

萬有文庫

第二集七百種

王五主編

化學元素發見史

(六)

韋克新著

黃素封人駿譯

商務印書館發行



化學元素發見史

(六)

著 斯 克 韋

譯 駿 人 俞 封 素 黃

自然科學小學叢書

第十九章 惰氣元素 (Inert Gases)

一八九四年，累利伯爵 (Lord Rayleigh) 和拉姆塞爵士二人，宣佈大氣中另含新元素，振驚了整個科學世界。新元素定名曰氬 (argon)，經過澈底研究後，探知不易和其他物質化合，是爲主要特性。其時，另一種極有關連的氣體，在同一情況中也被揭示了。一八六八年時，天文學家雅孫 (Jules Janssen) 和羅克頁爵士 (Sir Norman Lockyer)，各自獨立在太陽光譜中，看到一種黃線，D。這線不屬於地球所已知的任何元素，因此羅克頁爵士假定，太陽中有新元素氦 (helium) 的存在。至一八九五年，英國的拉姆塞爵士和瑞典的克利夫 (Cleve) 及倫格來忒 (Langlet) 各自從放射性鑽石中發見氦素。拉姆塞爵士和特拉弗斯 (Travers) 二人不久以後，又發現其他三種新氣體，即氖 (neon)、氙 (krypton) 和氙 (xenon) 三元素。這三種新元素，探知和其他各種元素，毫無化合的趨向，所以和氬及氦同隸於高貴氣體中的貴族階級。(註一) 在

這一貴族階級中，釷素 (Thorium) 最重，將於第十九章中和放射性元素同論。

(註一)這一組中各元素的少量化合物，在化學文獻中已有報告發表。

在沒有科學想像的人看來，準確而微細的計量，和找尋新東西的工作，兩相比較，似乎不能算作高貴而莊嚴的工作。但幾乎一切科學上最大的發現，都由精確計量，或把數算的結果，在耐心而不斷力作中，稍稍加以改正後，所得的報酬(1)。

到十九世紀末年，化學家都深信大氣已經研究澈底，再沒有人向這裏作新元素的搜尋了。確然，加萬粒粟爵士在很久以前，就有預言，在大氣中，將有一不知名氣體的發現。一七八五年時，他把電花通過氧氣和尋常空氣的混合體，混合體中雜有鹼質〔「皂渣」(soap-lies)〕，結果發見一部分「配燃燒素氣體」(phlogisticated air) (即氮) 未能氧化而吸收。他說過：這殘餘部分「當然不超過管中」配燃燒素氣體全量的 $\frac{1}{120}$ ，因此在大氣中，倘有一部分配燃燒素氣體，和其他的

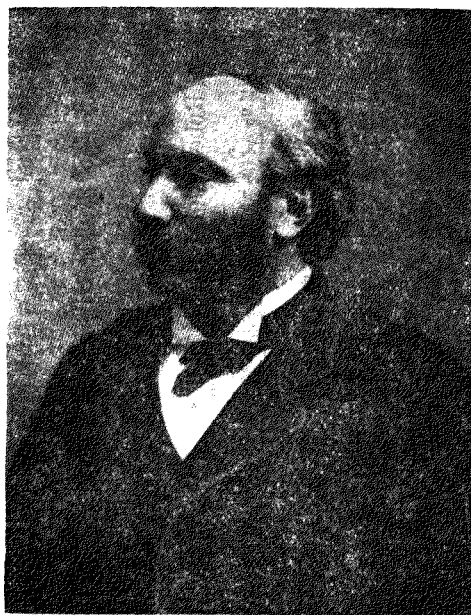
不相同，也不能還原成亞硝酸，我們可以極穩當的下一結論，其體積決不會超過全量的 $\frac{1}{1.20}$ (2)。化學家對於這個重要的試驗，早已忘記淨盡。但到了一八八二年，累利伯爵又開始作大氣中各氣體密度的研究。

斯特勒特 (Robert John Strutt) 即累利伯爵第三，於一八四二年十一月十二日生於脫令 (Terling) 學生時代，靜思密慮，多才自負，已露頭角。一八六五年，在劍橋大學末年考試中，名列最優等 (Senior Wrangler in the Tripos)。有一位論文審查員說，「斯特勒特的論文，精美絕倫，不加修改，即可直接付印。」(41)

一八七九年，大物理學家馬克斯維爾 (Clerk Maxwell) 去世後，累利伯爵即在劍橋大學，加萬粒粟爵士研究院中繼任。在任內，各班皆擴充範圍，革吞 (Girton) 和紐那姆 (Newnham) 學院，女生第一次允准和男生同時入學。有一次要添置新儀器，而經費不足，乃自損五〇〇鎊，同時並勸友朋相助，最後共得一、五〇〇鎊，卒抵於成 (3)。

一八八二年，他報告不列顛科學促進會，已開始氫氧氣密度的研究，檢定一比一六之比例，是

否確切不誤。十年後，他發表研究結果，謂最正確的比例，應作一比一五·八八二（38）。其後作氣體化合物體積和壓縮性的精密研究，因欲一算規定情況下的克分子體積，累利伯爵乃作氮氣密度的計量（40）。



圖二三七 斯特勒特，累利伯爵第三
(Robert John Strutt, the Third Lord Rayleigh 1842-1919)

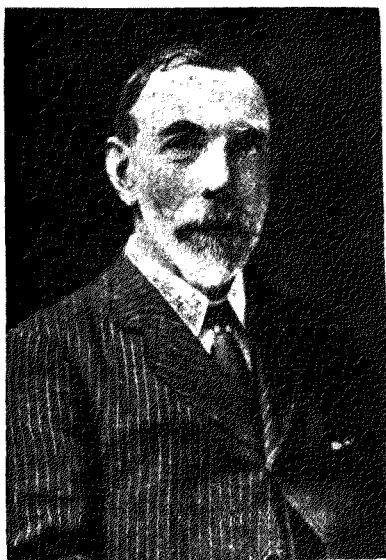
劍橋大學加萬粒粟研究所物理學教授。對於銀的電化當量，氣體的化合量及可壓性曾作澈底研究。又探知空氣中製得的氮氣較氮中製取的氮氣為重，後引成第一貴族氣體氬素的發現。對於光學和聲學亦有貢獻。

他用三種不同方法製得的氧氣，密度彼此完全相同，而氮氣的結果，則使人迷惑。由氮製出的氮氣，較從大氣中除去氧、二氧化碳、水氣後所得的氮氣，輒輕千分之五，於是在英國的自然界週刊上，投通信稿，請問讀者，貢獻解釋，結果一封回信都沒有收到（39）。

累利伯爵自己擬出了四種比較可能的解釋：1. 他從大氣中所製得的氮，其中或者還含有少量氧氣；2. 從氮製得的氮，其中或尚雜有氫；3. 從大氣中製得的氮，其中或含有類似臭氧類的分子；4. 從氮所得的氮，一部分分子或已分解，因此降低氣體的密度（40）、（45）。

但是第一個假定是絕不可能的；因為氧和氮，二者密度相差極小，必相雜極多，始足用以解釋千分之五的差異。累利伯爵又用實驗證明，從氮製得的氮，絕不含氫。第三個解釋，也不足置信，因為靜靜通電後，也未見氮氣增高密度。於是拉姆塞爵士得了允准，開始作大氣中的氮氣的實驗（4）。

因為這些實驗，引出了驚人而重大的結果，我們應該先費一些時間，把發現者的品性和人格，加以介紹。拉姆塞爵士的父母，結婚時俱已年近四十。第二年（一八五二年十月二日）即得一子，



圖二三八 拉姆塞爵士像

(Sir William Ramsay, 1852-1916)

蘇格蘭化學家及物理學家。惰氣元素的發現人。累利伯爵為氫素的共同發現人。特拉弗斯助其發現氦、氖、氩三元素。其後多爾恩發現鐳射氣氡，拉姆塞和格累即共同測定密度，證明在氫族中為最重的元素。

蘇格蘭人為父母者，所希望的欣慰，算是滿足了。這個孩子，喜歡自然、音樂和書籍，不久又有了學習新語言的一種癖性。許多親友，時常覺得奇怪，格拉斯哥的聖馬太 (Free St. Matthew) 教堂中，在冗長的卡爾文教徒 (Calvinist) 講道時，這個活潑的孩子，如何肯這樣寂靜的坐着，他們遙望他，只見專心一意，閱讀聖經；但近身一看，他讀的並非英文聖經，總是一本法文或德文的聖經。他熟讀英

文的聖經，所以讀外國文聖經時，無需多加參考，這樣他學得了這些初步的外國語言（5）。看了教堂中大窗上的鑲工，他自己又定出了許多幾何學上新定理（6）。

格拉斯哥學院中，他的同班生淮特先生（H. B. Fyfe），把拉姆塞開始學習化學實驗的情形，記在下面：

「那時候，在理論上講，他不懂化學，但是在家中，他久已動手做各種實驗了。在臥室中，進行一切工作，那裏有許多貯盛酸、鹽、汞和其他雜物的瓶。那時，我們雖相識不久，我早已感覺，他善於處理物料，熟習化學儀器的用途。下午，每在我的家中會晤，於是大家開始做實驗工作，製取氫氧等氣體，以及其他簡單化合物。例如由糖製草酸。我們又做了許多玻璃器……平常，我們已善用口吹管（mouth blowpipe）和仿製的本生燈，所得經驗，使他在玻璃技術上，成爲一個優美的專家。我確信，在以後一生中，他一定會感覺，早年的訓練，實大有裨益。當時除燒瓶、曲頸瓶和燒杯外，我們所用一切儀器，都屬自製……」（6）

對於各種養生的娛樂，如散步、自由車、划船、游泳、潛水、滑冰、唱歌、口嘯、講述故事等，他可算能手，

因此交遊極廣。拉姆塞優良的游泳和潛水，淮特先生會有如下的描寫：「一八七六年時，我們都在巴黎讀書，其中四人，每日上午，必到桑河 (Seine) 畔一家浴室去洗澡，除第一天外，以後每當拉姆塞預備潛水時，侍役必轉輾相告，英國人要潛水了！於是鬧翻全浴室，包括外面的洗衣女，蜂擁而入，搶了位置作壁上觀。」(6)

拉姆塞在海得爾堡大學時，曾從本生學，又在去平根從腓蒂克 (Fittig) 學。在後者處，始遇美

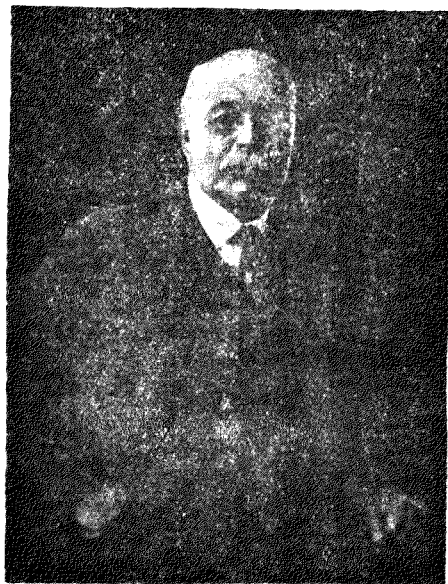


圖二三九 腓蒂克氏像

(Rudolf Fittig, 1835-1910)

丟平根及斯特拉斯堡大學有機化學教授。發現內酯 (lactones)，定出苯同系物的一般綜合法，與挨爾德曼共同決定非之構造式。與果姆孫合定胡椒膏鹼的構造式。拉姆塞亦為其門生之一。

國友人累姆孫 (Ira Remsen) (49) 彼此交誼頗厚，終生不斷。拉姆塞日後雖熟習德語，但第一次向累姆孫的發話，其音如下：「Können Sie Sagen wo ist die Vorlesungszimmer？」累姆孫驟聞之下，迷惑良久，然後帶笑回答，「我猜信，你是訊問講堂何在麼？」後來二人每喜歡講起這件



圖二四〇 累姆孫氏像

(Ira Remsen, 1846-1927)

美國著名化學家，有機化學教授。荷普金斯大學校長。優良教科書的著作人。美國化學誌的創辦兼編輯人。拉姆塞的友人。糖精成分研究人。

事，累姆孫更終生引以為榮，他是給拉姆塞爵士「開那扇大門」的第一人。

氫

拉姆塞得累利的允准，開始研究大氣中的氮氣。空氣在燒紅的鎂中通過，看他能否完全吸收。反覆通過多次後，殘留下四十公分，而這部分殘餘的氣體，其量為氮氣原重的 $\frac{1.6}{1.4}$ 倍。當然，拉姆塞已小心翼翼，把其中所含塵點、水分、二氧化碳，都已去淨。經過長久的處理，除剩原體重的 $\frac{1}{100}$ 外，其餘盡已吸收（我們可回憶加萬粒粟所得殘體，約原體重 $\frac{1}{120}$ ）（2）。

最後所得氣體的密度為一九·〇八六，但拉姆塞和累利，尚認作和臭氧相仿，一種氮氣的變體。拉姆塞乃作光譜的檢查，但見除氮氣的光帶外，尚有各種紅色和綠色的線，在一切氣體光譜中，尚屬初次出現。克盧克斯曾把這光譜作澈底的研究，發見譜線二百左右（28）。

於是累利和拉姆塞共同合作，幾乎每天有信往返。一八九四年五月二十四日的信上，有：「你也會想到，在週期表第一行的盡頭處，尚有留給氣體元素的位置一事否？」八月七日的信上寫着，

「我亦以二人連名發表為最佳，對於你的提議，深覺可感，我將利用這個幸運的機會，製取多量的 Q（此外尚有兩種 X，我們可稱之為 Q 或 Quid？）……」（8）

同月，不列顛科學促進會在牛津開會，拉姆塞和累利向會衆報告，發現第一種惰氣，震驚全會，主席馬丹（H. G. Madan）先生提議，定名曰氬，義即懶惰之意（argon, the lazy one）（6）、（25）、（30）。

累利伯爵於一九一九年謝世（41）。特拉弗斯說過，在至今保藏着的拉姆塞和累利的信件中，「絕無猜疑之意，或對於一方有不公平的行爲。」（40）來訪候的科學家，對於累利所用儀器的簡單，無不驚異。一切重要儀器的設計和製造，無不極嫺熟之能事，次要部分的裝配，絕不顧其外觀。他發表的論文，文筆清雅，數學部分，簡括得當，在五卷論文集上，冠以自撰的格言：「上帝的工作，無不偉大，賞心悅目者，任君採擇。」（41）、（42）。

布瓦善德郎聽到氬素發現的消息後，即預言新元素或隸屬絕對懶惰元素族，此族各元素，目下猶未發現，各元素的原子量（註1）為： 20.0945 、 30.40 ± 0.08 、 84.01 ± 0.20 、 132.71 ± 0.15 ，並預

述第一、第二兩元素，較其他各元素，更爲普遍（33）（34）。

（註一）一九三六年度貴族氣體的原子量爲：氦，4.002；氖，20.183；氬，39.944；氙，83.7；氡，131.3；氡，222。

氦

一八六八年，法國天文學家雅孫（Pierre Jules César Janssen）（43）（44），赴印度觀察太陽全蝕，同時並第一次

作色層（chromosphere）

的分光研究（36）。他發

見一條黃色線譜 D_3 ，和

鈉素的 D 線，卻又並不相

合。在實驗室內，又無法重

行製出。英國的天文學家



圖二四一 雅孫氏像

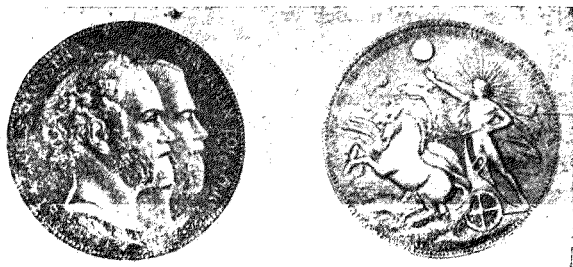
(Pierre Jules César Janssen
1824-1907)

法國天文學家，曾領導天文考察隊觀察數次。法蘭西研究所及經度局研究員。一八六八年在太陽色層中見黃線 D_3 ，現知屬於氦素。米頓天文物理觀象臺臺長。

赴印度觀察

羅克頁爵士研究後，所得結論，認為不屬任何已知元素，遂定名作氦(helium) (50)。二十五年來，對於這假定的新元素，大家都一致公認，僅太陽中可能存在，地球上從未見過 (10) (20) (35)。太陽中氦素的發現，在羅克頁研究時，夫朗西斯贊助最多 (37)。

一八八八——九〇年間，美國著名物理化學家希雷布朗德 (William Francis Hillebrand) (46) 發見瀝青鈾鑛 (uraninite)，用無機反應劑治理後，發出一種惰氣，他認作氮。拉姆塞讀到此篇論文後，對於所下解釋，未能同意，於是重覆這個實驗。這次他用另一種鈾鑛石，名克利夫石 (Cleveite) (11)。結果和希雷布朗德一樣，得到一些氮氣，此外還有氫和另一種光譜不同的氣體存在。他因為沒有極精密的分光器，所以把氣



圖二四二 一八七七年法國所鑄紀念牌。紀念法國天文學家雅孫及英國天文學家羅克頁分析太陽凸出物的方法。

體標本寄給羅克頁和克盧克斯，請他們各做一次檢查。羅克頁說：「我接到了他寄來的標本後，用電流通導後，細管中但見輝煌燦爛的奇景。」（27）

一八九五年四月十七日，拉姆塞給布卡南君（Mr. Buchanan）的信上寫着：「克盧克斯揣信，這是新光譜，從處理的方法上看來，除了氫氣外，一切舊元素是絕不可能的，但顯然這又不是氫。目下我們在繼續製取中，數日內，希望能製得多量氣體，試做密度的測定。我想這或者就是我們尋



