlands meriti di essere seriamente preso in esame. Nel dicembre 1882, la Royal Society conferì a Mendeleev e a Meyer la prestigiosa medaglia Davy. Newlands si sentì defraudato e si concentrò su un'insistente polemica nei confronti dei due colleghi che si interruppe solo tre anni più tardi quando la stessa medaglia Davy gli fu conferita solennemente dalla Royal Society [19]. Questa annosa polemica non rientra a pieno nel presente lavoro, se non per il fatto che, dopo il rifiuto della Royal Society, Newlands fu costretto a pubblicare i suoi lavoro su riviste di minor prestigio; dalle pagine del Chemical News Newlands volle emulare il collega Mendeleev e predisse l'esistenza di elementi più pesanti dell'uranio e altri più leggeri dell'idrogeno [5]: «*There may be elements having atomic weights as much above uranium as uranium is above hydrogen, and, on the other hand, there may be elements having atomic weights as much below hydrogen as hydrogen is below uranium*».

Newlands si spinse ben oltre e anche correttamente. Predisse che non sarebbe stato possibile fissare l'ultimo degli elementi: «*[...] there is no fixed limit to either maximum or minimum atomic weight which may belong to unknown elements*».

Ironia della sorte il 29 luglio 1898, il più giovane tra i contendenti, il dilettante tra i cattedratici, colui che appariva in perfetta forma fisica, moriva a soli sessantun anni, per le conseguenze di una banale influenza.

Il 18 settembre 1889, in occasione dell'incontro dell'Associazione Tedesca delle Scienze, il promettente quarantunenne Victor Meyer dette lettura ad Heidelberg di una relazione avente per titolo «I problemi chimici di oggi» [11]. Il testo redatto in tedesco e dato alle stampe, ebbe vasta eco e fu tradotto alcuni mesi più tardi in inglese. Victor Meyer era considerato a buon diritto un promettente chimico, forse il più promettente della scuola tedesca: allievo di Robert Bunsen (1811-1899), dopo un lungo peregrinaggio a Stoccarda e Zurigo, era succeduto, nel 1889, al maestro ad Heidelberg. Il suo soggiorno nella più accattivante università tedesca fu di breve durata perché l'otto agosto 1897 a seguito di una profonda crisi depressiva si tolse la vita con il cianuro. Nella prolusione di apertura del congresso sopra citato, egli ebbe a soffermarsi brevemente anche sui problemi di chimica generale e in particolare al sistema di sistemazione degli elementi avanzato da Dmitri Mendeleev e dal suo conterraneo Lothar Meyer. Elaborò una tabella di struttura a griglia simile a quella di Mendeleev composta da due gruppi di sette elementi, cinque gruppi di diciassette e l'idrogeno che formava un gruppo a sé. Il semplice calcolo $2 \times 7 + 5 \times 17 + 1$, portava alla conclusione che il più pesante elemento fosse il centesimo. Meyer aggiunse due condizioni:

– che gli elementi mancanti potessero realmente esistere e venir scoperti;
– che potessero venir aggiunti nuovi periodi alla tabella.

In questo modo egli ipotizzò che il numero degli elementi potesse oscillare al di sotto o al di sopra del limite 100. Come fu scoperto in seguito, le ipotesi di Meyer si rivelarono esatte. A nostro parere, tuttavia, il più grande contributo che Meyer seppe dare alla "Filosofia periodica" fu quello di difendere le idee di Men-

deleev. I due uomini condividevano la concezione secondo la quale gli elementi sono un mondo a sé e non debbano considerarsi derivanti da un'unica sostanza primordiale.

