MARCO FONTANI *

Dai presunti Elementi inattivi a quelli perduti del Mar Morto

From the presumptive inactive Elements to Those lost in the Dead Sea

Summary – The topic of the missing elements, and their identification, is circumscribed to a relatively short period of time; from Dimitri Mendeleev's "formulation" of the periodic table in 1869 to the beginning of the second World War. Ernest Rutherford's pioneer studies on nuclear structure at the beginning of XX the century marked the sunset of the dominion of the chemists on the atom; the physicists' work, which lightened the complex structure of the nucleus, drove away chemists from the "atomic Paradise". From that moment *atom* will exit from the chemical horizon for never re-entering again. Chemists will remain the masters of the *elements* and in particular of those few missing elements, that XIX century chemists fruitless challenged to identify and to classify. Those elements without name, those anonymous atoms that nobody discovered and consequently christened, ironically became the elements of many godfathers; these *spurious elements* would end up drowned by the claimants to their baptism. The following narration concerns two alternative atomic theories, developed in the same period, one in England, by Frederik Henry Loring [15], the second in South Africa, by James R. Moir [43]. They are amazingly similar: two vicissitudes of science and dilettantism enclosing one small literary history but also one of the most fascinating story.

Parole chiave: Elementi mancanti, teoria atomica, tavola periodica

La Teoria atomica di James Moir e i sub elementi X e Zoikon

Nel 1909 il sudafricano James Moir era un giovane chimico con alle spalle più di una decina di pubblicazioni. Si era interessato senza troppo entusiasmo sia alla chimica organica quanto alla soluzione di alcuni problemi pratici diffusi nel suo paese quali la ventilazione dei pozzi minerari. Tuttavia nel biennio 1909-1910 Moir guadagnò l'attenzione del pubblico specializzato con tre lavori distinti: il primo era

* Dipartimento di Chimica Organica dell'Università di Firenze. Via della Lastruccia, 13 - Sesto Fiorentino (Firenze). E-mail: marco.fontani@unifi.it

una nuova teoria atomica [43], mentre gli altri due riguardavano un metodo per «armonizzare» i pesi atomici degli elementi chimici [44].

L'autore nel suggerire un nuova ed improbabile struttura atomica degli elementi già noti, ricorse ai dati sperimentali che sia i chimici che i fisici avevano raccolto nel corso delle loro più recenti ricerche.

Gli atomi, così come Moir li intendeva, sarebbero stati costituiti da arrangiamenti o disposizioni di quattro o cinque costituenti principali che chiamò *primary materials*. L'atomo composito o secondario come quello del carbonio, per esempio, sarebbe composto da quattro sub atomi identici, di peso atomico 3, disposti nello spazio a formare un'impalcatura tetraedrica. James Moir chiamò l'elemento di peso atomico 3 con il nome di *zoïkon* e lo indicò con il simbolo Z. Questo elemento sarebbe stato uno dei *primary materials*. Il secondo sub-atomo sarebbe stato l'idrogeno, che Moir volle dotare di una intrinseca forza repulsiva. Il terzo costituente degli atomi ordinari sarebbe stato un ipotetico elemento al quale non dette nome ma solo simbolo – X – e di peso atomico 2. Come l'idrogeno esso sarebbe stato monovalente. Gli ultimi due elementi che avrebbero completato la lista dei *corpi primari* erano due elementi recentemente scoperti da sir William Ramsay (1852-1916): l'elio (peso atomico 4,09) e il neon (peso atomico 19,7).

James Moir non concentrò il suo interesse nel caratterizzare lo *zoïkon* o l'elemento X, ma cercò di spiegare la composizione degli elementi già noti in base alla sua eterodossa teoria. Ad esempio i metalli avrebbero contenuto al loro interno dell'idrogeno, per via della loro elettropositività, mentre gli elementi alogeni sarebbero stati ricchi dell'elemento X, custode dell'elettronegatività.

Moir si dilungò nella spiegazione di come fossero costituiti gli altri elementi a partire dalle cinque sostanze primarie ed inoltre illustrò le formule di molti di essi. Per esempio l'azoto avrebbe avuto formula nucleare z_4x; la disposizione del sub elemento X nella costruzione tetraedrica del nucleo avrebbe consentito alternativamente sia il carattere bivalente, che tetravalente. Più avanti l'autore illustrò la composizione di molti altri elementi: ossigeno z_4x_2; fluoro z_4x_2, litio H_2xz, ecc.

Nel frattempo, presso il dipartimento di mineralogia di Johannesburg in Sudafrica, Moir espose le sue idee non convenzionali sulla valenza. A suo parere la valenza tipica di ogni elemento sarebbe stata causata niente meno che dalla presenza di un nuovo sub elemento di peso atomico 1/112 di quello dell'idrogeno che denominò con la lettera greca μ. Pertanto gli elementi monovalenti avrebbero contenuto 1 μ; i bivalenti 2 μ e così via. In più, l'autore concepì una paradossale ipotesi per spiegare i pesi atomici degli elementi chimici: per raggiungere il loro peso atomico, la maggior parte della massa atomica avrebbe dovuto essere il prodotto della polimerizzazione di un'entità consistente in atomi di H meno una particella μ. Per esempio l'idrogeno sarebbe la risultante della seguente reazione nucleare: H = H- + μ; allo stesso modo l'argento: Ag = 108 H- + μ. Con il simbolo «H-» Moir indicò il monomero dal quale tutti gli elementi avrebbero tratto origine. Presto Moir si accorse che il sistema aveva una falla: i pesi atomici di alcuni elementi noti

non rientravano nel suo sistema di «polimerizzazione nucleare» e senza alcuna esitazione pensò bene di creare un nuovo sub-elemento di peso atomico 1/10 di quello dell'idrogeno in modo da salvare la sua perniciosa ipotesi. Sia l'ipotesi degli elementi *zoïkon* ed X, dei sub-elementi quanto l'aggregazione tetraedrica dei nuclei atomici passarono completamente ignorate, sebbene egli nel 1921 tentasse di riproporre queste ultime ipotesi alla luce delle recenti scoperte di sir Ernest Ruterford [45]. Nello stesso anno Moir fu coinvolto in uno spiacevole diatriba con il fisico italiano Emilio Adinolfi (1887-1931) relativa alla scoperta della formula per calcolare lo spettro di assorbimento dell'uranio [2, 46].