圖二四三 羅克頁氏像

(Sir Joseph Norman Lockyer
1836-1920)

南康星登 (South Kensington) 皇家科學院太陽物理天文臺臺長。太陽和恆星分光學研究的前輩。一八六八年羅克頁和雅孫各獨立發現觀察白天太陽色層的分光法。此種觀察，在前僅能太陽全蝕時舉行。

求已久的氮素罷！和氫素同在的即元素……」不到一星期，已證明新氣體和羅克頁發現的太陽氮素，完全相同（21）、（23）、（24）、（26）。

四月二十四日，拉姆塞爵士寫信給他的夫人：

「先講一件最大的新聞吧，我把新氣體封入一根真空管，在分光器中，同時並可見氫氣的光譜，氣中雖僅含氫氣，但是忽見一種深黃色譜線，光輝燦爛，和鈉素的黃線，雖不相同，但亦相差不遠。我迷惑了，開始懷疑。我遂告訴克羅克斯，到星期六早晨，我和哈雷、希爾特三人，真在暗色中看分光器，克盧克斯發一個電報來，現在附上一閱。上面所寫的，或者會使你驚奇不止。

「氮素一詞，向指太陽光譜上的一條線，用以代表一個元素，在地球上，至今還沒有發現這個新元素。我稱之曰氣，已交給克盧克斯，因他懂得光譜，可由他決定是否為新元素。光線的波長達五八七·四九的確要壓倒氫氣。昨天我立刻就打電報給柏特羅……「克利夫鑛石中分出的氣體，為氫氮兩素的混合體。光譜由克盧克斯檢定。星期一可報告科學院……拉姆塞……」

（12）、（29）。

同時，瑞典化學家克利夫（鑛石 Cleveite）

名，即由發見人諾頓射爾（德紀念此人而來）有學生倫格來忒，同時研究此石。拉姆塞發現氦氣的報告，雖早於克利夫和倫格來忒研究完成以前，這二位瑞士化學家，其實也是元素的發現者。在事實上，倫格來忒最初所得的氦氣，且較拉姆塞所得者，更為純粹，所測原子量，結果較為正確（13）、（31）、（32）。此外，各種分光測驗，都由泰倫（Robert Thalén）教授擔任（47）。



圖二四四 克利夫氏像

（Per Theodor Cleve, 1840-1905）

烏普薩拉大學化學教授。諾貝爾化學獎金委員會主席。克利夫及其學生倫格來忒為地層氮素的獨立發現人。拉姆塞在他們研究完成以前即宣布發現。

氮 氦 氬

拉姆塞得助手特拉弗斯 (Morris William Travers) 相助，繼續進行其他惰氣的研究。特拉弗斯於一八七二年正月二十四日生於倫敦，一八九三年大學院 (University College) 得博士學位。畢業後，對於拉姆塞各種新奇元素的研究，發生熱烈的興趣，並信氮氦兩素之間，尚有發現另一新元素的可能性。此外另有二種新元素，原子量較氦氣為高，亦有發現希望。

拉姆塞和特拉弗斯乃用燃燒法，在稀有鑽石中尋覓其他新氣體，但試驗結果，均屬無效。於是進行第二步方法，在事實上，也是他們唯一的希望，就是擴散氦氣，若是可能的話，利用其密度不同而分成二部分。哈姆生 (William Hampson) 贈送的一坩液體空氣，他們不用於氦氣的液化工作上，而用於作一切熟練技能的練習，以防試驗十五坩氦氣時，發生損失的危險。此外，更小心謹慎，把液體空氣中殘餘部分，都貯存起來，希望其中含有多少高沸點的成分。大部分液體空氣沸騰而逃散後，遺留的殘體中，氧、氮二素依舊佔大部分，乃用燒紅的銅和鎂，移去最後殘留的氮氣和氧氣

(18)、(19)。



圖二四五 拉姆塞氏像

(Sir William Ramsay, 1852-1916)

蘇格蘭化學家和物理學家。他和累利伯爵、特拉弗斯共同發現氮、氦、氫、氬和鐳五種惰氣元素。又作氬(鐳射氣)原子量的驚人測定，為惰氣中最重的元素。

有新氣體出來了，』他假裝着極有自信的態度回答：『當然就要有了。』於是拉姆塞和特拉弗斯，有一天，這位年輕的化學家，午飯後回實驗室。一位同事很興奮的問他：『特拉弗斯，這回該應

動手檢查剩餘的二十五公分氣體，探知確爲惰氣後，立刻封入普律刻 (Pliicker) 管連於感應圈，觀察牠的光譜。立見一條光亮的黃線，稍帶綠色，另有一條綠線，此線亦絕不和氫、氦、汞或氫等氣體的光譜線類同(14)。

他們於一八九八年五月三十日，發現新氣體，命名爲氮，含隱藏之意 (hidden) (15)。那天晚上，作新氣體密度的測定，一直到十一點鐘，新氣體在週期表上的位置，恰在溴、銣兩素之間，他們真是興奮極了。這位年青化學家，第二天尙有科學博士的學位考試，幾乎也忘記淨盡了(14)。

雖然，在週期表上，氮素無疑爲零組中的新元素，但並非他們所希望的那個元素。他們所期望的，應該氮氣中更揮發的那部分出來。他們繼續尋覓這較輕的氣體，用減壓下沸騰的液體空氣，圍繞氮氣，使氮氣液化後，再固體化，然後揮發氮氣，再收集最先蒸餾出來的那部分。這部分光譜，非常複雜，拉姆塞在記錄上這樣寫着：「這是最輕的一部分。有極美麗的光譜，紅的、淡綠的和紫的譜線。黃線非常鮮明，在高度真空下，依舊顯著，且有磷光現象。」(16)

特拉弗斯說，檢驗那根含有最揮發氮氣部分的真空管時，他們胸中早已毫無疑義，深信管中，

已得另一新氣體，他說：

「從管中發出的深紅色光焰，已告訴牠自己的歷史，看過這景色的人，永不會忘記這種印象。過去二年中的奮鬥，真是值得，在全部研究完成以前，還有許多困難，尙有待於解決。新氣體的發現經過，有似一幕戲劇，這氣體的真實光譜，從未出現於世，但我們現在已看到牠的紅光了！」

(16)



圖二四六 特拉弗斯氏像

(Morris William Travers)

布利斯托大學名譽教授。班加羅印度科學研究院院長。合拉姆塞爵士爲氦、氖、氙三種惰氣的共同發現人。玻璃工程的權威學者。

拉姆塞十三歲的兒子威利 (Willie Ramsay) 問他父親：『你如何稱呼新氣體？我希望用 novum 一字代表。』父親贊成這個提議，他想若改用同義字 neon，發音較爲好聽，這就是一八九八年六月所發現的氣體，目下正式採用的名稱 (16)。每一條商業街道，有明亮而美麗的『霓虹』廣告，在晚上，現在大家可以看到這『深紅色的光焰』了，就是這美麗的光焰，使拉姆塞教授和特拉弗斯博士，當時感到深切的欣慰。

此後利用新式空氣液化機，他們製備了多量氦和氙，把氦翻覆分餾後，其中又分出一種更重的氣體，命名曰氙 (Xenon)，奇異之意 (15)。氙於一八九八年七月十二日發現。封藏於真空管中，發射美麗的藍色光焰。

拉姆塞教授 (48) 天生一付稀有的幽默性格。有一次，談起他訪候哪噉化學家發根 (W. Raabe) 的事，『他不大用德文講話，於是我改用古斯干的那維亞語 (Norze) 來彼此對談，你須知道，那種語言，實在世人沒有幾個人能比我好，在那邊的土人，也沒有人比得上我，所以我們很順利的談下去。』又有一次，在一條戲言的紙條上寫着：『我作巴黎之行，三個比我更壞的惡鬼陪去的，律師……』

真像危險的化合物，三個律師和一個化學家放在一起……真像把 NO_2 投置世間，任何時都有爆發的可能。」（17）

在科學界，拉姆塞實在是最好的語言學者之一。在有學問的德國人面前，能完全用德語來演講；在一羣法國科學家面前，能用法語來演講。一九一三年，他在化學會國際聯合會議（International Association of Chemical Societies）任主席時，使全世界各地代表，大為吃驚，無不愉快滿意。他先講英文，後講法文，再講德文，有時也用意大利文，無不流利自在。他非但長於各種語言，也極幽默，有時給家人的信上，用下面的語法：「Mi Car Dora,……Io hab recip vestr lirr, ke era mult facil a Compendar……」（17）

拉姆塞酷愛遊歷，興趣不退，對於蒙塔那（Montana）大瀑布的描寫，一般美國人讀來，或者會感覺有趣吧：

「這是一個完全開發的美麗小鎮。一般美國的城鎮中，電車是最顯著的東西。電線密佈，和我們的電車一樣，都是在高速率下行走，顯然不注意人命的重要，但肇禍的事也不多。我想，這或

者是合於適者生存的緣故罷，那些沒有喪失生命的人，都算是適者。行動最愛迅速，可與自由車爭勝。自由車當然到處皆是，散步的草地，也要用到牠了。」（17）

晚年，拉姆塞爵士在放射學方面的工作，公認較惰氣元素的發現，更見偉大。於一九一六年七月二十三日去世。較著名的累利伯爵，他的多年合作者，早故三年。

特拉弗斯博士，自一九〇六年至一九一四年止，任班加羅爾印度科學研究院院長（Indian Institute of Science, Bangalore），又是布里斯托爾大學（University of Bristol）名譽教授。一九二八年曾著『稀有氣體發現史』（The Discovery of the Rare Gases）一書。書中穿插儀器圖樣極多，又附印拉姆塞真筆原稿多頁，都從記錄簿直接移印（9）。

參考材料

- (1) "Report of the British Association for the Advancement of Science," 41, xci (1871). Quotation from Lord Kelvin.
- (2) Ramsay, "The Gases of the Atmosphere. The History of Their Discovery," Macmillan and Co., London, 1915, p. 144; Thorpe, "Scientific Papers of the Honourable Henry Cavendish," Vol. 2, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1921, p. 193.

- (3) "History of the Cavendish Laboratory, 1871-1910," Longmans, Green, and Co., London, 1910, pp. 40-74. Chapter on "Lord Rayleigh's Professorship" by Glazebrook.
- (4) Ramsay, "The Gases of the Atmosphere," Ref. (2), p. 158.
- (5) Tilden, "Sir William Ramsay, Memorials of His Life and Work," Macmillan and Co., London, 1918, p. 12.
- (6) *Ibid.*, pp. 20-5.
- (7) *Ibid.*, p. 39.
- (8) *Ibid.*, p. 131.
- (9) Travers, "The Discovery of the Rare Gases," Edward Arnold and Co., London, 1928, p. 22.
- (10) Meyer, Ernst von, "History of Chemistry," 3rd English ed. from 3rd German, Macmillan and Co., London, 1906, p. 215.
- (11) Chamberlin, "The Gases in Rocks," Carnegie Inst., Washington, D. C., 1908, p. 8.
- (12) Tilden, "Sir William Ramsay, Memorials of His Life and Work," Ref. (5), p. 137.
- (13) Euler, "Per Theoder Cleve," *Ber.*, 38, 4221-38 (Part 4, 190f.).
- (14) Travers, "The Discovery of the Rare Gases," Ref. (9), pp. 90-1.
- (15) Ramsay, "The Gases of the Atmosphere," Ref. (2), pp. 251-5.
- (16) Travers, "The Discovery of the Rare Gases," Ref. (9), pp. 95-7.
- (17) Tilden, "Sir William Ramsay, Memorials of His Life and Work," Ref. (5), p. 62.
- (18) "Rare Gases of the Atmosphere. A Classic of Science," *Sci. News Letter*, 18, 70-2 (Aug. 2,

- (19) Ramsay, "The Recently Discovered Gases and Their Relation to the Periodic Law," *Science* (N. S.), 9, 273-80 (Feb. 24, 1899); *Ber.*, 31, 3111-21 (1898).
- (20) Young, C. A., "The Sun," 3rd ed., D. Appleton and Co., New York City, 1897, pp. 88-9, 259-60.
- (21) *Ibid.*, pp. 344-50.
- (22) Lockyer, T. Mary, and Lockyer, Winifred L., "Life and Work of Sir Norman Lockyer," Macmillan and Co., London, 1928, 474 pp.
- (23) *Ibid.*, pp. 155-7.
- (24) *Ibid.*, pp. 266-91.
- (25) Ramsay and Collie, "Helium and Argon. Part III. Experiments which Show the Inactivity of these Elements," *Nature*, 54, 143 (June 11, 1896); *Chem. News*, 73, 259-60 (June 5, 1896).
- (26) Ramsay, "The Position of Argon and Helium among the Elements," *Chem. News*, 73, 283 (June 19, 1896).
- (27) Lockyer, "On the New Gas Obtained from Uraninite," *Chem. News*, 72, 4-5 (July 5, 1895); 271-2 (Dec. 6, 1895).
- (28) Crookes, "On the Spectra of Argon," *Chem. News*, 71, 58-9 (Feb. 1, 1895); 72, 66-9 (Aug. 9, 1895).
- (29) Crookes, "The Spectrum of the Gas from Cleveite," *Chem. News*, 71, 151 (Mar. 29, 1895); "The Spectrum of Helium," 72, 87-9 (Aug. 23, 1895).

- (30) Rayleigh and Ramsay, "Argon: a New Constituent of the Atmosphere," *Chem. News*, **71**, 51-8 (Feb. 1, 1895).
- (31) Cleve, "On the Presence of Helium in Clèveite," *Chem. News*, **71**, 212 (May 3, 1895); *Compt. rend.*, **120**, 834 (Apr. 16, 1895). Letter from Cleve to Berthelot, Apr. 8.
- (32) Cleve, "Sur la densité de l'hélium," *Compt. rend.*, **120**, 1212 (June 4, 1895); *Chem. News*, **71**, 283 (June 14, 1895).
- (33) Reed, "A Prediction of the Discovery of Argon," *Chem. News*, **71**, 213-5 (May 3, 1895).
- (34) Boisbaudran, "Remarks on the Atomic Weights," *Chem. News*, **71**, 116 (Mar. 8, 1895); *Compt. rend.*, **120**, 361-1 (Feb. 18, 1895).
- (35) De la Rue, "Sur une méthode employée par M. Lockyer pour observer en temps ordinaire le spectre des protubérances signalées dans les éclipses totales de soleil," *Compt. rend.*, **67**, 836-8 (Oct. 26, 1868).
- (26) Janssen, "Indication de quelques-uns des résultats obtenus à Guntoor pendant l'éclipse du mois d'août dernier, et à la suite de cette éclipse," *Compt. rend.*, **67**, 838-9 (Oct. 26, 1868).
- (37) Frankland and Lockyer, "Recherches sur les spectres gazeux dans leurs rapports avec l'état de la constitution physique du soleil," *Compt. rend.*, **68**, 420-3 (Feb. 22, 1869).
- (38) Rayleigh, "On the Relative Densities of Hydrogen and Oxygen," *Proc. Roy. Soc. (London)*, **43**, 356-63 (Feb. 9, 1888); *Nature*, **45**, 101-4 (June 2, 1892).
- (39) Rayleigh, "Letter to the Editor, Sept. 24, 1892," *Nature*, **46**, 512-3 (Sept. 29, 1892).

- (40) Travers, "The Discovery of the Rare Gases," *Ref. (9)*, pp. 1-7.
- (41) Glazebrook, "Lord Rayleigh," *Sci. Progress*, **14**, 286-91 (1919); J. J. T., "Lord Rayleigh," *Nature*, **103**, 335-6; R. T. G., "Lord Rayleigh," 366-8; C. H. L., "Lord Rayleigh," 368-9 (July 10, 1919).
- (42) "Scientific Worthies. Lord Rayleigh," *Nature*, **70**, 361-3 (Aug. 18, 1904).
- (43) Macpherson, "Astronomers of Today," Gall and Inglis, London, **1905**, pp. 18-24. Chapter on, Janssen.
- (44) Lebon, "Histoire Abrégée de l'Astronomie," Gauthier-Villars, Paris, **1899**, pp. 141-4.
- (45) Ramsay, "The Gases of the Atmosphere," *Ref. (2)*, pp. 126-7.
- (46) Allen, E. T., "Pen Portrait of William Francis Hillebrand, 1853-1925," *J. Chem. Educ.*, **9**, 73-83 (Jan., 1932).
- (47) Hasselberg, "Biographe. Tobias Robert Thalen," *Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens. Årsbok, 1906*, pp. 219-40.
- (48) Newell, "Caricatures of Chemists as Contributions to the History of Chemistry," *J. Chem. Educ.*, **8**, 2143-8 (Nov., 1931).
- (49) Clark, F. E., "Remsen at the Turn of the Century," *J. Chem. Educ.*, **6**, 1282-5 (July-Aug. 1929).
- (50) Lockyer, T. M., and Lockyer, W. L., "Life and Work of Sir Norman Lockyer," *Ref. (22)*, pp. 41-2.

- (51) Bugge, "Das Buch der grossen Chemiker," Vol. 2, Verlag Chemie, Berlin, 1930, pp. 250-63.
Article on Ramsay by P. Walden.