Nel 1884 il chimico britannico Edmund James Mills espose in una serie di articoli la sua ipotesi sulla «Numerazione degli elementi» [12]. Mills trovò una espressione che metteva in relazione ogni numero d'ordine[1], x, (diremmo oggi numero atomico) con il peso atomico y. Essa presentava la forma:

$$y = K - B\beta^x \qquad i$$

Se K veniva preso per valori interi successivi a partire da uno, l'equazione poteva includere l'ordine del periodo che l'elemento avrebbe occupato nella tavola periodica, ossia:

$$K = p15 \qquad ii$$

Il valore numerico di β, calcolato per i 37 elementi presi in esame e distribuiti in nove gruppi, era: $\beta = 0{,}93727$ che approssimò a 15/16 ossia 0,9375. Infine, il coefficiente B ben si approssimava a 15. Tutti questi valori sostituiti nella *i* portarono:

$$y = p15 - 15(0{,}9375)^x \qquad iii$$

L'equazione *iii* era in grado di calcolare i pesi atomici di tutti gli elementi; a dire il vero, variando p da 1 a 16, e per ciascun valore di p, facendo variare x da uno a $+\infty$ si ottenevano molti più elementi di quelli esistenti. Mills, infatti, previde 16 periodi per la sua tavola degli elementi. Una tavola degli elementi così costruita non possedeva nessuna delle caratteristiche «periodiche». Il contributo più originale fu quello di essere in grado di prevedere un limite superiore ed inferiore alla sua costruzione matematica di classificazione degli elementi: «it is therefore easy to conceive the existence of an upper limit to our existing system of numerics; indeed, in the natural order of events, such a limit occur without making p very large … [uranium] may very probably be the upper limit of, our existing system» [12]. Mills generalizzò la sua equazione *iii* in:

$$y = pn - n\left(\frac{n}{n+1}\right)^x \qquad iv$$

dove con il temine n+1 Mills volle indicare il numero dei gruppi. L'idrogeno che sfuggiva da questa catalogazione matematica avrebbe formato un sistema a sé:

$$y = 1\times 1 - 1\left(\frac{1}{1+1}\right)^x \qquad v$$

Mills apriva all'ipotesi dell'esistenza di elementi più leggeri dell'idrogeno: ma questo curioso argomento fu solo accennato e mai più ripreso dall'autore.

[1] Il concetto di numero d'ordine, di nessun valore fisico, divenne fondamentale dopo la scoperta da parte di Rutherford del protone e fu assiomatizzato nel 1913 come numero atomico.

Nemmeno due anni più tardi, il 13 gennaio 1886, Mills pubblicò un secondo articolo sull'argomento [13]. Era un coacervo di vecchie ed eterogenee informazioni. L'unica significativa modifica fu l'introduzione della temperatura, *T*, nell'equazione *iv*. L'articolo di per sé inintellegibile terminava con un richiamo ad Eraclito perdendo ogni contatto con la scienza. Secondo l'antico sapiente, al quale Mills dava nuovamente voce, tutte le cose sono riconducibili ad una: la materia sarebbe nata dal fuoco e tutto sarebbe terminato nuovamente nel fuoco. La memoria di Mills, come l'autore chiosò in chiusura, aveva l'autorevolezza di duemilatrecento anni di storia.

Nessuno scienziato pensò bene di curarsi di costui e delle sue fantasiose ipotesi fino al 1902, quando Joseph H. Vincent del Cavendish Laboratory a Cambridge, presentò una memoria sul numero d'ordine degli elementi in relazione al loro peso atomico [23]. Dopo aver preso in esame il lavoro pionieristico di Mills espose una nuova equazione per il calcolo dei pesi atomici:

$$W = (n+2)^{1,21} \qquad vi$$

Seguiva una dettagliata lista di elementi nota a quel momento. Era corretta nel numero degli elementi; prevedeva l'idrogeno quale elemento più leggero e l'uranio il più pesante: era perfino in accordo il valore sperimentale con quello calcolato e prevedeva correttamente l'esistenza di sei elementi (ancora ignoti) tra il bismuto e il torio. Forse la più coraggiosa affermazione dopo una lunga e complessa serie di passaggi matematici fu: «… any law for the connexion between the masses of different kinds of atoms should lead to the list of elements being limited at both the beginning and the end» [23].

Vincent aveva fatto notare che Mills aveva preso in esame esclusivamente i pesi atomici in accordo con le sue equazioni. Era un'accusa grave alla quale Mills replicò stizzito[14] senza dare una risposta chiara.

Tabella 1: limiti della tavola periodica.