Negli anni seguenti James Moir tornò ad interessarsi di chimica organica ed in particolare della costituzione dei pigmenti naturali [47]. Moir si spense nel 1929 ma, come testimoniano le sue pubblicazioni, egli fu attivo fino alla fine dei suoi giorni [48]. A livello internazionale le sue idee non riscontrarono successo ed egli non raccolse né allori né riconoscimenti, mentre in Sud Africa, al contrario, Moir fu considerato come un pioniere delle scienze chimiche. Egli aveva ricoperto la carica di presidente della *South African Association for the Advancement of Science* per ben due volte: nel 1915 e nel 1924. Quando James Moir morì fu aperta una sottoscrizione per istituire un fondo che portasse il suo nome; quando ad un anno dalla sua morte, il 31 maggio, la sottoscrizione fu chiusa, 800 sterline erano state raccolte. Con tale somma il *South African Chemical Institute* istituì la medaglia «James Moir». Essa viene tuttora attribuita a quegli studenti universitari che si sono particolarmente distinti nel corso degli studi.

L'Armonizzazione degli elementi e gli elementi inattivi

I tempi dovevano essere maturi; la scienza implicitamente chiedeva ai suoi cultori di dare delle spiegazioni a certi fenomeni per poter progredire. Ed in due luoghi opposti del globo, quasi contemporaneamente e all'insaputa uno dell'altro, due scienziati risposero all'appello: nell'emisfero meridionale Moir espose il concetto dell'armonizzazione del peso atomico degli elementi mentre Fredirck Henry Loring, dalla vecchia Inghilterra, elaborò una teoria per l'armonizzazione matematica degli elementi.

Nel 1909 un chimico inglese dai multiformi interessi, Frederick Henry Loring, si accorse di alcune regolarità nelle proprietà degli elementi noti e tentò di classificarli in funzione di queste ricorrenze periodiche. Il metodo di classificazione introdotto da Loring prendeva in considerazione l'andamento periodico della suscettività magnetica, il calore specifico e le proprietà chimiche [16]. La scoperta dei gas nobili aveva in qualche modo reso necessaria la revisione della tavola periodica postulata da D.I. Mendeleev (1834-1907) e lui aveva sentito il bisogno di mettere ordine nella classificazione degli elementi. Loring non negava l'indubbia utilità della creatura di Mendeleev ma era dell'avviso che solo attraverso un'equazione matematica si potesse raggiungere quell'eleganza di forma e quella potenza di con-

cetto che ancora mancavano alla chimica. Il suo metodo empirico poggiava su due semplici operazioni. Per prima cosa Loring si propose di ordinare gli elementi – o meglio i loro pesi atomici – in una serie numerica secondo la seguente equazione che scrisse in questa forma:

$$W = \pm(4P) + K$$

W sarebbe stato il peso atomico; P un numero della serie 0, 1, 2, 3 ecc. e K una costante arbitraria il cui valore risulterebbe compreso tra 0 ÷ 4.

Il 10 dicembre 1909 Loring consegnò alle stampe il terzo ed ultimo manoscritto[18]. In questo lavoro era mutata la forma dell'equazione empirica: W = 3,1 ± 4n. L'autore aveva adattato valore sperimentale 3,1 per la costante K. Se la necessità di correggere e ampliare le basi sulle quali poggiava il concetto di tavola periodica era un reale problema che molti chimici sentivano al principio del XX secolo, Loring al pari di altri colleghi, aveva per così dire sbagliato approccio: aveva lavorato sul più insidioso concetto di peso atomico invece di concentrarsi sul più significativo numero atomico, di cui le potenzialità, prima delle scoperta di H.G. Moseley (1887-1915) e dei lavori di F. Soddy (1877-1956) e G. Urbain (1872-1938), non erano state ancora chiarite.

L'arrangiamento dei pesi atomici proposto da Loring, possedeva due apparenti incongruenze: veniva a creare delle vacanze tra alcuni elementi ed in più non contemplava né l'esistenza dell'azoto né quella del *glucinio* (berillio). Loring non si curò più di tanto di queste inspiegabili conseguenze ma al contrario le utilizzò come fondamento per la sua teoria. Egli propose che questi due elementi (N e Be) fossero la combinazione di un nucleo più leggero con un elemento gassoso non ancora scoperto che chiamò *satellite* e al quale concesse il simbolo St. Il *satellite* avrebbe avuto il peso atomico pari a 0.2684. Sottraendo infatti questo valore all'azoto e al *glucinio* egli trovò che i valori risultanti ben rientravano nella sua equazione. Se nelle prime due pubblicazioni Loring espresse una certa cautela per le innovative ipotesi presentate [16, 17] in quella successiva [18] abbandonò del tutto la sua proverbiale prudenza ed arrivò ad ipotizzare l'esistenza di ben tre nuovi gas inerti.

Tornando alla composizione dell'azoto – il cui peso atomico nel 1909 era fissato a 14,007 – Loring espresse la convinzione che l'azoto fosse il prodotto di combinazione di tre elementi inerti gassosi: *One of the most striking evidences is that the three component elements of nitrogen [are] the satellite, [nitron] Nt, the hypothetical inactive element, […] and helium.*

Per far tornar la somma dei pesi atomici di questi tre gas con quella dell'azoto, pose il valore del *nitron* pari a 9,75. Infatti: 0.27 + 3,98 + 9.75 = 14,00. L'autore rendendosi conto della forzatura che stava compiendo, cercò di sviare le critiche introducendo una nota nella quale riportò a sua testimonianza una citazione, avulsa dal contesto, di una vera autorità in materia: *the value for helium «3,98», was given to me by sir William Ramsay*.

Loring fu criticato in quanto non era stato in grado di isolare né il *nitron* né il *satellite*, ma egli si difese da questo tipo di accuse affermando che il suo lavoro era meramente teorico avendo raccolto il materiale sperimentale da celebri chimici dell'epoca: da Dimitri I. Mendeleev (1834-1907) a Bohuslav Brauner (1855-1935); da Georges Urbain e Theodor Richards (1868-1928) a Henry Enfield Roscoe (1833-1915). Loring non era professionalmente ineccepibile: infatti non disdegnava l'uso di dati di dubbia autenticità se essi erano in accordo con la sua teoria. Nei suoi lavori comparvero elementi inesistenti come il *nipponio* e il *decipio*, ma che non contrastavano con la sua equazione. Tuttavia Loring era una persona molto intelligente e sapeva riconoscere un lavoro buono da uno mediocre. Infatti i dati sperimentali di Georges Urbain[55] furono trattati con molta riguardo: i pesi atomici le proprietà magnetiche dei lantanidi determinate dal chimico francese erano i dati più precisi in letteratura. Tuttavia anche sfruttando dati di primordine la teoria proposta da Loring risultò ben presto fallace: essa poggiava su un grossolano artificio e non riusciva a spiegare la natura della nuova materia – *satellite* – che avrebbe composto molti elementi tra i quali il berillio, l'azoto, molte terre rare e il tellurio.

