



CHEM

化學

下冊

潘家實編譯

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國五十六年二月初版
中華民國七十二年一月九版

CHEM化學全譯本（全二冊）

下冊 定價 新台幣捌拾元整

（外埠酌加運費滙費）

編譯者	潘	家	寅
發行人	卓	鑫	森
出版者	臺灣東華書局股份有限公司		
	臺北市博愛路一〇五號		
	電話：3819470 郵撥：6481		

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號
(55034)

前 言

本書在國家科學基金會輔助下，集各大學及中學教師之精力，歷時三年始克有成。編輯本書成立化學教材研究會 (Chemical Education Material Study 簡稱 CHEM Study)，發起並指導編輯本書，為一全國知名化學教師及科學家組成之指導委員會，該委會主席為曾獲諾貝爾獎金之席褒格 (Glenn T. Seaborg)，羅致全國最優秀之大學科學家及中學教師。參與其事之大學教授均依據其在科學上公認有卓越成就者。本書撰寫者已出版且為各大學普遍採用之教科書多達十餘冊。參與本書之全部編輯工作之優秀中學教師亦均係經同事鄭重推薦由委員會聘請者。故 CHEM Study 課程即此等教師之貢獻十五人一年以上之精心傑作。本書之成固應感謝國家科學基金會之支持，而就高中化學課本言，人才之濟濟堪稱空前。

本書：“化學——實驗的科學”為高中化學課程而編輯，為充實本書並另編一實驗手冊及一套適合教材之影片。為使教師更熟悉本課程之性質，又編一本完備之教師指引。本書及實驗手冊初版係 1960 年夏撰寫。1960 至 1961 年間曾經廿三所高中及一所專科學校約一千三百名學生試用。第一年中編輯人及試用本書教師每週均有接觸。根據教師之經驗，教材於 1961 年夏加以修正，同時撰寫教師指引。本書再版時有一百廿三所高中及三所專科學校共約一萬三千名學生採用，再根據實際教學經驗三次及最後一次修正始成定稿，而成本書現行本。1962-1963 年首在四十六州，五百六十所高中任選四萬五千名學生試用，其教學價值於焉確定。

書名：“化學——實驗的科學”顧名思義，說明其一年課程之主題矣。依化學家採用之明確而有效之步驟，慎審介紹及引用。由觀察及測定中導出統一性原理，然後以此等原理應用於聯繫衆多現象。本書著重實驗工作，如此則學生可直接由經驗中求得化學原理，不僅養成學生對

化學原理具有正確而無權威性觀念；且有機會發現新事物，此乃科學活動中最引人入勝者。爲配合實驗，更製若干影片，以說明若干特殊實驗過程，由於危險、罕見、昂貴而不易在教室中進行者。

本書前數章及最初數實驗爲奠定本課程之基礎而編訂。科學活動之要素，包括測不準性在內，均首先說明之。原子學說物質本性及摩爾觀念亦次第展呈。其餘部分則著重由實驗室經驗中汲取重要化學原則。此等原則包括，能、反應率及化學反應之平衡特性，化學週期性，氣體、液體及固體中之化學鍵合，等等。本書又引入若干章敘述化學（Description chemistry）以說明前述化學原則之應用性與有價值。

本書與傳統課本有若干不同處，最顯著者爲重點由敘述化學移至化學原理，以說明近廿年來化學之轉變。誠然，在此徹底改革之課程中，本書刪除陳舊名辭及過時之教材。不甚顯著然甚重要者乃實驗及學說間之聯繫有加以系統化的發展。化學乃逐漸地及邏輯地闡揚，而非事例、記載及規律之彙集。希望能使將來國民了解科學活動之重要性及希望性，俾能和平而睿智地將技術之進步貢獻於社會。最後，吾人曾爲有志繼續學習科學之學生，在高中與大學間致力於化學課程教材及教學法有更密切之銜接。

