

萬 有 文 庫

第 二 集 七 百 種

王 雲 五 主 編

化 學 元 素 發 見 史

(四)

韋 克 斯 著

黃 素 封 人 駁 譯

商 務 印 書 館 發 行



化學元素發見史

(四)

韋 克 斯 著

黃 素 封 俞 人 版 譯

自然科學小叢書

第十三章 利用鉀鈉分出的另四種元素——鉍硼矽和鋁

阿羽伊長老 (Abbé Haüy) 考察綠玉石 (beryl) 與綠柱石 (emerald) 二物，發覺其極度相似，幾至不可分辨，結果遂將鉍元素 (beryllium) 發現。法國分析化學家富古令氏根據阿長老的建議，將這兩種礦物做了一番仔細的化學分析的研究，於是在一七九八年發現這兩種礦物確實是同樣的物質，而且其中還含一種新的土類金屬，他命名為『甜土』 (glucina)，現今稱做鉍土 (beryllia) (即今日之氧化鉍)。三十年後德國化學家弗勒 (Wöhler) 和法國化學家彪西 (Bussy) 二氏，各自獨立將這種金屬分出。元素硼 (boron) 的分出，是一八〇八年法國該·律薩克 (Gay-Lussac) 氏和泰那爾 (Thenard) 氏以及英國德維 (Davy) 氏三人用鉀還原硼酸所得的粉末狀的矽，雖然在一八二三年就由柏齊力阿斯 (Berzelius) 氏所製出，但是結晶形的矽元素，乃是三十餘年後纔由得維爾 (Henri Sainte-Claire Deville) 氏用

電解法製出。鋁是丹麥的物理學家厄斯泰德 (Oersted) 氏在一八二五年最初分出的；兩年之後弗勒氏又用一種較好的方法製出來。至於這種金屬能在商業上成爲大宗的商品，就應當歸功於得維爾、豪爾 (Charles Martin Hall) 以及赫羅爾德博士 (Paul L. T. Héroult) 幾人的苦心了。

「可是新現象既經說明，我的擔心和憂愁就消失了；而且每逢找出一種重要的新研究材料時，實在使研究的人欣喜得心花怒放。」(1)

鉍

論到鉍的發現，孚克拉 (Fourcroy) 氏有一次說過：「我們所以能够發現鉍，就要把大部分的功勞歸於幾何學；因爲有了幾何學，我們對於鉍纔有初期的觀念。我們也可以說假使沒有幾何學，恐怕再經過若干年代，也不能發現這種金屬的。因爲當時如果沒有阿羽伊長老發現出兩種鐵



圖一二六 阿羽伊長老像

(René-Just Haüy 1743-1822)

阿羽伊爲法國礦物學家，曾推演而得結晶學的定理，並依結晶體皆由相似的平行六面體所構成之事實，而解釋岩石的劈裂性 (cleavage)。又爲承認綠玉石 (beryl) 和綠柱石 (emerald) 在幾何學上完全相當的第一人。富古令 (Vauquelin) 根據阿羽伊長老的建議，作以上兩種礦物的化學研究，因而發現新元素鉍。

石的幾何形狀的完全相同，而僅有克拉普羅茲 (M. Klaproth) 氏對於綠柱石的分析結果，以及平特海莫 (M. Bintheim) 氏對於綠玉石的分析結果，恐怕仍舊不能引起當時學者認爲這種工作是不可能的 (5)。

克拉普羅茲 氏分析祕魯出產的綠玉石，曾發表其中含有之成分如下表：

砂土 (silica, "silex")

66.25%

鋁土(Alumina, "alumine 或 argil") 31.25%

氧化鐵(iron oxide) 0.50%

關於實驗上所浪費的材料，他說道：「這次分析工作上所用的綠寶石，完全是加利特斯皇子 (Dimitri Gallitzin) 所贈給我的，他對於研究礦物的熱忱，極值得欽仰。」(22)

綠玉石也曾被柏格曼 (Bergman)、阿哈特 (Acharde)、平特海莫 (Bindheim) 和富古令 (Vauquelin) 等氏分析過，他們都以為是一種矽酸基的鋁鈣化合物(23)。其實這種鑽石與綠柱石的完全相同點，卻沒有人注意到。直到法國著名礦物學家阿羽伊長老，纔將牠們的結晶體，以及物理性質，加以詳細的研究，而證實其完全相同；同時並請富古令氏從事化學的分析。

富古令氏雖然在先即因為牠的性質與氧化鋁十分相似，沒有將這種新金屬察出；可是在一七九八年他發現綠玉石的酸溶液，加上苛性鉀溶液之後，所沈澱的氫氧化化合物，不能溶於過剩的鹼液中。其他方面，也與氧化鋁不相同；如不能結成礬塊，而可溶於碳酸銨中，牠的鹽類具有甜味等。富古令的論文，在法國革命日曆開始後的第六年五月二十六日，即一七九八年二月中旬，在法

國科學院(French Academy)宣讀(6)(23)其主旨則在證實綠玉石和綠柱石含有同樣的成分，而且這兩項鑽石都含有矽、氧化鋁及一種新金屬。他曾將這種新金屬的標本送一分給法國科學院保存。又經法國理化年報(*Annales de Chimie et de Physique*)主筆的建議，他將這新金屬名為 *glucina*，這字本有甜的意思(漢名特譯為「甜土」)。富古令分析時所用的綠玉石是市民巴靈(*Citizen Patrin*)氏所供給的。巴靈氏對於促進科學發展的熱忱，是科學界任何人都熟悉的。(23)

富古令氏認為柏格曼氏對於綠玉石的化學性質所下的錯誤結論，是由於他不肯「將整個活動的心靈，應用到實驗上細微末節的小地方。」譬如柏格曼和平特海莫二人，都是一樣，常將實驗交給他們年青的徒弟們去做，——他們雖然看見了有新物質發生，但是不能辨別出來是甚麼。按平特海莫氏的分析結果，他說綠玉石含有矽土六四%、鋁土二七%、石灰八%和鐵二%(總計一〇一%)(23)。

在富古令氏發現銘與氧化鉍之後，他曾分析過一塊祕魯出產的綠柱石，其結果與他從前所

分析的以及克拉普羅茲 (Klaproth) 氏所分析的，迥然不同；茲將他這一次分析結果抄下：

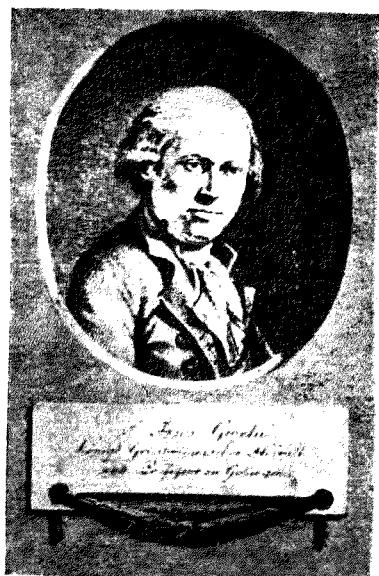
砂土	六四・六〇
鋁土	一四・〇〇
鉍土	一三・〇〇
石灰	二・五六
氧化鉻	三・五〇
水及其他揮發性物質	二・〇〇
合計	九九・六六

不久格美楞 (J. J. Gmelin) 氏分析一塊由西伯利亞出產的綠玉石，證實富古令的分析在該物的重要成分，大致不錯；只是格美楞 氏未曾分出石灰，他僅分出砂土、鋁土、鉍土和少量的氧化鐵 (26)。

因為鈳土 (yttria) 和『甜土』都能組成具有甜味的鹽類，所以克拉普羅茲 氏特意叫後者

爲鉍土 (earth beryllia)，我們至今仍舊用這名字。現在我們知道綠玉石和綠柱石同是矽酸鋁 $[\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6]$ 。

金屬鉍最初是由弗勒 (Wöhler) 和彪西 (Bussy) 在一八二八年八月用鉀和氯化鉍相作用，而各自獨立發現出來的 (7) (8)。弗勒氏把一層一層的氯化鉍和板狀的金屬鉀，互相重疊放在鉑坩堝中，緊緊蓋住，然後用酒精燈加熱而得。當作用時，隨即發生猛烈的反應，以致鉑坩堝燒



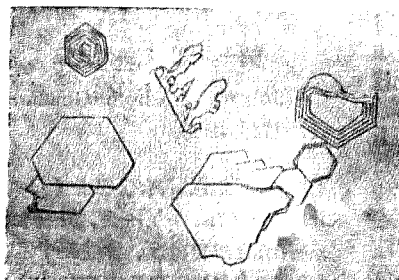
圖一二七 精美楞氏像

(Johann Friedrich Gmelin
1748-1804)

著名化學史作家，著有化學史 (Geschichte der Chemie) 一書，於一七九七至一七九九年間刊行。曾任丟平根和華丁根兩處大學的化學教授，爲 Leopold Gmelin 之父。

至白熱；及完全冷卻之後，把坩堝打開，投進大量的水中，於是灰黑色的鉍粉，即分離而出。弗勒氏將這種不能溶解的物質洗出，發現是一些金屬微粒；及經磨擦之後，即呈黑色的金屬光澤，可是他並沒有設法把鉍鎔化（8）。

最先用電解法製造純粹鉍的，是法國化學家勒菩（P. Lebeau）氏（27）、（29）。他先把氯化鉀或氟化鈉加入純粹的氟化鉍中，使成導電體；將這種混合物放在鎳製坩堝中，用本生燈加熱鎔化後，乃取八十弗二十安培的蓄電池一隻，將其陽極連於混合物上，陰極連於鎳坩堝上。如是不到一小時，則有鉍的結晶體，附在鎳坩堝。然後取出結晶體，逐次用水及純乙醇洗過，再置於真空乾燥器中乾燥之，遂獲得含有九九·五%至九九·八%的金屬鉍。這次研究的結果，就是他在一八九八年六月所做的博士學位論文的材料。



圖一二八 純鉍之六角形結晶

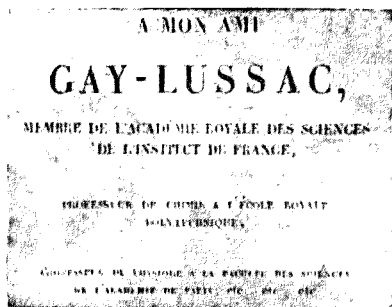
〔原物最初由法國化學家勒菩（P. Lebeau）氏所提取而得。〕

因爲鈹和鋁的各種合金，都質輕而堅強，又不容易受外物侵蝕，所以爲飛機製造的必需品。又因自然界的鈹鋁兩種礦物分佈很多，所以當需要增加的時候，牠們的價格是有減少的希望的。

(24)

硼

硼酸的化學組成若何，直至十九世紀的初年，還是一個啞謎。法國化學大師拉瓦錫 (Lavoisier) 氏相信其中含有氧，並且在他的元素表中，也將硼酸基排列進去 (註一) (20)。一八〇八年法國的該·律薩克和泰那爾二氏，及英國的得維氏，最先證明硼酸的成分。他們證明的方法，都是用鉀來還原，由是而獲得一種新元素。這種元素，法國化學家



圖一二九 泰那爾氏著作之「呈獻頁」

泰那爾 (Thenard) 氏所著作之化學專書 (Traité de Chimie), 共五冊，在內封面上，印有「獻給友人該·律薩克氏」字樣，此其書影。

名之爲 bore，而得維爾士卻叫牠做 boracium。

(註一)見本書第十章第一節中所開之元素表。

該·律薩克名約瑟夫·路易 (Joseph Louis Gay-Lussac) 一七七八年十二月六日生於法國利摩日 (Limoges) 附近的聖·雷俄那特 (St. Leonard) 地方，他的年齡只比得維爾士長十一天。他在聖·雷俄那特受過初等教育之後，即到巴黎進學，十九歲入多藝專門學校讀書；在此



圖一三〇 該·律薩克像

(Joseph Louis Gay-Lussac 1778-1850)

法國多藝專門學校和植物園 (Jardin des Plantes) 的化學教授。與泰那爾氏共同不借電池的助力，而製取鉀，又曾分離硼元素。一八〇九年該氏發現氣體化合的容積定律。

不久，就認識了泰那爾，後來他們兩人成爲終生良友和工作的侶伴。



圖一三一 泰那爾氏像

(Louis Jacques Thénard 1777-1857)

法國多藝專門學校化學教授，爲二氧化二氮的發現人，曾與該·律薩克氏共同研究鉀、硼、碘和氮。泰氏又研究過多種脂肪酸、酯類及醚類。

再後不久，他在工業專門學校 (École des Ponts et Chaussées) 中又認識了柏托雷 (Berthollet) 氏。柏氏曾經對他說：『年輕的朋友，你的命運是要使你有一些發明的。』(3) 他和柏托雷氏的兒子在阿爾庫爾 (Arcueil) 一家用氯漂棉布的工廠裏，做過一個時期的工作。一八〇

二年新年的那一天，該·律薩克就任多藝專門學校的助教，他從此常代孚克拉（Fourcroy）氏去講授化學。

兩年之後，他和俾奧（Biot）氏曾冒險坐汽球上昇天空中，研究磁針的動作，以及高空中空氣的組成。有一次他們昇至七千零一十六米尺的高處，但是還想再向上昇，該·薩律克便將許多小物件丟出去，借以減輕汽球的重量。這時有一位收羊女立在田間，她忽然看見天空中掉下來一把白色的木椅子，覺得十分驚奇；農夫們聽見她的報告之後，也不能說出所以然來；不過他們認為如果那把椅子真是由天上直接降下來的，那嗎這椅子的工程，決不會是如此粗笨罷。

再後該·律薩克和著名地學家洪保德（Von Humboldt）氏遊歷並研究意大利各處，事後回到多藝專門學校，便和泰那爾（Louis Jacques Thenard）氏開始做長期的研究工作。泰那爾是一位木匠的兒子，一七七七年五月四日生於諾戎·蘇·桑（Nogent-sur-Seine）附近的盧提亞村（La Loupière）。他幼年在家鄉受當地牧師的教育，以後就跑到巴黎學化學。在巴黎勤勉地學習三年，纔得着富古令和孚克拉兩位先生的青眼相待。在富古令的幼年困難中，孚克拉曾幫



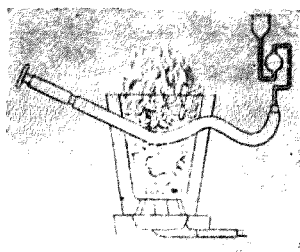
圖一三二 該·律薩克和傅奧二氏乘汽球上升

(採自 Appleton 著 *Beginners' Hand Book of Chemistry*)

助過他很多。今番富古令也同樣的幫助泰那爾 (Thenard)，使他在巴黎寄宿學校 (Parisian Pension) 裏得一個教員的位置。一七九八年該·律薩克和泰那爾二人，在多藝專門學校裏晤面，不久他兩人都在那裏做了教授。

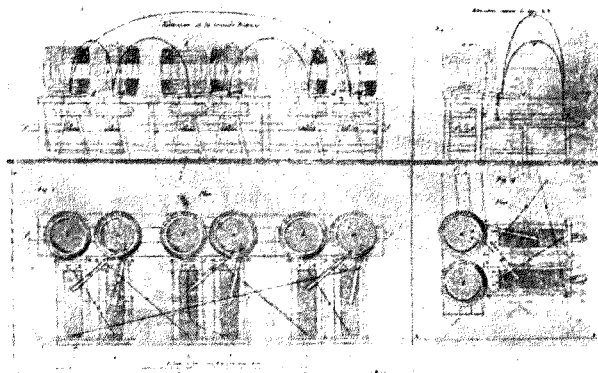
當德維氏分離鹼性金屬的消息，在一八〇八年傳到巴黎之後，拿破崙便供給該·律薩克和泰那爾二氏一具電力很強的電池 (voltaic pile)。這電池還沒有裝好之前，他們表示這些金屬可以不用電池，只將金屬鐵在高溫度時還原苛性鹼，即可取得。這種新方法，英國得維氏也覺得他自己的方法為好，不久就採用了。法國化學家用這種方法所取得的鉀，不久也就利用作分解硼酸的材料。

一八〇八年六月二十一日多藝專門學校宣讀該·律薩克和泰那爾二氏寫來的一篇實驗摘要。他們說到用鉀處理硼酸所得到的結果，祇可認為酸中含有可燃物質和氧兩種東西 (21)。正當宣讀這篇東西的時候，該·律薩克因為實驗時發生爆炸，幾乎把眼睛炸壞了，病得很厲害



圖一三三 取鉀設備

上圖為該·律薩克和泰那爾二氏用鐵還原木灰(potash)而取鉀的儀器。



圖一三四 拿破崙賜給多藝專門學校的大電池。

RECHERCHES PHYSICO-CHIMIQUES.

PREMIÈRE PARTIE.

RECHERCHES SUR LA PILE.

