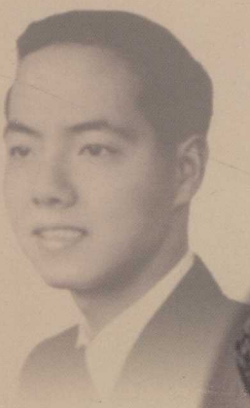


走向微觀世界

Nobel Prize in physics

從湯木生到蓋爾曼



百年史話

楊建鄴、李繼宏◇著 物理學博士 李精益◇校訂

Nobel Prize in Physics/Literature/Physiology or Medicine/Chemistry/Peace/Economics

湯木生、愛因斯坦、拉塞福、丁肇中、蓋爾曼……

20世紀的物理學奇才，從電子到夸克，

改變了我們看粒子世界的方法

諾貝爾獎殿堂 百年史話



走向微觀世界 ——從湯木生到蓋爾曼

作者／楊建鄴、李繼宏

校訂／李精益

主編／羅煥耿

責任編輯／馬興國

編輯／黃敏華、陳弘毅

美術編輯／鍾愛蕾、林逸敏

發行人／林正村

出版者／世潮出版有限公司

登記證／局版臺業字第 5108 號

地址／台北縣新店市民生路 19 號 5 樓

電話／(02) 22183277

傳真／(02) 22183239 (訂書專線) · 22187539

劃撥／17528093

單次郵購總金額未滿 200 元 (含)，請加 30 元掛號費

網址／www.coolbooks.com.tw

電腦排版／繁簡通電腦排版公司

印刷廠／世和印製企業有限公司

版權所有 · 翻印必究

初版一刷／2003 年 8 月

定價／220 元

本書由 武漢出版社 授權在台灣獨家出版發行

本書如有破損、缺頁、裝訂錯誤，請寄回更換

諾貝爾獎殿堂 百年史話



走向微觀世界—— 從湯木生到蓋爾曼



楊建鄴、李繼宏 ◇ 著

李精益 ◇ 校訂

前 言

一尺之棰，日取其半，萬世不竭。

——《莊子·天下》

基本粒子……總數成了 60。再加上希格斯粒子，總數為 61。……宇宙所有物質的基本定律竟然倚靠這麼大量而且複雜的基本客體，似乎頗令人不安。

——M. 蓋爾曼：《夸克和美洲豹》

我們身邊的物質，色彩繽紛，洋洋乎大哉！真讓人有目不暇給、美不勝收之慨。在這萬花筒般的大千世界裏，人們能夠對它們有更深入、更根本性的認識嗎？

古代希臘有一些睿智的哲學家，以驚人的想像力和推理能力，在完全沒有實驗驗證的情形下，大膽猜想，認為大千世界的所有物質，包括我們人在內，都是由無數獨立的、小得看不見的原子構成的。這些原子亘古不滅，不可摧毀，因而也是永存不朽的。在西文裏，原子是 atom，就是「不可分割」的意思。

在 2400 多年以前，希臘哲學家德謨克利特(Democritus，約西元前 460 ~ 前 370)就曾指出：

「世界和宇宙中的萬物，都是由看不見又不可分割的微小粒子組成。」

德謨克利特把這些「看不見又不可分割的微小粒子」稱為「原子」。後來，人們把他尊稱為「原子之父」。意思是說，德謨克利特是原子理論的奠基人。

人類探索自然奧秘的一個重要面向，就是探索、研究物質生活的微觀結構。德謨克利特可說是這方面的發端者。

但是，微觀世界的探索是十分艱難的，其關鍵原因是長期無法用實驗來證明。雖然化學界早在幾百年前就已經無憂無慮地用原子學說討論化學問題，但許多科學大師只把原子當作一個「很有用」的假說、符號，卻不真的認為有原子這種實體。例如，19世紀末和20世紀初，還有許多科學家不承認原子假說是正確的理論。曾於1909年榮獲諾貝爾化學獎的德國科學家奧斯特瓦爾德(F. W. Ostwald, 1853 ~ 1932)，就曾公開地說：

「我不相信原子理論，如果要讓我相信，那就讓我親眼看到原子！」

到了20世紀初，由於工業技術的發展，科學家終於可以利用巧妙的實驗，讓奧斯特瓦爾德看到原子了。在這些實驗中，法國物理學家佩蘭(J. Perrin, 1870 ~ 1942)的實驗最有說服力。1926年，佩蘭由於「為原子概念作的貢獻」而榮獲諾貝爾物理學獎。