確信 CHEM Study 能達成既定之目標，據經驗知本書對高中生發生興趣，且能接受，而對稟賦穎異之學生尤具啓發及激勵之效。對預備升大學之學生可提供良好基礎。或問：“本書確較傳統書籍優良或同樣適用否？”在比較測驗時尚無答案，使用 CHEM Study 之學生可能對偏重記憶性之問題或使用舊名辭，而不重原理之測驗感覺困難。反之，根據 CHEM Study 做成之測驗應用於使用傳統性課本之學生亦欠公允。故此問題不能完全“客觀”解決，因已涉及價值判斷問題。CHEM Study 課程目標是否正確，方法是否合理，須在考慮教師之經驗報告以及編著者之信譽後方可決定。

化學教材研究會在設備、器材、工作人員及鼓勵方面多承加州大學及 Harvey Mudd 大學協助；並蒙國家科學基金會之鼓勵與支持；此外對所有參與化學教材研究會教材編輯工作同仁之熱心努力，及指導

委員會之指導，及各撰稿人所費之時間與精神，均在此一併致謝。應特別提出 Joseph Davis, Saul Geffner, Keith MacNab 諸先生，Margaret Nicholson 小姐及 Harley Sorensen 先生。每位不僅在教室中親自試用此書，且參與研究會工作，其修正意見使本書更利於教學。亦應感謝甚多使用本書試用本之教師，均仔細閱讀課文與實驗手冊，並提供有價值之修正意見，最好亦應感謝所有使用本書試用本之學生，其反應不論苦、樂、愛、憎與毀譽，均有助於本書之改進。

J. Arthur Campbell

化學教材研究會主任

Harvey Mudd College

George C. Pimentel

教科書總編輯

加州大學

Lloyd E. Malm

實驗手冊總編輯

University of Utah

A.L. Mc Clellan

教師手冊總編輯

California Research Corporation

David Ridgway

教育影片製片人

1963 年元月於加州 Berkeley

序

化學研究吾人周圍所有之質，亦研究質間變化。即此變化將冷酷枯寂無生命之星球與生機活潑有生命之地球分野。化學使吾人了解自然之奧密，且享受自然之賜予。

化學為科學之一重要部門。日常生活無一不受科學活動成果之影響，故應了解何謂科學活動，科學活動所為何事？如何進行？學習化學可領悟之。

“化學——實驗科學”為合乎時代之化學。強調化學中最引人入勝者為：實驗。在現代化學課程中，原理之發展與提供此發展基礎之實驗室工作相輔相成。洞悉此等廣泛應用之原理後，即不需再記憶紛紜複雜之化學事例。察見此等原則由實驗室中觀察而得，可對科學進展有一正確觀感。由此可著手科學活動，且可望亦成為一科學家。

修完此課程，並不知曉所有之化學。只希望讀者能獲得足夠之化學及科學知識，以領悟未知之部分亦非神秘莫測者。或可使讀者體會科學方法之偉大力量；但亦可體會有其範疇。深望讀者養成習慣，隨時隨地注意觀察，評估事實，以及獲得結論。尤望讀者多以懷疑態度追究解答，而不盲目接受教條式之定論。盼讀者亦分享科學之刺激，且因新的發現而感覺極大樂趣。倘此等願望多數得以實現，則已藉化學而進入科學之堂奧。在科學範疇吾人之大時代中尚有何事在教育中占更重要位置耶？

喬治 C. 皮門特
化學教材研究會總編輯

編譯者序

CHEM Study 課本爲優良高中化學教材已無庸推介，故民國五十三年教育部頒布化學教材編輯大綱以是書內容爲依據，良有以也。唯課程中除教科書外尚有教師指引、實驗手冊，頗稱完備，而稍嫌繁複。茲將教科書部分儘量保持原文形態不予更動，而教師指引部分則以簡馭繁，對授課進度及各細節均從略，在各章課文之後編成“本章討論”，以便教師就個人教學經驗及環境從容取捨，初無定規。

“本章討論”中分“新觀念”、“目標與步驟”及“教材研究”三部分，其中前二項簡列各點以明該章梗概，而最後一項“教材研究”多屬進一步之深究，頗與大學教材彷彿，故不僅教師，即專攻化學之大學生亦可參考，頗有裨益。經此整理後，篇幅尙稱適中。同時，如與鮑林近著大學化學（第三版）共同參閱必收融會貫通之效。