1. **N**OTRE premier soin dans ces recherches, a dû être de nous occuper de la construction de la grande batterie que l'Ecole polytechnique doit à la munificence de S. M. I. et R. Cette batterie dont nous allons donner la description, est composée de six cents paires carrées. Chaque paire formée de l'assemblage de deux plaques, l'une de cuivre, du poids d'un kilogramme, et l'autre de zinc, du poids de trois kilogrammes, a trois décimètres de côté: la surface d'une plaque est par conséquent de neuf décimètres car-

圖一三五 該泰二氏書影

該·律薩克和泰那爾二氏合著物理化學之研究 (*Recherches Physico-Chimiques*) 一書,在第一頁上有致謝拿破崙賜給多藝專門學校大電池的辭句,詳見以上書影。

在學術界還沒有完全承認該·律薩克和泰那爾二氏的證明以前,他們不僅想分析硼酸,還想把硼酸再配合起來。在同年十一月三十日,他們在理化年報 (*Ann. de Chi. et de Phys.*) 上發表說:「硼酸的組成若何,已不成問題:實則我們已經能夠將硼酸隨分析 and 隨意配合了。」他們

所用的方法如下——

「分解硼酸時，先將等量的金屬鉀和純淨透明的硼酸，放在一隻紫銅管中，管上連着一支曲玻璃管。將銅管置於小火爐中，玻璃管之一端置於盛水銀的燒瓶裏。及一切儀器佈置妥當後，即徐徐加熱，使銅管全部熱至微紅；如是數分鐘，手續即畢；待冷卻後取出其中物質即得。」

該·律薩克和泰那爾曾詳述過實驗的經過。茲錄於下——

「當熱度高至一百五十度時，如果是用玻璃管做實驗的，那些混合物就立時驚人地灼熱起來，十分厲害。因為所發生的熱度太高，所以玻璃管就少許熔了，甚至破裂了；而且管內空氣差不多沒有一次不是向外着力噴出的。從實驗的開始到實驗的末了，只有空氣和氫氣泡放出——這兩種氣體放出量，還不及同量的鹼金屬與水起作用時所放出的五十分之一。在分解一部分的硼酸時，金屬鉀即已用盡；而此兩種物質在互起反應時，遂變為一種橄欖灰色的物質，即鉀、硼酸鉀及硼酸根等的混合體。置該物於試管中，加水少許，徐徐熱之，然後以冷水或熱水洗滌，其不能溶解的一部分即硼酸根……」

將新取得的硼酸根放在氧氣中去燒，或者最好用氯酸鉀、硝酸鉀或酸硝來氧化。該·律薩克和泰那爾二氏曾製出人造的硼酸，並將製成品送給多藝專門學校。他們得了這種實驗的結果，即斷定說：『這種我們現在提議命名為 bore 的物體，具有一定特性，可以放在碳、磷或硫的旁邊而不起變化；並且我們以為要是把牠變成硼酸，那是需要多量的氧氣，但在還未變成硼酸以前，須經過氧化硼的變化的。』（21）（38）。

次年該·律薩克又對化學界有更大的貢獻，乃是化學上著名的氣體化合定律。他後來就在多藝專門學校及植物園 (Jardin des Plantes) 兩處教授化學。及一八一一年庫爾特瓦 (Courtois) 氏發現碘之後，該·律薩克和泰那爾曾將碘的性質仔細研究一番，並將結果作成報告書，至今依然為化學界所珍視。該氏於一八五〇年五月九日在巴黎逝世（3）。英國學術大家得維 (DAVY) 氏曾說道：『該·律薩克為人靈敏、活潑、慷慨、謙虛，具有智巧的心思，和熟練的手腕，我們應當推崇他為當代法國最偉大的化學家。』（4）

泰那爾除和該·律薩克合作了很多無機物的研究，此外他對於有機化學也有很重要的貢

獻，泰那爾比該氏多活七年，當一八五七年六月二十四日他八十歲的時候，纔與世長辭。他同村的人爲尊敬他起見，將村名改爲泰那爾·盧提亞村 (La Loupiere-Thenard) (30)。

得維分離硼元素的方法和法國化學家所用的方法極其相似；他在專心研究鹼類時，將電流通過硼酸，曾發現在陰極上積有一種色暗而且可燃燒的物質，但是當時他並沒有仔細去研究牠。(36)。次年他把硼酸和鉀的混合物，放在一隻銅管裏，用火燒熱至紅熾，停留十五分鐘；等他去觀察其中所含的物質時，則鉀已不復存在，全部都變爲灰色的粉末。加水或酸於粉末中，亦不發生沸騰現象。得維氏發現金屬硼的論文，是一八〇八年六月三十日在英國皇家學會宣讀的。(28)。

砂

得維爵士雖然相信砂土不是一種元素，但是他也不能用強電流的電池去分解牠；並且他曾用鉀蒸氣通過紅熱的砂土去分離砂元素，也沒得成功。該·律薩克和泰那爾二氏看出四氟化砂

和鉀共同燒熱時，有強烈的反應發生；且由此可獲得一種紅褐色的可燃的固體。這或許是一種極不純淨的無定形的矽（39）。

柏齊力阿斯（*Berzelius*）氏將矽鐵和碳的混合物，燒至極高的熱度，曾獲得鐵化矽。加鹽酸於鐵化矽中以分解之，則有矽土的沈澱發生；此時所生的氫氣，較專用鐵所分出的為多，足以證明其中必另含有別種金屬在內（9）。

最後至一八二三年柏齊力阿斯終於察出這種類似金屬的物質，是由矽土中得來的；且曾用兩種不同的方法，取得牠的不定形物。第一法是在四氟化矽的氣體中將鉀燒熱，與該·律薩克和泰那爾二氏前曾做過的實驗一樣，結果獲得一種褐色物質。投此物於水中，即放出氫氣，而有矽元素產生。此物為深褐色粉末，不能溶解，其中混有難溶解之氟矽酸鉀，故沈澱於水底。這種褐色粉末，以前雖先後由得維氏、泰那爾氏和該·律薩克氏諸人製得，但僅柏齊力阿斯氏一人由其耐心和長時間的洗滌，將雜質氟矽酸鹽洗去而取得純體（9）、（32）。

在第二法中，柏氏將氟矽酸鉀與過剩之鉀共熱，結果矽化鉀易被水分解，遂有不定形之矽而

沈於水底。

柏齊力阿斯氏在一八二四年八月所發表的論文中，關於分解矽土的經過，曾曰：（32）

「沒有一件東西比製取矽元素更容易；我所採用的方法如下：先將鉀或鈉與矽的複氟化物，熱至紅熾，使其中水氣（*hydrometric water*）逸出，然後置於玻璃試管中，緊閉其一端。再將鉀的碎片加入該管，熔解之，敲擊之，使之與管內粉末混合均勻。再後用酒精燈加熱；及將達紅熾時，每有輕微爆炸聲發生，此乃矽元素還原的明證。等到管中物質冷卻之後，傾入水中，將能溶解之物完全溶解，這時起初放出氫氣而有 *silicuret of potassium* 產生。

「洗出的物質即 *hydruret of silicon* 及燒至紅熾時，投入氧氣中，即能猛烈燃燒，惟不能完全起氧化作用。然後盛於有蓋的鉑製坩堝中，用火徐徐熱至紅熾。此時氫氣即獨受氧化，而矽則不能再在氧氣中燃燒，但矽卻最易受氫氣所侵蝕。所製得之微量矽土（氧化矽），可用氟酸溶解之。若矽未曾經高熱的火候，氟酸即能將其溶解而徐徐放出氫氣。據我的合成實驗的結果，則氧化矽中含氧之重量，為全重之五二%；鋳也能用同樣的方法製取。」（32）

柏齊力阿斯氏由前法所製得的矽，質地不純潔而且是無定形的。

最先製得結晶矽的是得維爾·亨利 (Henri Sainte-Claire Deville) 氏，時當一八五四年 (9) (31)。在他研究鋁的過程中，他用強度的電池分解不純淨的氯化鋁鈉，結果獲得一種色灰性脆的粒狀物質，熔後即得一種有鑲質光澤之片狀物體。

得維爾氏解釋他的結果，說這種合金帶有一種真正溶液的性質，好像一種金屬溶解在另一種金屬中似的。他說：『譬如碳、硼和矽能溶解於鐵及鋁等類金屬中，冷卻之後又能分開，並且若加入反應劑使將碳、硼和矽的結晶體分出。這就是製取像金剛石一般硬的硼和矽兩種類似金屬物質時，所運用的原理。』這種結晶體的矽，雖然具有金屬的光澤，但是他相信這種元素不是真正的金屬。他又說：『反過來說，我相信這種新的矽和普通矽的關係，正和石墨與碳的關係一樣。』(33)、(34)、(35)。

鉛在地面蘊藏最多，而且用途最廣的金屬，不過被人發現很遲。司泰爾（Georg Ernst Stahl）氏最初察得明礬內含有一種與普通金屬（Base）迥然不同的物質，但未細加研究，直至他的學生馬格拉夫（Andreas Sigismund Marggraf）氏纔將牠證明。馬格拉夫氏於一七〇九年三月三日生於柏林，先後在他的父親和紐盟先生（Casper Neumann）兩人手下學習化學和藥學，繼入德國哈勒大學（Halle University）習醫，後來又在夫賴堡（Freiberg）著名鑛務監督韓克爾（J. Fr. Henckel）氏那裏做化學及冶金的研究。馬氏致力於科學的研究，前後垂五十年，爲分析化學的鼻祖。綜馬格拉夫氏一生的貢獻，其主要者，第一是證實蘇打（soda）和木灰（potash）的差異；第二是異極鑛（calamine）中含有一種特殊的金屬鋅；第三是鋁土、鎂土和石灰是三種各不相同的土質（earth）；第四，他可說是歷史上第一個製得磷的人。一七八二年八月七日馬氏在家鄉逝世，時年七十有三。德國化學雜誌主編克累爾（Crell）氏尊他爲當代德國最卓越的化學家，同時他一定也是一位良師，因爲化學界名人如阿哈特（Franz Karl Achard）和克拉普羅茲（Martin Heinrich Klaproth）等都是他的學生（10）（40）。

柏齊力阿斯和得維兩氏用強電流分解鋁土的工作，未得成功。一般化學史家，雖是推崇弗勒（Wöhler）氏為最先分離鋁的化學家，可是厄斯泰德（Oersted）氏的功勞卻也不應輕易埋沒啊（11）（42）。

厄斯泰德氏名漢斯·克利斯興（Hans Christian Oersted），一七七七年生於丹麥南部的



圖一三六 厄斯泰德氏像

(Hans Christian Oersted 1777-1851)

厄氏為丹麥之理化學家，醫師兼藥劑師，曾發現電流之磁的作用，又為分析金屬鋁之第一人。

蘭該蘭德島 (Langeland) 上，正值拉瓦錫 (Lavoisier) 氏推翻燃燒素學說的年頭。他的父親是一位很不得志的藥劑師，沒有多餘的錢來做兒女們的教育費，因此漢斯便獨自一人從一本舊教科書裏學習算術，有時在私人教師家裏學一點功課。年十二，在父親的藥房裏做助手，便由此引起了他研究化學的興趣。他因為很想進哥本哈根大學 (University of Copenhagen) 讀書，所以勤勉自修，年十七歲即獲得該校的入學證書。他在哥本哈根大學攻讀科學、哲學和醫學等科，年二十二獲得醫學博士頭銜 (41)。

此後厄氏主講化學和玄學，兼營藥房事宜。及意大利物理學家弗爾塔 (Volta) 一七四五至一八二七年) 的發明發表之後，厄氏隨即對物理學及電學發生了興趣。當他參觀德國各大學時，凡他所遇着的科學家，無不稱贊他年輕有為，求知熱烈，腦筋活潑，有赤子一般的氣度。一八〇六年就任哥本哈根大學的物理學教授。電流的磁性，和電與磁的關係，乃是厄斯泰德不朽的發現。

一八二五年厄斯泰德氏研究電流的化學作用，並且致意要把向來推測鋁土中所含的金屬分出來。起初他把氯氣通過燒紅的木炭和鋁土的混合物上，曾獲得氯化鋁的液體。後來讓鉀汞齊

和鋁土互起作用，就等着鋁汞齊；以後將鋁汞齊中之汞在不通空氣處提出，最末取得一種形狀如錫的金屬（11）。

厄斯泰德氏曾將他的方法敘述如次：

「氣和泥土中可燃燒的物質（氯化鋁），在水的沸點稍高時（按即攝氏百度以上）即能氣化，其色微黃，這或許是因為帶有雜質碳的原故；其質柔軟，但仍為結晶體，極易吸水，且能立即溶於水中而放熱。與鉀汞齊同置一處，加熱至紅時即起分解，而產生氯化鉀及鋁汞齊。這種鋁汞齊若與空氣接觸，即行分解。故使之隔絕空氣，將其中之汞提出，即得光澤顏色與錫相似的金屬。作者除此之外，又在汞齊與鋁中，發現仍有其他特殊的性質，所以我的試驗不能說是圓滿如意，但此次實驗結果之重要，是不容否認的。」（42）、（43）。

厄斯泰德所得的一定是不純潔的金屬鋁，但後來弗勒氏重做這個試驗時，他發現鉀汞齊與氯化鋁發生作用之後，加熱至完全氣化，使鉀成綠色蒸氣散出，則有灰色鎔質存在。最近邁爾

（Kirstine Mæver）氏研究厄氏所未曾發表的論文，又福煦（I. Fogh）氏重做厄氏當日的試驗，

結果都證明這位丹麥的物理大家，只要用含一·五%鉀的稀汞齊，去和過剩氯化鋁起作用，即可以取得金屬鋁（42）（44）（45）。

因為厄斯泰德氏的試驗結果，登在一種不著名的丹麥刊物上，以致科學界無人注意。可是他對於電磁石（electromagnetism）的發現，卻獲得了他所應得的獎金、榮譽和勢力。厄氏享年七十四歲，一八五一年逝世（41）。

弗勒（Friedrich Wöhler）氏為德國最多才多藝的化學家之一，於一八〇〇年七月三十一日生於美因河邊之法蘭克福（Frankfort-on-the-Main）附近的埃射海莫（Eschersheim）。他的父親是一位喜歡研究自然和愛好做試驗的長者；他也很希望自己的孩子能在這樣的嗜好和性格中發展。弗勒年十四歲入法蘭克福（Frankfurt）高等學校肄業，成績平平。這時因為他一心一意地收集礦物標本和從事化學試驗，所以每天教師指定的功課，常常擱置不做；可是他由於這種癖性卻認識了幾位著名的礦物收集家，哥德（Johann Wolfgang von Goethe）乃是其中的一位（13）。

弗勒對於新發現的

元素，興趣特濃。及柏齊力

阿斯 (Berzelius) 氏在

瑞典硫酸中發現矽質之

後，弗勒隨即在波希米

(Bohemia) 所產的硫酸

中也發現同樣的物質。斯

特羅邁厄教授 (Stromeyer) 剛發現了鎘，年輕的弗勒便從鋅中製出該物送與斯特羅邁厄氏看

。可是弗勒氏的最大願望，是想製取新元素鉀，但是他的電池是用俄國銅幣和鋅片互相交置產

生的，只因電力太小，不足這種試驗之用，所以他纔發明一種純粹化學的方法以取鉀——這方法

與該·律薩克和泰那爾二氏所用的大同小異，乃將木灰與木炭同置石墨的坩堝中，熱至紅熾，而

取鉀質。在實驗時，弗勒的「西斯特」(sister) 因為擔任打風爐的工作，所以她一看見有光亮的



圖一三七 弗勒氏像

(Friedrich Wöhler 1800-82)

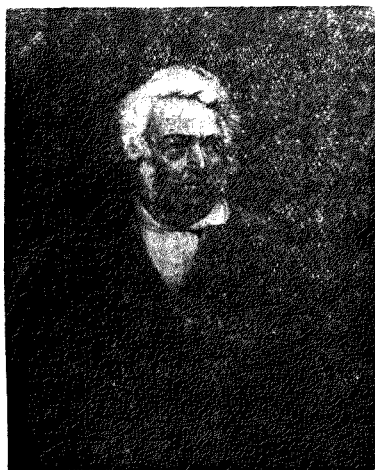
弗勒氏為德國大化學家之一，曾受業於格美楞 (Leopold Gmelin) 及柏齊力阿斯 (Berzelius) 二氏門下。弗氏為合成脲素 (urea) 的第一人，又曾用鉀作用於鋁、鉍及鈦的氯化物，而析得鋁、鉍和鈦等金屬。

鉀球發生，也和她的哥哥一樣的喜悅（13）。

這位年輕的弗勒還有別種興趣。他曾得過數學獎金，作過油畫和彫刻，在羅馬廢墟中收集過金幣和其他小物件，並且還愛朗吟德國著名的詩歌。年十九歲即入馬爾堡大學（Marburg Uni.）開始學醫，但次年因為想在格美楞（Leopold Gmelin）氏手下做研究，遂又轉入海得爾堡大學（Heidelberg Uni.）他專心

學醫，並且想做一個專長於產科的醫師。一八二三年九月二日，弗勒氏獲得內科、外科和產科的博士學位，並得榮譽（*in signicum laude*）（13）。

在弗勒氏研究醫學的整個時期中，他依然繼續化學的



圖一三八 格美楞·利俄波爾德氏像
(Leopold Gmelin 1788-1853)

利俄波爾德為 Johan Friedrich Gmelin 之子，任海得爾堡大學化學及醫學教授，與克勞特（Karl Kraut）氏合著無機化學手冊（*Handbuch der anorganischen Chemie*），又曾發現鐵氰化鉀。

實驗工作；及格美楞教授 (Gmelin) 發現他的化學天才，便勸他放棄醫學而專習化學。這時他就上書請求柏齊力阿斯教授，允許他加入斯德哥爾摩 (Stockholm) 的實驗室。八月一日這位瑞典化學大師就給他一封著名的回信，信上說：「凡在格美楞先生 (Herr Leopold Gmelin) 指導之下，作過研究的，來到我這裏實在沒有多少東西可學……你甚麼時候願意來就來吧！」

柏氏一定馬上就發現他這位學生的天才了，因為柏氏最初就指定他一件煩難的分析工作——分析泡沸石 (zeolite)。我們若承認柏氏有一位能力超羣的學生，也要承認弗勒氏有一位鳳毛麟角的教師；這位教師最先親手把全部的分析工作做了一遍，將每項手續的細微末節，指示給他的學生。每當弗勒做得過快時，柏齊力阿斯教師就吩咐他說：「醫生，快是快，工作不大好！」(13)

弗勒氏在斯德哥爾摩雖不會住到一年，但是柏教授的教導卻影響了他終生的工作，並且像他的教師一樣對於有幾和無機化學，都有很大的貢獻。他這樣聰敏的腦筋，是不能受狹隘的境界所限制的。柏齊力阿斯此後時常和弗勒通信，凡是對化學史有興趣的化學家，他們一定會承認這些信為當時科學史中最豐富最有益的資料。

一八二五年弗勒氏任柏林大學化學部教員，一八二八年升為正教授。弗勒氏有兩項發現，永遠為世人所不能忘記的，即「鋁的分出」和「脈素的合成」。這兩種都是在這裏做出來的。

前面說過，弗勒氏用厄斯泰德氏的方法不能製出金屬鋁。然而弗勒經過厄斯泰德的勉勵，曾用厄氏方法製出一種無水氯化鋁，並且另行計劃一種分離的新方法。這種無水氯化鋁製取法，是將多量的熱碳酸鉀溶液，加入於沸騰的明礬溶液中，將所得的氫氧化鋁，經過洗滌與乾燥的手續，再混以木炭末、糖與油等物，調成膏糊。再置此糊於密閉的坩鍋中加熱，得鋁土與木炭之縝密混合體。最後再將此種黑色混合體，熱至紅熾，通乾燥的氯氣於其上，遂得無水氯化鋁（12）、（46）。

弗勒氏有一次說過：他在一八二七年



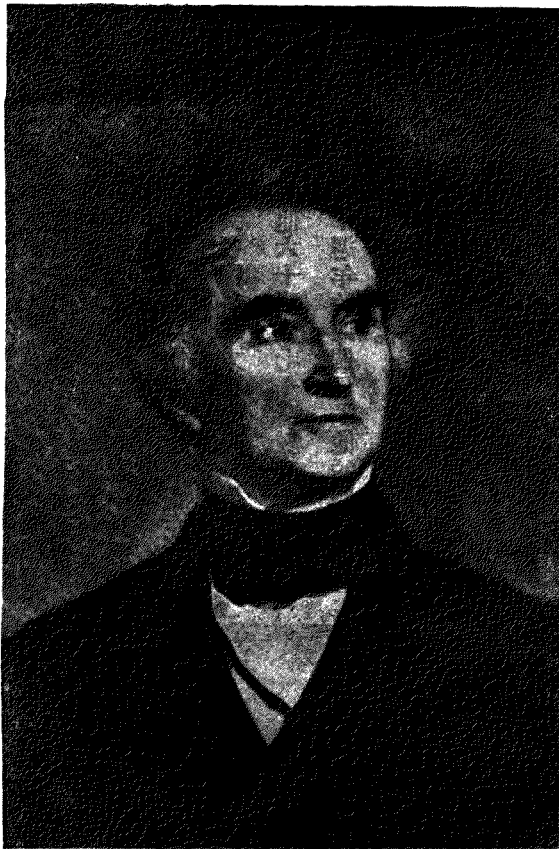
圖一三九 鋁製弗勒氏掛像

（此像乃 Dr. Howard M. Elsey 鑄以贈送 Dr. F. B. Dains 者；按 Elsey 氏服務於美國 Pennsylvania 省之 Westinghouse Research Laboratory。）