Autorità	Anno	Limite A superiore	Limite A inferiore
John Alexander Reina Newlands	1878	> U	< H
Edmund James Mills	1884	U	---
Sir William Crookes	1886		elettrone
Viktor Meyer	1889	100	---
Palmer Charles Schattuck	1895	---	< 1
Дми́трий Ива́нович Менделе́ев	1904	---	$> 9,6\times10^{-7}$
Сима Лозанић	1906	Cn (254) RaPb ReTe	0.001
Theodore William Schaefer	1925	282	0.000001

Nel 1906 veniva pubblicato un volume dal titolo «Die Grenzen des Periodischen Systems der Chemischen Elemente»[2] a firma di Simeon Losanitsch. Costui aveva costruito una tavola così composta: un periodo di un elemento (etere); tre periodi di 7 elementi e 5 grandi periodi di 18 elementi, in tutto la tavola di Losanitsch avrebbe ospitato né più né meno 112 elementi. Preso come dogma il numero 112 passò a riempire la sua ipotetica costruzione atomica. L'impalcatura teorica per i primi elementi ricalcava il lavoro di Mendeleev e presentava poche imprecisioni. I problemi sorsero nell'ultimo periodo. In esso aveva posizionato tutti i diciotto radioisotopi noti. Egli lo divise in due sotto-periodi. Il primo sotto-periodo comprendeva sette elementi: due incogniti, seguiti dal radio, dall'*emanazione* (che non posizionava nel gruppo dei gas inerti), dal torio, dall'attinio e dall'uranio. Il secondo sotto-gruppo sarebbe stato composto da undici elementi con massa superiore all'uranio. Di quest'ultimi, i primi cinque ancora da scoprire, a cui sarebbero seguiti il *radio-mercurio*, il *carolinio* (Cn)[3], il *radio-piombo*, il polonio, il *radio-tellurio* e infine un ultimo elemento, il più pesante di tutti gli elementi, che prudentemente Losanitsch lasciò senza nome.

Non altrettanto coerente con le conoscenze fisiche dell'epoca ed affatto prudente fu al contrario Theodore William Schaefer: nel 1925 egli pubblicò a Lipsia un piccolo volume[16] il cui contenuto, lo rende un concentrato di false convinzioni. Esso non rientrerebbe cronologicamente con lo spirito che si era dato il presente lavoro; leggendo il testo però, si evince che l'autore raccolga in questo libro tutte le sue ipotesi e speculazioni teoriche sviluppate in un arco temporale compreso dal 1885 al 1903. Per ragioni sconosciute egli pubblicò il lavoro oltre venti anni dopo.

Schaefer riportò nel suo libro una sola illustrazione (una tavola degli elementi circolare) ed una tabella dei pesi atomici degli elementi. La rappresentazione grafica esposta da Schaefer non aveva nulla di riconducibile alle tabelle di Mendeleev, Meyer o Newlands, ma soprattutto non evidenziava la proprietà cardine degli elementi, la «periodicità». Il limite superiore di questa era rappresentato da ben 15 elementi transuranici dei quali soltanto l'ultimo portava un nome, *ultimum*, simbolo Ul e peso atomico 282. Dei 14 che lo separavano dall'uranio l'autore si limitò a garantirne l'esistenza e a sottolineare come questa peculiare parte della tavola periodica fosse una «*regio nova* of scientific wonders». Schaefer era stato influenzato nelle sue idee dal fisico William C.D. Whetham (1867-1952) il quale vedeva nella trasmutazione o decadimento radioattivo l'equivalente dell'evoluzione darwiniana della materia inanimata. Come cardine dei suoi ragionamenti Schaefer fece riferimento ad una serie di operazioni matematiche che avrebbe compiuto prima del 1900 dalle quali estrapolò il numero complessivo degli elementi transuranici.

[2] I limiti del sistema periodico degli elementi chimici.

[3] All'inizio del XX secolo Charles Baskerville (1870-1922) ritenne di aver scoperto il *carolinio* (Cn) a cui attribuì il peso atomico 254.