Sempre attraverso l'equazione, che avrebbe «armonizzato i pesi atomici», Loring predisse l'esistenza di altri due elementi inerti gassosi il cui peso atomico veniva posto rispettivamente a 216 e 251. Loring aveva dedicato ampio spazio sia al *satellite* che al *nitron*, ma per questi due elementi, non riservò che brevi cenni, indicandoli semplicemente con le lettere Z^1 e Z^2.

A differenza di questi due elementi nel caso del *nitron*, Loring concesse ai lettori una dettagliata spiegazione: *The name «nitron» for the third inactive element […] has been suggested, but since it is the Greek name for nitre, and there is no evidence that the inactive gases can be regarded as inert salts (gaseous), although Prof. Armstrong*[1] *refers to their «paraffinoid» nature in that they may be compounds, I prefer to use the letters «Nt» to designate the hypothetical element, and thus avoid using a name that would be misleading.*

Nella conclusione del suo articolo Loring volle mitigare gli eccessi speculativi affermando – *It is obvious that «St» and «Nt» are not true symbols in the accepted sense of the terms* – ma non rinunciò a riaffermare la validità della sua equazione: *It can also be said, without drawing upon the imagination, that the atomic weights are exact mathematical functions.*

[1] Henry Edward Armstrong (1848-1937), chimico organico inglese, è noto più per la sua posizione contraria all'ingresso delle donne nella «società chimica» che per certe sue scoperte. Dalla sua posizione privilegiata all'interno dell'Imperial College affermò: «La storia prova che al sesso femminile è mancata la forza della creatività e dell'immaginazione… E deve essere così. Durante l'intero periodo della sua esistenza la donna è stata schiava dell'uomo; e se la teoria dell'evoluzione è in qualche modo corretta non ci sono ragioni per supporre, immagino, che lei [possa] recuperare queste incapacità mentali che sono provate da un tempo che noi, per motivi pratici, possiamo ritenere ragionevole».

In un certo senso Loring aveva ragione: la quanto-meccanica avrebbe fornito le basi matematiche per la comprensione dell'edificio atomico: un edificio atomico che per essere schematizzato avrebbe richiesto una matematica ben più complessa. Una classificazione ed una teoria matematica che purtroppo erano molto al di fuori dall'orizzonte delle conoscenze di Loring. Le teorie di Loring furono fedelmente riportate sulle pagine delle Chemical News di Sir William Crookes (1832-1919) ma, sebbene la rivista avesse ampia diffusione sul Continente, le sue idee non incontrarono il favore degli addetti ai lavori. Altre persone al posto di Loring avrebbero riflettuto sui propri errori e sarebbero stati più cauti nel futuro; ma non fu il caso del chimico londinese. Dopo un'eclissi di oltre due decadi e con la piena accettazione del nuovo modello nucleare, Loring tornò alla ribalta con una nuova scoperta. Ma prima di passare a questa scoperta occorre introdurre un altro chimico inglese molto più giovane il cui nome, John Gerald F. Druce, fu legato a quello di Loring in questa impresa.

Dall'Inghilterra a Praga sulle tracce dell'elemento di numero atomico 75

Se Druce e Loring già non si conoscevano, la posizione occupata dal primo quale direttore della rivista Chemical News – assieme agli interessi che coltivavano di comune accordo – finì certamente per avvicinarli. Gerald J.F. Druce era nato a Leamington Spa nel 1894; fu educato alla Kendrick School e poi all'University College di Londra, dove concluse i suoi studi universitari nel 1921. Nel 1923 ottenne il dottorato presso l'*Universitas Carolina* a Praga, in Cecoslovacchia, paese al quale si sentì sempre molto legato. Subentrò nella carica di direttore delle Chemical News alla morte di James H. Gardiner nel 1924 e tenne questo incarico per sei anni. In questo periodo Druce era anche impiegato come Chemistry Master presso la Grammar School di Battersea. La rivista da lui diretta aveva perso molto del suo originale smalto dei tempi in cui Crookes ne era stato direttore. Nel 1930 Druce lasciò e la direzione passò al «disastroso appuntamento» con il nuovo editore H.C. Blood Ryan che di lì a due anni portò la compagnia alla bancarotta[2]. Durante la direzione editoriale di Druce, Loring – in un primo tempo come unico autore, in seguito accompagnando la sua firma a quella di Druce – pubblicò numerose monografie sulla ricerca degli elementi mancanti.

Negli inadeguati laboratori che si trovavano nel seminterrato della St. John Hill School, Druce iniziò a dare la caccia ai tre elementi mancanti di numero atomico 43, 75, 93. Nel 1925 mentre i coniugi Ida Tacke (1896-1978) e Walter Noddack (1893-1960) assieme ad Otto Berg (1873-1939) isolavano il renio [6, 51], Druce preparò del potassio per-renato a partire da un campione di pirolusite (sol-

[2] H.C. Blood Ryan era anche vice presidente dell'*European Branch of the Muslim Association for the Advancement of Science* e dell'*Institute of Criminology*.

furo di manganese). Il suo lavoro apparve contemporaneamente a quello dei coniugi tedeschi [9], tanto che per un certo periodo la stampa inglese, incoraggiata dallo stesso autore, rivendicò per Druce il merito della scoperta dell'elemento di numero atomico 75. Più avanti nello stesso anno, il chimico cecoslovacco Jeroslav Heyrovský (1890-1967) – professore universitario di fresca nomina – utilizzando la tecnica polarografica da lui scoperta e sviluppata, si dedicò con passione alla ricerca dello stesso elemento, il *dvi-manganese*. Assieme al dottor Vaclav Dolejšek (1895-1945), abile spettroscopista, Heyrovský si era accorto che le curve polarografiche di alcuni campioni di minerali «crudi» davano dei risultati interpretabili ammettendo la presenza di un elemento analogo del Mn, che veniva ridotto per via potenziometrica assieme al manganese. Al termine delle analisi chimiche e spettrali Heyrovský e Dolejšek conclusero che «*this chemical behaviour coincides with that mentioned by Dr. Gerald Druce* [9]». Druce aveva conosciuto Heyrovský probabilmente a Londra, dove quest'ultimo si era recato per studiare sotto la guida di sir William Ramsay, oppure lo aveva incontrato durante uno dei suoi numerosi soggiorni in Boemia, terra amata dal chimico inglese come una seconda patria; i due divennero amici e mantennero per un certo tempo una fitta corrispondenza, consolidata da reciproca stima e lealtà [10]. In una comunicazione privata Druce arrivò perfino a proporre il nome *pragium* [14] dalla città di Praga per l'elemento di numero atomico 75. Fu quello, forse, il semplicistico tentativo di Druce di far convergere la scelta su un nome che potesse riunire sia la sua scoperta che quella di Heyrovský e far fronte comune alle rivendicazioni dei coniugi Noddack. Sebbene il chimico di Praga reputasse il lavoro spettroscopico di Noddack, Tacke e Berg non del tutto risolutivo, lasciò cadere nel vuoto la proposta di Druce.