分解鋁所用的方法，是根據在水中，依鋁的固定性，用鉀分解無水氯化鋁而做的。因為所起的作用過於猛烈，不能用玻璃器具，所以他用些鉑製坩堝，並將其蓋緊緊縛住。雖然開始用微火去熱坩堝，但不久全部都達於白熱。不過這鉑鋁本身並沒有發生變化，但是他爲着避免鉑與鋁發生變化起見，特採用盜堝與挨斯坩堝(Hessian crucibles)重復試驗。當他讓坩堝完全冷卻之後，投入水中，金屬鋁的灰色粉末總是完全分離出來的。弗勒氏所得的鋁，分量甚微；而且其中還雜有鉀、鉑或氟化鋁(12)等雜質，並非純品。總之，他是第一位舉出鋁的性質的人。在一八四五年他還熔解鋁粉製成塊狀的金屬鋁(49)。此外，他還製得鉞與鈦，所採用的方法，與前相同(8)。

弗勒氏活到八十二歲，不僅壽高，而且一生所作的事業很多。對科學的發展，盡心盡力，不辭勞瘁；對社會的福利，遇有機緣，爭先爲之；對於朋友，則披肝瀝膽，以誠相許。弗勒和利俾喜(Liebig)爲終生至交，利氏寫給弗勒的最後一封信上，曾謂：

「縱令我們死了，我們的屍體化成塵埃，但是我們生前的連繫，是在我們的記憶中永久不會忘掉的；因爲我們兩人，在同一場合之中繼續奮鬥，雙方都毫無嫉妬與惡意，且能繼續維持最



圖一四〇 利俾喜氏像 (Justus von Liebig 1803-1873)

德國有機化學及農業化學大家為弗勒氏學友，又為一著名化學年報的主編，曾任波羅大學化學教授。氏發現鹽銀和雷酸銀的異構作用 (isomerism)，並證實食物在動物體內燃燒後可發生能 (energy) 和熱。

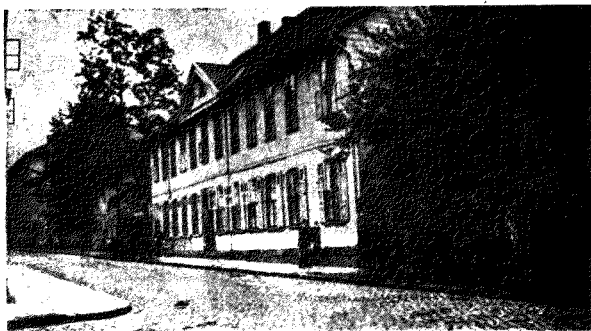
第十三章 利用鉀鈉分出的另四種元素——鉍、硼、矽和鋁

Justus Liebig

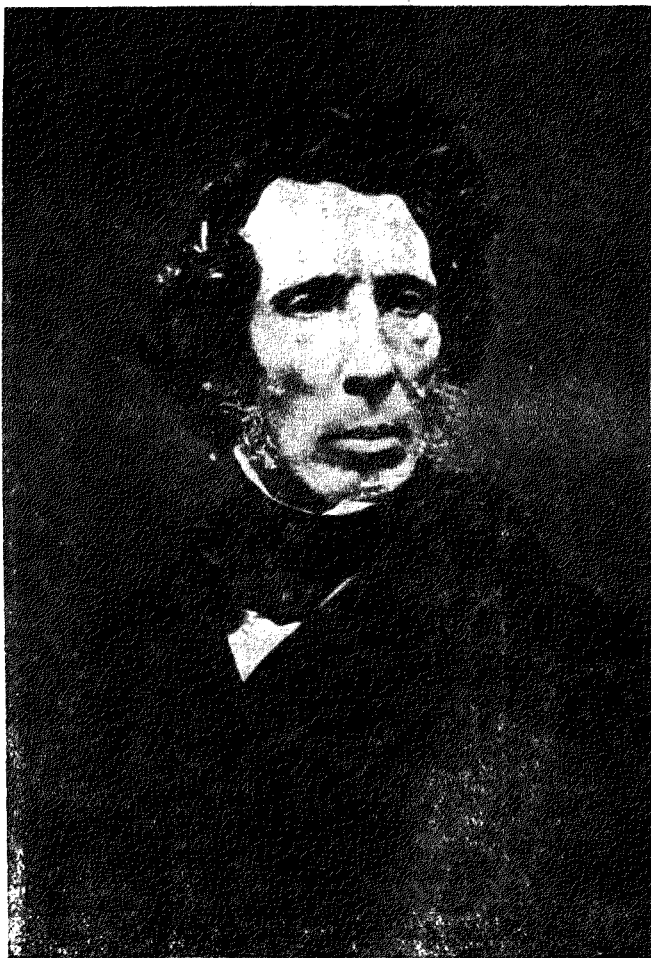
親密的友誼，真不是常有的。」（14）

一八三五年弗勒氏繼斯特羅邁厄（Stromeyer）氏之後，在革丁根大學（Göttingen）做化學教授，終其餘年。他晚年的家庭生活很快樂。他有一子四女，每當暑假，子女輩皆携內孫和外孫同來瞧見這位老人，這時候因為他家中的房屋過小，不能容下這許多孫兒孫女；於是他便送他們到左右的鄰舍家中借宿。他一生得到各種科學方面的榮譽，但其中最使他感覺快慰的，要推在他六十壽辰、七十壽辰、八十壽辰，以及在他發明合成脲素五十週年的四個日子，他的學生們替他所舉行的紀念盛會（13）、（48）。

最近逝世的英國化學史大家斯密斯（Edgar Fahs Smith）氏，有一次敘述這位年老的弗勒氏說：



圖一四一 弗勒氏在革丁根的住宅外景



圖一四二 弗勒氏老年時代像

弗氏曾任華丁根大學化學教授，對於鈦、鋁、鉍、鉍及釩等金屬均有研究；並將柏齊力阿斯氏的化學教科書及希生革爾（Hisinger）氏的礦物地理學譯成德文。

「在耶穌聖誕節前兩三天，革丁根大學的化學實驗室差不多是無聲無臭了，只剩着兩三個學生在裏邊。傍晚的時候，有人唱出「清靜的夜，聖潔的夜」的歌聲。實驗室中的學生，一個個地走攏來圍繞着唱歌的人，並且都也很莊嚴的和着唱。不一刻我們看見實驗室的門打開了，那位老教師走進來。他馬上將他在實驗室中常戴的一頂黑色便帽脫下，放在手臂下，兩手搓了一搓，在歌聲幽揚中，他光着頭皮站在門中了。當歌聲唱完的時候，這位老教師走上前去，向大家說道：「謝謝你們，諸位，」然後又走開了。」（15）

弗勒氏的房裏，滿掛着他兩位好友利俾喜（Liebig）和柏齊力阿斯（Berzelius）的照片。在他死前不久，當他和一個朋友離別的時候，他拿出一隻紙包的匣子，送給那人做紀念。他說道：「請你留下這件小東西做紀念，不過我請你上了車子以後再打開。」後來他的朋友打開一看，原來裏面藏着一隻湯匙，還寫着一句話，說「這是柏齊力阿斯先生送我的禮物，他在研究工作中，用過這隻湯匙很多年。」弗勒氏死於一八八二年十月九日。按照他的遺囑，他的墓上不設立銅製的或大理石製的紀念碑，只放一塊石頭上面刻着「Friedrich Wöhler」（弗勒·夫利德利赫）就夠了。

最先製造純淨的鋁的是法國的大化學家得維爾 (Henri Sainte-Claire Deville) 氏，他在
 一八一八年三月十一日生於西印度羣島中之聖托馬斯小島 (St. Thomas)。得維爾名亨利
 (Henri) 和他的哥哥查理斯 (Charles) 都在巴黎之聖巴卜學院 (Institution Sainte-Barbe)
 讀書。他的哥哥入鑛科，在菩蒙教授 (Élie de Beaumont) 指導之下習地質學；他進醫科，在泰那
爾 (Thenard) 氏指導之
 下攻化學。兄弟二人均為
 該校的優秀學生，而且同
 在一組。兩兄弟在整個生
 命的過程中，都很互相親
 愛，當亨利的一個兒子和
查理斯的女兒結婚時，他
 們的父輩中有一位說過：



圖一四三 菩蒙氏像

(Louis Élie De Beaumont 1798-1874)

菩蒙氏為法國地質學家兼鑛工程師，曾任法國
 國家科學院 (Académie des Sciences) 終身祕
 書。

「我和我的哥哥都不知道這一對新夫婦中，誰是自己的兒子或女兒，也不知道還是我的兒子娶了他的女兒，還是他的女兒娶了我的兒子。」（16）（註一）

（註一）素封案堂兄弟姊妹通婚此為歐洲各國當日習慣和法律所許，與我國風俗不同。



圖一四四 得維爾氏兄弟合像

兄查理斯 (Charles Sainte-Claire Deville)，生於一八一四年，歿於一八七六年，法國地質學家，對於硫之同質異相體，曾有一番研究。弟名亨利 (Henri)，生於一八一八年，一八八一年逝世，比兄少四歲。初任培宗松大學 (Uni. of Besançon) 化學教授兼教務長。繼任高等師範學校 化學教授。亨利氏對化學之貢獻，除由妥路香 (Tolu Balsam) 中提出甲苯並發現五氧化氮之外，又曾將鋁和鈉作大量製造，變為商品。

亨利的處女作是一篇研究松節油的論文發表於一八三九年，兩年後他又從妥路香(Tolu) (註一)中發現甲苯(Toluene)，不過他最重要的工作還是在無機化學與物理化學方面。一八四四年當泰那爾氏委這位年僅二十六歲的得維爾·亨利(Henri Sainte-Claire Deville)做培宗松大學(Besançon)教務長的時候，一般守舊的大學教職員們都引為驚奇。可是泰那爾氏的觀察是不错的，得維爾的本領比他所預料還高明。在這個大學中，得維爾氏發明了新的「水的分析法」來檢查該城的飲水，又發明了無水五氧化氮的製法(17)。

(註一)詳見中華藥典第一版，pp. 718-9 (素封誌)

當漠的發現者巴拉(Balard)氏到法國專門學校(Collège de France)任職時，得維爾被任為高等師範學校(École Normale Supérieure)校長，最初的美麗的鋁塊，乃是在這個學校中所取出的。一八五四年得維爾想用鋁及三氯化鋁($AlCl_3$)試製低級的氯化鋁，結果雖不會得到此種低級的氯化鋁，但是得到了一種異常重要的發現，即美麗而發金屬光澤的鋁球；從此他就馬上研究牠在工業上有利的製造方法(35)。

雖然他第一次的試驗是在高等師範學校做的，但是仁慈的拿破崙第三馬上資助他在耶瓦爾 (Javel) 地方設立工廠，促成大量的製造。又因為得維爾氏的工業製造法需用大量的鈉，所以他就發明了一種製鈉法，使得出品價廉而量大。在他們開始試驗的時候，鈉的價值雖然比鉀高，但是他知道自然界裏的鈉化物比鉀化物為多，而且因為鈉比同量的鉀為輕，他又知道用鈉比用鉀要經濟得多。

製鈉的方法完成之後，鈉價一落千丈。原來在一八五五年每尪值二千法郎的鈉，到一八九一年每尪僅值十法郎。這時，得維爾氏便企圖鋁的大量生產，可以成功。適法國南部普羅封斯省 (Provence) 阿爾城 (Arles) 附近的包村 (Baux) 上，發現一種礦物，名曰『包村礦』(bauxite)，(即鐵礬土 $H_2Al_2O_6$)。據得維爾氏的製法，將這種礦物所得的鋁土，直接混入木炭和鹽中，及導入氫氣熱之，遂得鈉及鋁的複雜氯化物；再將此項鹽類用過量的鈉溶化之，於是即得成錠的金屬鋁 (18)。

有些愛好造謠的人，欲使弗勒和得維爾兩人發生惡感，就勸告得維爾，說弗勒所造出的鋁很

不純潔，他應當表明他自己纔是鋁的發現人。但這位法國化學家終不受這種謠言的蠱惑，其性格由此可見。等到他得到足量的可燃的鋁時，他就鑄了一隻紀念章，上面只刻了弗勒的名字和一八二七年的日期，送呈那位德國化學界的大師。他兩人的友誼總是很好的，並且共同研究過很多重要的問題。得維爾氏在他著的一本鋁之性質製法及應用（*L'Aluminium, ses Propriétés, sa Fabrication et ses Applications*）一本書上，他寫道：「我很榮幸能够在柏齊力阿斯氏的承繼者所開闢的大路中，多走幾步。」（18）

得維爾·亨利氏對於硼、矽和鎂以及鉑族金屬等，都有重要的研究。鉑的研究是很危險的，他時常因為嗅到鐵酸氣而中毒。但他所以成名，還是在於氣體分離定律的製定。他爲人熱心、活潑、惹人歡喜、富於同情心，而且快樂寬大。當得氏在高等師範學校時，他常和學生們一桌吃飯，和他們講笑話，但是卻從來不會失掉一點尊嚴（19）。他在一八八一年逝世，他的家族以及全球的科學界都爲他舉哀；蓋棺時的哀詞，是法國大科學家巴斯特（*Pasteur*）氏所誦的。

製鋁的第二齣戲是在美國表演的。得維爾氏的製法，雖然使鋁變成商業上的產品，但是價值

仍屬昂貴，美國俄柏林學院 (Oberlin College) 裏有一位名叫豪爾 (Charles Martin Hall) 的學生，因為受弗勒先生門人求挨特教授 (F. F. Jewett) 的鼓勵，便決心要製出價廉的鋁金屬。他在一間設備不週全的實驗室裏，用自製的蓄電池，開始和這問題奮鬥。一八八六年二月二十三日，這位二十一歲的青年，握了形如鈕扣一般的滿把鋁粒，跑入求教授的辦公室中給他看。因為這幾粒鈕扣般的鋁，促起了電解製鋁的方法，所以現在美國造鋁公司把當日的這幾粒東西看做皇



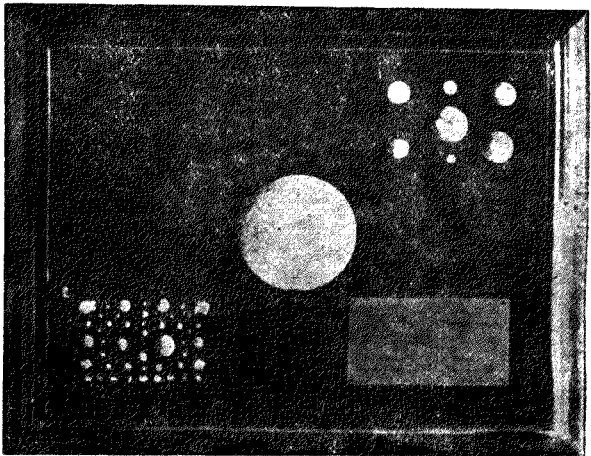
圖一四五 求挨特氏像

(Frank Fanning Jewett 1844-)

求氏曾任美國哈佛大學歧布斯 (Wolcott Gibbs) 氏的助理研究員，繼應日本帝國大學之聘，任化學教授。旋回國任俄柏林學院 (Oberlin College) 化學及礦物學教授。求氏曾受業於弗勒先生門下，深知鋁之重要，故能啓發豪爾 (Charles M. Hall) 氏而得將鋁製作商品。

冠上的珠寶一樣。現在俄柏林學院中，我們還可以看見一座鋁鑄的豪爾氏的像（11）。

豪爾氏完成這椿製法一兩月之後，有位年紀和他相仿的法國化學家赫羅爾德（Paul Louis Toussaint Héroult）氏，也獨立地發現了這種製鋁法。赫羅爾德博士於一八六三年生於卡爾發多斯（Calvados）的圖利·哈爾科特（Thury-Harcourt）地方。當一八七〇年法、普戰爭開始的



圖一四六 珠寶一般珍貴的鋁粒

上圖是一隻木製鏡框，左邊下方乃豪爾（C. M. Hall）氏於一八八六年二月二十三日在俄柏林學院求學時代最初所取得的鋁粒；右上角乃豪爾於同年十二月所取得的，體積較大。中間一個大鋁球乃美國製鋁公司（The Aluminum Company of America, Pittsburgh）最初依豪爾氏法所製成的，現皆存於美國製鋁公司，重視如無價珍寶。



豪爾氏爲美國化學師、發明家、冶金家及慈善事業家，曾於二十二歲的青年時代發明鋁的商業製取法，因而使鋁成爲賤價的金屬，今日日常用品由鋁所製成的，幾乎觸目皆是。

圖一四七 豪爾氏鋁鑄像 (Charles Martin Hall 1863-1914)

時候，他被家人送到倫敦和祖父同住，於是他學會了一口流利的英語。三年之後他又回到法國，繼續他的學業。

在聖·巴卜學院 (Institution Sainte-Barbe) 裏，他學習得維爾氏對於鋁的研究，及十五歲即能讀得伏打的著作。一八八五年，在他所得遺產中，有一家造革廠，其中備有蒸汽機與發電機，於是他就用這兩件機器從事分解各種鋁化合物。第二年當他想要電解冰晶石 (cryolite) 的時候，他的電池上所用的鐵陰極忽然熔化了。因為赫羅爾德以為當時所發生的熱力，決不會把鐵熔化，所以他就認為是由於產生了一種合金而然。數日後，當他想用氯化鈉鋁以減低電道的熱度時，又發



圖一四八 赫羅爾德氏像

(Paul Louis Toussaint Héroult
1863-1914)

法國冶金學家，與豪爾氏同時發明鋁的電解製取法，故今日有「豪、赫二氏製鋁法」的名稱。赫氏對於鋼鐵的電冶金術 (electrometallurgy) 上頗多貢獻。

現碳陽極也被侵蝕了。這時他斷定是由於氧化鋁的作用，因為牠在碳極上被電力所還原了。這種斷定是與事實符合的。因為他買來的氯化鋁鈉，事前曾放在潮溼的空氣裏，已變而為氫氧化鋁（hydrated alumina）。所以赫羅爾德氏的奇異製鋁法，可以說是由簡單的觀察中得來的。

赫羅爾德氏對於鐵與鋼的冶金法，也有重要的貢獻。他時常游歷美國，當豪爾氏於一九一一年接受『柏琴獎章』（Perkin Medal）時，他特意遠涉重洋，到美國參加授章典禮，並向豪爾氏致賀。從他這種偉大的舉動上，可以看出他實在是化學大家得維爾氏的後繼人。赫博士於一九一四年當歐戰爆發前三月逝世，享年五十一歲。

參考材料

- (1) Nordenskiöld, "Scheeles nachgelassene Briefe und Aufzeichnungen," Norstedt & Söner, Stockholm, 1892, p. 151. Letter of Scheele to Gahn, Dec. 26, 1774.
- (2) Jagnaux, "Histoire de la Chimie," Vol. 1, Baudry et Cie, Paris, 1891, pp. 695-703.
- (3) Bugge, "Das Buch der grossen Chemiker," Vol. 1, Verlag Chemie, Berlin, 1929, pp. 386-404.
- (4) Davy, J., "Memoirs of the Life of Sir Humphry Davy, Bart., Vol. 1, Longman, Rees, Orme, Brown, Green, and Longman, London, 1836, p. 469.