第二十章 放射元素

一八九六年，發現鐳素。能够自動繼續放射光熱和其他一切放射物。居禮和其他許多學者，

把這些驚人的現象，研究所得的結果，揭發了四十種彼此互有關聯的放射元素。這四十種放射物，和鐳素本身一樣，都不穩固。在週期系統上，也並不佔據四十座位子，而僅擠在十個空位中。這樣許多「放射性的同性異質體」(radioactive isotopes)，其所以存在，以及導源於鈾釷兩素等關係的說明，



圖二四七 居禮氏像

(Pierre Curie, 1859-1906)

索爾蓬大學物理學教授。和兄 (Jacques Curie) 合作，共同研究壓電。介紹相對性於物理現象中，作磁性為溫度函數之研究，並和夫人共同發現鐳，研究其特性。

索提 (F. Soddy)、腓揚斯 (K. Fajans)、羅素 (A. S. Russell)、夫勒克 (A. Fleck) 數人，都有獨立的貢獻和發見。放射元素的文獻，所包括的範圍既如此廣大，下面所記述的發現史，真是極不完全的片段鱗爪。

「鐳不能用來使個人富貴。

這是一種元素，屬於大眾。」(1)

「現在我們也看明白了，原子本身，也絕無例外，

裂成散片，絕對容易；

在軌道上飛奔，片片飛散，面面開展，

毫無穩定的本性。」(2)

培克累爾 (Henri Becquerel) 出身於以科學聞名的家庭，一八九六年時，他注意硫酸鉀鈾一

類磷光鹽，在黑紙保護的照相底片附近，能使底片模糊而呈暗黑，無異於露光（51）、（58）。此後又證明一切鈾化合物，沒有磷光的也包括在內，都能發貫穿性的射線，這種射線和X射線相同，能使照相底片變黑，附近空氣變成導體，驗電器上金葉子走失靜電而倒下。現在我們總算完全明白了，輻射共分三種：即 α 射線，由氦原子組成，每原子各帶兩單位正電； β 射線，由一流負電子組成；第三種為 γ 射線，這是由波長極短而貫穿力極強的輻射所組成。



圖二四八 培克累爾氏像
(Antoine-Henri Becquerel
1852-1908)

法國物理學家及工程師。鈾射線的發現人。對於旋轉磁偏光、磷光、紅外光譜及放射學作重要研究。其祖父恩吐摩 (Antoine César Becquerel 1788-1878) 及其父亞力山大 (Alexandre Edmond Becquerel 1820-91) 對於化學物理亦均有貢獻。

放射科學之所以能迅速發展，當歸功於居禮夫婦二人光榮的貢獻和燦爛的工作。居禮（Pierre Curie）於一八五九年五月十五日，生於巴黎，即由父母親自教育。天性好遊，時作鄉村遠行，所以這個生長於城市的孩子，一向和自然界有接觸的機會，他喜歡收集動植物的標本，能細心觀察默想。在理化學校讀書時，適舒曾柏革在該處任實驗室主任，即作冷凝器、磁學、壓電（Piezo-electricity）和自然界對稱定律等研究。一八九五年得索爾蓬大學理科博士學位，舒曾柏革就替他另設了一個物理學講座（3）。

居禮夫人名馬利（Marie Sklodowska），為華沙中學數理教授斯羅杜基（Skłodowski）（註一）博士女，生於一八六七年十一月七日。母親亦極有才藝，不幸早逝，因此這位小女，在父親的實驗室中，生長成人，並親自教導。不久她為熱愛祖國之心所驅使，加入學生所組織的祕密團體，設夜校，教育工農大眾，但是在祖國，作高深研究的機會，絕少希望，躊躇再三，決意遠離親愛的祖國，乃有巴黎之行。

（註一）女性語尾用 -iska，男性用 -ski。

四年大學生活，盡在寒冷的屋頂小室中消磨，禦寒的煤炭，須親自搬上六層的高樓，酒精燈上，自煮簡單的飯食。這就是她在大都會中的最初生活，後來終她一生，都家居於斯（4）（68）。入索爾蓬大學後，不久就得著名數學物理學家霸恩卡累（Henri Poincaré）的賞識，盛贊才能兩備，利普曼教授（Gabriel Lippmann）對於她的研究，亦深感興趣。

她和居禮，最初的會

面，是在巴黎某波蘭物理學家的家中。以後不論在科學上、社交上、以及信仰等各方面，彼此趣味相同，頗稱莫逆，因而漸生敬仰之心，使居禮說出這樣幾句話：『……這……將是



圖二四九A 霸恩卡累氏像

〔(Jules) Henri Poincaré, 1854-1912〕

法國數學家、物理學家及天文學家。在數學分析、分析力學、天文力學、數學物理、科學哲理方面多量而多才的著作家。

一件極美麗的事，我自己也
難敢相信，倘把我們二人的
生命，共同沈醉於我們的夢
境中：你對於祖國的夢，我們
對於人類的共同美夢，以及
對於科學的共同好夢。」一
八九五年，舉行婚禮。舒曾柏
革從中設法，使二人在同一
實驗室工作。對於科學，他們都
有一片忠誠信心，有一次居禮說：
「我娶得的妻子，真是天賜於我，
一切盡如我願。」（15）

鈾和鐳 (Polonium, radium)



圖二五〇 利普曼氏像

(Gabriel Lippmann 1845-1921)

巴黎大學數學物理教授。微管靜電器和直接有色照相法的發明人。利普曼教授預述結晶中的壓電現象，居禮弟兄最先用實驗證明。

居禮教授繼續作結晶的生長研究，年輕的妻子，則整備她的考試。她提出的博士論文，許多化學家公認為極有價值的著作。卒業後，即繼續培克累爾開始的研究工作，把大部分已知元素，包括從得馬爾賽和烏班處借來的一部分稀有元素，對於驗電器金葉子的放電能力，一一加以試驗。其結果，探知僅限鈾鈷兩類化合物，能使金葉子倒落（26）、（54）、（55）。明斯忒（Münster）大學的物理學教授斯密特（Geshardt Carl Schmidt），亦為鈾素放射現象的獨立發見人（25）。

但尚有較此更有意義的發現。按居禮夫人的觀察，有某種鈾鑽石，名鈾鑄瀝青（pitchblende），其活潑性能較其含鈾量而推算者，要超出四五之多（24）。因此她下一個結論，認為在此鑽石中，除鈾素外，尚含另一種放射元素，但是鑽石成分，早已分析明白。於此足見活潑的新元素，含量絕低，而必活力最強。因此研究時，必需用大量鈾鑄瀝青，把複雜的成分，作精密而澈底的分析。她在實驗時，所用的大量鑽石，由奧大利政府供給，都從普希密阿（Bohemia）的約阿希姆斯塔爾（Jachimshal）鈾鑛運來。

居禮夫人，乃用驗電器把各部分一一加以檢驗，一種極活潑的東西，終用鈾素分離而發現了。

到一八九八年，自信確爲新元素不誤後，命名作『針』(polonium)，用以紀念祖國(27)、(65)。此元素，又稱『鐳F』。柏林的麥克華特(Willy Marcwald)博士，曾於一九〇二年時，把一塊磨光的銻片，浸在鈾鐳瀝青的銻溶液中，銻片上即生一層金屬性澱積。他稱爲放射碲(radiotellurium)，以後證明，和居禮夫人的針素，完全相同(6)、(29)。

對於鐳、銻、鍺(即新鉛、新硼和新矽)三種新元素的發見，門得雷耶夫發表評述後，復於一八九一年謂『我預料此外尚有新元素發現，但是我自己也還不十分清楚，不如以前那樣確切明白，我不妨舉個例，』於是他開始描述『新碲』，原子量約在二一二左右。針素極像新碲，原子量確在二一〇左右，或者這就是門得雷耶夫的新碲罷。



圖二五一 居禮夫婦發現鐳素的實驗室

居禮夫婦得培蒙 (M. G. Bemone) 相助，選用氯化鋇，做了許多煩複的分離工作，發見最難溶的部分，最富放射性能。由實驗所得經驗，居禮夫人漸知放射現象，爲原子特性的一種，全賴所含活潑元素量多少而顯強弱。根據此項理由，遂揣擬其中尚含另一種活潑新元素，把有放射性的氯化鋇交給馬爾賽，請他作分光檢驗。經他檢查後，在光譜的紫外部分，探知除平常各種線譜外，尚有一條新線，在放射現象較強的製品，新線也較清楚，因此，分離工作，繼續不斷的推進，鋇素的譜線就漸漸變淡 (23) (28) (52)。

在追尋這新元素的時期內，居禮夫婦，時常幻想着一切，新元素的各種鹽體，其外觀如何，疑慮中充滿着希望，希望鹽體都有美麗的顏色。但是他們最後所發現的氯化鐳，作白色，比他們的夢想，真要美麗得多：在黑暗處，發射白熱之光！原來鐳素和磷素相同，都屬發光體。這種奇怪的特性，造成了他們驚喜和愉快的泉源，真像布郎特和孔柯爾二人，對於磷素的感覺一樣。居禮夫人寫道：『晚上到實驗室去，變成我們樂事之一，舉目四望，藏我們製品的小瓶小管，都發着微弱的白光，這真是一種可愛的奇觀，發光的小管，看來真像微弱的鬼火。』(8) (60)。



Meitner) 邁耳 (Stefan Meyer)

前行學 (O. Hahn) 拉威福特 (Lord Rutherford) 邁特納 (Lise

Wick) 瑟賓柏拉姆 (K. Przibram) 白尼新 (F. Paneth)

後行維佛西 (G. V. Hevesy) 該革 (H. Geiger) 查德威克 (J. Chad-

圖二五二 (自左至右)

新物質取名曰鐳 (radium)，射線生出者的意思；誠然，假使沒有這種特性，這新元素至今恐怕還列在未知者中呢。鐳素雖有極明顯的光譜，但在測探時，靜電計法 (electrometer)，實較分光法，靈敏五十萬倍之多 (9)。

烏班教授有一次說：

「我實在得天獨厚，親眼看見鐳素的誕生。我的先生居禮，賜給我無比的光榮，對於我，友善而有信任心。居禮夫人，像男子一樣，在困難中操作大量的鈾鐳瀝青，我親眼看見第一次分出的鉞鐳二素的溴化物，又在鐳素光譜看到以前，已見鐳質的結晶，



圖二五三 居禮夫人像

(Mme. Marie Skłodowska Curie
1867-1934)

巴黎大學放射學教授。與其夫居禮先生合作，發現鐳與鉞二元素，樹立放射科學。

在暗中發光。每個星期日，我和倫克因 (Langevin)、培賴 (Perrin)、得比爾納 (Debierno)、科頓 (Cotton)、索格納克 (Sognac) 等，總到居禮的小家庭去。這所小小家庭，漸漸變成一座親熱的學院了。這裏的主人，帶着慣有的樸實和真誠，發表意見，並且極謙遜的和我們討論一切……」

(24)

俄斯特發爾特 (Wilhelm Ostwald) 先生，在自傳中，關於鐳素誕生地的訪問記中，有如下的一節：

「在不久之前，發現鐳素的那所居禮實驗室，經我懇切請求後，終允准我入內一看了。居禮夫婦等，都已出外遊歷。在馬廐和洋山芋地之間，實驗室作一十字形，若非在工作檯上，看到化學儀器等器械，我一定會感覺，這件新聞類於戲言了。」(10)

一九〇三年，居禮賞受大勳章 (Legion of Honor) 時，他寫道：「我請求你向部長道謝，並且告訴他，我毫不需要裝飾品，我亟要一所實驗室。」話雖如此說，在這所陰沈的老屋中，居禮夫人每一回顧，在此多年的生活，總感覺在一生中，要算「最佳也是最快樂的時代。」(8)

鈾系

一九〇〇年，克盧克斯爵士製得溶液一種，內含鈾鹽和少量鐵鹽，加過量氫氧化銨和碳酸銨的混合溶液後，最後所得氫氧化鐵沈澱，有高度放射性能。這種和鐵同時沈澱的新元素其放射特性，加以一番研究後，他說道：『爲明白起見，應該取個名。在未清楚明瞭以前，暫稱 U_{rX} ——即鈾中的未知物。』(30) 目下通稱爲鈾 X_1 ，後來我們知道，世間有二種鈾質，分稱鈾 1 和鈾 2 (12) (48) (81)。

一九一三年，腓揚斯和客斯羅黑 (Karlsruhe) 的哥玲 (O. H. Göhring) 二人證明，鈾 X_1 在放射 β 射線後，蛻變成壽命極短促的生成物，以前通稱爲鈷 (brevium) (11) (48)，現已改稱爲鈾 X_2 。自一九一七年以來，腓揚斯任明興大學物理化學教授，一九三〇年，曾往康乃爾大學 (Cornell University) 作短期演講 (70)。他是居禮夫人的同鄉，同是華沙人。門得雷耶夫於一八七一年，曾預述鈾 X_2 ，『在第五組第十二系 $Th = 231$ 和 $U = 240$ 間第三空位上，應有新元

素的原子量約在 235 左右。能成氧化物 P_2O_5 。1

(71)。

鈾 X_1 放射二種 β 射

線，所以產生二個放射性物體，分稱鈾 X_2 和鈾 Z 至一九二一年始發現鈾

(17) 罕教授 (Otto Hahn)

Z，為鈾系中的支族，鈾 X_1 在蛻變時，生鈾 X_2 ，達百分之九九·六五，而鈾 Z 僅佔百分之〇·三五。

罕教授為美因河邊法蘭克福人，早年的放射學工作，都和拉姆塞合作，以後的研究，都和邁特

納爾 (Lise Meitner) 小姐合作。他是德國原子量委員會委員，兼柏林—達倫 (Berlin-Dahlem) 國立威廉化學研究院院長。邁特納爾小姐，維也納人，為院中研究員。



圖二五四 腓揚斯氏像

(Kasimir Fajans 1887-)

波蘭物理學家、化學家。明興大學物理化學教授。與哥玲合為鈾 X_2 (鉍) 的發現人。一九一三年，與索提同時發現週期表上元素放射 α 及 β 射線的放射換置定律。

此外，此系中尚有一位第六號元素，通稱爲鈾 Y (46)、(50)、(56)、(59)。一九一一年時，爲安托諾夫 (G. N. Antonoff) 所發現，此人前在曼徹斯特大學從拉忒福特爵士 (Sir Ernest Rutherford) 工作。後歸聖彼得堡。鈾 Y 和鈾 Z 相同，同屬本系支族。索提承認安托諾夫的成功，不在所用的特別化學法，而在「各種分離的操作上，時間適當而縮短。」(75) 所以在鈾系中，鈾 1 分裂而成鈾 X_1 ，鈾 X_1 再繼續蛻變而成鈾 X_2 ，鈾 Z，鈾 2 和鈾 Y，共計六種。

鐳系

一九〇七年，耶羅 (Yale) 大學新近故世的菩爾特武德 (Bertram Borden Boltwood) 教授，發見新元素鈾 (ionium)，以後證明，這新元素就是鐳素的母體 (39)。菩爾特武德教授，曾漫遊明興、來比錫、曼徹斯特、新黑文 (New Haven) 等大學，飽學而歸，他是熟練的實驗專才，富有同情心的教師，具上流人的風度。首先證明鈾、鈾和鐳三者之間，有系族的關係 (13)。此外鈾素同時亦爲罕和麥克華特二人所獨立發現 (14)、(73)、(77)。



圖二五五 普爾特武德氏像

(Bertram Borden Boltwood
1870-1927)

耶魯大學化學及物理學教授。鐳素的母素釷的發現人。在同時錒素亦爲罕及麥克華特獨立發現。

這一系中，鐳是第二位元素，分離的工作，最爲困難，還有損失的危險。到一九一〇年，居禮夫人和比爾納合作，終告成功，製出發光的白金屬，後因研究上需要並方便起見，並不保存其金屬體。鐳和其他放射元素，完全相同，能自動繼續蛻變成低原子量的元素。居禮夫婦又發見，空氣和鐳化合物接觸後，也變成放射物。對於這個有趣的現象，多爾恩 (Friedrich Ernest Dorn) 於 1

九〇〇年首先作合理的解釋。他於一八四八年七月二十七日生於東普魯士的哥盧太脫 (Guttsbadt) 卒業於刻尼格斯堡 (Königsberg) 大學，後在達姆斯塔特和哈雷 (Darmstadt, Halle) 二處，任物理學教授多年。他證明鐳素能生氣體，蛻變生成物 (15) (37)。初稱鐳射氣 (radium emanation) 或作 niton，但因導源於鐳素，現已改用氣 (radon) 一字代表。拉姆塞以前發現貴族氣體族 (即惰氣元素族——譯者注)，氣就是這一族中的末位元素 (62)。一九一〇年，拉姆塞和格累 (Robert Whytlow Gray) 測定密度，證明在已知氣體中，這是最重的氣體 (91)。

一九〇四年，蒙特累奧爾 (Montreal) 城馬克歧爾 (Mcgill) 大學布盧克斯小姐 (Harriet Brooks) 研究『短壽的活潑澱積』，凡露置於氫氣中的物質，表面上都生一層薄面 (43)，索提譬喻這種現象為『一種繼續的風雪，慢慢用不可見，不能稱，然而放射性極強的澱積，籠罩一切表面。』(83) 拉忒福特就根據自己和布盧克斯小姐的研究結果，下一結論，氣素能生成三種連續蛻變物，即鐳 A、B、C。這三種新元素，現在都已發見，且已分離成功。此外從『壽長而活潑的澱積』中，又另外發現三種新元素，分稱鐳 D、E、F (即針)，這三者都是再蛻變後的生成物 (11) (53)。



圖二五六 布盧克斯小姐(註)