Alla fine del 1925 la questione su chi fosse il reale scopritore – i tedeschi con il renio, Heyrovský e Dolejšek o anche Druce e Loring con il loro *dvi-manganese* era ampiamente aperta. Da una parte A.N. Campbell obiettò che la tecnica polarografica era insufficiente e fece notare che il massimo di potenziale osservato a -1,00 V da Heyrovský non corrispondeva a quello del *dvi-manganese* bensì a quello dell'idrogeno [8]. Un anno più tardi fu la volta di Zvjagintsev, Korsunski e Seljakov [56] che appoggiarono apertamente il lavoro dei chimici cecoslovacchi i quali a loro avviso «*seem to have chosen a more trustworthy way, assuming that the dvi-manganese is associated with manganese and not with platinum*». Il loro intento era infatti quello di screditare il lavoro dei coniugi Noddack i quali avevano annunciato di aver isolato l'elemento 75 analizzando rocce platinifere.

Il ruolo di arbitro in questa controversia fu assunto da Wilhelm Prandtl (1878-1956) il quale in un lungo e dettagliato lavoro [53] analizzò criticamente tutte le ricerche finalizzate alla scoperta degli omologhi superiori del manganese (tecnezio e renio). Le conclusioni alle quali giunse non furono positive per nessuno dei tre *team* coinvolti nella controversa scoperta, ma il giudizio più pesante si abbatté sui suoi connazionali rei di aver falsificato la scoperta dell'*eka-manganese* (elemento 43; tecnezio). Tuttavia gli ostacoli rappresentati dalle forti critiche di Prandtl furono

presto superati: infatti poco più tardi – isolando macroscopiche quantità dell'elemento 75 – i coniugi Noddack si aggiudicarono la scoperta del 75° elemento nonché il diritto di proporre per esso il nome renio.

Il giudizio del rinomato chimico inorganico tedesco sul lavoro dei chimici inglesi fu parimenti lapidario: «*Obviously the presence of tungsten and lead simulated the presence of element 75 for Druce e Loring*». A conclusione del suo articolo Prandtl demolì anche le presunte rivendicazioni di Heyrovský e Dolejšek affermando: «*…even the purest of platimum exhibits traces of tungstic acid, zinc and cobalt, but no trace of dvi-manganese*».

Heyrovský accettò il verdetto di Prandtl e dopo una lunga serie di indagini condotte per via polarografica, poté affermare che nei campioni di manganese provenienti dai giacimenti cecoslovacchi non vi era traccia dell'elemento 75, spianando così la strada al pieno e meritato riconoscimento del lavoro dei chimici tedeschi che poterono battezzare l'elemento in tutta tranquillità e a loro piacimento con il nome che ancora oggi conserva.

Sulle rive del Mar Morto le prime indagini per identificare l'elemento 87

Il primo maggio 1926 John Newton Friend (1881-1966) prese carta e penna e decise di rendere pubblici[49] i risultati di alcune sue curiose ricerche che erano iniziate subito dopo la prima guerra mondiale. Newton Friend era convinto che il bacino del Mar Morto per le sue peculiari condizioni geoclimatiche fosse l'unico posto al mondo dove fosse possibile rinvenire il più pesante, il più raro degli elementi alcalini, quello con numero atomico 87. Infatti dalle epoche storiche più remote è assodato che fiumi, ruscelli e la pioggia stessa, tutti con il loro contenuto salino, riempiono questo piccolo «mare» il quale non ha emissari e quindi fuoriuscita d'acqua se non l'evaporazione. La regione del Mar Morto è torrida e l'evaporazione, specialmente in estate, è così elevata, che la densità del bacino si aggira intorno a 1,25. In queste condizioni, pensò Newton Friend, l'elemento di numero atomico 87 avrebbe dovuto concentrarsi nelle acque del Mar Morto come in nessun altro posto sulla terra e perciò anche se fosse stato in quantità microscopica la continua azione di accumulo lo avrebbe reso misurabile.

Fu così che nel giugno 1925 egli si mise in marcia per la Palestina, non come pellegrino, ma nelle vesti di chimico: con sé aveva numerosi recipienti in vetro per la raccolta delle acque del Mar Morto e un nutrito bagaglio di strumenti di analisi.

Forse la misticità dei luoghi, forse l'idea di poter risolvere l'enigma dell'elemento 87 con tanta semplicità e con pari eleganza, accrebbero in Newton Friend una indomita perseveranza; percorse il Mar Morto in lungo e largo prelevando, ad ogni sua sosta, campioni di acqua. Newton Friend riteneva a buon diritto che l'*ekacesio* avesse le proprietà degli elementi alcalini e confidando in questa ipotesi iniziò le indagini del caso. Dopo aver rimosso tutti gli elementi eccetto quelli alcalini, passò alle prove gravimetriche. I risultati non furono per nulla incoraggianti. Fu così che Newton Friend mandò una frazione sospettata di contenere tracce dell'e-

lemento 87 alla ditta Hilger Adam Ltd. affinché gli esperti che vi lavoravano sottoponessero i sali ad una accurata indagine roentgenografica.

Alcune lastre fotografiche riportarono traccia di una misteriosa linea che avrebbe potuto coincidere con la riga Lα calcolata per *l'eka-cesio*, ma questa rimase l'unica prova a sostegno della presenza di questo elemento nelle acque del Mar Morto. Successivamente Newton Friend si convinse che nel Mar Morto non vi fosse traccia alcuna dell'elemento da lui tenacemente ricercato, ma anzi ipotizzò, correttamente, che l'elemento di numero atomico 87, trovandosi nella tavola periodica tra il radio e il radon, potesse essere radioattivo ed avesse una vita media molto breve. Era un ragionamento corretto a conclusione di una ricerca in buona parte sbagliata.

Ai suoi contemporanei sembrò che Newton Friend fosse rimasto più deluso per la fallacità del suo elegante ragionamento – che gli avrebbe permesso di dimostrare quanto l'ingegno umano potesse sopperire alla mancanza delle apparecchiature sperimentali – che per la mancata scoperta dell'elemento 87. Tuttavia in tarda età l'illustre chimico britannico impegnò la sua vasta cultura nella stesura di un monumentale volume relativo alla scoperta degli elementi chimici e al diverso utilizzo che la società umana ne ha fatto in un arco temporale che oltrepassa i quaranta secoli [50].

L'Alcalinio

Eclissata la bizzarra spedizione chimica in Terra Santa di Newton Friend, lo scettro dell'infruttuosa ricerca dell'*eka-cesio* passò nelle mani prima di Loring e successivamente anche in quelle di Druce.