非常有意思的是，正當科學家為原子理論的勝利而歡呼雀躍時，英國物理學家湯木生(J. J. Thomson, 1856 ~ 1940；湯姆遜)卻石破天驚地用實驗證實：宇宙萬物由原子組成是正確的，但是，原子不是不可分的，原子還由更小的粒子組成。這些更小的粒子中的一個是電子(electron)。

原來，原子並不是最「基本的」(elementary)粒子。之後，人們把電子等粒子稱為「基本粒子」(elementary particles)，意思是說它們才是最基本的粒子；原子雖是構成宇宙萬物的一種「基石」，但原子又是由許多基本粒子構成的。現代物理學已經進一步證實，基本粒子不只有電子一種。據蓋爾曼(M. Gell-Mann, 1929 ~)的說法，基本粒子已達61種。值得英國人驕傲的是，第一個基本粒子是他們的同胞J. J. 湯木生發現的。湯木生的功績確非一般。

目 錄

第一章 走向原子世界

- 1 人類發現第一個基本粒子
——J. J. 湯木生和電子的故事 (9)
- 2 人類發現第二個基本粒子——愛因斯坦和光子 (27)
- 3 魔術師拉塞福 (47)
- 4 查德威克檢了一個便宜 (67)

第二章 粒子世界

- 1 反物質世界的第一個粒子——正電子的發現 (89)
- 2 鬼魅般的粒子——微中子 (107)
- 3 湯川的介子理論讓世界大吃一驚 (126)
- 4 奇異粒子和宇稱守恆的坍塌 (149)
- 5 丁肇中和 J/ ψ 粒子 (180)

第三章 粒子內部的世界

- 1 蓋爾曼：粒子物理學中的奇才 (210)
- 2 尋找更基本的粒子 (215)
- 3 頂夸克的故事 (227)

後 記 (232)

參考書目 (234)

第 1 章



Nobel Prize

19世紀末20世紀初，物理學正進入一個新時代的黎明時期。……人們對於電可能具有的原子結構曾經進行過很多的討論。但是要知道，雖然在很久以前就有人設想關於物質原子結構的概念，但是這種設想不能被載入科學著作中，因為除非有定量的實驗證據，沒有任何一種哲學的討論能夠作為科學的真理加以接受。

——楊振寧：《基本粒子簡史》

19世紀中期，在所謂「古典近代原子理論」中，包括物理學和化學兩個方面。大約從1810年到1860年的50年期間，自然科學家們大都使用這個理論。

物理學家們使用的原子概念，主要是指一些非彈性粒子（或慣性質點），其特點是有各種各樣的吸引和排斥力。例如，19世紀中期有一本物理教科書上寫道：

「原子、吸引、排斥和慣性，這4個詞能解釋大部分自然現象。」

19世紀時，化學家心目中的原子，實質上就是道耳吞（J. Dalton, 1766 ~ 1844；道爾頓）的原子論，即原子是化學上不可分的微粒，它們具有不同的重量。

1860年到1895年期間，關於原子是否存在的爭論，又趨激烈。一方面儘管原子假說能夠作出某些十分精確的預言，但另一方面又有許多實驗反證原子理論是無法解釋的。也許更嚴重的是，原子假說要求物質實體有某種亞（次）結構（sub-structure），但持原子理論的科學家們卻拿不出一個能讓大家滿意的實驗證明。這種兩難的局面，使許多科學家無所適從，以致法國著名科學家彭加勒（J. H. Poincaré, 1854 ~ 1912）用一種「中立性假說」來對待原子假說。他說，原子假說既不能認為是正確的，也不能認為是錯誤的；今後能否使用這一個假說，也仍然是一個懸而未決的問

題。

1895 年以後，這種兩難的局面迅速改觀，不僅原子假說得以最終獲勝，而且人類竟然一下子進入了原子世界……



1 人類發現第一個基本粒子 ——J. J. 湯木生和電子的故事

人類認識的第一個基本粒子就是電子，它遠比其他粒子輕。……人們通常把發現電子的功勞歸於英國物理學家湯木生爵士，這是公正的。

——S. 溫伯格：《亞原子粒子的發現》

1856 年 12 月 18 日，湯木生出生於英國曼徹斯特附近的契瑞丘(Cheetham Hill)。那年，正好另一位純科學家和夢想家——義大利偉大的亞佛加厥(A. Avogadro, 1776 ~ 1856)去世。