(Miss Harriet Brooks)

(比德區夫人)

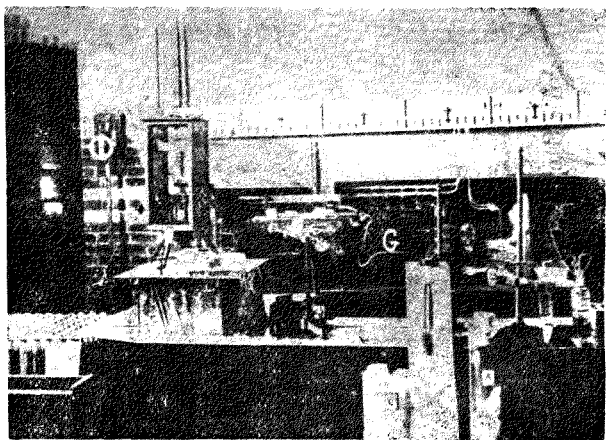
一九〇二年拉忒福特和布盧克斯小姐研究各種 α 射線的透射力，並最先用擴散法決定氣的密度。因此項研究，得以發現鐳A、B、C。本照片為小姐在馬克歧爾大學得理學士學位後所攝。

(註)一九三三年四月十七日聯合新聞社載比德區夫人在蒙特累奧爾城的死訊。

拉忒福特爵士，於一八七一年生於新西蘭的納爾孫(Nelson)，卒業於新西蘭大學和劍橋大學，一八九八年回加拿大，任馬克歧爾大學物理學教授，前後九年。放射學方面的研究，極多貢獻，旋升任曼徹斯特大學物理學教授，次年得諾貝爾化學獎金，至一九一九年，即升劍橋大學教授職

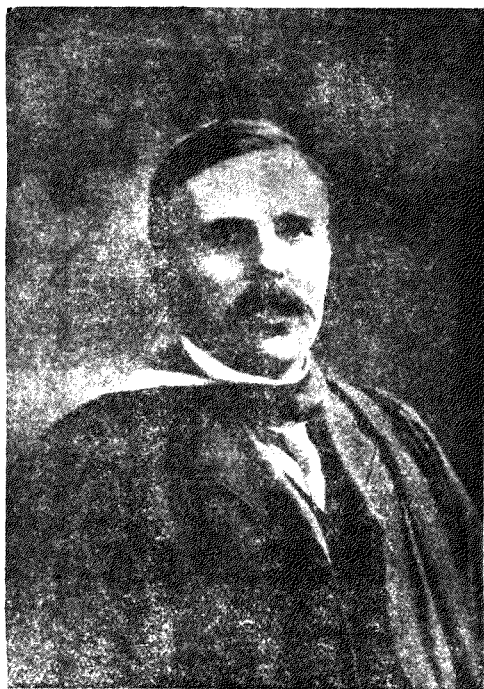
(72)。

罕、邁特納爾(82)和腓揚斯(33)三人，發現鐳C 蛻變而成鐳C 和鐳C₂二物。和夫曼(K. A. Hofmann)和司特老司(Edward Strauss)於一九〇〇年發覺鐳D和鉛相像，後來考查結果，探知彼此不能分離(38)。挨爾斯忒(Elster)和該太(Geitel)在『射鉛』(radiolend)方面，曾作開路的研究，射鉛中，鐳D為主要的成分(42)。



圖二五七 可克斯(Cox)教授在馬克歧爾大學麥克唐納物理館作液體空氣演講時鐳射氣凝結的裝置，時在一九〇二年十一月六日。

拉忒福特和索提在本圖中所見之原來線圈，鐳射氣最先凝結於其上者，至今保存於馬克歧爾大學物理館。原圖有索提題名 F. S. 二字。麥克唐納物理館為拉忒福特和索提最先證明放射元素能自動蛻變處。



圖二五八 拉忒福特爵士像

(Sir Ernest Rutherford 1871-)

麥克歧爾、曼徹斯特、劍橋三大學物理學教授。分辨放射物的三種放射，設計計數 α 質點，並決定原子核中自由正電子數。

十二月二十四日，生於德國布蘭肯堡 (Blankenburg)，求學於柏林和海得爾堡二大學。一八八一

和夫曼在明興時代，始交識培頁 (Adolf Baeyer)。挨爾斯忒 (Julius Eilster) 於一八五四年

年起在佛爾芬彪泰爾 (Wolfenbüttel) 中學開始教育事業，服務該校，前後達四十年之久。得知友該太 (Hans F. K. Geitel 1855——1923) 幫助，合作極多有價值的研究。例如證明尋常鉛質的放射現象，並非鉛素本身的特別性質，實因雜有少量放射物所致。古舊的鉛器，不復含留鐳D，所以也不顯放射性能 (85)。挨爾斯忒教授於一九二〇年四月八日卒於佛爾芬彪泰爾。

凡是來源不同的鉛素，原子量就一反常情，彼此各不相同。拉姆塞、索提、腓揚斯和布累的克 (Georg Bredig) 諸人，對於這一個反常的問題，都有極濃厚的趣味。腓揚斯且派他的助手雷姆堡 (Max E. Lemberg) 到美國和哈佛大學已故的利查茲 (Theodore William Richards) 先生合作研究 (67) (78)。腓揚斯且供給利查茲教授含鉛的放射性鑛石，以助研究。錫蘭、科羅拉多 (Colorado)、英格蘭、哪噠和菩希密阿各地的鑛石，經過一番研究後，利查茲和雷姆堡於一九一四年發表論文，報告鑛中鉛素的原子量，較平常公認的二〇七·二要低得多 (16) (78)。維也納另有二位科學家，即荷尼虛米特和花路末次 (O. Hönigschmid, Mlle. Stephanie Horowitz) (79)，此外尚有麻利斯 (Maurice Curie) (92)，這三位都獨立同時發表類同的結果。



圖二五九 利查茲氏像

(Theodore William Richards
1868-1928)

哈佛大學吉勃研究所 (Walcott Gibbs Memorial Laboratory) 所長。他的原子量測定法，至今尚無人超過其精密。發現放射礦石中鉛素各種反常原子量。

這兩種不同的鉛，目下通稱為同位元素，或稱不分離元素。在週期表上，佔同一位子，原子量和放射特性，也各不相同。所以嚴格說來，研究放射學的結果，僅揭發了五種有顯著物理和化學特性的新元素：即針、釷、鐳、錒和鈾 X_2 。一切其他「放射元素」在週期表中，祇能依序歸入前面五個位子內。

又因鈾素的放射性，將來終必完全竭滅，而一切鑽石中，鉛和鈾的比例，幾乎永不變動，所以共信鈾素蛻變時，最後成穩定而非放射性的元素「鈾鉛」(uraniolead)，或作鐳G，和常鉛永分離。鐳系現在包括下列各元素：鈾、釷、釷、鐳A、B、C、C'、C''、D、E、F、G，合計十二種。

錒系

前面已經講過，鈾素和釷素，各有一長串放射後代。所以第三族錒系，也不能例外，此系以釷 (Protoactinium) 爲族長。此元素於一九一七年時爲罕和邁特納爾所發現；同時又爲索提和克朗斯登 (John A. Cranston) 二人獨立發現 (47) (49) (50)。到一九二七年格羅塞 (註一) (Aristid V. Grosse) 製釷的五氧化物 (Pa_2O_5)，得二毫克，爲白色粉狀物 (88)。釷爲鈾Z和鈾 X_2 的同位元素，所以實際上，已有三種放射元素，和門得雷耶夫所預測的新釷，有相同的一切化學和物理特性 (17)。

(註一) 格羅塞和罕製純 Pa_2O_5 法的專利書，曾載 Chem. Zentr., 102. 3525-6 (1931)

得比爾納，是一位青

年化學家，曾在夫利得爾

(Friedel) 處任製造助手，

也是居禮夫婦的好朋友。

到一八九九年，發現一種

新放射元素，他把氫氧化

銨加於鈾鐳瀝青的溶液

中，新元素就和稀土同時

沈澱(40)。取名曰錒(actinium)。一九〇二年，其塞爾(F. Giesel)也獨立發現錒素，他利用錒和

銻來分離，取名曰 emanium。

錒系最像鐳系。其塞爾和哥德來斯基(T. Godlewski)於一九〇四到一九〇五二年中，各自

獨立在工作時發現錒X。在含錒和鐵二素的溶液中，加過量碳酸銨後，錒X就和氫氧化鐵同時沈



圖二六〇 克朗斯登博士像

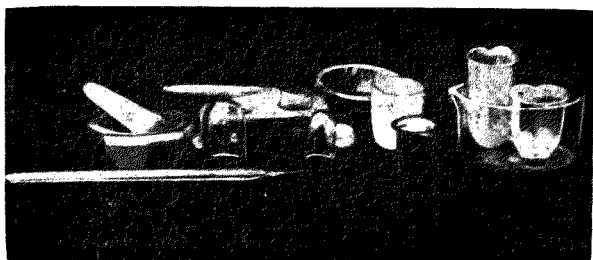
(Dr. John A. Cranston)

化學工業會評議會會員。格拉斯哥分會會長。和索提合作在放射學上有重要貢獻。鈾素的獨立發現人，此即門得雷耶夫預述的新鉅。

澱 (41) (44)。

其塞爾 (一八五二——) 多年來在布朗特威克 (Braunschweig Buchler) 公司的規寧工廠任化學師。早年分析過多量放射性鑽石，都慨贈鐳素給全世界的研究學者 (56)。

哥德來斯基為著名植物生理學家愛禰爾·哥德來斯基 (Emil Godlewski) 幼子，於一八七八年正月四日，生於波蘭的雷姆堡。自在克累科 (Cracow) 的古雅該羅寧 (Jagiellonian) 大學卒業後，即往斯托克荷爾姆從阿累尼烏斯 (Arrhenius) 研究一年。繼往蒙特累奧爾從拉忒福特 (Lathford) 研究一年，把研究所得結果，發表了三篇關於放射學的論文。回波蘭後，任雷姆堡高等工業學校校長兼物理學教授。此後



圖二六一 格羅塞博士 (Dr. Aristid V. Grosse) 作釷素研究時所用的儀器。

其下有一匣的長度表，用以顯示儀器之細小無比。

即繼續在放射學和電化學方面工作，不幸天不假壽，中年夭逝，於一九二一年去世。致死之因，公認由實驗室內煤氣走漏，因而中毒（89）。

到一九〇六年，罕教授發現錒素和錒X之間的射錒（45）。這錒射氣，又稱錒（actinon），和氫相同，為惰氣的一種。此外，其塞爾和得比爾納也獨立發現（40）、（41）。除上述各元素外，這一系列中尚有錒A、B、C、C'、C''、D六種元素，和錒系各元素，完全相似，可依此類推（43）、（64）。在鈾、錒、錒三系之間各元素，普爾特武德證明尚有系族關係。到一九一五年，索提和希欽（A. F. Hitchins）小姐且測計純粹鈾製物中錒素的急速生長率（39）、（57）。

釷系

釷系顯然和前面三系分立。一九〇五年，罕氏得拉姆塞爵士指示而工作時，在錫蘭產的方釷石（thorianite）和殘餘體中，發現射釷（radiothorium），二年後，他證明新釷（mesothorium）為中間蛻變生成物（19）、（35）、（36）。

但是鈇鹽的放射現象，反比鑽石爲小，普爾特武德（93）因此疑心，一部分射鈇精製時或已逃失。又假定射鈇直接由鈇而來，他計算射鈇的半期壽命，至少應該六年，但罕氏由實驗所得結果，僅見二年。因此他又假定，在鈇和射鈇之間，另有一種未知的無射線物存在，這種新鈇，在精製手續中，易從鈇中分出。



圖二六二 羅素氏像

(Alexander Smith Russell)

蘇格蘭化學家，發現元素原子量受 β 射線變化的影響。牛津大學無機化學講師。在格拉斯哥索提實驗室，柏林納恩斯特（Nernst）處，曼徹斯特拉武福特等處作化學研究，多半在放射學方面。他的著作，包括研究論文、文學作品和放射化學書一冊。

他發現新製的鈾鹽，自常度放射能，逐漸降至最低時，須四·六年之久，因而計算出這未知的
 新鈾，其半期壽命，應有五年，後來芝加哥大學的二位化學家，馬克堪和荷累斯（Hubert Newby
McCoy, William Horace）都證明預言不誤。新元素，初稱新鈾，現已改稱為新鈾 1（20）（63）。
 所以要改名的緣故，因為罕教授以後發現，新鈾 1，又能蛻變成短壽命的新鈾 2。索提對於新鈾 1
 貢獻極多，後來又伸引成放射同位素學理，因此得諾貝爾獎金（60）。



圖二六三 夫勒克氏像
 (Alexander Fleck)

放射同位元素研究論文的著作人。說明鐳 X_1 ，和從鈾，鈾 B 來的射鋼，從鉛來的鋼 B，從鋼來的新鈾 2，從鈾來的鐳 E，從鈾來的鐳 A 皆不可分離。又證實腓揚斯和哥玲所發現的鈾 X_2 。現在卜內門公司工作。

新鈾1的代價低廉，在醫治上和夜明錶面的製造上，時常替代鐳素。從獨居石沙的副產物，提製新鈾1的商用法，一向保守秘密，自從索提和麥克華特二人，獨立發現二元素的化學特性，完全相同後，即採用鈾鐳瀝青中鐳素提製法，以收新鈾1（84）、（94）。

一九〇二年，拉忒福特和索提，加氫氧化銨於鈾溶液中，濾去氫氧化鈾沈澱，然後把不含鈾的濾液蒸乾。銨鹽熱解後，發現剩下的殘餘物，比原來的鈾鹽，更富放射性（18）。根據此點，引成鈾系另一新元素的發現，稱之曰鈾X。

俄恩斯（R. B. Owens），為馬克歧爾大學電機工程麥克唐納紀念教授，他和拉忒福特發現另一種射氣。原來鈾化合物在無蓋器中，露置於空氣後，放射現象就變化不定，把這件反常的事，細加一番考究，發覺鈾質能放出氣體一種，取名曰氡（thoron）（21）、（31）。氡氣為氫氣和氫氣的同位素，也是最早發現的放射氣體（20）。

該革（Han Geiger）教授和馬斯頓（E. Marsden）最先注意氦氣發射的 α 粒點；放射時，間隔極短，好像含有二種東西。拉忒福特的預言，畢竟不錯，他們探明這種奇異的行爲，實因氫尚有

一種短壽命的蛻變物，取名曰鈷 A (80)。該革生於德國那斯塔特 (Newstadt)，游學於挨爾蘭根 (Erlangen)，明興和曼徹斯特各著名大學，現任沙爾羅頓堡 (Charlottenburg) 鎳學研究所長。

鈷 A 能迅速蛻變成另一短壽命的鈷 B，拉忒福特又證明，鈷 B 能自動再蛻變成鈷 C (53)。



圖二六四 俄恩斯氏像

(R. B. Owens)

一八九九年察見，充體積空氣，曝露於鈷化合物射線，將空氣通過其儀器時，游離電流減至最低度。後來拉忒福特證明，此現象實由鈷射氣放射時所致，現稱氫。此像攝於一九一〇年，俄恩斯教授在麥克歧爾大學時代。

劍橋大學紐那姆 (Newham) 學院巴忒斯特 (Bathurst) 教授的門徒斯雷忒小姐 (J. M. W. Slate) 在鉛封的白金線上，把混合物熱到攝氏七〇〇度時，白金線上的鈾 B (註一) 盡行氟化，然後再凝在冷鉛圓筒上，到攝氏一〇〇〇度時，白金線上僅留下純粹的鈾 C (32)。

(註一) 一九一一年前，今日通稱爲鈾 B，鈾 C 二素，其時通稱爲鈾 A、鈾 B。

馬斯頓和巴累特 (Thomas Barratt) 罕和邁特納克，二方都獨立證明，鈾 C (註一) 分裂而成鈾 C' 和鈾 C'' (20)、(34)、(76)。這一系中，鈾 D 爲末位元素，亦稱鈾鉛。索提所稱「元素演化的莊嚴行列」至此告終 (57)。所以鈾蛻變而得下列各物：新鈾 1、新鈾 2、射鈾、鈾 X、氫以及鈾 A、B、C、C'、C''、D。

(註一) 見前。

至於放射性同位元素，羅素、索提、腓揚斯三人，於一九一三年頃，都獨立有所說明 (90)。格拉斯哥大學的夫勒克，曾化三年光陰，把放射元素的化學特性，作澈底的研究，索提因而歸納成下列的規則：一個有 α 射線生成物的元素，其化學特性和週期表中族組比母元素低二級的元素諧合。



圖二六五 索提氏像

(Frederick Soddy 1877-)

格拉斯哥，阿伯丁，牛津三大學教授。放射學及經濟學書的著作者。證明放射元素，成射 α 質點後，在週期表的位置即向左移二位。放射 β 質點後，向右移一位。定規則，用以說明放射同位元素，又獨立為羅素、夫勒克、聃揚斯所發現。

格拉斯哥大學卡內基 (Carnegie) 研究員羅素 (A. S. Russell)，不久就發現下列附則：有 β 射線生成物的元素，其化學特性和族組，比母體大一級的那元素相和合。