Frederick H. Loring era nato in Inghilterra; sebbene la sua data di nascita non è nota, essa deve essere posizionata nell'ultimo quarto del XIX secolo il che lo rende più anziano di Loring di circa venti anni. La carriera scientifica di Loring, per altro molto ampia e varia, iniziò con le prime pubblicazioni risalenti al 1906 e, dopo aver attraversato stagioni più o meno fruttuose, si concluse nel 1945.

Dopo un'iniziale battuta di arresto, contraddistinta dal tentativo di imporre la teoria dell'armonizzazione dei pesi atomici, Loring mutò con una eccessiva frequenza i suoi interessi scientifici: dalle speculazioni sulla teoria delle «associazioni» [19], per spiegare la costruzione degli atomi, fino a riprendere le idee di sir William Crookes (1832-1919) di evoluzione inorganica ciclica [20].

Subito dopo la conclusione della prima guerra mondiale Loring iniziò ad occuparsi, inizialmente con marginale interesse, poi con sempre più passione e tenacia, alla ricerca degli ultimi elementi chimici [21]. Contemporaneamente Frederick Loring si era imbarcato in una impresa dai contorni poco chiari e destinata ad avere un esito tutt'altro che felice: interpretare e commentare le più recenti scoperte della fisica atomica; dalla teoria quantistica e la struttura della materia [22] al concetto di isotopia [23] fino a giungere all'ipotesi di un elemento di numero atomico zero [24].

Il 30 gennaio 1926 Loring pubblicò un breve articolo su Nature nel quale espose chiaramente la sua visione dello stato della ricerca degli elementi mancanti [25]. Questo articolo è una sorta di manifesto e al tempo stesso un punto di svolta nella carriera scientifica di Loring: infatti in esso si ravvisa la determinazione dell'anziano chimico di concentrare i propri sforzi sull'identificazione di soli due elementi mancanti il 75° e l'87° avvalendosi del lavoro chimico di Gerald Druce e degli esami ai raggi X fornitigli dalla ditta Adam Higler Ltd. Infatti dopo un iniziale lavoro in parallelo Druce e Loring unirono le loro forze e tra la fine del 1925 e l'inizio del 1926 apparvero numerosi lavori congiunti.

Il 6 novembre 1925 Loring e Druce, pubblicano sulle *Chimical News* – quest'ultimo a quel tempo era direttore della rivista – un succinto articolo relativo all'identificazione dell'ottantasettesimo elemento [26]. Sebbene i due chimici con l'ausilio delle misurazioni dei tecnici dell'Adam Hilger Ltd., asserirono di aver registrato la linea a 1.032Å, assunta come un doppietto mal risolto delle Lα1 e Lα2 dell'elemento ricercato molte perplessità erano ancora presenti tra gli stessi autori. Essi non riuscirono ad ottenere dei campioni dell'elemento; tracce di bromuro di argento coprivano gran parte la regione dello spettro dove avrebbero dovuto comparire le linee secondarie dell'*eka-cesio*. La posizione dei due scienziati britannici non era facilmente sostenibile: non erano cattedratici ma, al contrario, poco più che dilettanti. Chimici o fisici che occupavano posizioni accademiche ben più solide della loro, in atenei ben più prestigiosi, e potevano ingiungere con molta più disinvoltura le loro idee all'*establishment* accademico, solo in rarissimi casi si erano spinti ad imporre alcune loro visoni su un particolare fenomeno.

Druce e Loring erano così certi della loro scoperta che, anche in mancanza di inconfutabili riscontri sperimentali, prematuramente e con inopportuna sicumera, affermarono: «*We have, for the present, designated the element eka-caesium in accordance with the nomenclature adopted by Mendeléeff*». E conclusero l'articolo con l'affermazione assai: «*Furtehr work is being done to obtain this element, as free as possible, from others elements*».

Nemmeno una settimana dopo l'uscita di questo articolo un secondo lavoro di Druce e Loring apparve sulle pagine delle Chimical News [27]. In esso i due chimici rivelano per la prima volta che i presunti campioni di ossido di *eka-cesio* sarebbero stati estratti dalla pirolusite, un minerale ricco di manganese. Il loro lavoro si basava sull'analisi di questo minerale compiuta trenta anni prima da Hartely e Ramage i quali avevano rinvenuto nella pirolusite una certa quantità di metalli alcalini [12]. Se da un lato Loring e Druce non apportarono nuovi e significativi contributi all'identificazione, dall'altro l'isolamento dell'elemento 87 restò né più né meno una chimera. In mezzo a tutta questa approssimazione ed incertezza i due chimici, asserirono di aver identificato alcune linee caratteristiche dello spettro X dell'*eka-iodio*, salvo poi, appena due settimane dopo, pubblicarne la smentita [28]. Questa smentita, lungi da essere una ritrattazione in piena regola, si riferiva ad un errore nell'attribuzione di particolari righe, le quali non avrebbero dovuto appartenere all'*eka-iodio* ma all'inesistente elemento 93.

Fu così che nella caotica ricerca per identificare ed isolare l'elemento 87, esattamente ad una settimana dalla pubblicazione della rettifica apparsa sulle Chemical News, fu riportata l'identificazione e l'isolamento dell'illusorio transuranico [29] di numero atomico 93. Anche in questo caso gli autori, cercando l'elemento 93 si trovarono *involontariamente* ad osservare gli omologhi superiori dello iodio e del cesio sebbene si rammaricassero per la non completa chiarezza delle immagini registrate. L'elemento transuranico fu osservato ma la possibilità di attestarne l'esistenza con assoluta certezza si rivelò in qualche modo difficile. Questa volta furono i tecnici della Hilger Ltd. a mettere i bastoni tra le ruote dei chimici britannici; infatti gli spettroscopisti non assicurarono l'attendibilità delle loro misure essendo la riga ricercata troppo vicina al valore critico dello strumento nonché ai limiti della regione che era possibile esplorare con il loro spettrografo con focalizzatore cristallino.

La saga della ricerca dell'*eka-cesio* in natura, dopo l'ennesima pubblicazione proseguì con il solo contributo di Loring, il quale da parte sua portò come prove dell'esistenza dell'elemento 87 nient'altro che ipotesi [30]. Dopo l'anno 1925 si presentò un qualche evento la cui natura non fu mai chiarita che fece sì che il rapporto tra Loring e Druce subisse un'improvvisa interruzione e le loro strade divergessero, sebbene i loro interessi rimanessero focalizzati nella ricerca degli elementi mancanti [11].