Battezzò l'elemento più pesante *ultimum*. Sarebbe stato un gas nobile, sebbene: «*Whether it exists in a gaseous, fluid or solid state it is difficult to theorize [...] it exists in the deepest archean terrestrial structure and therefore eludes difficult and rigid investigation*» [16]. I calcoli di Schaefer relativi al gruppo zero lo portarono a credere che esso fosse composto da ben 12 elementi: l'Y più leggero dell'elio; un elemento ancora sconosciuto di massa intermedia tra quella dell'argon e del cripton; un terzo tra cripton e lo xenon; due elementi omologhi di peso crescente tra lo xenon ed il radon e infine l'*ultimum*. Per ironia della sorte questa pubblicazione fu la prima e «l'ultima» dove si fece riferimento a questo elemento.

Il limite inferiore: gli elementi ultra-gassosi costituiti da materia eterea

Per poter parlare del limite inferiore della tavola periodica degli elementi occorre inesorabilmente menzionare l'etere «fisico». I fisici si scontravano con la grande difficoltà nel concepire la materia costituita da particelle distinte e separate entro uno spazio assolutamente vuoto. Questo fu per i fisici il maggior ostacolo ad accettare la teoria atomica avanzata all'inizio del XIX secolo dai colleghi chimici. I fisici superarono questo ostacolo considerando che lo spazio tra gli atomi e le molecole fosse «colmato» da una sostanza detta appunto etere. Per contro, questa ipotesi portata a esasperanti conseguenze da Lord Kelvin (1824-1907) e da Joseph Larmor (1857-1942) finiva per ribaltare l'esistenza stessa degli elementi definendoli «punti particolari dell'etere» [17]. Fino alla fine del XIX l'etere fu di dominio esclusivo dei fisici. Al principio del XX secolo, Mendeleev [10], forte della sua indiscussa autorità, propose che l'etere fosse un gas con piccolissima densità, capace di penetrare ogni barriera e superare ogni ostacolo. Così facendo Mendeleev rendeva questo elemento «imponderabile»: non sarebbe stato possibile contenerlo per pesarlo o determinarne il volume. Oltre alle succitate proprietà fisiche Mendeleev assegnò al gas anche una proprietà caratterizzante: come i gas nobili esso sarebbe stato chimicamente inerte. Nella tavola periodica che propose nel 1904, Mendeleev indicò con i simboli X e Y due elementi sconosciuti. Mendeleev aveva trattato in vario modo i pesi atomici di ciascuno elemento al fine di riscontrarvi un «segnale di periodicità». In particolare aveva riportato il rapporto tra i pesi atomici di elementi appartenenti ad uno stesso periodo. Così per una semplice speculazione, identificò l'elemento Y come l'elemento precedente all'idrogeno, di peso atomico pari a 0,4; esso sarebbe stato il *coronio* intravisto da Young e Harkness nel 1869. Il fatto che il *coronio* fosse rilevabile a notevole distanza dal sole, «distanza alla quale lo spettro dell'idrogeno cessa di essere visibile» [3], era la prova che avesse un peso atomico inferiore all'idrogeno. Il chimico russo posizionò un altro elemento nella sua tavola: l'elemento del periodo zero e gruppo zero sarebbe stato l'agognato «etere». Mendeleev pensò in un primo momento che l'etere potesse avere un peso atomico pari a 0,17. Successivamente sulla base della teoria cinetica dei gas posizionò il peso atomico di questo elemento molto più in

basso, circa 0,00000096. Battezzò l'elemento, dal provvisorio simbolo X, *etere universale* o *newtonio* [4].

La scomparsa di Mendeleev pochissimo tempo dopo, il 31 gennaio 1907, sottrasse il grande chimico ad una probabile umiliante confutazione delle sue ipotesi.