希望高中化學採用此種課本後，可以提高我國在化學課程上之水準。誠如原序所言：“希望了解科學活動之重要性，俾能和平而睿智地將技術之進步貢獻於社會”。

潘家寅於臺北

CHEM 化學全譯本

下 冊 目 次

第十四章	為何相信有原子.....	1~24
14-1	原子學說之化學證據	
14-2	“目睹”原子之各部分	
14-3	原子及分子大小之測定	
第十四章	討論	25~37
第十五章	電子與週期表	38~65
15-1	氫原子	15-2 多電子原子
15-3	游離能與週期表	
第十五章	討論	66~83
第十六章	氣相中之分子	84~116
16-1	共價鍵	
16-2	第二列元素之鍵合能力	
16-3	第一列氟化物鍵合型之傾向	
16-4	分子結構	16-5 雙鍵
第十六章	討論	117~135
第十七章	固體與液體之鍵合	136~159
17-1	元素	17-2 化合物
第十七章	討論	160~174
第十八章	碳化合物之化學	175~214
18-1	碳化合物之來源	
18-2	碳化合物之分子結構	

18-3	有機化合物之若干化學性質	
18-4	命名法	18-5 烴類
18-6	聚合物	
第十八章	討論	215~224
第十九章	鹵素	225~240
14-1	鹵素之性質	
14-2	鹵素反應及其化合物	
第十九章	討論	241~243
第二十章	週期表第三列元素	244~260
20-1	元素之物理性質	
20-2	做為氧化劑及還原劑之元素	
20-3	氫氧化物之酸性及鹼性	
20-4	第三列元素之來源及製取	
第廿章	討論	261~268
第廿一章	週期表中第二行元素：鹼土金屬	269~280
21-1	鹼土族元素之電子組態	
21-2	物理性質	21-3 化學性質
21-4	鹼土族元素之存在及製取	
第廿一章	討論	281
第廿二章	過渡元素	282~312
22-1	過渡元素之定義	22-2 錯離子
22-3	第四列過渡元素之特性	
第廿二章	討論	313~318
第廿三章	若干第六列及第七列元素	319~330
23-1	週期表之第六列元素	
23-2	週期表之第七列元素	

第廿三章	討論	331~332
第廿四章	生物化學：化學之應用	333~351
24-1	生命系統之分子組成	
24-2	自然界之能源	
24-3	生物化學中分子結構	
第廿四章	討論	352~355
第廿五章	地球、行星之化學	356~373
25-1	吾人之星球——地球	
25-2	行星之化學	25-3 星球
第廿五章	討論	374~378

附 錄： CHEM 測驗題

1. 蠟燭燃燒之敘述
2. 各種酸之相對強度
3. 各種半反應之標準氧化電勢
4. 常見離子之名稱、化學式及電荷
5. 國際原子量表

第十四章

為何相信有原子

自道爾頓時代以還……原子學說史蹟輝煌。利用原子觀念解釋觀察之事實時，均洞徹精微。而如此之成就適足以明顯肯定原子之存在。

黎青巴赫 (Hans Reichenbach, 1951)

在第二章中已介紹原子，且在第六章中敘述較詳。曾謂原子含有帶電質點，即原子核由中子及質子組成，而原子核又為電子所圍繞。原子之小幾不可思議，而原子核更甚。亦曾論及各學說（包括原子論）應加以思索與檢討，而根據之事實亦應考驗與了解。“相信有原子否？”“為何相信原子？”本章將試為解答後一困難問題。

首先，舉一平實之例以示如何在日常生活中判斷之。

一鄰居告知新來房客，每星期四清晨有垃圾搬運夫來。其後房客之妻以同樣事相詢。彼答：“鄰居謂每星期四清晨有垃圾搬運夫來，吾將一觀究竟。”此新房客為一科學家，接受此有機會觀察此事之鄰居說法。唯彼乃“暫時”接受鄰居之說法，直至彼親見此事實時始得結論。