Nel gennaio e febbraio 1926 Loring riprese con accresciuto ardore l'argomento che gli stava più a cuore [25, 30], ossia l'identificazione dell'elemento 87. In quest'ultima pubblicazione, dopo aver riesaminato il precedente lavoro svolto con Druce, riportò altre misure ricevute dai tecnici della Adam Higler's Research Laboratory[3]. Fu in grado di confermare con assoluta certezza di aver registrato la riga $L\alpha 1$ dell'*eka-cesio*; quanto alla debole $L\alpha 1$, dopo innumerevoli tentativi fallimentari, fu estrapolata, con difficoltà, tra i segnali del bromuro di argento. Loring, si rendeva conto che la sola riga $L\alpha 1$ sarebbe stata insufficiente come prova dell'esistenza dell'*eka-cesio* e quindi tentò di intensificare il segnale sull'emulsione fotografica, ottenendo come risultato sia l'intensificazione delle righe cercate ma altresì la comparsa di altre nuove ed indesiderate. Anche in questo caso egli non poté portare come avallo della sua scoperta che una sola riga dell'elemento 87: troppo poco perché la comunità scientifica potesse accordargli il merito della scoperta.

Tra i mesi di marzo e giugno Loring si distaccò gradatamente dalla ricerca degli elementi 85 e 87 in natura e prese in considerazione l'ipotesi di inserirli come membri delle famiglie radioattive. Nel primo dei tre articoli pubblicati in quel periodo [31] Loring constatò che molto lavoro doveva esser ancora compiuto per l'identificazione dell'elemento 87; il suo fu un linguaggio prudente e alieno da dichiarazioni roboanti alle quali Loring si era lasciato andare per i lettori delle Che-

[3] La Adam Hilger Ltd. era una delle prime società inglesi dove si fabbricavano, a livello poco più che artigianale, strumenti di analisi spettro-chimiche. Essa contribuì allo sviluppo delle apparecchiature tecniche che poi hanno avuto notevoli applicazioni in metallurgia.

mical News ma che meglio si confaceva allo standard della rivista Nature. Loring passò ad esporre come dopo i primi tentativi positivi compiuti da Druce di isolare *l'eka-cesio*, non fosse più riuscito ad ottenere campioni altrettanto ricchi di questo elemento. Forse in questa affermazione andrebbe visto il motivo della rottura del sodalizio tra i due e forse in queste parole egli avrebbe potuto consumare una velata accusa al giovane Druce, per aver manomesso i risultati. Dubbi a riguardo non sono mai stati fugati; quel che è certo è che Loring rimase abbacinato dal miraggio rappresentato dall'effimero ottantasettesimo elemento. Dopo una lunga parentesi introduttiva Loring espose la sua ipotesi secondo la quale gli omologhi inferiori dell'*eka-cesio* (rubidio e cesio) avrebbero potuto emettere o assorbire elettroni per disintegrazione nucleare – spontaneamente o per induzione esogena – e trasformarsi nell'elemento così tenacemente ricercato. Pur rifacendosi alle esperienze di famosi fisici dell'epoca, quali Ernest Rutherford e Patrick Blackett (1897-1974), il ragionamento teorico di Loring era approssimativo e le conclusioni alle quali giungeva fallaci. Di conseguenza egli non poté andare oltre le seguenti affermazioni: «*… I suggest it would be worth while examining potassium and rubidium in this way in order to detect if possible traces of, say, 87 in one of them. This work is now in hand and the technique is steadily being improved*».

Loring aveva notato che le linee del bromo comparivano nello spettro X con maggiore intensità al crescere del tempo di esposizione dei campioni esaminati. Questo fenomeno poteva spiegarsi in due modi. Il primo caso, il più semplice, avrebbe previsto la determinazione del bromo nell'emulsione fotografica, ma fu scartato. La seconda strada era alquanto bizzarra, prendendo in considerazione la possibilità di fusione atomica ma, contro ogni ipotesi logica, fu ritenuta dall'autore la più probabile. Secondo Loring il bromo che egli osservava nei suoi spettri era generato nell'anticatodo del tubo a raggi X secondo la seguente reazione nucleare [32]:

$$_{19}K + {}_{20}Ca \rightarrow {}_{35}Br$$

Loring ipotizzò, e poi disse di aver verificato, che la sintesi nucleare nei tubi a raggi X portava alla formazione di altri elementi, curiosamente quelli appartenenti del VII gruppo. Anche questa bizzarra affermazione, che non provò nemmeno a giustificare, si rivelò errata.

$$_{19}K + {}_{28}Ni \rightarrow {}_{43}Ma$$ [4]

$$_{37}Rb + {}_{20}Ca \rightarrow {}_{53}I$$

$$_{55}Cs + {}_{24}Cr \rightarrow {}_{75}Re$$

$$_{37}Rb + {}_{52}Te \rightarrow {}_{85}85$$

[4] Il simbolo Ma si riferiva all'ipotetico elemento di numero atomico 43 *masurio* (o *eka-manganese*), oggi noto con il nome tecnezio.

Ciò che salta immediatamente agli occhi è la mancanza di bilanciamento del numero atomico delle reazioni nucleari sopra scritte: questo fatto non sfuggì a Loring, il quale non si perse d'animo ed ipotizzò che la perdita di 4 protoni in ogni reazione si potesse spiegare con l'inserimento forzato nel nucleo di 4 elettroni durante l'irraggiamento con i raggi X. Questo espediente avrebbe ridotto il numero atomico di 4 unità, facendo così tornare i conti; avrebbe altresì elevato della stessa quantità il numero dei neutroni; infatti i quattro protoni si sarebbero trasformati in altrettanti neutroni. Il mese successivo Loring pubblicò un lungo articolo [33], apparso sulle *Chemical News*, suddiviso in cinque parti. Le prime tre offrono una panoramica piuttosto partigiana della scoperta dell'elemento di numero atomico 75. L'autore evidenzia come nel caso della scoperta del *celtio* (numero atomico 72) fosse in corso una diatriba tra gli scopritori: da una parte i francesi G. Urbain e Alexandre Dauviller (1892-1979) e dall'altra i contendenti dell'istituto di fisica di Copenaghen, George von Hevesy (1885-1966) e Dirk Coster (1889-1950). Allo stesso modo Loring ricordò al pubblico che una simile disputa fosse in atto per accreditare la scoperta dell'elemento di numero atomico 75. Una contesa tra i coniugi Noddack da un lato e lui e Gerald Druce dall'altro [34]. A differenza della prima *querelle*, di proporzioni internazionali, questa fu così modesta e montata quasi esclusivamente da Loring e avallata dalle pagine delle Chemical News dirette da Druce, che la comunità scientifica internazionale e perfino i Noddack parvero quasi non accorgersene. L'autore della contestazione fornì alcuni dettagli della separazione chimica compiuta da Druce quando si trovava a lavorare presso l'*Universitas Carolina* di Praga e delle analisi compiute dal Dr. Dolejšek sul materiale arricchito, confermate poi da Manne Siegbahn (1886-1978). Con sommo rammarico da parte dell'autore meno coinvolto nella scoperta, il pugnace Frederick Henry Loring, l'argomento della contesa era ancora *sub judice* della Commissione Internazionale per la Nomenclatura degli Elementi Chimici.