湯木生的父親是一位書商兼出版商，專門經營版本很少、年代又久遠的書籍。由於家庭的自然薰陶，湯木生從小就喜歡在舊書店和舊書攤上搜集不起眼但又十分有價值的舊書；他更喜歡一個人安靜地在小屋裏看書。另外，他父親雖然不是科學家，但由於生意上的往來，與許多大學教授、作家、名流交往甚密；有一些知名學者，還與他父親成了終生好友。在這種良好氣氛的感染下，湯木生從小就對自然科學有了濃厚的興趣。

湯木生的母親「小巧玲瓏而又有一雙黑色明亮的眼睛，她身上經常散發出一種慈愛的氣質」。他們家中經常有許多小孩聚在一起，這使他們可以在一起「演出」各種有趣的兒童劇。每次演完以後，湯木生的母親就會用豐富的茶點來獎勵孩子們的優秀「演出」。孩子們見了犒賞的點心，總會高興得尖叫起來。湯木生從小就在這種愉快的氣氛中成長，他的心智正常地發展。

有一天，湯木生從外面走進書店時，看見父親正在和一個大鬍子學者談話。看見兒子進來了，父親把兒子叫到跟前介紹說：

「這位是焦耳先生。」

湯木生聽說過焦耳(James P. Joule, 1818 ~ 1889)是一位著名的科學家，因此十分激動地向焦耳行了一個禮，怯生生地說：

「您好，焦耳先生。」

事後父親對兒子說：

「以後有一天你也許會驕傲地對人說：我見過偉大的科學家焦耳，還向他問過好。」

湯木生的父親原想讓湯木生成為研究應用科學的工程師，但不幸的是，湯木生 16 歲時，父親去世了。家庭經濟陡然困難起來，交不起工學院所需的大筆費用。他母親在親友的勸說和幫助下，再加上歐文斯學院(Owens College；即曼徹斯特大學的前身)提供了一筆助學金，湯木生才得以繼續唸書，沒有中斷學習。他弟弟沒有他幸運，不能繼續深造，只得去經營印花布生意。

1876 年，湯木生由於學習成績優秀，被保送到赫赫有名的劍橋大學三一學院深造。1880 年，湯木生從三一學院畢業，獲得學士學位。湯木生終生都非常感念幸運地獲得獎學金，常對人說：

「劍橋大學的學術氣氛和研究環境，真可以說獨一無二，難有與其匹敵，但只有富裕人家的子女才能進去讀。我如果沒有獎學金，就不可能進去讀書。」

伯樂瑞利

湯木生畢業後不久的 1884 年，劍橋大學的卡文迪西實驗室(Cavendish Laboratory)主任瑞利(J. W. S. Rayleigh, 1842 ~ 1919, 1904 年獲諾貝爾物理學獎)教授想辭去主任之職。

「您認為誰適合繼任這一重要的職位？」

這是人們十分關注的一個問題。我們知道，卡文迪西實驗室

是 1871 年由偉大的物理學家馬克士威 (J. C. Maxwell, 1831 ~ 1879) 創建的。馬克士威是創建古典電磁理論大廈的科學大師，也是第一任卡文迪西實驗室負責人。接任馬克士威職位 of 瑞利教授，也是一位功勳卓著的大科學家。如果他辭去這一職務，由哪一位繼任當然是英國科學界乃至英國人民都十分關心的事。人們自然而然地認為，必須由一位在科學事業上做出許多重要貢獻的大師級科學家來接任空出來的職位。



湯木生

人們問瑞利打算推薦誰繼任他辭去的職務。瑞利的回答讓人們大吃一驚：

「我願推薦 J. J. 湯木生繼任這一重要的職位。」

爲什麼人們會大吃一驚呢？因爲當時湯木生才 28 歲，從大學畢業 4 年，還沒有做出任何重要的貢獻。雖然他展現出一定的才華，但其研究多半是理論性質的，在實驗方面根本沒有做出多少成績；在理論研究方面，人們也認爲他的水準並不是最高。更何況在三一學院傳統的數學榮譽考試 (tripos) 中，湯木生只得了第二。而馬克士威當年可是響噹噹的第一名^①啊！……總而言之，大家都對瑞利的推薦表示懷疑：這位並不特別出衆的青年，能擔當起這麼一個重要的職務嗎？卡文迪西的成就，可是與大英帝國的威望、榮譽息息相關啊！