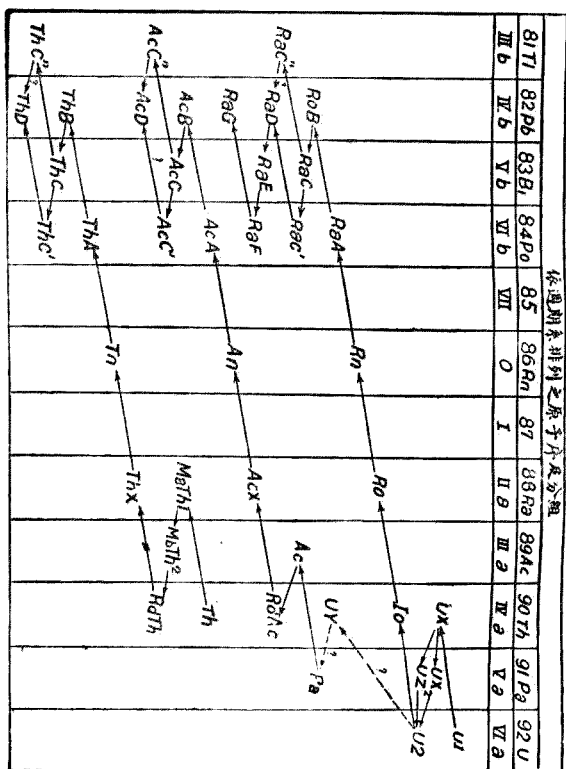
例如， α 射線變化時，或帶二正電荷的氦原子射出時，原子序數（即元素在週期表中序數）降低二位，而原子量降低四位；但在 β 射線變化時，或負電放射時，原子序數增加一位，而原子量則

不變。因此經過二次β射

線變化，和一次α射線變化的聯合作用後，最後生成元素，其化學特性，和尊祖父完全相同，鈾2就是一例。所以索提說：「放射小孩，仿效他的尊祖父，到完全無誤的境地，目下的化學分析法，尙無法分離。」（56）

在週期表中，最後十個空位，其放射變化的

放射元素變化表



全部關係，都給羅素、腓揚斯、索提、夫勒克和其他諸人，研究而發明，其關係已撮合於前表。

到此我們可以清算一番，放射性同位素，鈾有三個，鉛有七個，銻有四個，錒有七個，惰性放射氣體有三個，鐳有四個，銾有二個，釷有六個，新釷有三個，鈾有二個。

一九〇三年，居禮夫婦和培克累爾，同得諾貝爾化學獎金。居禮家庭中，共有二位天真爛漫的



圖二六六

居禮夫人及其長女若利德夫人
(Mme Irène Curie-Joliot)

若利德夫人關於放射元素，刊印論文極多。大戰時，雖芳年尙輕，助母在軍中爲傷者作放射物治療。其夫若利德博士，現在巴黎鐳學研究所，二人合作中子特性的表演。

小女兒活潑可愛，充滿着幸福。二位才藝雙全的父母，滿懷希望，方期畢生努力科學。無奈好夢難圓。一九〇六年四月十九日，居禮教授橫跨過巴黎一條繁華的街道時，被一輛重載的搭車所撞，立時殞命（61）。

受了這樣沈痛的刺激，居禮夫人久病後，最後決定把餘生繼續貢獻於科學和二位女兒的扶養。她親自教導，又創設一所私立小學（22）。長女愛利尼（Irene），後爲若利德（Joliot）夫人，追隨父母，置身於科學研究；次女夏娃（Marie），爲音樂界鋼琴名家。

丈夫去世一年後，居禮夫人接受了巴黎大學的教授職。請多能的得比



圖二六七 居禮家庭

爾納教授，管理實驗室，同時也兼教職。全世界各地來的學生，也日見增多。夫人專心一意，指導放射學的研究（86）。大學購得新地基後，造了一條居禮紀念路，又替她建了一座研究所。居禮研究所和巴斯德研究所，這兩處的工作，最爲融合。夫人把時間的大部分，用於鐳素和氣素治療效能的專門研究。大戰時，在法軍病院中，負放射治療的全職。



圖二六八 若利德

(Jean-Frédéric Joliot)

居禮研究所物理學家及化學家。對於反動現象，動量常住，放射元素的電化行爲，原子核的爆裂，及中子的存在等研究，皆有大貢獻。

一九一二年，她重得諾貝爾物理獎金，是世間唯一諾貝爾獎金二次得獎人。同年，法蘭西學院，保守舊習慣，依舊拒絕她入選，但到一九二二年二月七日，她終入選了（69）。

她久居法國，完全歸化成一位真正的法國人。她把一生，歸納在下面幾句話中：『我生於華沙教師家庭中。嫁於居禮先生。有二個孩子。在法國做我的工作。』（1）



圖二六九 若利德夫人像

(Mme Irène Curie-Joliot)

居禮夫婦小姐。對於放射學貢獻極多，助其夫及母作重要研究極多。若利德夫婦及查德威克三人證明用急速的 α 質點將鈹、硼等輕元素轟擊後，有透射力極強的中性質點，即中子射出。現信每一中子由正負電子各一個相合而成。

參考材料

- (1) Curie, Mme., "Pierre Curie," English translation by Charlotte and Vernon Kellogg, The Macmillan Co., New York City, 1926, pp. 24-6.
- (2) Ramsay, Sir Wm., "The Death-knell of the Atom," *Ind. Eng. Chem., News Ed.*, 8, 18 (Jan. 20, 1930). Poem written in 1905.
- (3) Curie, Mme., "Pierre Curie," Ref. (1), pp. 54-72.
- (4) Harrow, "Eminent Chemists of Our Time," D. Van Nostrand, Inc., New York City, 1920, p. 158.
- (5) "Editor's Outlook. Marie Sklodowska Curie," *J. Chem. Educ.*, 7, 225-7 (Feb., 1930).
- (6) Marckwald, "Die Radioaktivität," *Ber.*, 41, 1524-61 (May, 1908). A review.
- (7) Mendeleeff, "Principles of Chemistry," Vol. 2, English translation from 5th Russian edition, Longmans, Green and Co., London, 1891, p. 447, footnote.
- (8) Curie, Mme., "Pierre Curie," Ref. (1), pp. 133 and 186-7.
- (9) Jones, Harry C., "The Electrical Nature of Matter and Radioactivity," D. Van Nostrand Co., Inc., New York City, 1906, p. 56.
- (10) Ostwald, "Lebenslinien, eine Selbstbiographie," Vol. 3, Kiasing & Co., Berlin, 1927, p. 158.
- (11) Färber, "Geschichtliche Entwicklung der Chemie," Springer, Berlin, 1921, p. 279.
- (12) Hahn, "Über eine neue radioaktive Substanz im Uran," *Ber.*, 54, 1131-42 (June 11, 1921);

- "Über das Uran Z und seine Muttersubstanz," *Z. physik. Chem.*, **103**, 461-80 (Hefte 5 and 6, 1923).
- (13) "Editor's Outlook, Bertram Borden Boltwood," *J. Chem. Educ.*, **6**, 602-4 (Apr., 1929).
- (14) Hevesy and Paneth, "A Manual of Radioactivity," English translation by Lawson, Oxford University Press, London, 1926, p. 225.
- (15) Rutherford, E., "Radioactive Transformations," Charles Scribner's Sons, New York City, 1906, p. 70.
- (16) Harrow, "Eminent Chemists of Our Time," *Ref.* (4), pp. 73-5.
- (17) Grosse, "The Analytical Chemistry of Element 91, Ekatanalium, and Its Difference from Tantalum," *J. Am. Chem. Soc.*, **52**, 1742-7 (May, 1930).
- (18) Rutherford and Soddy, "The Radioactivity of Thorium Compounds. I. An Investigation of the Radioactive Emanation," *Trans. Chem. Soc.*, **81**, 321-50; "II. The Cause and Nature of Radioactivity," 837-60 (1902).
- (19) Hahn, "Über ein neues, die Emanation des Thoriums gebendes radioaktives Element," *Jahrb. der Radioaktivität*, **2**, 233-66 (Heft 3, 1905); *Proc. Roy. Soc. (London)*, **76A**, 115-7 (Mar. 7, 1905).
- (20) Mellor, "Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry," Vol. 7, Longmans, Green and Co., New York City, 1927, pp. 184-203. Article on the "Radioactivity of Thorium."

- (21) Jones, "Electrical Nature of Matter and Radioactivity," Ref. (9), p. 111.
- (22) Curie, Mme., "Pierre Curie," Ref. (1), pp. 195-6
- (23) Dolt, "Chemical French," Chemical Publishing Co., Easton, Pa., 1918, pp. 282-312. Article by Mme. Curie, "Recherches sur les Substances Radioactives."
- (24) Curie, Mme., "Recherches sur les Substances Radioactives," *Ann. chim. phys.* (7), **30**, 99-203 (Oct., 1903).
- (25) Schmidt, G. C., *Wied. Ann.*, **65**, 141 (1898).
- (26) Curie, Mme., "Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium," *Compt. rends.* **126**, 1101-3 (Apr. 12, 1898).
- (27) Curie, P., and Curie, Mme., "Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende," *ibid.*, **127**, 175-8 (July 18, 1898).
- (28) Curie, P., and Curie, Mme., "Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende," *Compt. rend.*, **127**, 1215-7 (Dec. 26, 1898).
- (29) Marckwald, "Ueber den radioactiven Bestandtheil des Wismuths aus Joachimsthaler Pechblende," *Ber.*, **35**, 2285-8; 4239-41 (1902); **36**, 2662-7 (1903); "Ueber das Radiotellur," **38**, 591-4 (1905).
- (30) Crookes, "Radioactivity of Uranium," *Chem. News*, **81**, 253-5 (June 1, 1900); 265-7 (June 8, 1900); *Proc. Roy. Soc.* (London). **66**, 409 (May 10, 1900).
- (31) Owens, "Thorium Radiation," *Phil. Mag.* (5), **48**, 360-87 (Oct., 1899); Rutherford, E., "A

Radioactive Substance Emitted from Thorium Compounds," 49, 1-14 (Jan., 1900); Radio-activity Produced in Substances by the Action of Thorium Compounds," 161-92 (Feb., 1900); Rutherford and Soddy, "An Investigation of the Radioactive Emanation Produced by Tho-rium Compounds," (6), 4, 569 (Jan. 16, 1902); *Chem. News*, 85, 55-6 (Jan. 31, 1902); 261-2 (May 30, 1902); 271-2 (June 6, 1902); 282-5 (June 13, 1902); 293-5 (June 20, 1902); 304-8 (June 27, 1902).

(32) Slater, "On the Excited Activity of Thorium," *Phil. Mag.* (6), 9, 628-44 (May, 1905); *Chem. Zentr.*, 76 [1], 1629 (June 21, 1905).

(33) Fajans, "Ueber die komplexere Nature von Radium C," *Physik. Z.*, 12, 369-77 (May 15, 1911); "Ueber die Verzweigung der Radiumzerfallsreihe," 13, 699-705 (Aug. 1, 1912); "Das Ver-zweignungsverhältnis und das Atomgewicht der C₁-Glieder der drei radioaktiven Umwand-lungsreihen," 14, 951-3 (Oct. 1, 1913).

(34) Hahn, "Ueber einige Eigenschaften der α -Strahlen des Radiothoriums," *Wid.*, 7, 412-9, 456-62 (1906).

(35) Hahn, "A New Radioactive Element which Emits Thorium Emanation," *Chem. News*, 92, 251-2 (Dec. 1, 1905).

(36) Hahn, "Ein neues Zwischenprodukt im Thorium," *Ber.*, 40, 1462-9 (1907); "Ueber die Strah-lung der Thorium-produkte," 3304-8 (1907).

(37) Dorn, "Von radioactiven Substanzen ausgesandte Emanation," *Abh. Naturf. Ges.*, Halle, 1900.

- (38) Hofmann, K. A. and Strauss, E., "Radioactives Blei und radioactive seltene Erden," *Ber.*, **33**, 3126-31 (1900); **34**, 8-11, 907-13 (1901); 3033-9 (1901).
- (39) Boltwood, "The Production of Radium from Uranium," *Am. J. Sci.* (4), **20**, 239-44 (No. 117, 1905); "Note on a New Radioactive Element," **24**, 370-2 (No. 142, 1907); "On the Ultimate Disintegration Products of the Radioactive Elements," **20**, 253-67 (No. 118, 1905).
- (40) Debierne, "Sur une nouvelle matière radioactive," *Compt. rend.*, **129**, 593-5 (Oct. 16, 1899); "Sur un nouvel élément radioactif: Ractinium," **130**, 906-8 (Apr. 2, 1900); "Sur du barium radioactif artificiel," **131**, 833-5 (July 30, 1900); **136**, 446-9 (Feb. 16, 1903); 671-3 (Mar. 16, 1903); "Sur l'émanation de l'actinium," **138**, 411-4 (Feb. 15, 1904); "Sur l'actinium," **139**, 638-40 (Oct. 3, 1904); "Sur les gas produits par l'actinium," **141**, 383-5 (Aug. 14, 1905).
- (41) Giesel, "Ueber Radium und Radioactive Stoffe," *Ber.*, **35**, 3603-11 (1902); "Ueber den Emanationskörper aus Pechblende und über Radium," **36**, 842-7 (1903); "Ueber den Emanationskörper (Emanium)," **37**, 1696-9, 3963-6 (1904); **38**, 775-8 (1905); **40**, 3011-5 (1907).
- (42) Hönigschmid, "Ueber Radioelemente," *ibid.*, **49**, 1835-65 (1917). A review.
- (43) Frooks, "A Volatile Product from Radium," *Nature*, **70**, 270 (July 21, 1904); *Phil. Mag.* (6), **8**, 373 (Sept, 1904).
- (44) Godlewski, "A New Radioactive Product from Actinium," *Nature*, **71**, 294-5 (Jan. 26, 1905); "Actinium and Its Successive Products," *Phil. Mag.* (6), **10**, 35-45 (July, 1905).
- (45) Hahn, "Ueber ein neues Produkt des Actiniums," *Ber.*, **39**, 1605-7 (1906).

- (46) Hahn and Meitner, "Ueber das Uran Y," *Physik. Z.*, 15, 236-40 (Mar. 1, 1914).
- (47) Hahn and Meitner, "Ueber die Eigenschaften des Protoaktiniums," *Ber.*, 54, 69-77 (1921).
- (48) Fajans and Göhring, "Ueber das Uran X₂—das neue Element der Uranreihe," *Physik. Z.*, 14, 877-84 (Sept. 15, 1913); *Naturwissenschaften*, 1, 339 (1913).
- (49) Hahn and Meitner, "Die Muttersubstanz des Actiniums, ein neues radioaktives Element von langer Lebensdauer," *Physik. Z.*, 19, 208-18 (May 15, 1918); *Naturwissenschaften*, 5, 324 (1918).
- (50) Soddy and Cranston, "The Parent of Actinium," *Nature*, 100, 498-9 (Feb. 21, 1918); *Proc. Roy. Soc. (London)*, 94A, 384 (Feb. 7, 1918).
- (51) Becquerel, "Note sur quelques propriétés du rayonnement de l'uranium et des corps radioactifs," *Compt. rend.*, 128, 771-7 (Mar. 27, 1899).
- (52) Demargay, "Sur le spectre d'une substance radioactive," *Ibid.*, 127, 1218 (Dec. 26, 1898).
- (53) Rutherford, "The Succession of Changes in Radioactive Bodies," *Phil. Mag.*, 8, 636 (1904); *Phil. Trans.*, 204A, 169-219 (1904); "Slow Transformation Products of Radium," *Nature*, 71, 341-3 (Feb. 9, 1905).
- (54) "Classics of Science: Radioactive Substances," *Sci. News Letter*, 14, 137-8 (Sept. 1, 1928).
- (55) Curie, Mme., "Recherches sur les Substances Radioactives," 2nd édition, Gauthier-Villars Paris, 1904, 155 pp. Thesis.
- (56) Soddy, "The Interpretation of Radium," 4th édition, G. P. Putnam's Sons, New York City, 1922, 260 pp.

- (57) *Ibid.*, p. 134.
- (58) Lodge, "Bequerel Memorial Lecture," *Trans. Chem. Soc.*, **101**, 2005-42 (1912).
- (59) Antonoff, "The Disintegration Products of Uranium," *Phil. Mag.* (6), **22**, 419-32 (Sept., 1911); "On the Existence of Uranium Y," **26**, 1058 (Dec., 1913).
- (60) Danne, "Les Sels de Radium," *La Nature*, **32** (1), 214-8 (Mar. 5, 1904); 243-6 (Mar. 19, 1904).
- (61) F. S., "Professor Pierre Curie," *Nature*, **73**, 612-3 (Apr. 26, 1906).
- (62) Ramsay, "Radium Emanation," *ibid.*, **76**, 269 (July 18, 1907).
- (63) McCoy and Ross, "The Specific Radioactivity of Thorium and the Variation of the Activity with Chemical Treatment and with Time," *J. Am. Chem. Soc.*, **29**, 1709-18 (Dec., 1907).
- (64) Kovarik and McKeelan, "Radioactivity. Report of Committee on X-rays and Radioactivity, National Research Council," National Academy of Sciences, Washington, D. C. 1925, 203 pp.
- (65) "Madame Marie Curie Dedicates Hepburn Hall of Chemistry at St. Lawrence University," *J. Chem. Educ.*, **7**, 268-76 (Feb., 1930).
- (66) "Editor's Outlook. Frederick Soddy," *ibid.*, **8**, 1245-6 (July, 1931).
- (67) "Editor's Outlook. Theodore William Richards," *ibid.*, **5**, 783-4 (July, 1928).
- (68) Curie, Mme., "Pierre Curie," Ref. (1), p. 170.
- (69) W. R. W., "Anniversaries of Science," *J. Chem. Educ.*, **4**, 400 (March, 1927)
- (70) "Local Activities. Cornell University," *ibid.*, **7**, 707 (March, 1930).