- (5) Mellor, "Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry," Vol. 4, Longmans, Green and Co., London, 1923, pp. 304-7. Article on beryllium.
- (6) Jagnaux, "Histoire de la Chimie," ref. (2), Vol. 2, pp. 169-72.
- (7) Bussy, "Préparation du glucinium," *J. chim. médicale*, 4, 453 (1828); *Dynal. poly. J.*, 29, 466 (1828).
- (8) Wöhler, "Sur le Glucinium et l'Yttrium," *Ann. chim. phys.* (2), 39, 77-84 (1828).
- (9) Jagnaux, "Histoire de la Chimie," ref. (2), Vol. 1, pp. 707-10.
- (10) Smith, E. F., "Forgotten Chemists," *J. Chem. Educ.*, 3, 30 (Jan., 1926).
- (11) Holmes, H. N., "The Story of Aluminium," *ibid.*, 7, 233-44 (Feb., 1930).
- (12) Jagnaux, "Histoire de la Chimie," ref. (2), Vol. 2, pp. 158-64.
- (13) von Hofmann, A. W., "Zur Erinnerung an Friedrich Wöhler," *Ber.*, 15, 3127-290 (1882).
- (14) von Hofmann, A. W., and Emilie Wöhler, "Aus Justus Liebig's und Friedrich Wöhler's Briefwechsel," Vol. 2, F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1888, p. 324. Letter of Liebig to Wöhler, Dec. 31, 1871.
- (15) "Some Experiences of Dr. Edgar F. Smith as a Student under Wöhler," *J. Chem. Educ.*, 5, 1555 (Dec., 1928).
- (16) Gay, "Henri Sainte-Claire Deville; Sa Vie et ses Travaux," Gauthier-Villars et Fils, Paris 1889, p. 6.
- (17) *Toxid*, p. 9.

- (18) *Ibid.*, p. 33.
- (19) Vallery-Radot, "The Life of Pasteur," Doubleday, Page and Co., New York City, 1926, p. 146.
- (20) "Oeuvres de Lavoisier," Vol. 1, Imprimerie Impériale, Paris, 1864, pp. 135-7.
- (21) Gay-Lussac and Thenard, "Sur la décomposition et la recomposition de l'acide boracique," *Ann. chim. phys.* (1), **68**, 169-74 (Nov. 30, 1808); *Sci. News Letter*, **19**, 171-2 (Mar. 14, 1931).
- (22) Klapproth, "Analytical Essays towards Promoting the Chemical Knowledge of Mineral Substances," Cadell and Davies, London, 1801, pp. 325-8.
- (23) Vaquelin, "Analyse de l'Aigle marine, ou Bétil; et découverte d'une terre nouvelle dans cette pierre," *Ann. chim. phys.* (1), **26**, 155-77 (May (30 Floréal), 1798); "Discovering the Sweet Element: A Classic of Science," *Sci. News Letter*, **18**, 346-7 (Nov. 29, 1930); *Nicholson's J.*, **2**, 358-63 (Nov., 1798); 393-6 (Dec., 1798).
- (24) "Beryllium Foreseen as Aircraft Metal," *J. Chem. Educ.*, **7**, 720 (Mar., 1930).
- (25) Vaquelin, "Analyse de Pémeraude du Pérou," *Ann. chim. phys.* (1), **26**, 257-65 (June (30 Prairial), 1798).
- (26) Gmelin, J. F., "Analyse du bétil de Nertschinsk en Sibérie, et examen de quelques caractères qui distinguent la glucine qu'il contient," *ibid.* (1), **44**, 27-9 (Oct. (30 Vendémiaire), 1803); *Crelle's Ann.*, **35**, 87-102 (Zweytes Stück, 1801).
- (27) Marchal, "La Découverte, la Préparation, les Propriétés et les Applications du Calcium," *Chimie et Industrie*, **22**, 1084-92 (Dec., 1929); **23**, 30-3 (Jan., 1930).

- (28) Davy, "Electro-chemical Researches on the Decomposition of the Earths; with Observations on the Metals Obtained from the Alkaline Earths, and on the Amalgam Procured from Ammonia," *Phil Trans.*, **92**, 343(1808). Read June 30, 1808; "An Account of Some New Analytical Researches on the Nature of Certain Bodies, Particularly the Alkalies, Phosphorus, Sulphur, Carbonaceous Matter, and the Acids Hitherto Undecomposed, etc.," *ibid.*, **99**, 75-85 (1809). Read Dec. 15, 1808.
- (29) Lebeau, "Recherches sur le Glucinum et ses Composés," *Ann. chim. phys.* (7), **16**, 457-503 (Apr., 1899).
- (30) Biot, "Mélanges Scientifiques et Littéraires," Vol. 3, Michel Levy Frères, Paris, 1858, pp. 15-12.
- (31) Sainte-Claire Deville, H., "Note sur deux procédés de préparation de l'aluminium et sur une nouvelle forme du silicium," *Compt. rend.*, **39**, 321-6(Ang. 14, 1854); *J. pharm. chim.* (3), **26**, 285-9 (Oct., 1854); *J. prakt. Chem.*, **63**, 113-20 (Zweites Heft, 1854); "Du silicium et du titané," *Compt. rend.*, **40**, 1034-6 (Apr. 30, 1855).
- (32) Berzelius, "On the Results of Some Chemical Analyses, and the Decomposition of Silica," *Annals of Phil.* (1), **24**, 121-3 (Aug., 1824). Extract from letter to Dulong.
- (33) Gay, "Henri Sainte-Claire Deville, Sa Vie et ses Travaux," ref. (16), pp. 37-9.
- (34) Sainte-Claire Deville, H., and Caron, "Du silicium et des siliciures métalliques," *Ann. chim. phys.* (3), **67**, 435-43 (Apr., 1863).
- (35) Sainte-Claire Deville, H., "Recherches sur les Métaux et en particulier sur l'Aluminium et

- sur une nouvelle Forme du Silicium," *ibid.* (3), 43, 7-83 (Jan., 1855).
- (36) Davy, "Some New Phenomena of Chemical Changes Produced by Electricity, Particularly the Decomposition of the Fixed Alkalies, and the Exhibition of the New Substances Which Constitute Their Bases, Etc.," *Phil. Trans.*, 98, 43 (1803). Read Nov. 19, 1807.
- (37) Friend, "A Textbook of Inorganic Chemistry," Vol. 5, Chas. Griffin and Co., London, 1917, pp. 176-81.
- (38) Gay-Lussac and Thenard, "Recherches Physico-Chimiques," Vol. 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1811, pp. 276-308.
- (39) *Ibid.*, Vol. 1, pp. 313-4; Vol. 2, pp. 54-65.
- (40) Bugge, "Das Buch der grossen Chemiker," ref. (3), Vol. 1, pp. 228-39. Article on Marggraf by Max Speker.
- (41) Lenard, Philipp, "Grosse Naturforscher," J. F. Lehmanns Verlag, München, 1929, pp. 183-8.
- (42) Edwards, Frary, and Jeffries, "The Aluminum Industry," Vol. 1, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York City, 1930, pp. 1-43.
- (43) Oersted, "Oversigt over det Kongelige Danske Videnskaberne Selskabs Forhandlinge," 1824-25, 15-6.
- (44) Meyer, Kristine, "H. O. Oersted, Naturvidenskabelige Skrifter," *Nordenhavn*, 2, 465 (1920).
- (45) Fogh, "Det Kgl. Danske Videnskaberne Selskab Mathematiskfysiske Meddelelse," 3, 3-17 (1921). (In German.)

- (46) Wöhler, "Sur Paluminium," *Ann. chem. phys.* (2), 37, 66-80 (1828); *Pogg. Ann.*, 11, 146-61 (1827).
- (47) Editor's Outlook, "Friedrich Wöhler," *J. Chem. Educ.*, 5, 1537-8 (Dec., 1928).
- (48) Warren, "Contemporary Reception of Wöhler's Discovery of the Synthesis of Urea," *ibid.*, 5, 1539-53 (Dec., 1928).
- (49) Bugge, "Das Buch der grossen Chemiker," ref. (3), Vol. 2, p. 37; A. W. von Hofmann and Emilie Wöhler, "Aus Justus Liebig's und Friedrich Wöhler's Briefwechsel," ref. (14), Vol. 1, p. 251.
- (50) Warren, "The Wöhler Plaque," *J. Chem. Educ.*, 6, 559 (Mar., 1929).

附錄

美國豪爾氏發明商業製鋁法五十週年紀念

黃素封

(一)

我國市場上都把鋁叫做「鋼精」，真是糊塗萬分。鋁和鋼是風馬牛不相及的兩種金屬，鋼是用鐵來鍊成的，但鋼怎樣可以再鍊成所謂鋼精的鋁呢！

那末，鋁究竟是從什麼東西提鍊出來的？關於這些，倒是個很有趣味的故事。

德國大化學家弗勒 (Wöhler) 氏在一八二七年最初從氯化鋁裏提出了鋁。氯化鋁是一種淡黃色的結晶，像米粒或豆粒一般大小，很容易昇華。昇華這個名詞，是指固體物質直接變成氣體的現象。衣箱裏所放的「衛生丸」——洋樟腦——過了幾個月，就逐漸變小，以至於消失，那是昇華。冬天洗後結了冰的衣服，你把牠露在風口裏頭，雖然冰不曾溶解，卻也會乾燥，這也是昇華。

弗勒把那種容易昇華的氯化鋁和鉀混在一起，放在鉛製的小鍋裏加熱。因為鉀是一種極容易着火燃燒的金屬，所以在加熱之後，就常常要起爆發。為要避免爆發的危險，他實驗時非常經心，一俟小鍋裏的鉀和氯化鋁起了變化，就立刻停止加熱。等到

鍋的溫度低了，便把牠們倒在一桶冷水裏，來除去其中能够溶解的部分。弗勒氏後來從水裏取出一些灰色粉末，這就是世間第一次製出的金屬鋁。

成塊的鋁是弗勒氏在一八四五年製出的，那時距他第一次取出鋁粉末的時候，已隔了十七年之久，可知發明和發現不是容易的事情。

(一)

一百年以前，鋁的價值比黃金還貴。一八五五年，巴黎舉行大展覽會，其中有一小塊的鋁放在最珍貴的珠寶旁邊。直到一八八四年，鋁還是珠寶店的商品。這年紐約城五馬路上有一家珠寶店，爲華盛頓紀念碑，做成一頂一百噸重的鋁冠，當未交給顧客之前，曾放在玻璃裏展覽，一時觀衆擁擠如雲。

拿破崙第三在宴會上，用過鋁製的叉子；暹羅的國王用過鋁製的錶鏈；法國皇太子纔一週歲的時候，國務大臣曾替他買來一件用鋁做的玩具——鋁在那時是貴族的珍品，據說八十年前他在歐美的市價，每噸約在我國今日國幣一百六十元之上，世人所爭求的黃金怎樣配和牠比較呢！

五十年前鋁的價值，現在很少人去追求了；前面所舉的事實，讀者或不免有神話的感想。但今日牠的價值確實每磅不到一塊錢——甚至在上海的乞丐會從垃圾箱裏拾起人家丟棄的破鋁鍋做飯桶，還又何嘗是五十年前的人所夢想到的呢！

(二)

究竟怎樣會使貴重的鋁大大跌價的，本來有一段很動人的故事。

距今五十三年前的春天，美國俄海俄省俄柏林大學有一位名叫求接特 (Dr. F. F. Jewett) 的化學先生，一天當他在教

室裏講到鋁的時候，他說道：「假使你們當中有人能把鋁變成價格低廉的商品，一定會致富！」

坐在前排有一位細而且高的學生，他聽了先生這句話後，就用手臂推動鄰近的同學，向他耳語道：「讓我瞧瞧！」這位學生的名字叫做豪爾·查理斯·馬丁 (Charles Martin Hall)，年僅十九歲。

在當時，無異一齣雙簧的啞劇，因為講臺上的教師和其他的同學都沒有注意他們。不料自從那時起，豪爾就連日加夜的住家屋後一間木棚裏做實驗。電池是自己做的，爐子是自己砌的，其他必需的儀器也是臨時東拉西湊而成的。在這裏他忙了三年的歲月，居然做成了當時大科學家所曾失敗的工作。

一八八六年二月二十三日——恰巧是在距今五十年之前——豪爾忽然走進埃特先生的實驗室，歡天喜地把手裏所握的幾粒金屬交給他。先生也喜出望外地伸手去接。你猜這是什麼？原來是豪爾用簡便方法所提出的鋁粒。

豪爾的這種提製方法，使得近來每年能出產四萬萬磅的鋁，其價值僅那時二千六百七十五分之一！

(四)

製鋁的原料是礬土或稱氧化鋁，這是很容易採得的，可是用牠來製造賤價的金屬，不知有幾多人接踵失敗了。豪爾想用電解法取鋁，但礬土的熔點在攝氏二千度之上，那又是他自製的風箱和火爐所辦不到的。

不先把礬土熔化，則不能電解，要使礬土熔化，又沒法加上二千度以上的高熱。豪爾窮思熟慮，百般實驗，最後纔想出一種誘鎔法來處理牠。誘鎔法是先將一種容易鎔化的礦物鹽加到礬土裏，以後使礦物鹽鎔化的時候，礬土就溶解在牠的裏面，最後再去通電分解牠們。

豪爾最初用的礦物鹽是螢石，結果不甚好。隨後採用氟化鈣，也接着失敗了。最後換用冰晶石 (cryolite)，纔得了一點成績。

這一線的光明使得他更奮力地忙着加熱、通電、觀察和設計。在緊張的工作中，他不停地運了兩小時的電流，居然取得了銀白色的金屬鋁。等到那鋁粒冷了，他揉一揉眼睛，仔細地打量一下，頓時覺得肩上的擔子輕了大半。他緊握着這幾顆鋁粒，獨自步出那間木棚的實驗室，在二月天的冷風裏，去拜見他的化學教師求先生去了。這時他的年齡剛剛二十二歲。

(五)

豪爾的誘鎔電解取鋁法，被埃特先生和其他各大化學家證明簡便而有價值之後，不久傳遍全國，人人都說他是一位肯苦幹的學生。

一八八八年的感謝節，美國匹茲堡城 (Pittsburgh) 裏開辦了一間煉鋁廠，那是第一次採用豪爾氏的方法的，到今天，匹茲堡城已成世界著名的鋁城，產額極大。

說到鋁的用途，真是罄竹難書。除了常見的茶壺、飯鍋、水杓、刀叉之外，如飛機的機件、快車的裝置、起重機、安樂椅、搖籃、馬蹄釘、錶鏈和首飾，都離不掉鋁。你早晨漱口時所用的牙膏，那牙膏管就是鋁做的。打仗時所用的毒氣 H、N、H 也是在鋁罐裏配成的。現在世界上還有幾千位專家，忙着研究鋁的合金和鋁的新用途，那麼牠的將來一定會比現在還要重要了。

二十五年二月二十三日豪爾氏發明製鋁法五十周年紀念日寫。

第十四章 由分光器所發見的元素

在地殼裏含藏好幾種元素，因分量稀少，故用平常鑛物分析法則，永不會發現。幸而到一八六〇年，本生（Bunsen）和克希荷夫（Kirchhoff）二氏，發明了分光器；這是備有視準器（collimator）的一種光學儀器，牠的構造是一根金屬管，一端裝透鏡，另一端封住，僅留一細孔隙，其地位適處於透鏡的焦點上，以迎山白熾試驗物所射來的光線。連以旋臺，其上具稜鏡，受透鏡射來的平行光線而分散之。最末接一望遠鏡，用以觀察稜鏡所生的光譜。用這座儀器，不久就發現了二種新金屬，即銫（cesium）和銣（rubidium）二元素；和以前得維（Davy）同阿爾費特孫（Arfvedson）所發現的鈉、鉀和鋰三種元素，同屬一族。連接着克盧克斯爵士（William Crookes）用分光器所發現的鉈（thallium），同時並得拉密（C. A. Lamy）的證明。到一八六三年，夫賴堡（Freiberg）鑛業學院的賴赫（F. Reich）和李希特（H. T. Richter）在鋅鑛中

所發現的一種極稀少的元素，在光譜的靛青部顯現光輝的線條，定名為錮（indium）。（按原名 indium，由 indigo 一字而來，其意為「靛青」——譯者註）。

前進！我們須闡明，

時刻向虛無中尋出東西（1）。

自然界的一切，在他看來，無所謂渺小，也無所謂偉大；並且每一種現象，都包涵着無限紛雜的因子。一盞平常酒精燈的燈心上，撒了鹽之後，由其所放出的黃色火焰，能借以完成分析多數星辰的化學成分（2）。

遠在一七五八年，馬格拉夫（Marggraf）氏已注意下列二事：即火焰上撒以鈉鹽，則火焰呈黃色；置鉀鹽則生薄荷綠色（3）。及一八〇二年，武拉斯吞（Wollaston）氏用稜鏡檢視燭焰的

光譜，曾發見不連續的帶光譜（4）、（22），他說過（33）：

「若用同樣方法，檢視火焰下部射來的藍色狹細光線，則經過稜鏡後，所得光譜，並非一系連續而顏色不同的線條，乃為彼此相隔的五像。第一為寬大的紅色部分，邊緣護以帶光輝的黃色；第二、第三同為綠色，第四、第五為藍色，其中最後的像，相當於太陽光譜中的藍色及紫色部分……」

一八一四年，有一位青年德國物理學家夫勞恩荷斐（Josef Fraunhofer）氏。對於玻璃技術，有深湛的訓練，造了一具無上精細的稜鏡，於是太陽光譜的暗黑線條，纔第一次有明白的研究。他又用文字指出最顯著的八個部位來（3）、（23）、鋰和鐮（註一）二種元素的鹽，在火焰中都呈紅色，但是一位英國的科學家道爾善特（Henry Fox Talbot）（24），依靠三稜鏡，可以把牠們辨別出來。他說布盧斯忒爾士（David Brewster）（33），把光線通過亞硝酸蒸氣而生成的光譜，所見的暗黑線條，實由光線的吸收而起（65）、（25）。總之這是無疑的，以上的一切貢獻，都佔重要地位，但是以上幾人，都不算樹立分光分析學的鼻祖；斯學之創立，到底需要本生的天才，克希荷夫的



圖一四九 道爾普特氏像

(William Henry Fox Talbot 1800-1877)

英國考古家、物理學家及光學、攝影學前輩。尼內未(Ninevah)亞述古碑銘最早的翻譯人。一八三九年在氯化銀紙上印刷底片，二年後發明光力式(calotype)製正片。

熟練技巧和高厚的智慧。

(註一)其時錳鹽非常稀少，道爾

善特所用的試驗品，實受惠

於法拉得 (Faraday) 所

贈。

本生 (Robert Bunsen) 爲

革丁根 (Göttingen) 大學近代

語言學教授之子，於一八一一年

春 (註一) 生於該城，在霍次明頓

(Holzminden) 學院卒業後，即

考入革丁根大學，從斯特羅邁厄

(Stromeyer) 教授習化學。十九

歲即受哲學博士學位，這並非說



圖一五〇 一八一八年在烏次希那台爾議員 (Utzschneider) 及賴興巴克 (Reichenbach) 二人前，夫勞恩荷斐 (Fraunhofer) 展覽他最新式分光器，此二人皆爲他在本尼提克鮑恩 (Benedictbenern) 玻璃及光學工場中的同事。