Nei paragrafi conclusivi dell'articolo, Loring affrontò due argomenti sostanzialmente alieni dai precedenti. Dopo aver parlato, nel penultimo paragrafo, della possibilità dell'esistenza in natura dell'elemento 93, Loring riportò due nuove reazioni nucleari per la sintesi di altrettanti elementi chimici nei tubi a vuoto spinto per raggi X:

$$_{9}K + {}_{80}Hg \rightarrow {}_{93}93$$

$$_{37}Rb + {}_{28}Ni \rightarrow {}_{61}61$$

A conclusione dell'articolo Loring tenne a precisare quanto segue: «*It is not yet proved that any of these elements can be formed in the X-ray tube as suggested, as a possibility, in the* [*previous article*]».

Con il trascorrere degli anni Frederick Loring mostrò un crescente disagio e sembrò manifestare segni di irrequietezza riscontrabile anche nei suoi scritti. Da quando si era messo sulla traccia di elementi non ancora identificati altri erano riu-

sciti laddove egli aveva fallito o era giunto in un secondo momento. Nel 1930, quando il *celtio*, il renio, l'afnio sembravano scoperte assodate e gli elementi 61 e 93 erano troppo lontani dai suoi interessi – escludendo dalla conta l'elusivo elemento 85 – non restava che scoprire l'elemento di numero atomico 87. Loring era deciso a non lasciarsi scappare quella che per lui rappresentava l'ultima *chance*.

Dopo questa serie di uscite sensazionali Loring si chiuse in un lungo silenzio quando, improvvisamente, ricomparve sulla scena internazionale con un annuncio senza pari: la scoperta dell'*alkalinium*: in italiano *alcalinio*, il cui nome scivola sulla lingua come uno scafo sulle placide acque di un lago, canta con gentilezza musicale che soltanto il nostro idioma sa generare. Lo fa da oltre sette decenni, dal 21 marzo 1930 quando il chimico inglese, Fredrick Henry Loring, senza troppa fantasia immaginò quel nome e lo stampò [35], lo accostò per la prima volta all'ipotetico elemento agli estremi confini della tavola periodica, successivo al cesio, il cui numero atomico sarebbe stato 87. «*It will be seen that the existence of eka-caesium as an impurity in caesium is apparently made evident by the line-agreements. This helps to support the scanty X-ray identification already published in these pages. An appropriate name for this element would be Alkalinium, Ak, it being the most alkaline element of the group, that is to say, the most electropositive. That such an element should exist and not be radioactive, at least in the meaning of the term as indicated by the radioactive-series elements, is not surprising for there is the example of bismuth which is more or less surrounded by short-lived products and yet it has an odd atomic number and its atomic weight appears also to be odd*».

Ma se l'attribuzione di elementi alcalini è unanimemente accettata, un segno della confusione rimane nell'equivoco nome di *alcalinio*, divorato non tanto dall'errata scoperta, ma dall'abbondante ripetizione della toponomastica, di quel sinonimo degli elementi del primo gruppo. Loring invocò invano la scoperta di quel elemento – l'*acalinio* – e declamò troppo presto quel nome dolce da pronunciare, quanto amaro da deglutire. Tuttavia l'anno successivo apparvero ben sei monografie che portavano la firma di Loring: tutte vertevano sull'elemento 87. Le prime [36] non si limitavano solo a fissare a 615° C la temperatura di fusione dell'*alcalinio* ma affermavano che forti evidenze sperimentali presupponevano l'esistenza di questo elemento anche nella corona solare.

Un'altra pubblicazione giustificava il metodo di attribuzione delle righe spettrali di tale elemento [37], mentre la successiva [38] fissava il calore specifico dell'*alcalinio*. Nei seguenti articoli [39] Loring ritornò al concetto a lui caro di «armonizzazione» dei pesi atomici e per giustificare le irregolarità presenti tra gli isotopi degli elementi alcalini previde che l'elemento 87 possedesse un solo isotopo di massa 223, ipotesi che effettivamente in seguito si rivelò corretta [5].

In quegli stessi anni altri scienziati si erano imbarcati nella sterile ricerca per trovare tracce naturali dell'elemento 87: per citare solo i più famosi scienziati coinvolti in questa impresa, le cui scoperte furono maggiormente pubblicizzate, conviene riportare i nomi dei professori Fred Allison (1882-1974) in America e Horia

Hulubei (1896-1972) in Francia. Essi arrivarono a battezzare questo elemento rispettivamente con i nomi *virginio* [3] e *moldavio* [13]. In entrambi i casi i due uomini di scienza avevano accertato la presenza dell'elemento in debolissime tracce, come Loring. L'episodio forse meno noto invece fu invece il rinvenimento di un isotopo stabile dell'*eka-cesio* nel 1932 ad opera del professor Gustav A. Aartovaara di Helsinki. Egli asserì addirittura di aver rinvenuto, in quantità macroscopica, la presenza dell'elemento 87 in taluni feldspati finlandesi [1].

Epilogo dell'Alcalinio

Quando il 21 marzo 1930 Loring annunciò la sua scoperta e coniò quel nome, egli s'imbarcò in un'impresa senza immaginare quale presagio essa portasse con sé. Alcuni anni più tardi il verdetto della scienza, mise fine alla peculiare quanto incerta esistenza dell'*alcalinio*: nemesi di un verbo arabo – *qalaa*, «arrostire» – che dando origine all'aggettivo alcalino, dal quale prese origine il nome *alcalinio*, finì per «bruciare» le residue speranze di Loring.

Le vicende umane di Druce e Loring si conclusero poco dopo la seconda guerra mondiale. Non ancora cinquantaseienne, Druce morì il 21 giugno 1950 in un ospedale londinese dopo una lunga e dolorosa lotta contro una malattia incurabile [4, 7, 52], togliendo se stesso da una situazione penosa e la comunità scientifica dall'imbarazzo di doverlo condannare per aver associato il proprio nome a quello di Loring responsabile della falsa scoperta dell'*alcalinio*, salvo poi riabilitarlo, com'è avvenuto per tanti altri chimici.