- (71) Mendeleeff, "Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente," *Ann., Suppl.* VIII, 191 (1871).
- (72) "Editor's Outlook. Sir Ernest Rutherford (1871-)," *J. Chem. Educ.*, **7**, 493-4 (Mar., 1930).
- (73) Hahn, "The Mother Substance of Radium," *Chem. News*, **96**, 272-3 (Dec. 6, 1907); *Ber.*, **40**, 4415-20 (1907).
- (74) Urbain, G., "Discours sur les Éléments Chimiques et sur les Actines. Hommage au Professeur Bohuslav Brauner," *Rec. trav. chim.*, **44**, 285 (1925).
- (75) "Les Prix Nobel en 1921-1922," P. A. Norstedt & Söner, Imprimerie Royale, Stockholm, 1923, pp. 1-29. Soddy on "The Origins of the Conception of Isotopes."
- (76) Marsden and Barratt, "The α -Particles Emitted by the Active Deposits of Thorium and Actinium," *Proc. Physical Soc.*, **24** (1), 50-61 (1911); *Physik. Z.*, **13**, 193-9 (Mar. 1, 1912).
- (77) Marckwald and Keetman, "Notiz über das Ionium," *Ber.*, **41**, 49-50 (1908).
- (78) Richards and Lambert, "The Atomic Weight of Lead of Radioactive Origin," *J. Am. Chem. Soc.*, **36**, 1329-44 (July 1914).
- (79) Hönigschmid and Horowitz, "Sur le poids atomique du plomb de la pechblende," *Compt. rend.*, **158**, 1796-8 (June 15, 1914).
- (80) Geiger, H., and Marsden, E., "Number of Alpha Particles Emitted by Actinium and Thorium Emanations," *Physik. Z.*, **11**, 7-11 (Jan. 1, 1910).
- (81) Hönigschmid and Horowitz, "Zur Kenntnis des Atomgewichtes des Uraus," *Monat.*, **37**, 185-

- 90 (Dec. 9, 1916).
- (82) Hahn and Meißner, "Nachweis der komplexen Natur von Radium C," *Physik. Z.*, **10**, 697-703 (Oct. 15, 1909).
- (83) Soddy, "The Interpretation of Radium," *Ref.* (56), p. 138.
- (84) *Ibid.*, pp. 192-3.
- (85) Bergwitz, "Julius Elster," *Chem.-Ztg.*, **44**, 457 (June 19, 1920).
- (86) Szilard, "Die diesjährigen Träger der Nobelpreise für Chemie und Physik. Fran Pierre Currie und ihr Werk." *Ibid.*, **35**, 1361-2 (Dec. 9, 1911).
- (87) H. B. D., "Theodore William Richards," *Proc. Roy. Soc. (London)*, **121A**, xxix-xxxiv (1928).
- (88) Grosse, "The Rarest Metal Yet Obtained," *Sci. Am.*, **142**, 42-4 (Jan, 1930). Protactinium.
- (89) R. W. L., "Prof. Tadensz Godlewski," *Nature*, **110**, 361 (Sept. 9, 1922).
- (90) Russell, A. S., "The Periodic System and the Radio-elements," *Chem. News*, **107**, 49-52 (Jan. 31, 1913); Soddy, *Ibid.*, **107**, 97-9 (Feb. 28, 1913); Fajans, "Die radioaktiven Umwandlungen und das periodische System der Elemente," *Ber.*, **45**, 422-39 (1913).
- (91) Ramsay and Gray, "La densité de l'émanation du radium," *Compt. Rend.*, **151**, 126-8 (July 11, 1910).
- (92) Curie, Maurice, "Sur les écarts de poids atomiques obtenus avec le plomb provenant de divers minéraux," *Ibid.*, **158**, 1676-9 (June 8, 1914).
- (93) Boltwood, "The Radioactivity of Thorium Minerals and Salts," *Am. J. Sci.* (4), **21**, 423 (June,

1906): *ibid.*, 24, 95 (Aug., 1907).

(94) Schlundt, "The Refining of Mesothorium," *J. Chem. Educ.*, 8, 1267-87 (July, 1931).

第二十一章 最近發見的元素

摩斯利 (H. G. J. Moseley) 發現元素的 X 射線光譜和原子序數間的簡單關係時，週期表上，尚有七個空位。即四三、六一、七二、七五、八五、八七和九一。這七個元素，都是待於揭發。九一號為放射元素，已詳第十九章。七二號元素，現稱鉛素 (hafnium)。遠在一九二三年，科斯忒 (Dirk Coster) 和海佛西 (Georg von Hevesy) 已證明鉛素廣佈於自然界。其所以迴避不明，至今尚未發現者，實因鉛和銻，太密切相像的緣故。四三號和七五號，現稱鐳 (masurium)、銻 (rhenium)。拿台克和泰開 (註一) (Walter Noddack, Ida Tacke) 於一九二五年左右，始宣告發現。今日市上鍊素，已成普通商品。六一號釩素，於一九二六年為荷普金斯、赫黎斯和雲太嗎 (Hopkins, Harris, Yntema) 三人所發現。在美國，又為科爾克 (Cork)、哲姆斯 (James)、福哥 (Fogge) 三人獨立發現。在意大利，獨立又為路拉 (Rolla)、斐南得斯 (Fernandes) 所發現。阿立生和同工作

者曾用磁光法 (magneto-optic method) 探知微量八五號和八七號二元素之存在。且提議取用鎧 (alabamine) 和銓 (virginium) 二字作學名。這種種元素的特性，尙有待於詳細的研究和闡明。

(註一)原書有誤——譯者已更正。

求於紫光外，居於黑暗鄉；

御用結晶柵，捕拿影與形；

原子核心祕密窩，從此盡露洩；

天賜熱力，羈縛全絕；

元素心中神密處，電負逐一數；

管她是金銀銅鐵錫，

管她是氫氧氮……(1)

門得雷耶夫的週期系統，在新元素的搜尋探求時，雖得大助，但仍有許多矛盾的現象，無法說明。例如氫的原子量，比鉀為高，但是在週期表上，氫素位置仍須放在鉀素前面。當然，氫氦為類同的元素，同屬惰氣，以及鉀鈉相比，盡屬醜類，這種切都有不可動搖的根據，我們已毫無疑義。此外碲碘二元素間，也有相妨的一個矛盾，自放射同位元素發現後，更增加了無限混亂。

比較合理的元素分類法，最後終給一位年輕的英國物理學家，在研究X射線時發現了。這就是摩斯利 (Henry Gwyn Jeffreys Moseley)，他於一八八七年十一月二十三日，生於韋馬斯 (Weymouth)。父親原是牛津大學的教授，著名的動物學家。可惜他幼年，即遭喪父之痛。摩斯利求學於伊吞 (Eton) 中學，和牛津大學三一學院，一九一〇年，得碩士學位。畢業前一年，曾赴曼徹斯特大學，和拉忒福特爵士商議，以定研究物理學的計劃 (30)。

卒業後，在曼徹斯特大學，任物理學講師和表演員，他亟想把全部時間用於研究工作，所以二年後，即辭去職務，同時得哈林 (John Harling) 補助獎金。校中同事，不久就公認他為多能的實



圖二七〇 摩斯利氏像

(Henry Gwyn Jeffreys Moseley, 1887-1915)

英國物理學家，曾作五十餘元素的X射線光譜研究，發現元素原子量及陰極射線轟撞後所發X射線頻率間關係。達爾達那斯前線作戰時，死於軍中，時方二十七歲。

驗家，敬慕他驚人的技能、廣博的學說、愉快的性格、和以及合作上和藹可親的態度。一九一四年，英國科學促進會在澳洲開年會，他參加原子構造的討論會，同時發表根據自己研究稀土元素的X射線光譜而寫成的優美報告（32）。

第一流的科學家，沒有比他的事業再短促了。英國參戰後，他立刻回國，在軍中當信號員。一九一五年六月十三日出發赴達爾達那斯（Dardanelles）。八月十號，正用電話報告一道命令到師部時，一顆土耳其人的子彈橫穿頭顱，立時身死。軍中工作時，曾立遺囑，願把一切實驗儀器，和大部分私產，遺贈皇家學會。摩斯利去世時，尚不足二十八歲，但是他的工作，啓發原子構造學研究的大革命，他的名聲，將永垂科學史載（2）（36）。

入伍以前，他對於勞（Lane）氏的發現，頗感興趣，即「在結晶中，各原子有秩序的排列，對於X射線的作用，和繞射光柵（diffraction grating）對於光線的作用，有同樣關係。」（37）陰極射線，衝擊靶子或對陰極（anticathode）靶，因而放射的X射線，將因靶體品質不同而各異。摩斯利得大生物學家達爾文之孫（C. G. Darwin）相助，把鉑靶X射線管內的高頻光譜（high-frequency

spectrum) 作成圖譜 (37)。

他希望能找出射線的頻率 (frequency) 和原子序數間的關係，或尋出週期表上各元數的序數，所以把各種元素，做成對陰極，作極精密的研究。研究時，把這些射線，繞射過一個晶體，因而發現簡單而美滿的關係：即一切已知元素，依週期系上位置而順序計數時，所放 X 射線頻率的平方根，和原子序數成正比例。

摩斯利依原子量加增的系統，和門得雷耶夫的系统，幾乎是相同的。但元素不依原子量而依原子序數（摩斯利序數）排列時，上面提到的氫、鉀二素間，以及碘、碲二素間的一切矛盾，都完全絕跡。

摩斯利的工作，非特於週期系統，以及已知元素和放射同位元素間的關係，大放光明，對於未發見的許多新元素，尋求時增添不少勇氣和刺激（47）。巴黎的烏班教授，他是利用這新方法的第一位化學家。他帶了稀土製品到牛津，請求檢驗。摩斯利把鉅、鈹、鎳和鎳的各種特異射線，一一證明給他看，把烏班教授費了二十年苦心研究所得的結論，在數日之內，都完全證明了。烏班教授感

念對於科學上如此重要的基本發現，給這樣年輕的一位科學家所發明，驚嘆不止。他立刻把摩斯利 X射線分析法，教給大眾，他說：「他新創了一條極清楚而合於科學的定律，替代了門得雷耶夫 不合理的分類法。」（36）

鈹 (hafnium 七二號元素)

摩斯利說，他把鋁（一三號）到金（七九號）之間的元素研究後，發現還有三個位置空白着，即四三、六一和七五這三號，然而三元素 X射線的光譜，已可預先正確推算，因此新元素當不難探尋。其時科學界，頗信烏班教授一九一一年時所記 *celium* 的弧光譜，或即屬於七二號元素（36）、（36）、（56）。

摩斯利和烏班，乃把揣疑含此新元素的稀土殘體，檢驗後僅見十條線，而且都可分屬鐳、鐳二素。其時摩斯利方服役軍中，經過了長久的中斷，直至一九二二年，烏班教授始把戰前檢查過的稀土殘體，再作七二號元素的搜尋。多維利爾（M. A. Dauvillier）且照他提議，採用布拉格立

(Braglie) X射線分析改良法，始發現二條極稀淡的線，和預測七二號應有者，完全和合(33)、(54)。

一七九一年，格列高(Reverend William Gregor)已在空窩爾發現鈦素。羅斯、莫桑得爾、杜馬這三位多能的化學家，分別測定原子量，但所得結果，彼此互見矛盾。門得雷耶夫因而預言，鈦鑛中尙可尋得另一新元素(4)。但其結果，大量七二號元素，最後都從鈳鑛發現(34)、(38)、(42)。

波爾(Niels Bohr)根據量子論立場，對於烏班從稀土中分出的 celtium，認爲定非七二號元素。因爲七二號非三原子價，應有四原子價，屬銻族。他說明一個原子的化性，由原子中陰電子數和排列決定，而最外層陰電子數和排列，即所謂『原子價陰電子者』更爲重要。在週期系統中，二相鄰元素，其外層陰電子總是有顯著的不同，因此化性亦顯有差異。至於稀土族各元素，以及鐵組三元素，鉑組三元素，構造上的差異，僅在原子裏層；因此在分離上，更見困難。據波爾定律，稀土族中自鏷(五七號元素)起至鐳(七一號元素)止，各元素都有裏層的差異。此外七二號元素外層陰電子構造，和銻素絕不相同。因此所顯示的性質，和稀土元素完全不同(54)，但和銻素，卻非常

接近。所以波爾勸告海佛西博士，到鐳中尋覓此新元素（5）（28）。

一九二三年一月，科斯忒和海佛西在科彭黑根（Copenhagen）尋覓鐳族新族員的工作，終告成功了。鐳中工作時，多賴摩斯利 X 射線分析法的幫助。科斯忒過去在這方面的訓練和工作，得益不少（2）。

這兩位研究員，雖都不是丹麥人，但紀念科彭黑根起見，遂取名曰鈴。（註一）科斯忒教授生長於荷蘭，為皇家赫羅寧根（Groningen）大學物理實驗室主任兼物理學和氣象學教授。荷蘭、法國、英國、德國和美國出版的刊物上，都有他的報告。研究範圍，都關 X 射線譜，原子構造理論，X 射線 L 系之斯托克（Stokes）定律，以及圓柱體在黏滯體中旋轉振動等問題。

（註一）關於七二號元素題名的爭論，見自然界和化學與工業二英國刊物。

海佛西（Von Hevesy）教授，匈亞利人，於一八八五年生於部達培斯特（Budapest），曾留學部達培斯特、柏林和夫賴堡三大學。研究業績，頗著聲名。各國大科學家都樂與交遊，如卡爾斯盧換的哈柏（Haber）、曼徹斯特的拉忒福特、利物浦的同能等，都結為密友。和科斯忒博士合作 X 射

線研究，因而發現鉛素，已見上述。此項研究即在彭黑根波爾的理論物理研究所完成。一九二六年後，任夫賴堡大學物理化學教授。一九三〇年，赴康乃爾大學任培刻 (George Fisher Baker)



圖二七一 海佛西氏像

(Georg von Hevesy)

化學不住校紀念講師。研究範圍，限於物理化學、電化學、放射學和同位素分離學四方面。

鉛素所以能隱藏得如此長久，其故不在稀少，實因和鉛素太相像的緣故(54)。海佛西教授，曾檢驗博物院中有歷史價值的鉛化合物標本。此項標本，都為湯姆生 (Julius Thomsen)、拉美爾斯堡 (Rammelsberg)、諾頓射爾德 (Nordenkjöld)、馬利納克等許多鉛化學專家所製取。檢驗

夫賴堡大學物理化學教授。匈牙利化學家。和赫羅寧很大學科斯忒教授共同由鉛鑽石中發現鉛素，並徹底研究其性質。又為X射線化學分析法、放射學、稀土及電導學方面論文的著作人。

結果，在標本中發現新元素百分之一到五(26)、(55)。所以新元素在世界上的產量，遠勝金銀二貴金屬。以往的化學家，無法製取不含鉛素的銻化合物，自新元素發現後，銻素原子量，自有重加校正的必要(7)、(28)。

海佛西教授和傑春(Thal Jantzen)把氟化鉍和氟化鉀的複鹽反覆結晶後，從氧化銻中，分來氧化鉛(26)、(38)。此外所得金屬鉛和銻素結晶的構造，完全一致，金屬鉛為阿克爾(A. E. Van Arkel)和培爾(J. H. de Baer)二人，在燒熱的鎢絲中通過四碘化物的蒸氣而製成(26)、(53)。



圖二七二 科斯特氏像
(Dirk Coster)

皇家赫羅寧很大學物理學及氣象學教授。與海佛西同為鉛素的發現人。衆多關於X射線及原子構造論文的著作人。

鐳和錒 (masurium, phenium 四三七五號元素)

一九二五年六月，德國化學家宣布錳族中四三號（新錳）和七五號（dwimanganese）新元素正式發現。發現者為柏林物理工藝試驗局（Physico-Technical Testing Office）拿台克博士（Walter Noddack）、泰開博士（Ida Tacke）和西門研究所（Werner-Siemens）柏格博士（Otto Berg）三人。這次發現，實非偶然得來，在鉑鑛和銩鐵鑛石（columbite）中，經過了長久的研究，始有此結果（15）。鉑鑛成分，複雜非凡，含有二四號至二九號，四四號至四七號，七六號至七九號各元素（即從銻到銅，釩到銀，鐵到金各元素）。在銩鐵鑛中，含三九號至四二號，七二號至七四號間各元素（即釷到鉬，鉛到錫），因此唯一的希望，祇能從這二種複雜的鑛石中，尋覓四三和七五，二號元素。

他們三人，把地球表面已知元素的頻率，研究一番後，探知原子序數，屬奇數者不如偶數者常見。復依據二種鑛石的出現頻率，得一概念，使提取法進行時，有所適從。又因四三號和七五號元素，

隸屬錳族，所以大部分物理和化學特性，皆可預測。後來這兩種新錳，先後從銻鐵礦中分出，取名曰鐳（masurium）和銻（rhenium），用以紀念東普魯士和德屬萊茵河（8）（39）。一切困難的濃縮工作，全由拿台克博士和泰開博士二人負責，柏格專做X射線的分光檢查（40）。二元素發現以前，週期表VIIa支族中，錳素尚無同伴存在。

一九二五年九月五日，泰開女士在紐累姆堡（Nuremberg）德國化學家聯合會演講新元素發現史（9）。主席向她道謝，並謂女子在聯合會演講，尚屬初次，極有歷史上價值，希望其他『女化學家』都看她榜樣，繼起不斷。後來泰開女士和拿台克博士訂為夫婦，繼續合作。因此次發現，同受利俾喜獎章。