在數星期內，此房客數度觀察，發現每星期四均有垃圾夫來過。最重要者，垃圾果在每星期四清晨清除矣。其次，每月收到市政服務帳單。尚有若干補助觀察，如每星期四清晨五時被沈重之砰然聲及卡車聲吵醒。有時此砰然之聲更伴以愉快口哨聲或犬吠聲。

新房客此時有頗多理由相信垃圾夫之存在，但從未見此垃圾夫。因好奇心且身為一科學家，在某星期三晚間取鬧鐘預撥至清晨五時。次晨，由窗口望去，外界黑暗，難以看清。唯隱約可辨一黑影，彷彿携一大件物體。

眼見爲憑！但上述各證據果能構成“看見垃圾夫”否？何種證據可做爲“相信”有一垃圾夫存在？回答謂：將所有證據集中可構成“看見”。且將所有證據集中，可做爲接受“因垃圾已清除故有垃圾夫存在之事實”。若當時垃圾不清除，則清晨五時所見之黑影不能構成“看見”垃圾夫。因黑影亦可能爲送報童或送牛奶人也。且僅以垃圾清除，尙不能構成“看見垃圾夫”。（可能每星期四有一犬食盡垃圾，憶及房客曾聽犬吠！）房客之堅信有垃圾夫，乃因此種假定與如此衆多觀察相符合，而無一不符合處。其他可能之解釋雖亦可適合此等觀察，但不如上述假定之完備。（房客從未聽見犬之愉快嘯聲。）垃圾夫之存在通過一個“好學說”之考驗，可用以說明許多實驗觀察。甚至房客未見清晨五時之黑影以前，即爲真實。

然則，須承認“直接觀察”式之實驗有其優點。此法常可獲得許多更詳盡之資料。例如垃圾夫身材高否？有鬍鬚否？垃圾夫可能爲女性否？此類資料用其他方法較難得到。甚至在堅信有一垃圾夫以後，仍有預撥鬧鐘早起一觀之必要。

本課程開始時，諸君爲新房客，據告知化學家相信原子，而請諸君“暫時”接受此建議，直至自己真正獲得確證。前此常以原子學說討論化學現象。原子學說已通過爲一種“好學說”之考驗，可用以說明甚多實驗上之觀察。因此，堅信有原子存在。

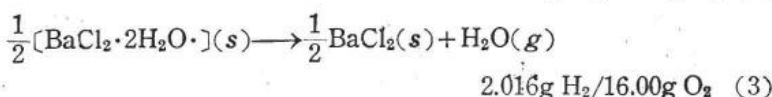
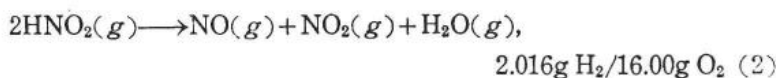
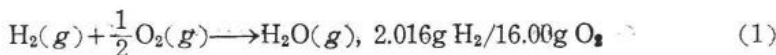
今再回顧相信原子學說基礎之種種證據，須包括若干在觀念上接近“直接觀察”之實驗。此等實驗均屬特別令人相信，且可供給若干其他方法不能得到之詳盡資料。

14-1 原子學說之化學證據

首先，檢討前述有關原子存在之證據——化學證據。將再討論化合物之定組成，化合物間簡單重量關係，及氣體反應體積等。每種性質均可經實驗支持原子學說。

14-1.1 定組成定律 (The Law of Definition Composition)

化合物無論以何法製造，均具同樣組成。例如水由氫 2.016 克及氧 16.00 克結合而成。不論水由氫在氧中燃燒，由亞硝酸之分解，由氯化鋇二水合物之加熱分解，或由其他方法得到者均相同