他同他們討論他的最近研究，多關光的繞射，因而引成他發現光柵譜，波長的精密測定 又確定光之波動說 (undulatory theory of light)。

本生早熟，俄斯特發爾特 (Wilhelm Ostwald) 曾加以解釋，那時學生的畢業期，實較目下為早。

(註一)關於本生生日，寫傳家分為兩說，一作三月三十一日，一作五月三十一日。

年輕的本生，其後得罕諾弗 (Hanoverian) 政府的資助，到各地旅行，科學知識得以大進；曾步經德、法、奧、瑞士等地，會晤各國大科學家，在各地遊歷約有三年之久，考究地質的組成，訪察工廠和鑛場，交遊各種專門技師和大學教授。(2)到一八三六年，就繼弗勒 (Wöhler) 氏任卡塞

爾 (Cassel) 高等工業學校

教職，以後在馬爾堡 (Mar-

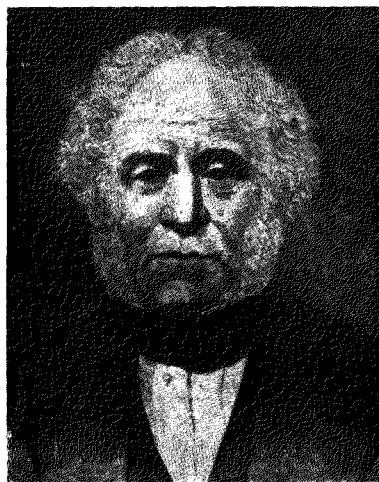
burg) 和布累斯勞 (Bre-

slau) 二地，又擔任相仿的職

務；最後在海得爾堡 (Hei-

delberg) 大學榮膺格美楞

(Leopold Gmelin) 的繼



圖一五一 布盧斯忒 爵士像

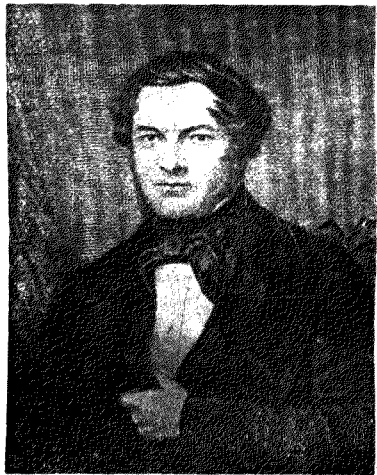
(Sir David Brewster 1781-1868)

蘇格蘭物理學家，在吸收、反射、曲折、偏光和雙曲折結晶方面的研究，最為聞名。不列顛科學促進會創辦人之一。發明萬分筒，改良實體鏡。他的光學研究，使燈塔的建築大為進步。

任者，在該處任教職達三十八年之久，到七十八歲的高年時，方告退休（2）（50）。

本生在早年第一個報告中，就發表了對於人類幸福大有裨益的研究；他證明新沈澱的氫氧化鐵，爲砷毒的解毒藥。在卡塞爾和馬爾堡時，作重要而危險的四甲聯肺（cacodyl）研究，其時卡塞爾的實驗室中，缺乏透風櫥的裝置，工作時載一面罩，用長管通入新鮮空氣，有一次在研究氰化四甲聯肺時，發生爆炸，面罩擊破，右目就此失明，連生命也幾遭不測；但健康恢復後，此項研究，總抵成功。

經過了這一次嚴重的災禍後，使他非常小心，有一次他的學生得布斯（Heinrich Debus），



圖一五二 本生氏像

（Robert Wilhelm Bunsen 1811-1899）

德國化學家，研究四甲聯肺基（cacodyl radical），冰洲（Iceland）的噴泉，光的化學作用。本生燈、本生電池、油斑光度計、冰卡計、蒸氣卡計、節溫器、常高水浴、濾抽機各物的發明人。



圖一五三 海得爾堡(Heidelberg)本生的老實驗室,現已坍毀。



圖一五四 得布斯氏像 Heinrich Debus 1824-1915)

德國化學家,在倫敦該氏(Guy's 醫院和格林威(Greenwich)皇家海軍大學教書多年。製純粹紫色精,發現 glyoxaline,使氫氰酸還原成甲胺。又為他的老師本生教授寫了一冊有趣的傳記。

在研究工作上想用一些爆炸酸汞 (mercuric fulminate) 本生表示不贊同而說道 (6) :

『我初來馬爾堡時，在貯藏櫥中曾見有玻璃塞的瓶，內裝爆炸酸汞一盎斯左右，但我取出後，立刻已把牠投入附近的石坑中去了。』

本生對於鼓風爐 (blast furnace) 中的氣體，做過極澈底的研究；其他各種著名氣體分析法的新發展，和這件事都有深切關係。他發明的弗打電瓶，至今用他名字來題名；此外又發明油斑光度針 (grease-spot photometer) 冰和蒸氣的卡計 (calorimeters) 和本生燈。一八四五年，有名的海克拉 (Helka) 火山大噴火後，即隨丹麥探險隊前往，研究活噴火泉及冰洲 (Ice land) 的沸噴泉 (geysers)，在大危險中作精細的溫度計量，對於火山活動情形所下的解釋，早於美國沸噴泉的科學記載。

銣和銣 (cesium, rubidium)

其後本生和其終生密友羅斯科 (Henry Roscoe) 爵士，進行一系列精密的光化學研究，但中

途特然又停止了，中止的緣因，最好抄錄一八五九年十一月十五日他寫給羅斯科信上的話，讓他自己來說明（7）：

「目下（他說）克希荷夫和我二人，合着進行一件尋常的工作，這件事使我們不能安睡……當克希荷夫在尋覓太陽系光譜上黑線的原因，和太陽光譜上試用人工的方法加增黑線，或使無線的光譜在夫勞恩荷斐線相應的地位上生出這些黑線的這些研究中，特然得到了一種神奇而完全料不到的大發現，由此得到一種方法，可用以決定太陽和恆星的化學構成，其準確一如我們用化學藥品測定硫酸氫氣等物，即用以測定地球上物品的組成，手續的簡易，亦一如測定太陽內的物質組成，例如我已能在二十克海水中，探知鋰素的存在。」

克希荷夫 (Gustav Robert Kirchhoff) 是普魯士刻尼格斯堡 (Königsberg) 的一位年輕教授，這時剛跟本生從布累斯勞來夫賴堡。大家一致公認，這是本生在布累斯勞時代的一個最大發現。克希荷夫於一八二四年三月十二日生於刻尼格斯堡，為裁判顧問 (Counselor of Justice) 的第三子。二十四歲即入柏林大學擔任教職，其後又在布累斯勞任教職，一八五四年起來夫賴堡，



圖一五五 克希荷夫氏像

(Gustav Robert Kirchhoff 1824-1887)

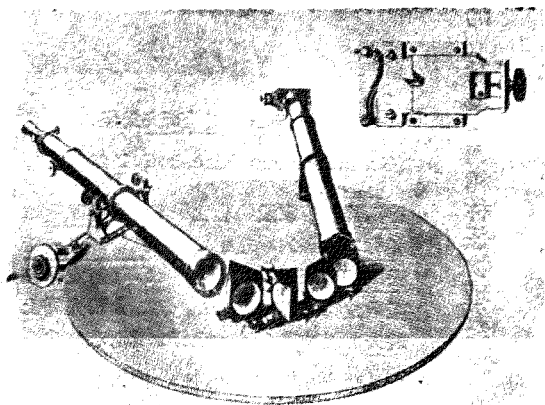
德國物理學家及物理化學家。海得爾堡和柏林二大學的物理學教授。克希荷夫·斯丟阿特 (Kirchhoff-Stewart) 輻射定律和吸收定律的獨立發現人。解釋太陽光譜上的夫勞恩荷斐 (Fraunhofer) 線, 和本生合創立分光分析學, 又發現鉍、銻兩素。

和本生前後合作多年; 到一八七五年, 又棄去這光榮的成功地而回柏林任物理教授, 和赫爾姆霍
斯 (Helmholtz) 合作, 歿於一八八七年十月十六日, 享年六十三歲。

克希荷夫的心靈, 若和本生比較, 則充滿着更多奇妙的思想, 熱愛純粹數學對於牛頓、夫勞恩
荷斐 (Fraunhofer) 和克勞修斯 (Clausius) 數人的研究工作, 都有澈底的認識 (8)、(46)。

他曾證明給本生看，在分辨相仿的有色火焰時，不必用有色玻璃來檢視，可用稜鏡來替代，務使光線分散而顯現其原來組合的元色（9）。根據這項定律，他們發明本生—克希荷夫分光器，這座儀器，不單在化學分析上極有功用，即在新元素的發現上，也極佔重要地位（28）。

食鹽撒在本生燈火焰上時，在分光器上可見黃色線，位置恰在太陽光譜D線的暗黑雙線上，他們倆注意這一點之後，就使太陽光和黃色鈉光同時落於分光器的狹隙上，以便同時觀察暗黑的D線和光亮的鈉線，但結果發見暗黑線並不變黃，而較前更暗時，不覺大為驚異。克希荷夫整個心魂給這件事困住了，他費了一天一夜的精神，設法去解釋，牠最後終得成功，能用人工法來生暗D線，他用



圖一五六 本生—克希荷夫式分光器

發光焰代日光，而得一種連續光譜，此時光譜上並無暗黑線，然後再如前，轉黃色鈉焰於狹隙前，克希荷夫用交感振動的比喻作爲說明，就是從發光焰來的白光，經過鈉焰時，失去和黃線相應的各種振動，故在該處的光譜上，僅含一暗黑線（9）（34）。

一八六〇年四月十一日，本生在給羅斯科的信上說：『親愛的羅斯科，請不要恨我，假使在光化學方面，我至今仍沒有做過什麼事。』以下就爲自己解釋一番，他正在找尋一種新的鹼金屬（9），同年的十一月六號，他又写信給羅斯科：

『關於那新金屬，我總算是幸運得很，近於純粹的氯化鉑（chlorplatinat）我目下已有五十克，要牠絕對純粹，當然也非難事。提製這五十克，用了六萬擔（quintal）——每擔計一百二十磅——鑛水，方始得到，同時得副產物氯化鋰計二磅半；因爲在分離上，已尋到一個極簡便的方法，所以我感覺牠的分佈，似乎很廣，牠有美麗的藍光帶，我將稱牠爲鈇（cesium），下星期日，希望有時間作第一次的原子量測定。』

本生於一八六〇年五月十日，向柏林科學院正式宣示他的新發現（8）。



圖一五七 本生氏像

(Robert Wilhelm Bunsen 1811-1899)

海得爾堡大學化學教授，和克希荷夫共同發明分光器，樹立分光分析學，發現銻鉬兩素，又為發展碘素分析法 (iodimetric method) 的第一人。

本生和克希荷夫在一張報告上，曾述及這新元素發現的經過：

『若放丟克海姆 (Dürkheim) 鑛水的母液一滴於分光器的火焰上，我們僅見鈉、鉀、銻、

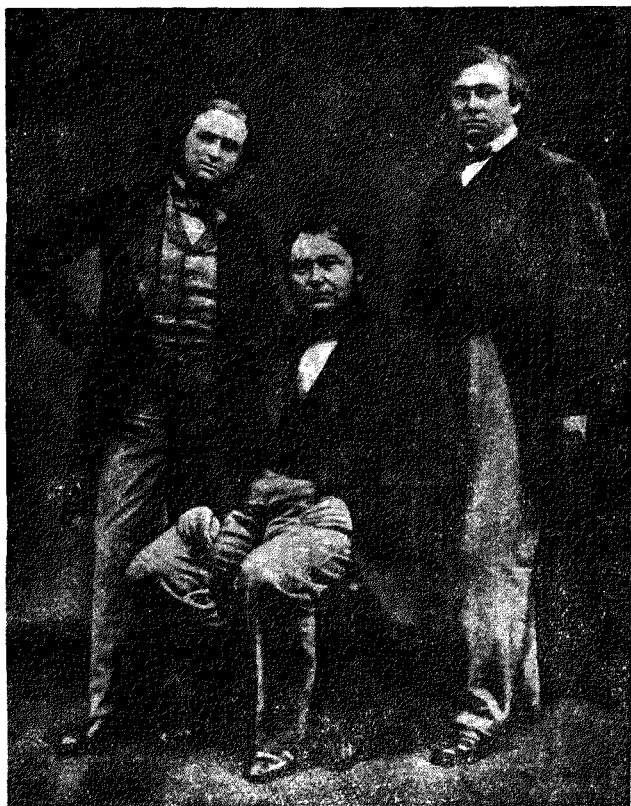
鈣和銻的各種特有光澤，若用平常的分析方法，先把母液中所含的氧化鈣 (lime)、氧化銻 (strontia) 和氧化鎂 (magnesia) 沈澱，再把殘餘部分，用酒精溶解，酒精中預置硝酸，用以處

治鹽基化合物，除鈉線、鉀線和鎰線外，另有二條顯著而密接的藍線，其中一線和 H_{β} 線，幾乎完全符合。

「目下我們知道，並無其他物質，在光譜的這部分，能顯現這兩條藍線，所以可以下一結論，確認在母液內，必有新物質的存在，且必屬鹼金屬。我們建議用鈹字來（符號用 Ca ）命名此新金屬，因為古時曾用 *Caesius* 一字，來指天空上部的藍色，所以對於這個名稱，我們覺得非常正確而便利。微量鈹素和蘇打、氧化鋰、氧化鋁混合後，在白熱的蒸氣中，顯現美麗的藍色，即可證明有新元素存在。」（4）（29）（30）。

以前其他化學家都考檢過鈹素的鑛物，但無不失敗，沒有一個能辨識此新金屬。到一八四六年，普拉特納 (Platner) 曾經分析埃爾巴 (Elba) 送來的鈹榴鑛石 (pollux)，分析結果的總和，不能湊成 100% (10) (36)。在鈹素發現以後四年，彼薩尼 (F. Pisani) 重行分析這鑛石，發見普拉特納的錯誤，就誤在把硫酸鈹當做了硫酸鈉和硫酸鉀的混合物 (8) (37)。

一八六一年二月二十三日，在鈹素發見後數月，本生和克希荷夫又向柏林科學院報告另一



圖一五八 (自左至右) 克希荷夫, 本生, 羅斯科 (H. E. Roscoe)

(攝於一八六二年)

克希荷夫和本生發明分光器,又創立分光分析科學。羅斯科和本生在光化學方面合作研究,又為製取金屬鈮的第一人。

新金屬元素的發現，報告上說：

『從薩克森 (Saxony) 來的紅雲母石 (lepidolite)，我們用常法製成溶液，溶液中除鹼金屬外，不含其他元素，此時傾入氯化鉑少許，得大量沈澱，在分光器上若檢視沈澱，則僅見鉀素的線。』



圖一五九 普拉特納氏像

(Carl Friedrich Plattner 1800-1858)

夫賴堡 (Freiberg) 礦務學校冶金學教授。吹管分析和煅金等專書的著作人。羅斯 (Heinrich Rose) 訓練出來的分析專家。一八四六年作鉍榴鐵石的精密分析時，分光器尚未發明，故不能認出新元素鉍的存在。

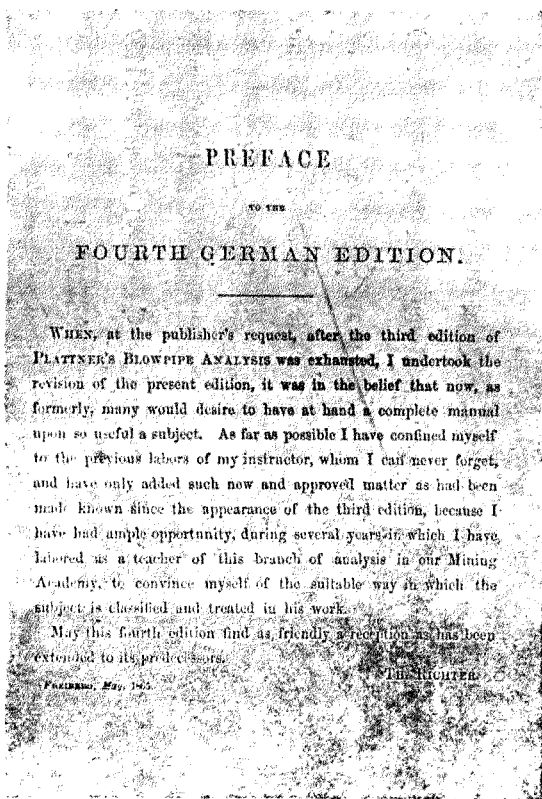
「乃用沸水把沈澱洗滌數遍，每隔片時，即用分光器檢視，發現在 $Sr\alpha$ 和鉀素 $K\alpha$ (β) (註 1) 線間，有二條深紫的線。倘繼續洗滌，這二條線逐漸較鉀素的連續光譜加深，最後鉀線消失，在紅色、黃色和綠色部分，出現新線多條，此等線不屬於目下所已知的元素；我們可以舉出在顯明的夫勞恩荷斐線 A 旁邊二條特別紅的線，或和牠相應和而最明亮的 $K\alpha$ 線做代表，其地點恰在太陽光譜的最紅端，導源於新驗金屬，能發強烈的深紅色光線，更依據 rubidus 一字的原來字意，我們定名為鈷 (rubidium)，符號用 Rb，因在古時，也常用 rubidus 一字來代表最深的紅色。』(4)(30)(31)(35)。

(註 1) 本生和克希荷夫棄 K 而用 $K\alpha$ 作為鉀 (Kalium) 的符號。

爲了想得一種無色的火焰，本生經過一番研究後，遂發明有名的本生燈。

在鈷素的分離上，本生雖告成功 (42)，但他僅在光譜上探知了鈷金屬的存在 (41)，山脫堡 (Carl Setterberg) 博士在二十年後，始用化學方法，把牠分離成功。他用鈷的氰化物和氰化銀同時電解，電解部分的研究，就在本生研究室中完成的。

一八八六年，海得爾堡大學舉行五百週年紀念大會，一席豐盛的早餐吃了三點鐘。在冗長的演說時，本生早已入睡了，中途演說者的高聲，把這個高年的化學家特然驚醒，他拭目向他的鄰座



圖一六〇

普拉特納的吹管分析一書，由其昔年門生李希特 (Hieronymus Theodor Richter) 改訂發行，此人和賴赫 (Ferdinand Reich) 共同發現銻素。

耳語：『我算在夢中，把一根滿盛鉀素的試驗管，落到地板上去了。』（11）

又有一次，人家剛替他向一位英國貴婦人介紹，那個英國婦人，誤認他是大使喬西斯·本生（Josias Bunsen），立刻問他是否已把 Gott in der Geschichte 一書完成，本生答着：『啊！不當令的死阻止了我。』（註一）（11）

（註一）Ach daran hat mich ja mein frühzeitiger Tod verhindern.

本生實在是一個最謙虛而卑下的人，在演講時，有時需要提到他自己的發現，他從不說：『我已經發現，』而祇說：『人類已經發現，』演講上述及分光分析時，學生每鼓掌示敬，稱頌他偉大的功績。本生曾獲得無數榮譽和獎章，有一次他慘然說道：『這些東西，對於我的價值，全在牠們能使我母親快樂，但現在她已死了！』（註一）（21）（49）

（註一）Solche Dinge hatten nur Werth für mich, Weil sie meine Mutter erfreuten; sie ist nun todt.