人們恐怕不僅僅是懷疑，私底下已經出現了一些騷動，認爲瑞利的推薦太不慎重。

①審按：事實上，馬克士威於 1854 年 1 月參加該考試時獲得第二名，第一名是 Edward Routh (1831 ~ 1907)。

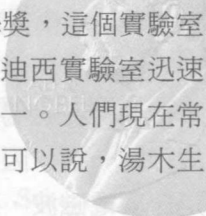
爲了平息這種強烈的不滿，也爲了審查瑞利的推薦到底恰不恰當，劍橋大學推舉三位最傑出的科學家組成一個審議小組，以便做出最後的抉擇。這三位科學家是：克耳文勳爵(Lord Kelvin, 1824 ~ 1907, 開爾文)，他在格拉斯哥大學任教，在熱力學方面是世界級權威，現在的克氏溫標就是用來紀念他的。斯托克斯(G. G. Stokes, 1819 ~ 1903)，劍橋大學教授，建立了光行差理論，發現了螢光，在流體力學、光學、光譜學方面有卓越貢獻。第三位是天文學家喬治·達爾文(G. H. Darwin, 1845 ~ 1912)，他建立了潮汐摩擦理論，對天體物理學有過重大貢獻；他還是創立生物進化論的老達爾文(Ch. R. Darwin, 1809 ~ 1882)第二個兒子。

三人小組經過認真調查、評議，最後一致認爲，湯木生有豐富的想像力和透徹理解事物的頭腦，因此他們三人一致同意瑞利的推薦。決定宣佈後，大部分人的疑慮消失了，但仍有些人不滿意，還有些人則不相信湯木生能夠勝任這一工作。後來很有名氣的美國科學家巴平，專程從美國紐約到劍橋大學來研究物理，一聽說僅比他早兩年畢業的湯木生被委任爲著名的卡文迪西實驗室主任，竟然被嚇跑了，不願再留在劍橋大學做研究。

其實，我們應該欽佩劍橋大學這一英明的抉擇。當時英國有許多在物理實驗方面做出過重要貢獻的教授，但都未被選爲卡文迪西實驗室主任。這是因爲在廣泛徵求意見時，許多有名的科學家反對錄用「年齡較大的人」。例如當時愛爾蘭都柏林三一學院的著名物理學家菲茨傑拉德(G. F. Fitzgerald, 1851 ~ 1901)就在一封信中寫道：

「我真怕會任命一位年齡較大的人……雖然事實上我也很希望自己當選。但我相信這次任命會得到圓滿解決。」

果然是「圓滿解決」了：湯木生被任命爲第三任卡文迪西主任。事實表明，所有那些擔心和不信任都是缺乏根據的。湯木生很快表現出非凡的才智和領導能力。經過他和同事們不懈的努



力，不僅湯木生本人於 1906 年獲得諾貝爾物理學獎，這個實驗室裏他的 8 個學生也先後獲得了諾貝爾獎，使卡文迪西實驗室迅速成爲全世界少數幾個威望最高的科學研究中心之一。人們現在常常稱許卡文迪西實驗室爲「諾貝爾獎的搖籃」，可以說，湯木生功不可沒！

不過，湯木生對自己竟被選爲卡文迪西實驗室主任，也頗感意外和擔心。他曾說：

「我覺得自己像一個釣魚的人，用一支輕巧的魚具在一個意想不到的地方拋出一根釣線，釣到了一條魚，這條魚太重使得釣魚的人無法把牠釣到岸上來。我覺得接替一位像瑞利勳爵這樣享有盛名的人是困難的。」

陰極射線之謎

在湯木生進入劍橋大學的前一年，他就聽說同鄉克魯克斯 (W. Crookes, 1832 ~ 1919) 在物理實驗中有一個非常有趣和吸引人的發現。

克魯克斯製出一種形狀特殊的玻璃管，玻璃管封閉後把內部抽成接近真空；管的兩端安置兩個電極：陽極和陰極。然後，透過一個高頻感應線圈，使高真空的玻璃管在高電壓下放電。在觀察這一放電過程中，克魯克斯發現從玻璃管的陰極發射出一種幽靈似的螢光。因爲它是從陰極發射出來的，人們稱爲「陰極射線」(cathode ray)。

陰極射線並不是克魯克斯首先觀察到的。在他之前，許多物理學家都已觀察到這一美麗而又神秘的射線。

1858 年，德國物理學家普呂克爾 (J. Plücker, 1801 ~ 1868) 在利用「蓋斯勒放電管」(Geissler discharge tube) 研究氣體放電時，發現正對著陰極的管壁上發出綠色的螢光。這就是後來在 1876 年由德國物理學家戈德斯坦 (E. Goldstein, 1850 ~ 1930) 定名的陰極射