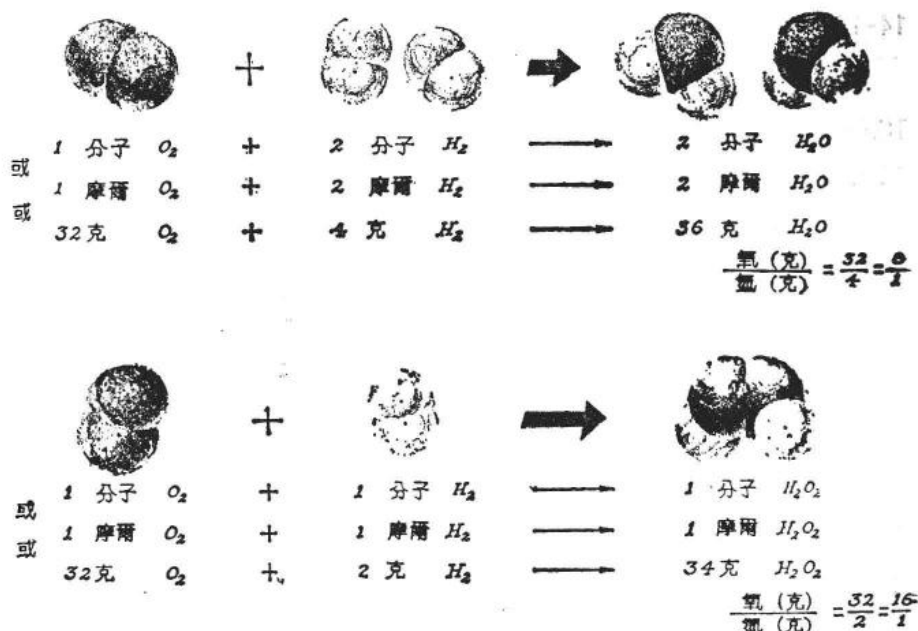
原子學說可簡易說明化合物之定組成。即謂化合物由原子組成，而每一化合物之各組成元素之原子相對數目必為一定，既因各元素之原子有一定之重量，故化合物之重量組成必為一定*。因此化合物之定組成可做原子學說之實驗性支持。

14-1.2 倍比定律 (The Law of Simple Multiple Proportions)

許多場合，二元素可在不同情況下生成兩種以上之化合物。氫及氧除生水以外，尚有一化合物，稱為過氧化氫， H_2O_2 (Hydrogen peroxide)，在此化合物中氫為氧重之 $1/16$ ，而在水中為 $1/8$ ，恰為兩倍。何其簡單之關係！即氫對氧在一化合物中重量比為 $1:16$ ；另一化合物中，則為 $1:8$ 。如此簡單整數之關係在其他一組元素之化合物中亦常發現。用原子學說極易說明之。每個過氧化氫分子含二氫原子及二氧原子，故二者之比為 $2/2=1$ 。而每個水分子含二氫原子及一氧原子，故二者比為 $2/1=2$ 。既因水分子中對每個氧原子之氫原子數為過氧化氫中者之兩倍，故水中氫對氧之重量，亦為過氧化氫中之兩倍。

一般言之，相同二元素之不同化合物有不同之原子比。且其比值常為簡單整數比，為 $1/1$ ， $1/2$ ， $2/1$ ， $2/3$ 等等。故原子學說說明兩相同元

* 此種解釋乃先假定自然界所存在之同位素分佈情形不變，始能成立。

圖 14-1 在 H_2O 及 H_2O_2 中氫及氧之簡單倍數比

素有不同組成時重量間有簡單整數比關係。

此原子學說之成就科學史學者不以爲驚奇，因原子學說最初便從化學組成律演繹而來。十九世紀初十年間，英國科學家道爾頓 (John Dalton) 訝異何以化合物間有如此簡單之重量關係。以爲或因每一元素由個別質點組成，且認爲每一化合物由分子組成，而分子僅由此等質點依特殊方式結合者。驟然間，許多化學事例用此學說均可以瞭解。以後以原子學說仍能符合衆多新觀察，故迄今仍存在。今日，尙有其他論證支持此學說，但化學組成定律仍爲相信此物質結構學說之基礎。

例證習題 14-1

二化合物已知僅含氮及氟。仔細分析知 23.67 克化合物(I) 中含氟 19.00 克，另一化合物(II) 26.00g 中含氟亦 19.00 克。

(a) 計算各化合物中，與 19.00 克氟化合之氮各重若干？

(b) 在化合物(I)及(II)中,求計所含氮之重量比若干?