Dopo la conclusione della seconda Guerra Mondiale di Frederick H. Loring si perdono le tracce. Nel 1940 egli aveva residenza al 7 & 9 Elliot's Place, London N. 1 ma risultava cittadino americano; due anni più tardi per ragioni commerciali legate ad un brevetto relativo al trattamento della farina di frumento [40], Loring comparve sul suolo americano. L'anno precedente la sua ultima pubblicazione [41], recensita nel 1945, Frederick Henry Loring compì la sua ultima acrobazia teorica nel campo delle scienze fisiche. Egli rielaborò la teoria dell'atomo vortice [54] di Lord Kelvin (1824-1907) collegandola ai numeri atomici dei gas inerti ed a un certo numero di proprietà degli orbitali atomici [42].

Con il trascorrere del tempo la memoria di questi uomini ha assunto le sembianze di un cimitero abbandonato, dove giacciono senza onori le loro scoperte, vere e presunte, nelle quali le generazioni future hanno cessato di credere.

BIBLIOGRAFIA

[1] Aartovaara G.A., 1932. Tekniska Foereningens i Finland Foerhandlingar, 52, 157.
[2] Adinolfi E., 1920a. Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Rendiconti, 29 (II), 38; 1920b. Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Rendiconti, 29 (II), 87.
[3] Allison F., Murphy Edgar J., 1930. Physical Review, 35, 285.
[4] Anon., 1950. Journal of the Royal Institue of Chemistry, 348.
[5] Asimov I., 1959. Journal of Chemical Education, 30, 616.
[6] Berg O., Tacke I., 1925. Naturwissenschaften, 13, 571.
[7] Briscoe H.V.A., 1950. Journal of the Chemical Society, 3358.
[8] Campbell A.N., 1925. Nature, 116, 866.
[9] Druce G., 1925. Chemical News, 131, 273.
[10] Druce G., 1942. Nature, 150, 623.
[11] Druce J.G.F., 1926. Science Progress (St. Albans, United Kingdom), 20, 690; 1927. Science Progress (St. Albans, United Kingdom), 21, 479; 1926. Continental Metallurgic & Chemical Engineering, 1, 111; 1926a. Chemisch Weekblad, 23, 318; 1926. Chemisch Weekblad, 23, 497.
[12] Hartely, Ramage, 1897. Transaction of the Chemical Society, LXXI, 533.
[13] Hulubei H., 1937. Comptes Rendus de l'Acadmie des Sciences, 205, 854.
[14] Karpenko V., 1980. Ambix, 27, 77; Rif. 44a.
[15] Loring F.H., 1909. Chemical News, 100, 281.
[16] Loring F.H., 1909. Chemical News, 99, 148.
[17] Loring F.H., 1909. Chemical News, 99, 241.
[18] Loring F.H., 1909. Chemical News, 100, 281.
[19] Loring F.H., 1914. Chemical News and Journal of Industrial Science, 110, 25.
[20] Loring F.H., 1915a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 111, 157; 1915b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 111, 181.
[21] Loring F.H., 1922a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 125, 309; 1922b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 125, 386; 1923. Chemical News and Journal of Industrial Science, 126, 1.
[22] Loring F.H., 1920. Chemical News and Journal of Industrial Science, 120, 105.
[23] Loring F.H., 1920a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 120, 181; 1920b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 120, 193; 1920c. Chemical News and Journal of Industrial Science, 120, 205; 1920d. Chemical News and Journal of Industrial Science, 120, 217.
[24] Loring F.H., 1923a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 126, 307; 1923b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 126, 325; 1923c. Chemical News and Journal of Industrial Science, 126, 371; 1923d. Chemical News and Journal of Industrial Science, 127, 225.
[25] Loring F.H., 1926. Nature, 117, 153.
[26] Loring F.H., Druce J.G.F., 1925. Chemical News and Journal of Industrial Science, 131, 289.
[27] Loring F.H., Druce J.G.F., 1925. Chemical News and Journal of Industrial Science, 131, 305.
[28] Loring F.H., Druce J.G.F., 1925. Chemical News and Journal of Industrial Science, 131, 321.
[29] Loring F.H., Druce J.G.F., 1925. Chemical News and Journal of Industrial Science, 131, 337.
[30] Loring F.H., 1925. Chemical News and Journal of Industrial Science, 131, 371.
[31] Loring F.H., 1926. Nature, 117, 448.
[32] Loring F.H., 1926. Chemical News and Journal of Industrial Science, 132, 311.
[33] Loring F.H., 1926. Chemical News and Journal of Industrial Science, 133, 407.
[34] Loring F.H., 1926. Chemical News and Journal of Industrial Science, 133, 276.

[35] Loring F.H., 1930. Chemical News and Journal of Industrial Science, 140, 178.
[36] Loring F.H., 1931a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 143, 18; 1931b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 143, 39.
[37] Loring F.H., 1931. Chemical News and Journal of Industrial Science, 143, 149.
[38] Loring F.H., 1931. Chemical News and Journal of Industrial Science, 143, 359.
[39] Loring F.H., 1931a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 143, 360; 1931b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 143, 408.
[40] Loring, F.H., 1941. Brevetto numero GB 540687.
[41] Loring F.H., 1945. Chemical Products and Chemical News, 8, 54.
[42] Loring, F.H., 1944. Chemical Products and Chemical News, 7, 40.
[43] Moir J., 1909. Journal of Chemical Metallurgy and Mining of South Africa, 9, 334.
[44] Moir J., 1909. Journal of the Chemical Society - Transactions, 95, 1752; 1910. Proceedings of the Royal Society, 25, 213.
[45] Moir J., 1922a. Chemical News and Journal of Industrial Science, 124, 105; 1922b. Chemical News and Journal of Industrial Science, 124, 118; 1922c. Chemical News and Journal of Industrial Science, 124, 133; 1922d. Chemical News and Journal of Industrial Science, 124, 149.
[46] Moir J., 1921. Transactions of the Royal Society of South Africa, 10, 33.
[47] Moir J., 1924. Journal of the Chemical Society - Transactions, 125, 1134.
[48] Moir J., 1929. Transactions of the Royal Society of South Africa, 18(Pt. 3), 183.
[49] Newton Friend J., 1926. Nature, 117, 789.
[50] Newton Friend J., Scribenr (ed.), 1961. Man and the Chemical Elements. New York.
[51] Noddak W., Tacke I., 1925. Oesterreichische Chemiker-Zeitung, 28, 127; 1925. Naturwissenschaften, 13, 567; 1925. Preußischen Akademie der Wissenschaften, 400.
[52] Orten G., 1950. Nature, 166, 134.
[53] Prandtl W., 1926. Zeitschrift für Angewandte Chemie, 39, 1049.
[54] Thomson W. (poi Lord Kelvin), 1867. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, VI, 94.
[55] Urbain G., Jantsch G., 1909. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 147, 1286.
[56] Zvjagintsev O., Korsunski M., Seljakov M., 1926. Nature, 118, 262.