英國的羅林（F. H. Loring）和德盧斯（J. G. F. Druce）捷克斯拉夫的多雷傑斯克（V. Dulejšek）和黑羅斯基（J. Heyrovský）於一九二五年同時獨立宣布，在商用錳鹽和各種『純粹』錳鹽中，都含少量雜質，此項雜質，就是七五號元素（57）（58）（59）。二位英國化學家，其時真在尋覓原子序數為九三號的新元素，把錳和其他重金屬，做成硫化物而洗滌之，然後再把濾

液蒸乾。殘體作X射線分析後，得見七五號元素的線條。

此外普累格市查理斯大學物理化學教授黑羅斯基博士和普累格科學院的多雷傑斯爾博士，又用另一種方法，在錳鹽中測知七五號元素。他們用降落式汞陰極（dropping mercury cathode）檢查幾種錳鹽溶液，然後把電流強度作縱標座，應用電動勢（applied electromotive



圖二七三 黑羅斯基氏像

(J. Heyrovský)

普累格查理大學物理化學教授。放射學概論一書的作者，與華托薩克(E. Votoček)合編「捷克斯拉夫化學總報月刊」，用英法文發刊捷克及俄國化學家的論文，供給不懂斯拉夫語言的人作參考之用。

(force) 作橫標座，作成曲線，特別注意線上的隆起段 (hump)，這部分從甘汞陰極的電勢上看，約在負一·〇〇至正一·一九伏特的部位。起先揣測，所含雜質為鋅素。後來證明其中絕無鋅、鎳、鈷和鐵各元素後，黑羅斯基和多雷傑斯克就疑心其中或含四三號和七五號二種未發現新錳素，由鋸齒狀曲線，可指出此種雜質，不和汞素成合金。降落式汞陰極和偏光器 (polarograph) 聯合用，自動得一種電解反應的永久記錄。

把鋅片投入錳鹽的濃溶液，分離鋅、鋁、鎳、鈷等雜質的澱積。此類重金屬的硫化物全部沈澱後，尚不能得四三號元素的證據，僅得七五號元素 X 射線條，因此保留門得雷耶夫的題名 (Dr. W. manganese) 仍用以命名新元素 (44)。德盧斯博士乃帶了製品，到普累格市查理斯大學作偏光圖檢查，那邊二位捷克斯拉夫國的化學家，一致承認他的結論。(註一)

(註一) 漢特 (L. O. Hurd) 最近否認此項結論。

錳素至今還沒有製成純粹品質，但鍊素的產量，極足驚人，一九二八年時，每克的市價 (註一) 作一萬金元，到一九三〇年，每克代價已跌到三金元了 (43)。美國標準局的梅權 (William F.

Meggers) 博士對於鍊素的弧光譜，曾作澈底的研究。

(註一)據科學情報調查，一九三二年八月鍊素市價，每磅達一千六百金元。



圖二七四 梅權氏像

(William Frederick Meggers)

一九一四年以來任美國標準局物理專家。分光科主任。衆多關於光學、天文物理、攝影學、波長標準測量及光譜記述和分析等方面論文發刊者。在其前面儀器，爲凹柵攝譜儀，用以攝取鍊素的放射光譜。

鋁 (Iiliumum 六一號元素)

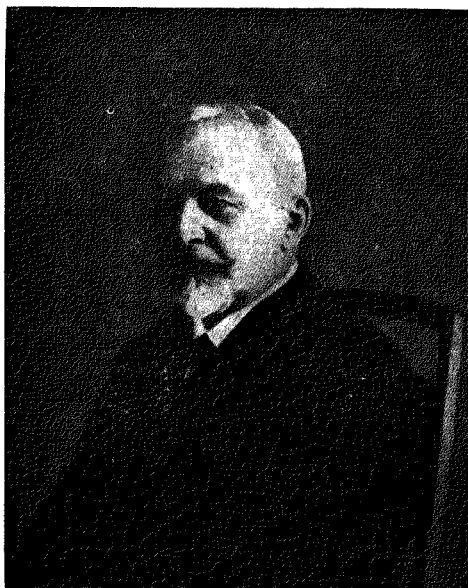
只有一個例外，所有的稀土元素，都在X射線分光法創用以前發現。海佛西說過：

「一切稀土元素，彼此雖極相像，有幾種也非常稀罕，雖乏有力指引，終逐一發現，逐一分離成功了，這最是實驗化學光榮的勝利。」（38）

遠在一九〇二年，門得雷耶夫的友人，普累格菩希密阿大學教授布勞納（Bohuslav Braun），預述釹和鈇之間，尙有新元素一種（11）。在這兩元素間，各種特性，時有變化，早經注意。例如鎂和稀土的硝酸複鹽，都作等距離的差異，但在釹鈇之間，就不同了。因此可善用分層結晶法，使兩元素分離。

硝酸鎂複鹽分層結晶法，新罕普什爾大學最近故世的哲姆斯教授，首先創用（41）。自摩斯利指示六一號元素的空位後，這新稀土元素的存在，已非常可信，因此他費數年的辛勞來尋覓。哲姆斯教授和福哥小心精製的稀土材料，科爾克教授於一九二六年在密喜干（Michigan）大學，

用精良的X射線儀作檢驗。不料伊利那 (Illinois) 大學的荷普金斯教授和同事，把閃避人目的新元素發現報告，發表在前 (18)、(22)、(41)。



圖二七五 布勞納氏像

(Bohuslav Brauner, 1855-)

普累格善希密阿大學化學教授。對於分析化學、原子量測定、稀土化學，均有重大研究貢獻。一九〇二年預述六十一號元素的存在，現稱釷素。



圖二七六 詹姆斯教授像

(Charles James, 1880-1928)

新罕普什爾大學化學系主任。稀土化學方面衆多論文的著作人。
鐳錒兩素的獨立發現人。生於英國，從拉姆塞爵士求學。

獨居石沙中含藏釷鈿（六〇號及六二號）二素，荷普金斯教授因此猜度，此中或者尚含六一號元素。當然此項推測，也不能算全不合理。令得賽電光公司（Lindsay Light Company）和威爾斯巴紗罩公司（Welsbach Mantles Company），贈送他獨居石沙中提得的稀土殘體，其中釷素和一部分鈾素，已早移去，用於紗罩的製造。從殘體中，他製成二分極純粹的釷鹽和鈿鹽，然後送到美國標準局，作分光檢驗，兩種鹽標本，都同時顯現新奇的譜線極多（18）、（20）。



圖二七七 荷普金斯氏像

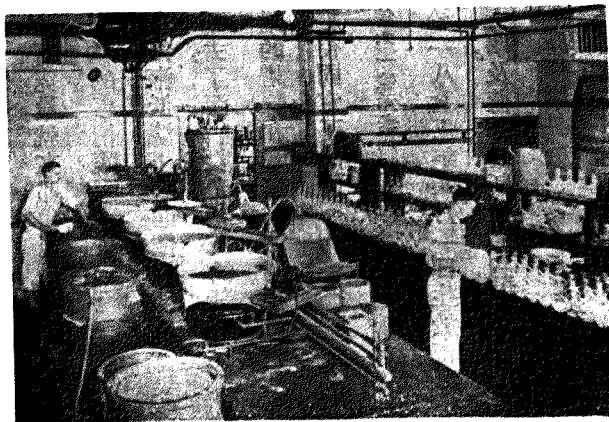
(B. Smith Hopkins)

伊利那(Illinois)大學化學教授

釷素（六一號元素）發現人。在稀土、原子量和最近磁光化學分析法三方面的研究最爲聞名。

荷普金斯教授和赫黎斯博士，乃

放棄硝酸鎂複鹽，把溴化物重新結晶。因為各種硝酸鎂複鹽的溶度，依原子序數而比例加增，所以用這方法來分層，各元素均依原子序數逐一分出，六一號元素在比較多量的鈹鈔二素之間，但用溴化物再結晶後，鈹素併入易溶部分，結晶次序為鎔（最難溶的溴化物）、鈔、六一號元素、鈹、鈹（21）、（23）。鈹和鈔都有隱蔽其他元素的缺點，幸而鈹和鈔沒有此種可厭的特性。



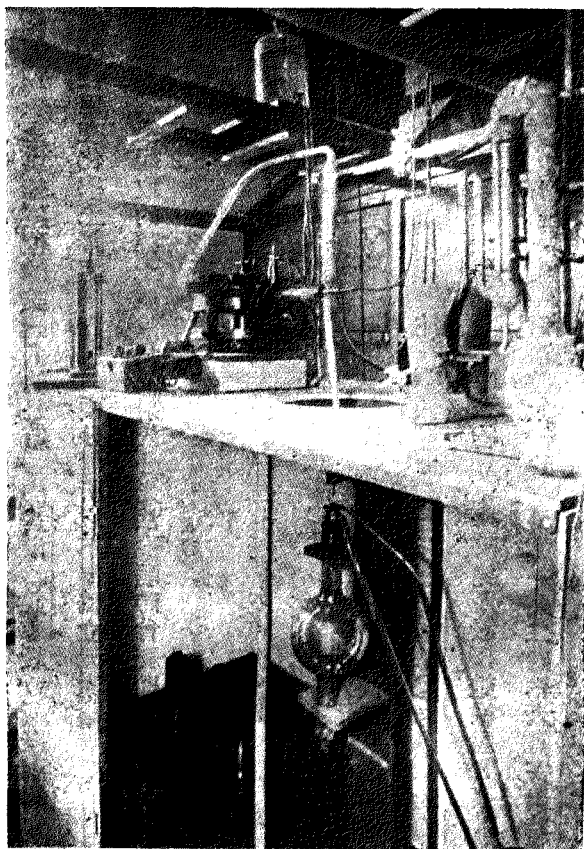
圖二七八 伊利那大學稀土分層實驗室

左邊四只大陶器為石濾器。前面桌上四只大盆為九十升容積的蒸發器，攪拌裝置，溶液瓶一應俱備。此項蒸發盆裝於洗衣桶上暫作蒸汽鍋。反應溶液用壓縮空氣從大瓶隨時加於盆中。在稀土分析初步工作中，原料極多，故器具亦大。右手桌上的小瓶，盛各部分稀土，一如分層結晶時所用者。

荷普金斯教授研究時，得赫黎斯博士和雲太嗎博士幫忙最多。一切分層工作，都在厄爾班那完成。其時雲太嗎博士爲國立研究協會的研究員，就在耶魯大學斯隆 (Stano) 物理研究所作 X 射線的檢驗 (25)。經過五年辛苦奮鬥，神祐的事情臨到了。有似脫許可斯基 (Tschalkowsky) 一八一二號前奏曲，法蘭西讚美詩的歌聲，漸漸低淡下去，而俄羅斯的讚美詩，勝利而高昂了。荷普金斯教授的光譜，情形亦復相同，鈹線淡下去了，而吸收光譜上的新線 (五八一六 A. U. 和五一三三 A. U.) 漸漸強起來。此外，X 射線光譜的譜線，和摩斯利法則預述者，也相和合。於是此最後一位稀土元素，即六一號鈹素，在週期表上，終得固定了位置 (10) (18) (21) (24)。(註 1)

(註 1) 居禮和泰可華林 (Takvorian) 私信六一號元素爲放射性物質 (70)。

荷普金斯 (B. Smith Hopkins) 於一八七三年九月一日，生於密喜干的翁華沙 (Owasso)。曾在阿爾俾翁 (Albion) 學院，哥倫比亞大學，及荷普金斯大學三處游學。卒業後在尼布拉斯卡·章斯雷夏大學 (Nebraska Wesleyan) 和威斯康星 (Wisconsin) 的卡羅爾 (Carroll) 學院擔任教務。自一九一二年後，即來伊利那大學任教授。門徒萬千，那種親熱的鼓勵，謙卑的態度，大家難



圖二七九 伊利那大學X射線儀

下部中心爲兩極整流管 (kenetron)。台上爲X-射線儀的真空室。金屬的X射線管在真空室前向觀測者凸出。圖中右手爲液體空氣濾器，用以阻汞入真空室。

以忘卻。對於其他稀土研究者的工作，時加公平的判斷。著書極多，其中有二種爲稀有元素的專書（12）。週期表上填補空位的美國人，他是第一位。普爾特武德教授所發現的鈾素，雖有一切放射元素的特性，但在化學上講，絕不能從鈾中分離，所以不作獨立元素論。

詹姆斯教授製取的稀土樣品，用X射線分光法檢驗時，曾經顯示鈾素的譜線，因此也推作本元素的獨立發現者。荷普金斯（41）和益德爾斯（H. A. Iddles）（52）對於他以往尋覓新鈹的種切研究，以及在稀土化學方面的其他貢獻，都有極公正而詳實的批判。

佛羅稜薩（Florence）皇家大學的路拉教授（Luigi Rolla）也是六一號元素的獨立發現人，他取名作 Florentium（13）、（14）、（17）。他的方法，又見不同，先從巴西獨居石（Brazilian Monazite）中分出鎳，製成硫酸鈳複鹽，然後分成各部分。阿塞缺（Arcetri）的勃倫諦小姐（Rita Brunetti）現任佛羅稜薩大學無機化學及物理化學研究所教授。她檢驗K系X射線吸收光譜後，得一結論，斷定其中有新元素一種。路拉教授的結果，於一九二四年六月寄出時，遺誤在林西理工學院的包裹中，到一九二六年十一月，始刊印出來（19）、（29）。這兩位意大利科學家的貢獻和

成就都屬上乘。



圖二八〇 路拉氏像

(Luigi Rolla)

佛羅稜薩 (Florence) 皇家大學
理學院教授

無機化學研究所所長。六一號元素獨立發現人。衆多關於恆星氣層中稀土及元素週期歷與游離電勢間關係等論文的著作者。

銓 (virginium 八七號元素)

八七號元素爲未知鹼金屬，八五號元素爲未知鹵素，對於這二號元素的種種性質，化學家幻想得很久了。許多有計劃的研究，不幸均歸失敗。因爲這二個未填補的空白，都在週期表的放射性

元素部分。而元素中原子序數在八三號以上，而為不活動同位素者，猶未發現。因此海佛西教授揣疑八五號和八七號元素，應有放射性質，或由釷、新釷 2、釷以及其他同位素（即八六號、八九號或八四號）蛻變而得。然根據索提、腓揚斯、夫勒克和羅素等法則，他又推想八七號元素，也許就是八九號元素的 α 射線物，或八六號元素的 β 射線物；而八五號元素從未知的八七號元素經 α 射線蛻變分化而成，或由釷素的同位素經 β 線蛻變而成（60）。

但格累姆（C. F. Graham）的意見又不然，他認為「放射蛻變系統，並不經過八七號元素；因此新元素比其他鹼族元素，要更富放射性能，此種希望，實絕無理由可言。」（61）

德盧斯和羅林在尋求九三號元素時，在八七號元素理論上 L_{α_1} 和 L_{α_2} 二譜線間，曾發現一條淺淡而明顯的 X 射線（63）。

阿拉巴馬（Alabama）工藝學院物理系阿立生（Fred Allison）博士，從一九二七到一九三〇年的四年間，已完成分析化學上的光磁法（magneto-optic method）。應用光磁法檢查時，化合物先製成透明的水溶液，置於極光（polarized light）的單色線路（monochromatic beam）上，同

時使受磁場的影響，從磁力發生的時刻起，到出現一個或數個最小光度止，其間有時間的遲延，長約一秒的一兆分之一，為各種化合物特性之一。阿立生博士對於這現象的解釋，認作法拉得效應（即磁場上光線通過而起的極面轉動（plane of polarization））出現時差示的遲延時間（a differential time lag）（48）（66）（68）。

溶液中就是有其他物質存在，也同樣有此種最小光度的特徵，物質和水的比例成1:1011的低濃度時，始見消失。從氫（1·008）到鉍（204·39）間化合當量不同各元素的氯化物、硝酸鹽、硫酸鹽和氫氧化物，加以檢查後，阿立生博士和麥非（Edger J. Murphy）得一結論，差示遲延時間為陽離子化合當量（chemical equivalent）的反函數。換言之，最小光度在暫時線路譜（arbitrary wire path scale）出現處，依各化合物中金屬元素的化合量而列次序（48）（71）。

一九二九年秋天，阿立生和麥非檢查各種含鋰、鑛石、鱗雲母（lepidolite）和含銻的銻鑛石（pollucite）鑛石，在譜上不斷發見最小光度（minima）和未知的鹼土金屬名新銻（eka cesium）

者，極爲應合。其氯化物、硝酸鹽、硫酸鹽和氫氧化物在相當處都生顯著的最小光度（17）。阿立生博士遂正式提議八七號元素，命名爲銓（virginium），用以紀念故國（49）。

一九三一年十月，康乃爾大學化學系教授白壁盧（Jacob Papish）和凡納（Engene Wainer），對於八七號新元素的存在，從分光器上也獲得證據。在搜索時，存心必和銻二素相似，主要光譜線必在赤外線地帶（27）、（35）。故新銻在低濃度時，難以窺見，又因至今尙未在驗電器（electroscope）上洩示，足見並不富有放射能質。根據這些假定，引導他們在一方殺買斯加脫鑛石（samarskite）中，搜尋這號至今遺迷失的元素。鑛石中富有銻素及其蛻變物，同時含有銻素和銻素。用此項原料製取的鋁礬，反覆再結晶後，最後得一分製品，顯示五種X射線的譜線，都是摩斯利法則早已料及的。此項射線都來自最難溶的一部分礬鹽，自屬意中（27）。