他和富古令（Vauquelin）及加萬粒粟（Cavendish）一樣，終身堅守不娶，有人訊其由，他老是答：『我永遠找不出適當的時候。』因為沒有家室之累，所以對於學生，更覺親切，他時常終日陪

學生在實驗室中工作，耐心着指示他們，一切詳細的化學手續。七十歲時，給羅斯科的信中說：『我在目下飛奔的歲月中，沈浸在過去快樂時日的回憶中生活着，現在想來，其中最使我感到愉快的，要算在我們多年真誠的友誼生活時代。』工作一天後，他最歡喜在海得爾堡城附近遍植栗樹的山上，和一二老友如克希荷夫或赫爾姆霍斯輩，散步其間。



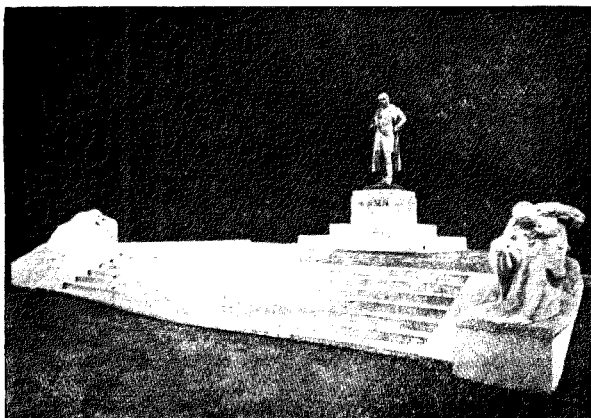
圖一六一 赫爾姆霍斯氏像

[Hermann (Ludwig Ferdinand) von Helmholtz 1821-1894]

蓬(Bonn)和海得爾堡兩大學的生理學教授。柏林大學物理學教授。眼膜曲率器的發明人，此器用以檢查眼網膜，他又用數學公式表示能力常住定律。

天賦他一付英明的心靈、愉快的性格、強壯而健康的身體、和長久的壽命（48）。發明蒸氣卡計時，已經是七十六歲的老翁，七十八歲始辭海得爾堡大學教授職，此後又活了十年。晚年的生活，非常愉快，以前的學生和同事，無不向他稱榮示敬，本生於一八九九年八月十六日去世，死前三日，一直彌留於平靜的睡眠狀態中，羅斯科爵士曾記述他的面容，終始保持着「他一生中最光榮時那種智慧的表情。」（13）

自從本生和克希荷夫二人的研究，開闢了新路以後，其他各種新元素，受賜於分光器而發見者，計有鉈（thallium）、銾（indium）、鎘（gallium）、氦（helium）、鐳（ytterbium）、釹（holmium）、銩



圖一六二 海得爾堡大學本生紀念像

(thulium) 釷 (samarium) 釷 (neodymium) 鐳 (praseodymium) 和鐳 (lutecium) 等各種。

鉍 (thallium)

克盧克斯 (William Crookes) 爵士，是注意鉍素存在的第一人。生於一八三二年六月十七日，初在契彭罕姆 (Chippenharn) 初等學校讀書，十六歲入皇家化學院，其時荷夫曼 (Hofmann) 雖為第一任教授，但對於他竟毫無影響，他始終沒有注意有機化學，他第一張論文的題目是『關於氰化硒』，出版時年僅十九，一八五九年起，開始刊行『化學新聞誌』 (Chemical News)。



圖一六三 荷夫曼氏像

(August Wilhelm von Hofmann
1818-1892)

德國化學家，在倫敦皇家化學院任第一任教授多年。苯胺顏料工業的創立人。由苯製硝基苯和苯胺的第一人，德國化學會創辦人之一，前後任會長十四次。

直到一九〇六年，他是這分重要雜誌的唯一主編人。

一天離本生和克希荷夫報告鈷素發現後不久，克盧克斯湊巧在分析哈茲（Hars）省鐵爾克羅台（Tilkerode）硫酸廠送來的幾分殘體物，荷夫曼在數年以前，就交給他研究，因為裏邊含有硒化物，能製氰化硒，硒素分離以後，克盧克斯仍把殘體留下，他相信裏邊還含碲素。

用分光器把殘餘體檢查後，並無碲線出現，而在器上硒線也漸見褪去，但同時卻有美麗的綠線出現，為以前所從未見過的新線；他就下一結論，認為裏邊必含一新元素，因為光譜中現綠線，故命名為鉈（thallium），此字意作綠枝解（green branch）。第一個報告在一八六一年三月三十一日出版的化學新聞誌上發表（38），起先他誤認這是和硫相仿的一種非金屬，但不久就變更他的信仰。一八六二年把標本送到國際博覽會去陳列，瓶上表題着『新金屬鉈素』一行大字，因而贏得一筆獎金（14）。

克盧克斯爵士對於稀有氣體的研究，以及在放射學和分子物理上的貢獻，將長為人類所記念。一八九五年拉姆塞（William Ramsay）爵士發現氫氣後，克盧克斯首先證明牠和羅克頁

(Norman Lockyer) 爵士用分光器在太陽大氣中所見者相同他又發明輻射計 (radiometer) 和閃鑠鏡 (spintchariscope) 在皇家學會玻璃工人白障眼委員會服務時擔任的實際研究對於人類更有偉大的裨益；他創製了一種近於無色的玻璃眼鏡，玻璃熔化時射來的白熱有害光線，都



圖一六四 克盧克斯爵士像

(Sir William Crookes 1832-1919)

英國物理學家及化學家。皇家學院教授，輻射計和閃鑠鏡的發明人。化學新報的創辦人兼編輯人。觀察鈹素綠線的第一人，又為最先證明太陽氦和地球氦為同一種元素者。鈾 X_1 的發現人。

被隔斷，工人的眼睛，從此都有了保障（14）。他曾經二次到基姆柏利參觀著名的金鋼石鑛區，後來在一九〇九年寫了一冊關於金鋼石的小書，獻給他的妻子。

巴斯克維爾（Charles Baskerville）氏曾給克盧克斯寫一篇傳記，關於他的家庭生活，有下面一節有趣的描寫（15）。

「星期日晚上，克盧克斯爵士總是留在家裏；書室之內，典籍高堆到天花板，一大羣從英格蘭和其他各地來的第一流科學家，圍聚着討論尚未解決的問題。菸煙繚繞，彌漫一室，討論問題的結果，總不比濃厚的煙霧清楚，鐘準在七點打着的時候，克盧克斯夫人從煙霧中劈隙而入，非常溫和的帶着賓客到樓下食堂去。對於每件事，他總是週到而細心，辯論時守禮而勇敢，對於少年人有屈從而自卑的德性，博學多能，屈伸自在，剛柔隨機應變，克盧克斯爵士實在是最可親的人了。」

自夫人於一九一六年去世後，從此他就鬱抑不樂，心神終老不復安寧，自己也隨即於一九一九年四月四日過世，享年八十有六（14）。

雖然在分光器上看到鉈素綠線，克盧克斯爵士無疑是世間第一人，但很多史家，特別在法國方面，咸信鉈金屬的分離成功，當歸功於拉密（Cloude Auguste Lamy）；此人於一八二〇年七月十五日生於法國儒拉（Jura）區乃累（Néry）城，初在巴黎高等師範學校（École Normale Supérieure）攻讀，三十一歲得利爾（Lille）大學的博士學位，卒業後最初在利摩日（Limoges）教物理學，其後又到利爾大學任物理學教授（16）。

一八六二年四月，正是利爾當教授的時代，他分析路斯（Loos）硫酸廠送來的黏質鐵泥，這個廠是用比利士的黃鐵礦做原料；在分光器中，他檢得綠線，這也就是導引克盧克斯發現鉈素的綠線。關於鉈素的分離，拉密所採用的方法，最好抄用他自己的記錄，來報告分離的經過：

「黃鐵礦在坑爐中燃燒時，同時生成二氧化硫、亞砷酸、亞硒酸和鉈的氧化物，這些都跟着鐵塵，同時帶入第一鉛室；第一鉛室中假使除氣管以外，和以下各室沒有其他連接，沈積於此的氧化鉈，最後變成了硫酸鉈和硫酸鉛、硫酸鐵以及黃鐵礦中的其他雜物，同聚在一起。」

（拉密繼續着說），「鉈素可從第一室沈積物中分離出來，其法為將沈積物和等容量的

王水(aqua regia)同熱，在將乾的時候，王水已近於完全逃散，乃用兩倍其重量的沸水，溶解殘體，液體冷卻時，我們可以看到多量的黃色結晶片，再結晶幾次後，遂得六氯化鉈，乃用五個本生式電池來電解氯化物，受電解作用後，在負極上我們就得純粹的鉈素，用這個方法，我們方始第一次分出這新金屬。』(17)(39)。

拉密曾經宣稱，克盧克斯爵士所見的鉈素，實在是一種硫化物，但後者答稱在一八六二年五月一日，他已製得金屬鉈素，只因牠的揮發性太強，他不敢把所得的黑粉熔解而製成鋼錠(18)；後來法蘭西學院組織了一個委員會來辦理這件案子，委員包括得維爾(Henri Saint-Claire Deville)、柏盧斯(Théophile Jules Pelouze)和杜馬(J. B. A. Dumas)，他們一致否認克盧克斯，而判定拉密是分離金屬鉈素的第一人(17)(44)。

把新金屬的化合物詳細研究以後，拉密教授所得的結論，認鉈素能製成二系鹽化合物，其中亞鉈系鹽是一原子價，鉈系鹽是三原子價；亞鉈系鹽的一切化合物，性質近於鹼金屬類，而鉈系鹽的化合物，和鉛素相近。杜馬有一次說過，『根據平常所採用的金屬元素分類法的觀點來說，鉈素



圖一六五 杜馬氏像

(Jean Baptiste André Dumas 1800-1884)

阿忒尼爾 (Athenaeum) 和索爾蓬兩大學的化學教授。設計蒸氣密度測量法，發展有機化學中的式型理論，否定柏齊力阿斯的二性電化論 (dualistic electro-chemical theory)。研究脂肪醇，杜馬和潘立哥脫 (Péligot) 始發展同系概念。

實具相反各族元素的特性，所以我們稱他為一種怪僻的金屬，或金屬中的鴨嘴獸 (ornithorynchus) 也不能算誇張的一件事。』(註一)(40)(41)。

(註一)「Il n'y a pas d'exagération à dire qu'au point de vue de la Classification généralement

acceptée pour les métaux, le thallium offre une réunion de propriétés contradictoires qui autoriserait à l'appeler le métal paradoxal, l'ornithorynche des métaux."

到一八六五年，拉密升任巴黎中央工藝學院的化學教授，他發表的報告，有關於磁性物理學的進步，鉈的毒性，石灰在水中的溶度等等研究，一八七八年四月二十日逝於巴黎（16）。

銻 (indium) (註1)

一八六三年在夫賴堡有

名的鑛業學校內，擔任物理學

教授的賴赫 (Ferdinand

Reich) 和他的助教李希特

(H. T. Richter) 發現了新

元素銻 (indium) 賴赫於一七



圖一六六 賴赫氏像

(Ferdinand Reich 1799-1882)

夫賴堡鑛務學校物理學教授兼監督。銻素發現人。研究磁針傾斜的變動，夫賴堡的風量和雪量以及深度不同處岩石的溫度。

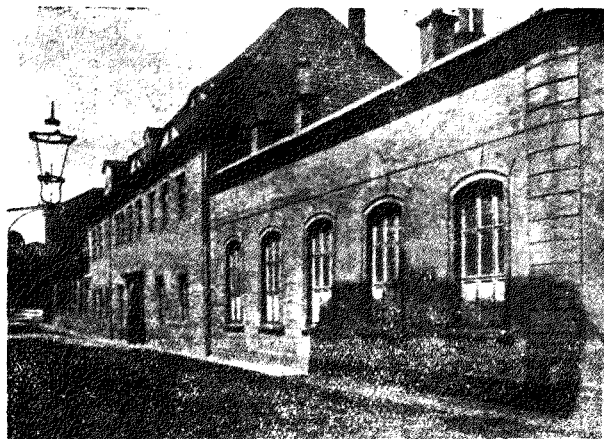
九九年二月十九日生於柏恩堡 (Bernburg) 城，在來比錫 (Leipzig) 夫賴堡 革丁根 和 巴黎 等地求學。

(註一) 賴赫 和 李希特 二人的像片，以及搜尋關於錫素之材料時，作者多得普林斯敦大學 (Princeton University) 麥克場 (L. W. McCay) 教授及夫賴堡學院 院長布朗克 教授 (O. Brunck) 之贊助，不勝感激，特此誌謝。

一八二二年，他步行到革丁根，從斯特羅邁厄 研究化學，他敬慕斯特羅邁厄，「因為他的工作清楚明白，選擇物料，謹嚴而適當。」(51) 夫賴堡 的學校當局，曾請他擔任鑛務學院 中 (Mining Academy) 辦理儀器鑛物，以及購買珍貴書籍的事務；次年他又負着同樣的使命，到巴黎 去為夫賴堡學院 和革丁根 的斯特羅邁厄 選購白金器具，校訂砝碼儀器以及鑛石等。停留在巴黎 時，往索爾蓬 (Sorbonne) 學院 (指巴黎大學 之科學部和文學部授課所在地——譯者註) 鑛務學校 和法蘭西大學 (Collège de France) 等地讀書，得識布隆尼阿 (Brongnart) 阿拉哥 (Arago) 該·律薩克 (Gay-Lussac) 泰那爾 (Thenard) 利俾喜 (Liebig) 普蒙 (Élie de Beaumont) 和洪保德 (Alexander von Humboldt) 等有名科學家，他特別仰慕該·律薩克「簡潔而謙恭的生

活，和深湛而豐富的學識。』(51)

從一八二四年起到一八六六年退職時止，賴赫在學院中任監督的職務，對於鑛石的收集、用品的購買、記錄的保存、圖書的編目、鑛務和冶金曆的編輯，都一手負責辦理。對於磁針傾斜差，有深入而澈底的研究；此外夫賴堡的雨量和雪量，做過多年準確的記錄，從巴黎回來後，開始講演法國的度量衡制度，所以賴赫、赫得（Herder）和布楞特爾（Brendel）三人，實在是把米突制介紹到薩克森來的創導人。對於深度不同處岩石的溫度，賴赫觀察所得的結果，極有科學上的意義；關於地球平均密度的研究，和加萬粒粟的結果也極吻合。



圖一六七 夫賴堡鑛務學校化學實驗室

從一八三〇年到一八三一年，賴赫曾在夫賴堡市六十位受過教育的市民前，開始一組有系統的演講；這些市民，大部分和鑛業或鑛物化鍊廠，都是有相當關係的人士，有了演講，雖可以增加多少收入，但後來他又把演講中途停止，理由是這般人所歡迎的東西，都是不十分科學的，和平常在學生面前講演的不同。他在鑛物學方面，也曾擔任過十二年教職，其他如普通化學的教務，也曾擔任過好幾年。

賴赫是在平時最注意學生幸福的一個人，他訂出一個晚上，專門招待學生，學生也完全把他當做朋友一樣看待，對於不十分諳熟德意志語言的外國學生，時常用法文來加添課外演講，體諒學生，深切若是，誠是難得。

從鑛物化鍊廠冒出的煙霧，有害於農間的作物、糧秣和收穫，實在是一個極嚴重的問題；普拉特納教授正在想法如何移去二氧化硫的時候，賴赫就設計了一具極簡便的儀器，能計量一切蒸氣和其他種種氣體中的二氧化硫量。當希爾伯斯多夫（Hilberdorf）歐洲高煙肉樹立後，仍沒有戰勝這個難題，反之對於果子和樹木的損害面積，較以前更廣大了，賴赫教授曾經研究德國比

國和英國四十個礦物化鍊廠的煙問題，但問題仍沒有解決，他死後到一八九〇年，哈爾斯勃流克（Halbrücke）造了最高煙囪後，纔算解決。

一八六三年，賴赫開始從夫賴堡希曼爾斯夫斯脫（Himmelfirst）鑛的鋅鑛石中，尋求鈹金屬，這鑛石中所含最主要的成分是砷黃鐵鑛、閃鋅鑛（blende）、鉛輝鑛石（lead glance）、氧化矽、錳、銅和其他少量的錫和鎳（19）（43）。把這些雜鑛石悶燒以後，大部分硫和砷都已散去，然後用鹽酸分解（47）。文克爾（Clemens Winkler）當時為薩克森顏料廠冶金專家，一八六三年曾訪候賴赫教授，賴赫教授指着一堆柴黃色的沈澱對他說：『這是一種新元素的硫化物』（52）。賴赫自己是色盲患者，所以就信託他的助教來做分光檢查。

李希特（Hieronymus Theodor Richter）於一八二四年十一月二十一日生於德累斯頓（Dresden）市，在夫賴堡的鑛業學校任冶金學講師，他放一些閃鋅鑛在白金的線圈上，然後放在本生燈上燒，發見一種輝煌的靛青線和鉞素的各種藍色線都不相合（52）。因新元素在分光器上，呈顯特殊色線，就命名為錮，研究報告印行的時候，二人共同具名，但賴赫教授對於這個錯誤，表

示遺憾，因李希特一再設法表示，好像他是銻元素的唯一發現人（20）、（51）、（52）。
賴赫和李希特以後又發見銻素有二條線，較亮的一條比銻素的藍線屈折性稍高，而較暗弱的一條更高，地點在鈣的藍線附近，銻化合物在本生燈光焰中，生極亮的靛青色和紫色，就是不用分光器，也可以辨認出來。

他們又分出少量銻素的氯化物和含水氧化物，用吹管在焦炭上把氧化銻和碳酸銻細心加熱後，得不純粹的金屬銻若干（21）、（43）。金屬銻色白而有延伸性，是和錫同樣易於熔解的金屬，拉過紙面時，能留下一個痕蹟。



圖一六八 李希特氏像

(Hieronymus Theodor Richter
1824-1898)

夫賴堡鑛務學校校長。銻素特有藍色譜線最先觀察者。冶金學家、試鑛家、吹管分析的權威學者。

賴赫和李希特兩人，探知鋅鏤中分離銻素，比在閃鋅鏤中容易後，乃製成氧化銻，放在瓷坩堝上，可用氫或發光氣 (illuminating gas) 還原，在氰化鉀層下融化銻素，後來也告成功 (44) (45)。文克爾曾依賴赫的提議，作金屬銻和化合物的澈底研究 (20)。

在威爾斯 (Wells) 的『科學發現年刊』 (*Annual of Scientific Discovery*) 上，關於最初的金屬銻，我們可以找到下面一節極有趣的記載：

『一八六七年四月，賴赫在科學院 (Académie des Science) 陳列銻素標本二件，都是棱晶體四吋長，其截面是一個不等邊的四邊形，高半吋，低邊的闊度為二分之一吋，一為四分之三吋，金屬質是非常純粹的，極像鎳素，李希特曾估計二標本的代價值八百鎊。』 (21)

對於政治生活，賴赫教授毫無趣味，所以在他廣博的圖書館中，也不藏這方面的書籍。他擔任過貧民的事務官幾年，對於貧者施惠極多，他自己沒有親生的子女，但對於傷妻而不幸的哥哥路易 (Ludwig) 所生的十一個孩子，在教育上和扶養上，都盡力贊助，有幾位侄女在賴赫夫婦的家裏住過好幾年，其中有一個侄子，還靠了他們的贊助，而完成中學和大學的教育 (51)。

賴赫酷愛旅行，幼時一切旅行經歷，都有日記可稽。到一八六五年年終告退時，買了一所屋子，在新居中沈醉於科學書和科學雜誌中者將近二十年，自一八七六年妻去世後，一直到一八八二年四月二十七日自己謝世時止，全賴他的侄孫女幫助他料理家務。

李希特於一八七五年任夫賴堡鑛業學校的校長，他的美國學生麥克堪 (LeRoy Wiley McCay) 曾描摹他是一個神經質的，有興奮性而多動的玲瓏人物。他是冶金學和試金術 (assaying) 的專家，普拉特納的吹管分析 (Blowpipe Analysis) 一書以後各版，他曾負責改訂幾次，他有一張研究報告，有關於用氯水分離金鑛中黃金的方法。對於學生，雖然非常嚴厲，而他的學生卻最愛欣賞他的談諧和智機 (20)。李希特於一八九八年九月二十五日在夫賴堡逝世 (16)。

參考材料

- (1) Goethe, "Faust," Part 2, lines 6255-6.
- (2) Ostwald, Wilhelm, "Männer der Wissenschaft—R. W. Bunsen," Verlag von Wilhelm Weicher, Leipzig, 1905, pp. 4-7.
- (3) Färber, "Geschichtliche Entwicklung der Chemie," Springer, Berlin, 1921, p. 210.