Alcuni anni prima un chimico pressoché sconosciuto, Charles Shattuck Palmer [20], pubblicò un lavoro nel quale ipotizzò la presenza di due sub elementi ai quali dette il nome di *oxidio* e *kalidio*. Il lavoro di Palmer comparve come nota nella traduzione inglese al testo di Walter Nernst (1864-1941) «Theoretical Chemistry» [15]. Palmer scartò l'ipotesi avanzata da Thomas Carnelley (1852-1890) [18] nel 1885, secondo la quale l'idrogeno sarebbe il componente di tutti gli elementi, ma avanzò l'ipotesi secondo la quale l'idrogeno sarebbe un membro di una intera serie di elementi, completamente indipendente dalle altre presenti nella tavola periodica. L'*oxidio* e il *kalidio* sarebbero stati due membri di questa serie; il loro peso atomico sarebbe stato inferiore a quello dell'idrogeno. Ad essi Palmer aggiunse un ulteriore elemento, l'ultimo della serie dal peso atomico intermedio tra quello dell'idrogeno e dell'elio che non tardò a chiamare *perfluorine*. Suggerì inoltre che l'*oxidio* e il *kalidio* fossero i mattoni costituenti la materia ordinaria; questi due proto-elementi furono battezzati «prototype of base-forming elements». Infatti sia l'*oxidio* che il *kalidio* non sarebbero isolabili chimicamente in quanto andrebbero visti come «qualità antitetiche ugualmente responsabili delle proprietà chimiche degli elementi che già conosciamo» [21]. Carnelley non ebbe modo di replicare al collega americano: era morto, come Newlands e Mendeleev, di influenza. Sir William Tilden (1842-1926) volle immortalarlo [22], con civettuolo orgoglio nazionale, come colui che aveva previsto l'esistenza di elementi di peso atomico inferiore all'idrogeno.

Un altro epigono dello studio della legge periodica fu certamente sir William Crookes (1832-1919). Molto è stato scritto su questo emblematico scienziato vittoriano. Sin dal 1869, in opposizione allo scienziato russo, andò «profetizzando» che tutti gli elementi chimici avessero avuto origine da una unica e primordiale forma di materia. Mendeleev si oppose con tutte le sue forze ad ogni ipotesi che solo minimamente prendesse in considerazione una sorta di «evoluzione» degli elementi chimici.

Ciò nonostante, conscio di andare in rotta di collisione con il celebre Mendeleev, sir William nel 1886 presentò di fronte all'accreditato pubblico della British Association la sua idea di «Genesis of the Elements». Il suo fu un revival della ipotesi della materia primaria denominata dagli alchimisti «*urstoff*» o «*protyle*». Questa materia consisterebbe, nella visione *crookesiana*, in un «infinito» numero di particelle «immensamente piccole», le quali accorpandosi tra loro dai tempi più remoti della creazione avrebbero portato ai novantadue elementi attuali. In tutti gli scritti successivi Crookes fece ampio uso della dottrina duale della carica elettrica: *the electron would be the «protyle» […], whose different groupings cause the Genesis of the Elements* [3]. Il problema affrontato da Crookes, lasciò da subito scettici i fisici e perplessi i chimici. La teoria di Crookes rimane tutt'ora oscura; essa contemplava l'esistenza di «due tipi di elettroni» costituenti tutti gli elementi.

Nel 1908 un'eclettica coppia riporterà in auge le idee di «evoluzione» e «devoluzione degli elementi» [6]. Augustus Edward Jessup (1861-1925) e suo giovanissimo figlio Alfred Claude Jessup (1891-1980), ipotizzarono che in epoche remote si fossero formati tutti gli elementi a partire da quattro sostanze primarie presenti nelle nebulose: l'idrogeno, l'elio, il *proto-berillio* ed il *proto-boro*. A differenza di quanto ipotizzato da altri, i due nuovi elementi avrebbero occupato un posto nella prima serie (primo periodo) della tavola periodica. I loro pesi atomici sarebbero stati 1,33 e 2,00. La loro posizione nella tavola tradiva l'origine del nome: il *proto-berillio* sarebbe stato l'omologo superiore del berillio come il *proto-boro* quello del boro.

Speculazioni sull'esistenza di un elemento più leggero dell'idrogeno furono avanzate nel corso di osservazioni astronomiche anche dal celebre Maximilian Franz Joseph Cornelius Wolf (1863-1932). Wolf, presso l'università di Heidelberg, riuscì a dimostrare per mezzo di riprese spettro-fotografiche che la nebulosa ad anello Lyra sarebbe composta da quattro diversi gas. A causa della rapida rotazione, si sarebbero separati e concentrati in quattro diversi anelli. I quattro gas furono provvisoriamente indicati con le prime quattro lettere dell'alfabeto. L'elemento più piccolo, A, si troverebbe nella parte più interna dell'anello e sarebbe un gas sconosciuto; il successivo, B, l'idrogeno; l'anello ancora più esterno avrebbe contenuto l'elemento C, o l'elio; infine il costituente posizionato nella parte più esterna sarebbe stato un gas, D, anch'esso sconosciuto. A Bohuslav Brauner la notizia non sfuggì: la recensì e commentò per la rivista Nature [1].