線。普呂克爾認為，這種射線和紫外光很類似，是一種電磁波。

1871年，英國物理學家瓦利(C. F. Varley, 1828 ~ 1883)發現：陰極射線在磁場中會偏轉，這與帶電粒子在磁場中飛行時會偏轉的行為一樣。因此他不同意德國同行們的意見，認為陰極射線不是什麼電磁波，而是由帶負電的粒子組成。在瓦利之前幾乎一個世紀，英國藥劑師瓦特森(William Watson)利用萊頓瓶也觀察到陰極射線。他在記錄中曾寫道：

「在黑暗的房子裏觀看玻璃管裏的放電現象，真是壯觀極了！閃光佔滿了兩個極板之間的整個空間。」

瓦特森當時也像德國物理學家一樣，猜測這種射線是一種光。

克魯克斯是從1879年開始研究陰極射線的，由於這時真空技術和電學實驗條件比以往先進多了，因此他可以在實驗室裏做各種仔細的觀察。在觀察過程中，克魯克斯首先想弄清楚的是：陰極射線真是一種電磁波嗎？還是像瓦利猜想的是一種帶負電的粒子流？

當克魯克斯把磁鐵放到陰極射線經過的玻璃管外面時，陰極射線真的如瓦利觀察的一樣，明顯地發生偏轉。如果是一種電磁波，就不會發生這種偏轉。

更奇妙的是，克魯克斯還把一個做得非常精緻的小風輪預先放進玻璃管裏(圖1-1)，然後讓陰極射線射到這小小的風輪上，結果風輪轉動起來。克魯克斯高興極了，他那漂亮的小鬍子也因為激動而上下跳動起來。克魯克斯由此認為，陰極射線不是什麼

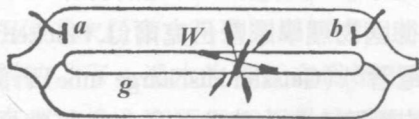
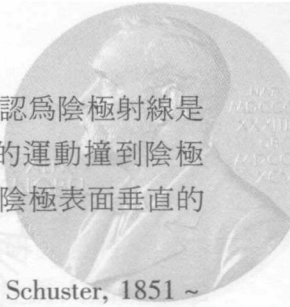


圖 1-1 克魯克斯的電風輪



電磁波，而是一種帶電的粒子流。具體地說，他認為陰極射線是由真空管中殘餘氣體的分子組成，由於無規則的運動撞到陰極上，帶上了負電荷，又受陰極排斥，因而沿著與陰極表面垂直的方向飛到陰極對面的管壁上。

1890年，在歐文斯學院任教的舒斯特(A. Schuster, 1851 ~ 1934)教授根據陰極射線在磁場中偏轉的計算，認為陰極射線正如克魯克斯說的一樣，是「帶負電的氣體分子」。

從當時的情形來看，主張陰極射線是帶負電的原子(或分子)假說的，都是英國物理學家；在英國以外的大多數科學家，則認為陰極射線是一種電磁波，其中包括許多著名的德國科學家，如用實驗發現電磁波的赫茲(H. Hertz, 1857 ~ 1894)和對光電效應做出巨大貢獻的勒納(P. Lenard, 1862 ~ 1947, 1905年獲諾貝爾物理學獎)等人，都堅持認為陰極射線是一種電磁波。這種幾乎以國家為分界的爭論，在科學史上不是第一次。這是十分有趣而值得研究的一件事情。

德國科學家有充分的理由反對英國科學家的意見。其中有三個實驗事實讓英國科學家無法回答，陷入困境。

第一，如果陰極射線真是帶負電的原子(或分子)，那它不僅應該在磁場中偏轉，還應該在電場中偏轉。這理由是每一個高二學生都明白的，因此也是重要的判斷標準。但赫茲用電場檢驗陰極射線時，陰極射線在電場中根本不偏轉。因此，英國的幾位物理學家無話可說，顯得十分尷尬和被動。德國科學家則認為這是一個極重要的實驗事實，是一個「判決性」的實驗。

第二，勒納做了一個了不起的實驗，讓英國物理學家也無法回答。勒納用磁鐵使陰極射線彎曲後，飛向一個叫「勒納窗」的窗口。這個窗口安裝的不是玻璃，而是用一張很薄的金屬箔將窗口封住(圖1-2)。實驗結果證明，陰極射線可以穿過金屬箔，飛到玻璃管外面去。這似乎更能證明陰極射線是一種電磁波，因為