- (4) Jagnaux, "Histoire de la Chimie," Vol. 2, Baudry et Cie., Paris, 1891, pp. 182-6.
- (5) Debus, "Erinnerungen an Robert Wilhelm Bunsen," Jb. G. Fisher and Co., Cassel, 1901, p. 126.
- (6) *Ibid.*, p. 23.
- (7) Ostwald, "Männer der Wissenschaft—R. W. Bunsen," Ref. (2), pp. 13-12.
- (8) "Chemical Society Memorial Lectures, 1893-1900," Gurney and Jackson, London, 1901, pp. 530-2. Bunsen Memorial Lecture by Sir Henry Roscoe.
- (9) Ostwald, "Männer der Wissenschaft—R. W. Bunsen," Ref. (2), pp. 25-30.
- (10) Meyer, Ernst von, "History of Chemistry," 3rd English edition from 3rd German, Macmillan, London, 1903, p. 426.
- (11) Ostwald, "Männer der Wissenschaft—R. W. Bunsen," Ref. (2), pp. 35-6.
- (12) *Ibid.*, p. 40.
- (13) "Chemical Society Memorial Lectures, 1893-1900," Ref. (8), p. 553.
- (14) Tilden, "Sir William Crookes," *Trans. Chem. Soc.*, 117, 444 (1920).
- (15) Baskerville, "Sir William Crookes," *Science* (N. S.), 31, 100-3 (Jan. 21, 1910).
- (16) Pogendorf, "Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften," 5 vols., Verlag Chemie, Leipzig, 1863-1926. Articles on Lamy, Reich, and Richter.
- (17) Jagnaux, "Histoire de la Chimie," Ref. (4), Vol. 2, pp. 186-9.
- (18) "Thallium und Verbindungen desselben," *Jahresber. Chem.*, 1862, 176-89.
- (19) Reich and Richter, "Preliminary Notice of a New Metal," *Chem. News*, 8, 123 (Sept. 12, 1863).

- (20) McCay, "My Student Days in Germany," *J. Chem. Educ.*, **7**, 1085-6 (May, 1930).
- (21) "The New Metals," *Wells' Annual of Scientific Discovery*, **1864**, 174-7. Indium, rubidium cesium, and thallium are discussed.
- (22) Wollaston, "A Method of Examining Refractive and Dispersive Powers by Prismatic Reflection," *Nicholson's J.*, **4**, 100 (Feb., 1803).
- (23) Lenard, "Grosse Naturforscher," J. F. Lehmanns Verlag, München, 1929, pp. 169-76.
- (24) Sheppard, "The Chemistry of Photography. I. Historical Considerations," *J. Chem. Educ.*, **4**, 306-12 (Mar., 1927).
- (25) Talbot, "On the Nature of Light," *Phil. Mag.* (3), **7**, 117 (Aug., 1835).
- (26) Talbot, *Pogg. Ann.*, **31**, 592 (1834).
- (27) "Bunsen and the Geysers in Iceland: A Classic of Science," *Sci. News Letter*, **18**, 262-71 (Oct. 25, 1930); Finsen, "Ueber den innern Zusammenhang der pseudovulkanischen Ersecheinungen Islands," *Ann.*, **62**, 1-59 (Heft 1, 1847).
- (28) "Classics of Science: Spectrum Analysis," *Sci. News Letter*, **13**, 121-2 (Feb. 25, 1928); Kirchhoff and Bunsen, *Pogg. Ann.*, **110**, 161 (1860).
- (29) "On a New Alkali Metal, by MM. Bunsen and Kirchhoff," *Chem. News*, **2**, 281 (Nov. 24, 1860).
- (30) "Discovering the Alkali Metals: A Classic of Science," *Sci. News Letter*, **18**, 183-8 (Sept. 20, 1930).
- (31) "On a Fifth Element Belonging to the Alkali Group, by Professor Bunsen," *Chem. News*,

- 3, 357 (June 15, 1861).
- (32) Talbot, "Facts Relating to Optical Science. No. 1," *Phil. Mag.* [3], 4, 114 (Feb., 1834).
- (33) Brewster, "Observations on the Lines of the Solar Spectrum, and on Those Produced by the Earth's Atmosphere, and by the Action of Nitrous Acid Gas," *ibid.* [3], 8, 384-92 (May, 1836).
- (34) Kirchhoff and Bunsen, "Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen," *Ann.*, 118, 349-61 (Heft 3, 1861).
- (35) Bunsen, "Ueber Cäsium und Rubidium," *ibid.*, 119, 107-14 (Heft 1, 1861).
- (36) Plattner, *Pogg. Ann.*, 69, 443 (1846).
- (37) "Analysis of the Mineral Pollux of the Island of Elba," *Chem. News*, 10, 49 (July 30, 1864); *Bull. soc. chim.* [2], 1, 456-7 (1864); Pisani, "Étude chimique et analyse du pollux de l'île d'Elbe," *Compt. rend.*, 58, 714-6 (Apr. 18, 1864).
- (38) Crookes, "On the Existence of a New Element, Probably of the Sulphur Group," *Chem. News*, 3, 193-5 (Mar. 30, 1861).
- (39) Lamy, "De l'existence d'un nouveau métal, le thallium," *Compt. rend.*, 54, 1255-8 (June 16, 1862); *Ann. chim. phys.* [3], 67, 385-417 (Apr., 1863); "Nouvelles observations sur le thallium," *Compt. rend.*, 55, 836-8 (Dec. 1, 1862).
- (40) Pelouze, H. Sainte-Claire Deville, and Dumas, "Rapport sur un Mémoire de M. Lamy, relatif au thallium," *Compt. rend.*, 55, 866-72 (Dec. 8, 1862); *Ann. chim. phys.* [3], 67, 418-27

- (Apr., 1863).
- (41) Setterberg, "Ueber die Darstellung von Rubidium- und Cäsiumverbindungen und über die Gewinnung der Metalle selbst," *Ann.*, 211, 100-16 (Heft 1, 1882).
- (42) Bunsen, "Ueber die Darstellung und die Eigenschaften des Rubidiums," *ibid.*, 125, 367- (Heft 3, 1863).
- (43) Reich and Richter, "Vorläufige Notiz über ein neues Metall," *J. prakt. Chem.*, 89, 441-4 (Heft 7, 1863).
- (44) Reich and Richter, "Ueber das Indium," *ibid.*, 90, 172-6 (Heft 3, 1863); 92, 480-5 (Heft 8, 1864).
- (45) Richter, "Sur l'indium," *Compt. rend.*, 64, 827-8 (Apr. 22, 1867).
- (46) Lenard, "Grosse Naturforscher," Ref. (23), pp. 269-80.
- (47) Mellor, "Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry," Vol. 5, Longmans, Green and Co., London, 1924, pp. 406-20 (article on thallium); pp. 386-90 (article on indium).
- (48) McCay, "My Student Days in Germany," *J. Chem. Educ.*, 7, 1094-9 (May, 1930).
- (49) Oesper, "Robert Wilhelm Bunsen," *ibid.*, 4, 431-9 (Apr., 1927).
- (50) Freudenberg, "The Study of Chemistry at Heidelberg: A Glimpse of an Historic Home of Research," *ibid.*, 4, 441-6 (Apr., 1927).
- (51) Tschoner, "Ferdinand Reich," *Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins*, Heft 51, pp. 1-39

(52) Brunck, "Ein Beitrag zur Geschichte der Chemie. Freiberg und die Chemie," *Technische Blätter (Wissenschaftlich zur deutschen Bergwerks-Zeitung)*, No. 5 (Feb. 1, 1831) and No. 8 (Feb. 22, 1831), pp. 1-8.

鉍素發現史的補充



圖一六九 拉密氏像

(Claude Auguste Lamy 1820-1878)

法國化學會一八七三年份會長。製鉍素金屬鉍的第一人。於其化合物作澈底研究，並證明皆有害。衆多關於光學、電學、測高溫學、有機及無機化學和製糖工程等論文的著作者。

第十五章 元素的週期歷

元素發現史繼續敘述以前，略述得培賴納 (Döbereiner)、培哥頁 (Beguyer de Chancourtois) 和紐蘭茲 (Newlands) 三人關於元素分類的各種嘗試，極見需要。此外邁耳 (Lothar Meyer) 和門得雷耶夫 (Mendeleeff) 各自獨立發展的元素週期歷，也須有一個簡單的討論。根據這個分類，門得雷耶夫能預言好幾樣尚未發現的新元素和化合物的特性，到驚人的確度，對於以後各種新元素的發現上，足證有極大的幫助。

*

*

*

*

*

抑制一切忘念，用工作來替代說話，

忍心尋覓神聖而科學的真理 (1)、(15)。

是誰叫他到那塊聖地去？

那邊打着愉快而和諧的鐘聲（2）。

尋覓各種未知元素時，鹼金屬和分光器的幫助雖多，但每一次發現，到底都是始所不料的。一八六九年以前，邁耳和門得雷耶夫尚未發現週期歷，尙餘那幾種未知元素，牠們的物理和化學特性到底怎樣，這種切都是我們無法預知的。

得培賴納（Johann

Wolfgang Döbereiner）教

授所發現的三連組（triads）

（10）、（11），實在是走向

這大歸納前的一重要步驟。



圖一七〇 得培賴納氏像

(Johann Wolfgang Döbereiner
1780-1849)

耶那大學化學教授。他發現的三連組元素在化學元素的系統分類爲一大進步。他著作極多，論文發表更富，都關於一般和藥物化學、鑛水、醋之製造，以及鉑素接觸劑之應用等。本幅畫像現藏耶那市立博物館。

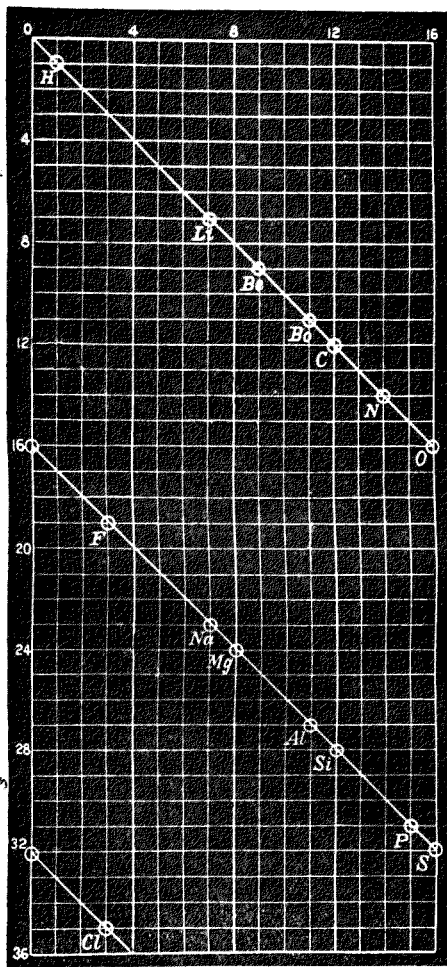
他於一七八〇年十二月生於耶那城附近的荷夫 (Hof) 地方，生爲御者子，所受的基本教育，當然非常淺薄。在製藥鋪裏學得了多少實際經驗，在哲學、化學、植物學、礦物學和語言學的講學會裏，聽過幾次演講。但是他對於化學研究所展露的才能，真是驚人，後來到一八一〇年，編輯人蓋倫 (A. F. Gehlen) 和奧古斯德 (Carl August) 公爵合請他在耶那當化學的特任教授 (22)，他的品性和才能，不久就博得公爵和詩人歌德 (Goethe) 的器重 (23)、(24)、(27)。

得培賴納於一八二九年就開始注意幾個三連組間的關係，凡三元素中，中間一元素的原子量在其他二者之間時，其性質也在其他二者之間 (29)、(31)。

得培賴納教授對於白金的接觸作用，也有澈底的研究，(註一)關於普通化學、藥物化學、醋的製造、和診斷用的鑛水等，都有著作行世，且在利比喜以前，就教授分析化學上實用的試驗法，逝於一八四九年三月二十四日。

(註一)有一時期得培賴納在研究上曾得歐散 (Gottfried Wilhelm Osann) 幫助，此人在白金方面的研究，後來引成克勞斯 (Klaus) 發現銻素 (ruthenium)。

巴黎鑛業學校的地質學教授培哥頁 (Alexander E. Beguyer de Chancourtois) (一八二〇——八六) 於一八六二年在一個垂直的圓柱形上，做了個螺旋輪 (telluric screw helix)，各元素的符號，依原子量的比例，配放在高低各位置上，因為氧氣的原子量十六，所以在圓柱的圓



圖一七一 培哥頁發明螺旋輪一部分

周上等分爲十六分，原子量在出發點用縱座標表出，然後依序前進，所成旋輪和軸線恰成四十五度角，而螺線經出發線時都爲十六的倍數，例如鋰、鈉和鉀三元素，原子量爲七、二三、三九，相交於同一垂線；氧、硫、硒和碲四元素，則交於另一垂線。

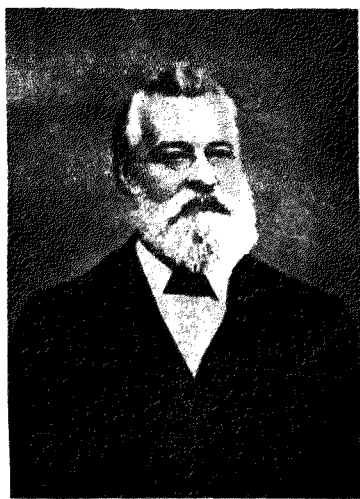
培哥頁發見同一出發線上的元素，有極大的相同性質，就想到特性的週期出現歷，因此創「物質的性質爲數的性質」之說（the properties of substances are the properties of numbers）乃把石印就的論文和螺旋輪的模型，上呈法蘭西學院（12）、（13）、（14）。但真是不幸得很，不醒目而含糊的文筆，所用的專門名詞，都是化學家不熟悉的，還是地質學家懂得多，因此 *Comptes rendus*（註一）學報，也沒有把他的圖樣印出來，他的貢獻不爲世人所賞識者，都是這一切不幸的環境造成的結果（19）。

（註一）*Comptes rendus*（譯者註：*Comptes rendus* 爲法國科學雜誌名）最後雖把論文印出，已是三十年後的事了，見參考（35）。

此外關於元素的分類上另一個大貢獻，是紐蘭茲（John Alexander Reina Newlands）的

業績，他於一八三七年生於英國薩塔克 (Southwark)，父爲蘇格蘭國教的牧師，幼時從父勤讀，十九歲進皇家化學院從荷夫曼學，對於意大利敬仰極深，因爲是他母系先祖的故鄉，故於一八六〇年在加利巴爾提 (Garibaldi) 所統帶的軍中任義勇兵，自意大利自由運動勝利後，即返倫敦任化學師，並在薩塔克州聖薩維夏市 (St. Saviour) 拉丁語學校、女子醫學校和倫敦大學等處教書，曾任維克托利阿·多克斯 (Victoria Docks) 城大鍊糖廠總化學師多年，其後並和兄 (B. E. R. Newlands) 合刊關於糖的著作一冊。

一八六四年，他把元素依原子量加增序而排列，發見每過八種元素後，相同的物理和化學特性，即重行出現 (6)。因此把元素分成自然的系族，



圖一七二 紐蘭茲氏像

(John Alexander Reina Newlands
1837-1898)

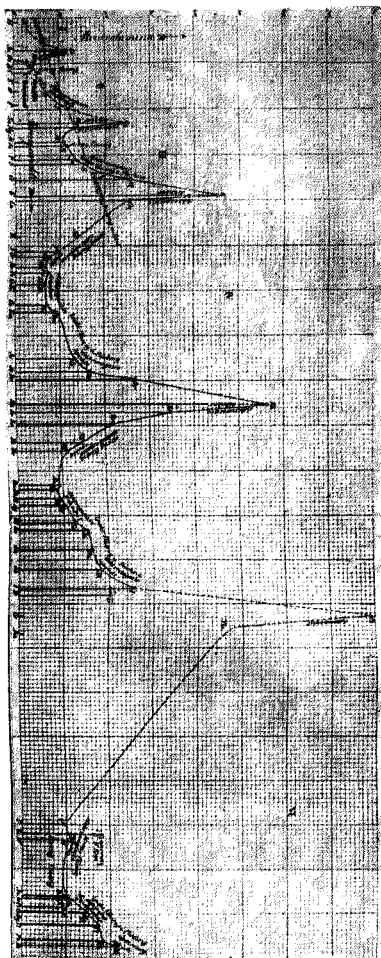
女子醫學院及倫敦學院化學教授。八進定律的發現人。又爲鍊糖化學的權威學者。

但他的八進定律 (Law of octaves) 除了引起英國化學會的嘲笑外，別無其他成效。原子量的重要意義，當時極少人注意，有一個聰明人加以譏笑，問他何不把元素，依開始字母的秩序排列起來，也許可得相同的結果 (3) (18)。化學會拒絕他刊印論文，但後來到一八八七年，皇家學會終因此項功績而追贈他得維 (Davy) 獎章 (9) (17)。

W. A. T. 先生 (不知是否 Tilden) 在自然界 (Nature) 寫的一篇小傳上說，門得雷耶夫和邁耳得得維獎章五年以後，紐蘭茲纔得得維獎章，這樣遲緩的處置，對於紐蘭茲實在是一件不公平的事，他說：「假使紐蘭茲是一個法國人，科學院和化學會就算在開頭時弄錯了，以後分配榮褒時，決不至把本國人放在最後的。」(36) 幸而紐蘭茲決不計較這些地方，照舊出席化學會例會，他的和氣守禮，深得友朋的尊敬，至一八九八年七月二十九日，染流行性感冒而歿。

德國的邁耳和俄國的門得雷耶夫同時獨立啓發並推進元素的週期系統，邁耳 (Julius Lothar Meyer) 於一八三〇年八月十九日生於俄爾頓堡 (Oldenburg) 的發累爾 (Varel)，父親是醫生，母親在手術上當助手，因此所生二子，都受醫學的教育；但以後邁耳雖成化學名家，而哥哥