康乃爾大學方面的化學家，因爲不能覆證阿立生教授等所得的磁光現象，就疑心屬於八七號元素那些最小光度，或由某種複雜離子（complex ion）發出，如 SnCl_3^+ 和 ReCl_4^+ ，此二種複雜離子和預測的新銻，其化合物大約相同。阿拉巴馬的化學家對於此項批評，加以一番考慮而研究後，

立知用適當的化學治理後，陪隨錫素複離子和銻素複離子同來的各種最小光度，都能剷除；而八七號元素的各種特異最小光度毫無擾亂或其他影響（50）。（註一）

（註一）其中銻素二價的穩定離子，最無生成可能性。

此外阿立生博士的結論，佐基阿·挨摩利（Georgia, Emory）大學的麥期教授（J. L. Mc-Ghee）和羅凌士（Margaret Lowrenz）小姐也證明不誤（51）。

據科學情報所載消息，關於此新鹼金屬，在另一處有計劃的研究中，發生過極不幸的事件。黑爾星福斯工藝大學教授阿爾士發拉（Gustav A. Artovaara）（註一）因儀器爆炸，雙目受傷極重（65）。

（註一）阿爾士發拉教授最近發表，芬蘭長石中含八七號元素（67）。

鎊（alabamine 八五號元素）

因為八五號新鹼元素的位置，必居針氫兩素之間，所以阿立生博士和麥非博士得俾沙普教

授 (Edna R. Bishop) 和索美爾小姐 (Anna L. Sommer) 合作，在一百磅獨居石沙的放射性礦物中，搜尋新元素。一九三一年五月，宣稱已告發現，取名曰鋨 (alabamine)。他們把獨居石沙先用王水煮治，次用清水浸出數次，再用磁光儀檢查時，即有最小光度顯現，可知鋨素已在溶液中，成過鎳酸 HABO_4 。所含王水，加硫酸燻逐後，用二氧化硫還原溶液，即見最小光度和氫鎳酸互相應合。此外尙製備較濃的溶液，得鎳化鋰 2.5×10^{-6} 克 (16) (50)。

荷普金斯和羽格 (Gordon Hughes) 兩博士，最近研究磁光化學分析法，查知較弧光譜分析法，靈敏千倍之多。又因人目難以讀準最小光度，現正設法利用光電法替代，務使此新方法十分可靠爲止 (62)。阿立生博士已完成一種光電池線路 (photoelectric cell)，其靈敏足以替代人目，現正在繼續研究中，務使磁光器成爲一種極方便而可靠的實驗室儀器 (64) (68)。

自八五號和八七號二號元素，反覆證實後，週期表上所有的空缺，都算填滿了。要把這些閃避元素的化學和物理特性，詳細闡明，尙有待於細心研究。其他原子量大於鈾的元素，其存在的疑問，經種種試驗，已知絕不可能。但最近發見的中子 (neutron)，許多化學家，已當作原子序數爲零的

一種新元素。

結論

假使讀者諸君，讀過本書後，對於化學元素的發現者，已有一種緊密的認識，對於他們光榮的成就，已得一種深切的欣賞，則以上所寫的總算不是白費。在此作者須深謝台因博士(F. D. Davis)，他為本書搜尋適當的圖畫。還有瓶恩先生，大部分照片的翻印工作，都是他的成績。

參考材料

- (1) Lewis, E. H., "Ballad of Ryerson," J. Chem. Educ., 2, 610 (July, 1925). Poem in memory of Moseley.
- (2) Pogendorf, "Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften," 5 vols., Verlag Chemie, Leipzig, 1863-1926. Articles on Moseley and Coster.
- (3) Rutherford, F., "Moseley's Work on X-Rays," Nature, 116, 316-7 (Aug. 29, 1925).
- (4) Thorpe, T. E., "Zirconium and Titanium," *ibid.*, 111, 252-3 (Feb. 24, 1923).
- (5) Hopkins, B. S., "Building Blocks of the Universe," Sci. Am., 136, 87-9 (Feb., 1927).
- (6) Biographical sketch of Hevesy, J. Chem. Educ., 7, 2739-40 (Nov., 1930).

- (7) "Hafnium," *Sci. Mo.*, **25**, 285-8 (Sept., 1927).
- (8) "Two New Elements of the Manganese Group," *Nature*, **116**, 54-5 (July 11, 1925).
- (9) Tacke, "Zur Aufindung der Ekamangane." *Z. angew. Chem.*, **38**, 794 (Sept. 10, 1925); 1157-60 (Dec. 17, 1925).
- (10) Harris, Yntema, and Hopkins, "The Element of Atomic Number 61: Ilinium," *Nature*, **117**, 792-3 (June 5, 1926).
- (11) Brauner, "The New Element of Atomic Number 61: Ilinium," *ibid.*, **118**, 84-5 (July 17, 1926).
- (12) Marquis, "Who's Who in America," A. N. Marquis Co., Chicago, **16**, 1127 (1930-31). Article on Hopkins.
- (13) Rolla and Fernandes, "Ricerche sopra l'elemento a numero atomico 61. Nota I," *Gas. chim. ital.*, **56**, 435-6 (July, 1926); "Nota II," 688-94 (Sept., 1926); "Nota III," 862-4 (Nov., 1926).
- (14) Noyes, W. A., "Ilinium," *Nature*, **119**, 319 (Feb. 26, 1927); Rolla and Fernandes, "Florentinum. Antwort an W. A. Noyes," *Z. angew. Chem.*, **163**, 40-2 (June 28, 1927); *Gas. chim. ital.*, **57**, 290-2 (Apr., 1927).
- (15) Noddack, Tacke, and Berg, *Naturw.*, **13**, 567 (1925); I and W. Noddack, "Die Sauerstoffverbindungen des Rheniums," *Z. angew. Chem.*, **181**, 1-37 (Heft 1, 1929).
- (16) Allison, Murphy, Bishop, and Sommer, "Evidence of the Detection of Element 85 in Certain Substances," *Phys. Rev.*, **37**, 1178-80 (May, 1931).

- (17) Allison and Murphy, "Evidence of the Presence of Element 87 in Samples of Polynite and Lepidolite Ores," *ibid.*, **35**, 285 (Feb. 1, 1930).
- (18) Hopkins, B. S., "Thulium. The New Rare Earth," *J. Franklin Inst.*, **204**, 1-11 (July, 1927).
- (19) Rolla and Fernandes, "Über das Element der Atomnummer 61," *Z. anorg. Chem.*, **157**, 371-81 (Nov. 16, 1926); *ibid.*, **160**, 190-2 (Feb. 21, 1927); "Ricerche per la concentrazione e l'isolamento del florenzio," *Gaz. chim. ital.*, **57**, 704-13 (Sept., 1927).
- (20) Kiees, "Wave-length Measurements in the Arc Spectra of Neodymium and Samarium," *Ber. Standard's Sci. Papers*, **18**, 201-19 (May 31, 1922); "Wave-length Measurements in the Arc Spectra of Gadolinium and Dysprosium," *ibid.*, **18**, 695-706 (Mar. 12, 1923).
- (21) Harris and Hopkins, "Element 61. Isolation," *J. Am. Chem. Soc.*, **48**, 1585-94 (June, 1926); Harris, Yntema, and Hopkins, "Element 61. X-Ray Analysis," *ibid.*, **48**, 1594-8 (June, 1926).
- (22) Cork, James, and Fogg, "The Concentration and Identification of the Element of Atomic Number 61," *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **12**, 696-9 (Dec. 15, 1926).
- (23) Quill, "Thulium. Element Number 61," *J. Chem. Educ.*, **5**, 561-8 (May, 1928).
- (24) Harris, Hopkins, and Yntema, "Thulium," *Science*, **63**, 575-6 (June 4, 1928).
- (25) Yntema, "Observations on the Rare Earths XV. A Search for Element Sixty-one," *J. Am. Chem. Soc.*, **46**, 37-9 (Jan, 1924).
- (26) Mellor, "Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry," Vol. 7, Longmans, Green and Co., New York City, 1927, pp. 166-70 (article on Hf); Hevesy, "The Haf-

- nium Content of Some Historical Zirconium Preparations," *Nature*, **113**, 384-5 (Mar. 15, 1924).
- (27) Papish and Wainer, "Element 87 (preliminary paper)," *J. Am. Chem. Soc.*, **53**, 3518-20 (Oct., 1931).
- (28) Urbain and Dauvillier, "On the Element of Atomic Number 72," *Nature*, **111**, 218 (Feb. 17, 1923); Coster and Hevesy, "On the New Element of Atomic Number 72," **111**, 79 (Jan. 20, 1923); **182** (Feb. 10, 1923); **252** (Feb. 21, 1923).
- (29) Brunetti, "Ricerche röntgenografiche per l'identificazione dell'elemento a numero atomico 61 (Florenzio)," *Gaz. chim. ital.*, **57**, 335-49 (May, 1927).
- (30) Rutherford, E., "Henry Gwyn Jeffreys Moseley," *Nature*, **96**, 33-4 (Sept. 9, 1915).
- (31) Moseley, "The High Frequency Spectra of the Elements," *Phil. Mag.* [6], **26**, 1024-34 (Dec., 1913); **27**, 703-13 (Apr., 1914).
- (32) "Discussion on the Structure of Atoms and Molecules," *Brit. Assoc. Reports*, **84**, 293-301 (Aug. 18, 1914).
- (33) Urbain, "Les numéros atomiques du néo-ytterbium, du lutécium, et du celtium," *Compt. rend.*, **174**, 1349-51 (May 22, 1922).
- (34) Coster, "Hafnium, a New Element," *Chem. Weekblad*, **20**, 122-3 (1923).
- (35) Yagoda, "The Ultimate Lines of Element 87," *Phys. Rev.*, **40**, 1017-8 (June 15, 1932).
- (36) E. R., "H. G. J. Moseley, 1887-1915," *Proc. Roy. Soc. (London)*, **93A**, xxii-xxviii (1917).
- (37) Moseley and Darwin, O. G., "The Reflexion of the X-Rays," *Phil. Mag.* [6], **26**, 210-32 (July,

- 1913); *Sci News Letter*, **15**, 203-4 (Mar. 30, 1929).
- (38) Hevesy, "The Discovery and Properties of Hafnium," *Chem. Reviews*, **2**, 1-41 (Apr., 1925).
- (39) Noddack, W. and Noddack, I., "Über den Nachweis der Ekamangane," *Z. angew. Chem.*, **40**, 250-4 (Mar. 3, 1927).
- (40) Berg, "Über den röntgenspektroskopischen Nachweis der Ekamangane," *ibid.*, **40**, 254-6 (Mar. 3, 1927).
- (41) Hopkins, B. S., "The Scientific Work of Charles James," *The Nucleus*, **9**, 11-6 (1931); *J. Wash. Acad. Sci.*, **22**, 21-5 (Jan. 19, 1932).
- (42) "The Newer Metals of Group IV. A Classic of Science," *Sci. News Letter*, **21**, 166-8 (Mar. 12, 1932).
- (43) Meggers, "Rhenium," *Sci. Mo.*, **33**, 413-8 (Nov., 1931); "The Arc Spectrum of Rhenium," *Bur. Standards J. Research*, **6**, 1027-50 (June, 1931).
- (44) Dolejšek and Heyrovský, "The Occurrence of Dwi-manganese (At. No. 75) in Manganese Salts," *Nature*, **116**, 782-3 (Nov. 28, 1925); Heyrovský, *ibid.*, **117**, 16 (Jan. 2, 1926); *Science* (N. S.), **62**, Suppl. xiv (Nov. 20, 1925); "Researches with the Dropping Mercury Cathode," *Rec. trav. chim. Pays-Bas*, **44**, 488-502 (May, 1925); Dolejšek and Heyrovský, "Über das Vorkommen von Dwiangan in Manganverbindungen," *ibid.*, **46**, 248-55 (Apr., 1927).
- (45) Lankester, "Henry Gwyn Jeffreys Moseley," *Phil. Mag.*, **31**, 173-6 (Feb., 1916).
- (46) Sarton, "Moseley. The Numbering of the Elements," *Isis*, **9**, (13), 96-111 (1927).

- (47) Hevesy, "The Use of X-Rays for the Discovery of New Elements," *Chem. Reviews*, 3, 321-9 (Jan., 1927).
- (48) Allison and Murphy, "A Magneto-optic Method of Chemical Analysis," *J. Am. Chem. Soc.*, 52, 3796-808 (Oct., 1930).
- (49) Allison, Bishop, Sommer, and Christensen, "Further Research on Element 87," *ibid.*, 54, 619-5 (Feb., 1932).
- (50) Allison, Bishop, and Sommer, "Concentration, Acids, and Lithium Salts of Element 85," *ibid.*, 54, 616-20 (Feb., 1932).
- (51) McGhee and Lawrenz, "Tests for Element 87 (Virginium) by the Use of Allison's Magneto-optic Apparatus," *ibid.*, 54, 405-6 (Jan., 1932).
- (52) Iddles, "The Charles James Hall of Chemistry of the University of New Hampshire," *J. Chem. Educ.*, 7, 812-20 (April, 1930).
- (53) Van Arkel and de Boer, "Darstellung von reinem Titanium, Zirkonium, Hafnium, und Thoriummetall," *Z. anorg. Chem.*, 148, 345-50 (Oct. 29, 1925).
- (54) Anon., "The New Element Hafnium," *Chem. and Ind. (N. S.)*, 42, 67 (Jan. 26, 1923); Coster and Hevesy, *ibid.*, 258 (Mar. 16, 1923); Editorial, *ibid.*, 763-4 (Aug. 10, 1923); Urbain, "Should the Element of the Atomic Number 72 Be Called Célium or Hafnium?" *ibid.*, 764-9 (Aug. 10, 1923); Anon., *ibid.*, 784-8 (Aug. 17, 1923); Brauner, "Hafnium or Célium," *ibid.*, 884-5 (Sept. 14, 1923); Hevesy, "On the Chemistry of Hafnium," *ibid.*, 929-30 (Sept. 28,

- 1923); Darville, "On the High-Frequency Lines of Cesium," *ibid.*, 1182-3 (Dec. 7, 1923); Editorial, *ibid.*, 44, 619-20 (June 19, 1925).
- (55) Hevesy, "Recherches sur les Propriétés du Hafnium," *Kgl. Danske Videnskabs Selskab, Math.-fysiske Meddelelser*, 6, 3-149 (1925). In French.
- (56) Urbain, "Sur un nouvel élément qui accompagne le lutécium et le scandium dans les terres de la gadolinite: le celtium," *Compt. rend.*, 152, 141-3 (Jan. 16, 1911).
- (57) Bligh, "Newly Discovered Chemical Elements," Smithsonian Report for 1929, pp. 245-51; *Sci. Progress*, 20, 109-14 (July, 1926); *Scientia*, 43, 4 (Apr. 1, 1928).
- (58) Dolejšek, Druce, and Heyrovský, "The Occurrence of Dwi-manganese in Manganese Salts," *Nature*, 117, 159 (Jan. 30, 1926).
- (59) Druce, "Examination of Crude Manganese Compounds and the Isolation of the Element of Atomic Number 75," *Chem. News*, 131, 273-7 (Oct. 30, 1925); Loring and Druce, "Examination of Crude Dwi-manganese," *ibid.*, 337-8 (Nov. 27, 1925)
- (60) Hevesy, "On the Missing Element 87," *Kgl. Danske Videnskabs Selskab. Math.-fysiske Meddelelser*, 7, 1-11 (1926). In English.
- (61) Graham, "Element 87," *Science* (N. S.), 74, 665-6 (Dec. 25, 1931).
- (62) *Science Service*, "Magneto-optic Chemical Analysis," *ibid.* (N. S.), 75, Suppl. 8 (Apr. 8, 1932).
- (63) Loring and Druce, "Eka-caesium," *Chem. News*, 131, 289 (Nov. 6, 1925); "Eka-caesium and Eka-iodine," *ibid.*, 131, 305, 320 (Nov. 13 and Nov. 20, 1925).

- (64) Allison, "Magneto-optic Method of Analysis as a New Research Tool," *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, **4**, 9-12 (Jan. 15, 1932).
- (65) *Science Service*, "Professor Aartovarsa and Element 87," *Science* (N. S.), **74**, Suppl. 10-2 (Nov. 27, 1931); Buchanan, "Element 87 Costs Scientist His Sight," *Sci. Am.*, **146**, 117-8 (Feb., 1932).
- (66) Allison and Condon, "An Experiment in Support of the Hypothesis of a Time Lag in the Faraday Effect," *Phys. Rev.*, **40**, 1021-2 (June 15, 1932).
- (67) Aartovarsa, "The Occurrence of Rare Elements in Finland," *Tek. Fören. i Finland Förh.*, **52**, 157-61 (1932); *Chem. Abstr.*, **26**, 5460 (Nov. 10, 1932).
- (68) Allison, "The Magneto-optic Method of Analysis," *J. Chem. Educ.*, **10**, 71-8 (Feb., 1933).
- (69) Hurd, L. G., "The Discovery of Rhenium," *ibid.*, **10**, 605-8 (Oct., 1933); Druce, J. G. F., *ibid.*, **11**, 59 (Jan., 1934).
- (70) Curie, Maurice and Takvorian, S., "Radiactivité d'un [fractionnement néodyme-samarium. *Résumé* 61," *Compt. rend.*, **196**, 923-5 (Mar. 27, 1933).
- (71) Genneté, P. R., "Sur l'existence de l'élément 87," *Euhl. soc. chim.*, **53**, 140-4 (Feb., 1933).
Critical review.