(c) 化合物(I)爲 NF_3 , 此化合物乃一原子氮與三原子氟化合,下列分子式 N_2F_2 , N_2F_4 中每三個氟原子含氮原子若干?比較此等原子比及(b)中所得之重量比。並證明化合物(II)之分子式爲 N_2F_4 而非 N_2F_2 。

14-1.3 化合體積定律 (The Law of Combining Volumes)

氣體反應時體積間成簡單整數比。且生成物氣體體積與反應物氣體體積間均爲整數比。例如：兩體積氫恰與一體積氧化合成二體積之水蒸氣(均在同溫同壓下)。此種整數關係自然提示物質之質點模型；且易於根據原子學說以亞佛加德羅假說闡釋之。

以原子學說闡釋氣體體積間整數比,仍不_一致。因在第二章中已指示原子學說即爲此而設。

質言之,易見在化學變化之觀察中重量與體積關係提供原子學說之實驗基礎。所有現代化學思潮均奠基於原子模型。且每種成功的化學解釋均增強吾人對此學說之信念。

14-1.4 原子具有電性之化學論證

前謂原子核具正電荷,而爲許多具負電荷之“電子”(Electron)所圍繞;並謂,原子核中含原子之絕大多數質量,由質子及中子組成,二者均較電子約重兩千倍。然則如何知原子係如此構成者?又如何知有一種質點“電子”?化學反應之重量關係又可提供此事之確證。

在第十二章中討論電化學電池之操作,且成功地以原子學說解釋由電荷運動所產生之化學變化。欲瞭解對此學說藉實驗事實如何發展之全部情形,請回溯至十九世紀之情景。當時法拉第(Michael Faraday)首次完成其電解實驗,時乃公元1830年。原子學說雖已被提出,然無人假定電子之存在,並無理由懷疑“電”由微小單位質點構成。法拉第察見一定量元素在各種不同化合物之溶液中析出時,所需電量恆爲常數,或爲此常數之簡單倍數。例如由過氯酸汞, $\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$, (Mer-

curic perchlorate) 溶液中析出 6.03 克之金屬汞之所需電量，亦可由硝酸汞， $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 溶液中析出等量 (6.03 克) 之金屬汞。另一方面，等量之電可由過氯酸亞汞， $\text{Hg}_2(\text{ClO}_4)_2$ (Mercurous perchlorate) 溶液中析出兩倍量， $2 \times (6.03) = 12.1$ 克之汞。如以原子學說陳述法拉第之發現，見一定量電所澱積之汞原子數為一常數，或此常數之倍數。顯然，此“一定量電量”可“算出”原子。簡單解釋電有許多電之“包裹”，電解時此等“包裹”分配每原子一個“包裹”或兩個“包裹”或三個“包裹”。

法拉第第二觀察為不同元素被同一電量析出之重量，如以各該元素原子量除之，可得一簡單整數比。例如，設電流通過如圖 14-2 所示之三個電解槽。兩安培計之讀數均相同。顯然進入右槽之電流與離開左槽之電流相等。故可保證經過三電槽之電量均相同。