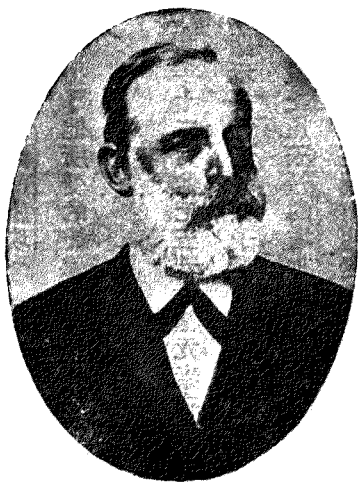
Oskar Emil 則仍投入醫界。邁耳是一個不十分強健的孩子，因此在俄爾頓堡大公爵建在拉斯泰特 (Rastede) 避暑別墅園丁長指導下，受過戶外生活的教育，使他有一個結實的身體，對於大自然養成了一種永久的愛好，到一八五四年，得浮茲堡 (Würzburg) 大學醫學博士的學位(33)。



圖一七三 邁耳所發現原子體積的週期曲線

縱座標爲原子體積，橫座標爲原子量。

就在這時候，邁耳發現自己對於研究工作，比醫業更有趣味，因此到海得爾堡從本生和克希荷夫學，不久克希荷夫引起他對於實用數學的深切興趣；一八五八年邁耳在布累斯勞大學任物理和化學的特許講師，六年後和哥哥同在該處任數學和數學物理的正教授，同年邁耳出版近代化學理論 (*Modernen Theorien der Chemie*) 一書，他的第一張不完全的週期表，也收印入書內，使他的名聲震驚了整個科學世界 (4)。



圖一七四 邁耳氏像

((Julius) Lothar Meyer 1830-1895)

德國化學家兼醫學家。布累斯勞及丟平根 (Breslau and Tübingen) 兩大學化學教授。與門得雷耶夫為元素週期系統之共同發現人。研究範圍在：血液中氣體分量、化合物分子體積、原子量、靈敏節溫器、石蠟屬及洋紅之構造式研究等各方面。

一八六八年他到卡爾斯盧埃 (Carlsruhe) 工業大學，其時適逢普法戰爭，學校暫作陸軍病院，他乘此機會，發揮了他所受的醫學訓練，任外科軍醫官，在戰時貢獻極多，故戰後得受獎章一枚 (4)。

到一八六九年十二月，他把五十六種元素在表中列成正族和支族 (sub-group) (26)、(30)。他劃一根曲線，顯示各元素的原子量和原子體積間的關係，發現這根曲線在各最高點，可分成六段，在第二和第三段上，原子量的增加率為十六單位，在第四、第五二段上，原子量有較大的增加，每段約四十六單位，於是他更創製熔度、揮發性、展性、脆性和電化性的各種曲線，發覺各種特性，都呈現週期性，揮發和易熔性的元素，在各曲線的上升部分，而難熔的元素則在下降部分，或最低各點上。

一八七六年，邁耳在丟平根 (Tübingen) 大學任化學教授，他在大學中除熱心教課外，兼任校長職位。他的名望和才能，招到了全世界各地的學子，都趨前就學 (4)。歿於一八九五年四月十一日。

門得雷耶夫 (Dmitri Ivanovich Mendeléeff) 於一八三四年二月七日生於西伯利亞西部的托善爾斯克 (Tobolsk)，他是俄國和蒙古的混合種後裔，一個大家庭中最年幼的孩子，有幾位寫傳家說，這一家共有十七個孩子，而比較保守的史家也說有十一個孩子。



圖一七五 門得雷耶夫氏像

(Dmitri Mendeléeff 1834-1907)

彼得格勒大學化學教授。名教本化學原理之著作人。曾研究俄美兩國主要油田。元素之週期系統獨立在俄國為門得雷耶夫，德國為邁耳所發現。

母親馬利亞 (Maria Kornileff Mendeleeff) 特別喜歡她最小的孩子，愛用 Mitjenka 一名來稱呼 (15)。在托菩爾斯克中學任校長職的父親，傳染白障而雙目失明時，Mitjenka 的年齡還很小，政府雖有養老金一千盧布 (約合美金五〇〇)，但這樣小的數目，難以維持大家庭中衣食各項所需，馬利亞 祇得依從她的悲苦命運，當心她可憐的瞎眼丈夫和八個須依賴她的孩子外，另外找尋工作。她娘家在托菩爾斯克創設玻璃工場和造紙廠各一所，所以她亦擔任了玻璃工場的場長，她非但長於家務，實在也是一位富有能力而成功的行政婦人 (9) (21)。

門得雷耶夫 幼時就精於數學、物理和歷史等科，但不愛拉丁文，他的姊夫巴薩爾根 (Basarsin) 是他的第一個科學教師，巴薩爾根 是一個受過完備教育的俄國人，因欲發動革命而遭驅逐 (9) (25)，他是『十二月革命者之一』 (Decembrists)，曾於一八二五年十二月十二日，參加推翻尼古拉 (Nicholas) 大帝第一的革命運動，不幸慘遭失敗，俄國的大文豪托爾斯泰 (Tolstoy) 伯爵在戰爭與和平一書中，對於這幕有名的反抗運動，曾有過動情的描摹。

門得雷耶夫 十六歲就完畢中學內各門功課，但就在他畢業前不久，一個雙料的悲劇發生了，

他的無用的父親，適於此時喪於肺病；同時玻璃工場毀於火災，馬利亞這時已經五十七歲了，她祇得騎着馬，帶了兩個最小的孩子，出發向數百里外的莫斯科奔去，抵莫斯科後因政治地位的低微，門得雷耶夫不能在大學中註冊入學，她就到彼得格勒（Petrograd）去見丈夫的至友，在中央教育研究所任主任的撥雷脫那夫（Plenoff）先生，撥雷脫那夫遂幫她在政府中請得了公費，使門得雷耶夫在數理科入學讀書。

數月以後，馬利亞終卸下了她煩重的負擔而去世，在她一息僅存時，唯一能安慰她的是：門得雷耶夫終得到了一個受教育的機會。數年後，門得雷耶夫在討論溶液的一本名著的序言上寫着：「這本研究集是一個母親的最小孩子紀念她而貢獻的。經營一個工場，同時再親自教導，她用例證來啓發他，用情愛來改正他，更希望他能置身於科學的研究。她拿出最後的積蓄和精力，陪他離開西伯利亞，彌留時最後的遺言是：「抑制一切忘念，用工作來替代說話，忍心尋覓神聖而科學的真理。」她懂得對話法如何會欺騙人，什麼是應該學習的；工作時要依賴科學的幫助，遠離暴躁的習慣，用謹嚴的愛，用自己發現的真理，更求發展的自由，此外更拿大眾的幸福和

內心愉快，以替代一切迷信、僞理和錯誤。

「門得雷耶夫對於母親的遺言，永久視作聖言，一八八七年十月誌。」（1）

門得雷耶夫在教育研究所畢業時，因為學業優良，曾得金質獎章。一八五九年至一八六一年，在巴黎和累諾（Regnault）合作。又在海得爾堡和本生合作，到一八六一年回彼得格勒時，已得博士學位；並在工業學院推任為化學教授，八年後在彼得格勒大學任普通化學教授職。

同年四月，他向俄國化學

學會呈上著名的論文：「元素特性與原子量的關係，」門得雷耶夫被稱為發現者，他的大功績全在他有大勇氣，他認為有幾個元素，不合於他的週期系統，其故在元



圖一七六 累諾氏像

(Henri Victor Regnault 1810-1878)

法國物理學家及化學家。精密測量比熱、融解熱、汽化熱、聲之速率，有機原子團之理論亦有貢獻。康尼乍羅（Cannizzaro）、凱古來（Kekulé）、門得雷耶夫等皆出其門下。

TABLE II.

THE ATOMIC WEIGHTS OF THE ELEMENTS

Distribution of the Elements in Periods

Groups	Higher Salt-forming Oxides	Typical or 1st small Period	Large Periods				
			1st	2nd	3rd	4th	5th
I.	R ₂ O	Li = 7	K 39	Rb 85	Cs 133	—	—
II.	RO	Be = 9	Ca 40	S 87	Ba 137	—	—
III.	R ₂ O ₃	B = 11	Sc 44	Y 89	La 138	Yb 173	—
IV.	RO ₂	C = 12	Ti 48	Zr 90	Ce 140	—	Th 232
V.	R ₂ O ₅	N = 14	V 51	Nb 94	—	Ta 182	—
VI.	RO ₃	O = 16	Cr 62	Mo 96	—	W 184	U 240
VII.	R ₂ O ₇	F = 19	Mn 55	—	—	—	—
VIII.			Fe 56	Ru 103	—	Os 191	—
			Co 58.5	Rh 104	—	Ir 193	—
			Ni 59	Pd 106	—	Pt 196	—
I.	R ₂ O	H = 1. Na = 23	Cu 63	Ag 108	—	Au 198	—
II.	RO	Mg = 24	Zn 65	Cd 112	—	Hg 200	—
III.	R ₂ O ₃	Al = 27	Ga 70	In 113	—	Tl 204	—
IV.	RO ₂	Si = 28	Ge 72	Sn 118	—	Pb 206	—
V.	R ₂ O ₅	P = 31	As 75	Sb 120	—	Bi 208	—
VI.	RO ₃	S = 32	Se 79	Te 125	—	—	—
VII.	R ₂ O ₇	Cl = 35.5	Br 80	I 127	—	—	—
		2nd small Period	1st	2nd	3rd	4th	5th

Large Periods

圖一七七 門得雷耶夫之元素週期表

各組皆橫式排列

(採自門得雷耶夫化學原理第一卷)

素的原子量測定時有誤；此外週期表上各空格，日後將有新發現的元素插入補滿（30）、（32）。又預測其他未知元素的特性；其中有三個，他稱作新矽（ekasilicon）、新硼（ekaboron）和新鋁（eka-aluminium），目下正式的學名爲鍮（germanium）、釷（scandium）和鎳（gallium），都在他生時先後發現。（註一）所以一八八九年他在法拉得（Faraday）講演中說：「週期律第一次幫我們探尋各種未發現的元素，這是以前化學界所意想不到的，新元素未發現以前，我們已能顯示各種特性到確切無誤的程度。」（5）、（20）、（28）。門得雷耶夫的週期表，實在比以前任何人的都來得完備，並且更根據於實驗的結果。

（註一）見第十六章。

對於邁耳獨立發現的請求，他也極謙恭而加以承認，一八八七年不列顛科學協進會在曼徹斯特（Manchester）請他演說，他因爲不慣於用英語來演說，僅起立向會衆領首道謝，邁耳於是起立而向英國的科學家道謝款待的盛意，他恐怕會衆誤會，所以開頭就用最謙恭的話說：「我不是門得雷耶夫，我是邁耳。」大衆都鼓掌致敬，一八八二年的得維獎章，就合贈給門得雷耶夫和邁耳。



圖一七八 門得雷耶夫及布勞納(Bohuslav Brauner)

攝於普累格(Prague)

布勞納爲普累格之菩希密阿(Bohemain)大學化學教授。門得雷耶夫曾將布瓦菩德郎、尼爾孫、文克蘭(Lecoq de Boisbandran, Nilson, Winkler) 布勞納數人像片，合配一架，因此四人對於週期歷之發展，皆有功績。此外布勞納曾爲門得雷耶夫寫優美之傳記一篇。

二人(7)。

門德雷耶夫和他的學生，對於化學內各門都有貢獻，此外他在文字方面的造就，也頗可觀。化學原理 (*Principles of Chemistry*) 一書，雖在匆促中寫成，但在俄文中是最好的。一冊化學教科書，因此彼得格勒學院贈他得密多夫 (Demidoff) 獎章；這本書用極怪的體裁寫成，書中註解所佔的地位，較大體字的正文更多，但不論牠是多少怪僻，在化學界總是一冊著名的典籍。此外又研究過巴庫 (Baku) 的油田、高加索 (Caucasus) 的石油精泉、和賓夕法尼亞 (Pennsylvania) 的油田 (8)。

門得雷耶夫對於美術和文字，有極深的趣味，有時也讀關於美術的文字，書齋中掛滿了他妻子所繪名科學家拉瓦錫、牛頓、笛卡爾 (Descartes)、伽利略 (Galileo)、哥伯尼 (Copernicus)、格里姆 (Graham)、密特時利赫 (Mitscherlich)、羅斯 (Rose)、卻佛勒爾 (Chevreul)、法拉得、杜馬和柏特羅 (Berthelot) 等的像片。他最愛的作家是弗恩 (Jules Verne)，最後一次病中，讀北極旅行記 (The Journey to the North Pole) (9) (25) 爲唯一的安慰，於一九〇七年二月二號星期六得肺

炎而卒。俄皇尼古拉在給他未亡人的弔喪電中說：「門得雷耶夫教授的去世，使俄羅斯失去一個最好的孩子，他將長留在我們的記憶中。」（5）



圖一七九 培哥頁氏像

(Alexandre-Emile Beguyer de
Chancourtois 1820-1886)

巴黎高等礦業學校監督兼地質學教授。曾在法國，小亞細亞，愛斯蘭德及格林蘭等地作地質探測。又為慈善家，預防礦井煤氣爆發起見，強迫礦主在每礦開挖兩穴。在化學方面最重要的貢獻為將元素作成螺旋形排列。

參考材料

- (1) Harrow, "Eminent Chemists of Our Time," D. Van Nostrand Co., New York City, 1920, p. 22; Walden, "Dmitri Iwanowitsch Mendelejeff," *Ber.*, 41, 4723 (1908). Last words of Maria Mendelejeff to her son, Dmitri.

- (2) Goethe "Faust," part 1, lines 148-9.
- (3) Meyer, Ernst von, "History of Chemistry," 3rd English edition from 3rd German edition, The Macmillan Co., London, 1906, pp. 387-8.
- (4) "Chemical Society Memorial Lectures, 1893-1900," Gurney and Jackson, London, 1901, pp. 1427-9. Lothar Meyer Memorial Lecture by Bedson.
- (5) Griffiths, "Biographies of Scientific Men," Robert Sutton, London, 1912, pp. 126-36.
- (6) Mendeleëff, "Principles of Chemistry," Vol. 2, English translation from 5th Russian edition by Kamensky and Greenaway, Longmans, Green and Co., London, 1891, p. 487.
- (7) "Chemical Society Memorial Lectures 1893-1900," ref. (4), p. 1420.
- (8) Thorpe, "Essays in Historical Chemistry," The Macmillan Co., London, 1894, p. 364.
- (9) Harrow, "Eminent Chemists of Our Time," ref. (1), pp. 19-10.
- (10) Venable, "The Development of the Periodic Law," Chem. Publishing Co. Easton, Pa., 1895, pp. 11-2; 28-35.
- (11) Wurzer, "Report on Döbereiner's Triads," *Gilbert's Ann.*, 56, 332 (1815); Döbereiner, *ibid.*, 57, 436 (1817); "Versuch zu einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie," *Pogg. Ann.*, 15, 301 (1829).
- (12) Beguyer de Chancourtois, "Mémoire sur un classement naturel des corps simples ou radicaux appelé vis tellurique," *Compt. rend.*, 54, 757-61 (Apr. 7, 1862); 840-3 (Apr. 21, 1862); 967-71 (May 5, 1862).

- (13) Venable, "The Development of the Periodic Law," *ref.* (10), pp. 73-6; 82-5.
- (14) Beguyer de Chancourtois, "Tableau du classement naturel des corps simples, dit vis tellurique," *Compt. rend.*, 55, 600-1 (Oct. 13, 1862).
- (15) Walden, "Dmitri Iwanowitsch Mendeleeff," *Ber.*, 41, 4719-800 (1908).
- (16) Newlands, "On Relations among the Equivalents," *Chem. News*, 7, 70-2 (Feb. 7, 1863); 19, 59-60 (July 30, 1864); 94-5 (Aug. 20, 1864); "On the Law of Octaves," *ibid.*, 12, 83 (Aug. 18, 1865); "On the Discovery of the Periodic Law, and on Relations among the Atomic Weights," *ibid.*, 49, 198-200 (May 2, 1884).
- (17) Presentation of Medals, *Proc. Roy. Soc. (London)*, 43, 195 (Nov. 30, 1887).
- (18) Venable, "The Development of the Periodic Law," *ref.* (10), pp. 74-85.
- (19) Hartog, "A First Foreshadowing of the Periodic Law," *Nature*, 41, 186-8 (Dec. 26, 1889).
- (20) Mendeleeff, "The Periodic Law of the Chemical Elements," *J. Chem. Soc.*, 55, 634-56 (1889).
- (21) "Chemical Society Memorial Lectures, 1901-1913," Gurney and Jackson, 1914, pp. 125-53. Mendeleeff Memorial Lecture by Tilden.
- (22) Chemnitzius, "Die Chemie in Jena von Rolfnick bis Knorr (1629-1921)," Verlag von Frommannschen Buchhandlung, Walther Biedermann, Jena, 1929, pp. 28-31.
- (23) Schiff, "Briefwechsel zwischen Goethe und Johann Wolfgang Döbereiner (1810-1830)," Hermann Böhlau Nachfolger, Weimar, 1914, 144 pp.
- (24) Döbling, "Die Chemie in Jena zur Goethezeit," Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1928, 220 pp.

- (25) Tilden, "Famous Chemists. The Men and Their Work," George Routledge and Sons, London, 1921, pp. 241-58.
- (26) Meyer, Lothar, "Die Natur der chemischen Elements als Function ihrer Atomgewichte, *Ann*, Supplementband VII, 1870, 354-64 (Heft 3).
- (27) Lewes, "The Life and Works of Goethe," E. P. Dutton & Co., New York City, 1916, pp. 546-7.
- (28) "Classics of Science: Periodic Law of the Elements," *Sci. News Letter*, 14, 41-2 (July 21, 1928). Mendeléeff's Faraday Lecture.
- (29) Meyer, Lothar, "Die Anfänge des natürlichen Systemes der chemischen Elemente Abhandlungen von J. W. Döbereiner und Max Pettenkofer," Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1895, pp. 3-8; 27-34.
- (30) Serbert, "Das Natürliche System der Chemischen Elemente. Abhandlungen von Lothar Meyer und D. Mendeléeff," Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1895, 134 pp.
- (31) Montgomery, "Döbereiner's Triads and Atomic Numbers," *J. Chem. Educ.*, 8, 162 (Jan, 1931).
- (32) Reinmuth, "The Structure of Matter. II. The Periodic Classification of the Elements," *J. Chem. Educ.*, 5, 1312-20 (Oct, 1928).
- (33) Bugge, "Das Buch der grossen Chemiker," Vol. 2, Verlag Chemie, Berlin, 1930, pp. 230-41. Article on Lothar Meyer by Walden.
- (34) *Ibid.*, pp. 241-50. Article on Mendeléeff by Walden.
- (35) de Boisbaudran and de Lapparent, "Sur une réclamation de priorité en faveur de M. de

Chancourtois, relativement aux relations numériques des poids atomiques," *Compt. rend.*, 112, 80 (Jan. 12, 1891).

(36) W. A. T., "John A. R. Newlands," *Nature*, 58, 395-6 (Aug. 25, 1898).