Il 22 febbraio 1905 Simeon Losanitsch aveva tenuto una conferenza presso l'Accademia Serba delle Scienze dal titolo «I limiti del sistema periodico degli elementi chimici»; il suo discorso fu pubblicato nel 1906[9], avanzando alcune ipotesi sul numero di elementi, nonché sulla natura della materia. Era un compito improbo: le conoscenze in materia erano ancora grossolane, le continue scoperte rendevano il terreno insicuro. Egli riteneva che ogni elemento fosse costituito da particelle radioattive: l'idrogeno da circa un migliaio mentre gli elementi più pesanti ne avrebbero contenute fino a 250.000. Losanitsch prese in esame le tre «particelle» α, β e γ. Le «particelle» γ sarebbero state così piccole da essere identificabili con gli «atomi» di etere, di peso imponderabile; le particelle β – unite alle γ – avrebbero costituito elementi di peso atomico inferiore all'idrogeno. Per il chimico serbo le particelle α sarebbero state atomi di peso intermedio tra l'idrogeno e l'elio a cui bisognava trovare spazio nell'edificio periodico. Losanisch posizionò, nella sua personale tavola, anche l'elemento caro a Mendeleev, il *newtonio*, Nw. Nel primo periodo posizionò il *coronio* (Ch). Infine tentò grossolanamente di spiegare il fenomeno della radioattività come un eccesso dei costituenti sub-atomici in un corpo semplice.

Come già accennato, il termine elementi «ultra-gassosi» fu avanzato dal chimico Schaefer. Non sappiamo molto della sua vita; pare sia nato nel 1859 e deceduto nel 1936. Nel 1894 dopo la scoperta dell'argon, Schaefer precognizzò l'esistenza di una «ottava» di elementi più leggeri dell'idrogeno. Questa ottava cambiò nome da *Ether Analogues*, in *ether-like elements* e infine *ultra-material-elements*. Essendo questi

corpi inerti, nonché più piccoli, più leggeri e più mobili di tutti quelli allora noti, Schaefer ipotizzò che gli *elementi ultra-materiali* fossero difficilmente caratterizzabili. Come riportò testualmente l'autore: «During the years 1894-1898 […] the writer conceived the idea of the further existence of gases ligther than hydrogen».

Tabella 2. elementi «ultraleggeri» previsti da Schaefer.

Nome	Simbolo	Peso Atomico
Etere o Newtonio	E	0.000001
Alpha	Aa	0.144000
Beta	Be	0.288000
Gamma	Gm	0.432000
Delta	De	0.576000
Epsilon	Eps	0.720000
Zeta	Z	0.864000
Idrogeno	H	1.008

Schaefer aumentò a dismisura il numero degli elementi sulla base di un rigoroso calcolo basato sulla «Théorie analytique des Probabilités» di Laplace. Schaefer passò poi ad esporne le proprietà: questi elementi ultra-gassosi sarebbero inerti, incapaci di legarsi chimicamente con altri elementi. Come l'etere permeerebbero tutte le sostanze. Sarebbero caratterizzati dall'assenza di una struttura interna, quindi assolutamente omogenei, proprietà inconcepibile per gli atomi di materia ordinaria. Prendendo a prestito da Aristotele il concetto di ilomorfismo, Schaefer ipotizzò che gli elementi ultra-gassosi tenderebbero in ultima analisi a possedere esclusivamente una forma in assenza di massa, come nel caso estremo dell'etere fisico: «Man by an inherent process of mental reversion returns unconsciusly to prescientific contemplation and the beginning of the conception of a spiritual substance which finally becomes materialization». Successivamente Schaefer cercò di inserire nella sua classificazione altri corpi la cui esistenza era fortemente dubbia: l'elemento Y, il *coronio* e il *nebulio*. Fu anche in grado di individuare, a suo dire, un elemento intermedio tra il bromo e lo iodio al quale dette il nome *ekhaline*.