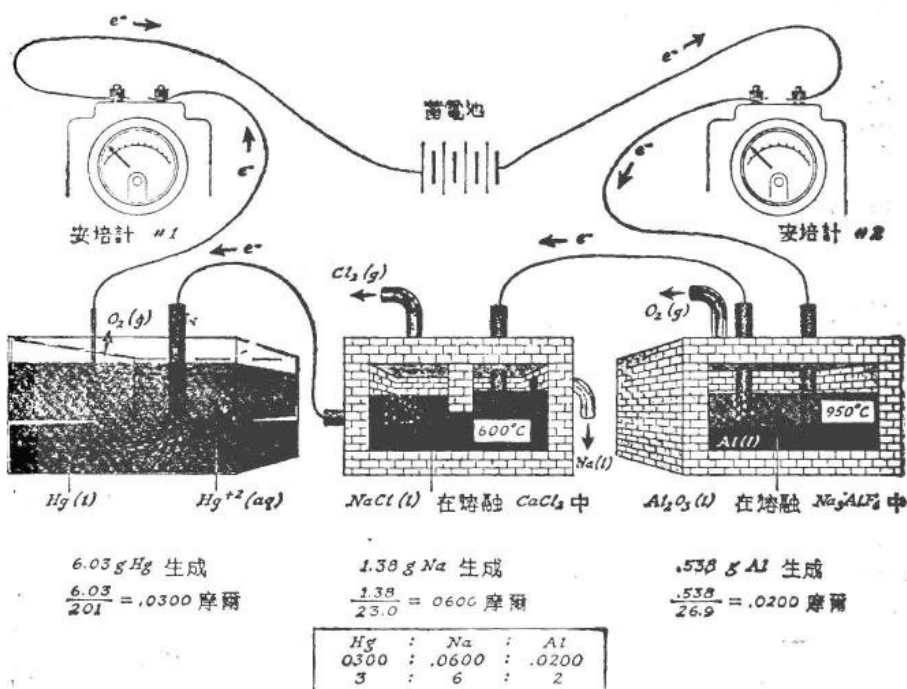
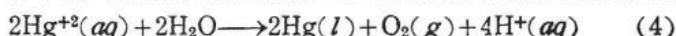


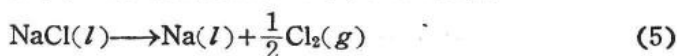
圖 14-2 一定量電析出不同量各元素

第一槽中，淨反應為電解硝酸汞之水溶液，而生成金屬汞及氧氣：



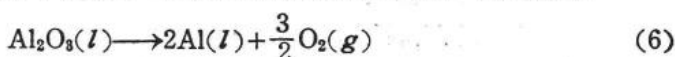
電流通過電解槽一定時間後，生成之汞重 6.03 克。

第二槽中，電解熔融之氯化鈉*，其淨反應為：



產生 6.03 克汞之電量可產生 1.38 克之鈉。

第三槽中，為另一工業程序，電解法製鋁**，反應為：



在此產生 6.03 克汞之電量可產生鋁 0.538 克。

綜上所述，以同量之電在三電解槽中分別產生三種金屬之重量為：

Hg 6.03 g.

Na 1.38 g.

Al 0.538 g.

其重量間有何關係？法拉第發現，若以相當之原子量除所得之重量，可得簡單數：

$$\frac{\text{Hg 之重量}}{\text{Hg 之原子量}} = \frac{6.03 \text{ 克}}{201 \text{ 克/摩爾}} = 0.0300 \text{ 摩爾}$$

$$\frac{\text{Na 之重量}}{\text{Na 之原子量}} = \frac{1.38 \text{ 克}}{23.0 \text{ 克/摩爾}} = 0.0600 \text{ 摩爾}$$

$$\frac{\text{Al 之重量}}{\text{Al 之原子量}} = \frac{0.538 \text{ 克}}{26.9 \text{ 克/摩爾}} = 0.0200 \text{ 摩爾}$$

而此等數字之關係，現示如下之簡單比例：

$$\begin{array}{ccccc} \text{Hg} & : & \text{Na} & : & \text{Al} \\ 0.0300 & : & 0.0600 & : & 0.0200 \\ 3 & : & 6 & : & 2 \end{array}$$

以原子學說觀之，此結果之意義為：無論何元素，一定量電可析出

* 在實際操作時，須加氯化鈣以降低食鹽之熔點，即使如此，熔點仍高達 600°C，此為工業製金屬鈉之法。

** 此為商業製鋁法，須另加一種鹽為溶劑以減低熔點，即在 Al_2O_3 中混以冰晶石 (Na_3AlF_6 , Cryolite)，熔點可降至 950°C。