Dato per assodato che la tavola degli elementi nacque come strumento dei chimici per risolvere i problemi legati alla chimica, nel porvi dei limiti gli scienziati commisero inevitabilmente degli errori.

I. L'impulso alla ricerca di elementi di peso atomico più elevato dell'uranio fu dato da considerazioni chimiche o ingenue speculazioni aritmetiche.

II. La ricerca degli infra-elementi, al contrario, fu guidata dai fisici e dalle loro scoperte (elettrone, radiazioni alfa e beta) e ipotesi (etere, atomo vortice, materia-prima).

Tracciando un bilancio è possibile affermare che solo alcune delle speculazioni connesse con gli elementi transuranici si sono parzialmente concretizzate. Sorte contraria toccò agli infra-elementi: da quando il concetto di numero atomico assunse un significato ben preciso, fu chiaro che elementi di massa atomica inferiore all'idrogeno non avrebbero mai potuto esistere e repentinamente non si parlò più di loro.

BIBLIOGRAFIA

[1] Brauner B., 1909, Nature, 80(2058), 158-159.
[2] Crookes W., 1903, *Modern Views on Matter*, Address to the Congress of Applied Chemistry, Berlin
[3] Dessau B., 1906, in Guareschi I., Nuova Enciclopedia della Chimica, IX, 982.
[4] Dessau B., 1906, in Guareschi I., Nuova Enciclopedia della Chimica, IX, 1073.
[5] Giunta C., https://web.lemoyne.edu/giunta/ea/NEWLANDSann.HTML#newlands3; Newlands J.A.R., 1878, *Chemical News*, 255-257.
[6] Jessup A.C., Jessup E.C., 1908, Philosophical Magazine, XV, 21.
[7] Karol P.J., The Periodic Table of the Elements: A Review of the Future, Chapter 2, pp 41-66, in «*Elements Old and New: Discoveries, Developments, Challenges, and Environmental Implications*», ACS Symposium Series 1263, ISBN13: 9780841232556.
[8] Kragh H., 2013, Superheavy elements and the upper limit of the periodic table: early speculation, *European Physical Journal*, H38, 411-431.
[9] Losanitsch S., 1906, *Die Grenzen des Periodischen Systems der Chemischen Elemente*, Dositije Obradowits Ed., Belgrade.
[10] Mendeleev D.I., 1904, *An attempt towards a chemical conception of ether*, translated from Russian by G. Kamensky, Longman & Green, London.
[11] Meyer V., 1889, Journal of American Chemical Society, 11, 101-120.
[12] Mills J.E., 1884, *On the numerics of the elements*, Philosophical Magazine, 18(5), 393-399.
[13] Mills J.E., 1886, *On the numerics of the elements: Part II*, Philosophical Magazine, 21(5), 151-157.
[14] Mills, J.E., 1903, *On the numerics of the elements: Part III*, Philosophical Magazine, 5(6), 543-549.
[15] Nernst W., 1895, *Theoretical Chemistry, from the Standpoint of Avogadro's Rule and Thermodynamics*, translated from German by Palmer C.S., Ed. Macmillan & Company.
[16] Schaefer T.W., 1925, *The Undiscovered Elements lighter than Hydrogen and Heavier than the Argon Analogues*, Ed. Ferdinand Schoening, Paderborn, Germany.
[17] Thomson William (Lord Kelvin), 1867, *On Vortex Atoms*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, VI, 94-105.
[18] Tilden W., 1890, *Obituary*, Nature, 42, 522-523.
[19] Tilden W.A., 1898, Nature, 58, 395-396.
[20] Tilden W.A., 1910, *The Elements: Speculations as to their Nature and Origin*, Harper & Brothers, London, 93.
[21] Tilden W.A., 1910, *The Elements: Speculations as to their Nature and Origin*, Harper & Brothers, London, 94.
[22] Tilden W.A., 1910, *The Elements: Speculations as to their Nature and Origin*, Harper & Brothers, London.
[23] Vincent, J. H., 1902, *On a general Numerical connexion between the Atomic Weight*, Philosophical Magazine, 4(6), 103-115.