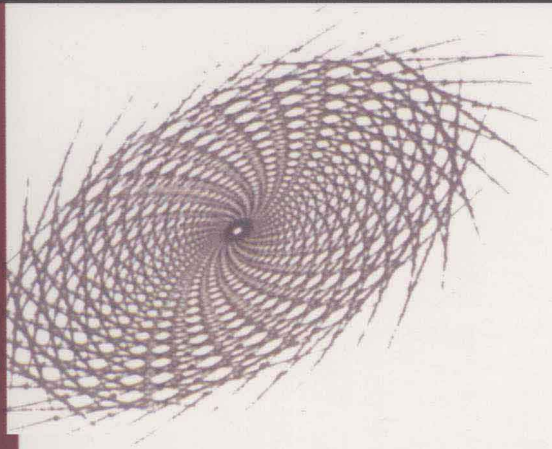




諾貝爾獎 百年鑑

微觀絕唱

量子物理學



百年來的成就豐富了20世紀 也影響未來的物理之路

傳統觀念的突破 電子紀元的開創者 量子論的誕生

原子理論及其實驗驗證 波粒二象性 量子力學的創立 無盡的探索之路

中國科學院研究員 江向東、黃艷華◇著

物理學博士 李精益◇審訂

微觀絕唱 量子物理學

作者／江向東、黃艷華

審訂／李精益

叢書總監／楊保羅

主編／羅煥耿

責任編輯／黃敏華

編輯／翟瑾荃

美術編輯／林逸敏、鍾愛蕾

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

劃撥／17528093

單次郵購 200 元（含）以下，請加 30 元掛號費

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／2002 年 1 月

定價／170 元

本叢書中文繁體字版權由上海科技教育出版社授予

本書如有破損、缺頁、裝訂錯誤，請寄回更換

Printed in Taiwan



國家圖書館出版品預行編目資料

微觀絕唱——量子物理學／江向東，黃艷華著，--
初版，-- 臺北縣新店市：世潮，2002[民91]
面；公分，--（諾貝爾獎殿堂，諾貝爾
獎百年鑑；C6）

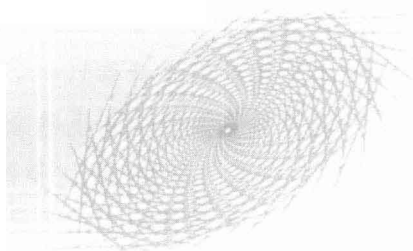
ISBN 957-776-314-6（平裝）

1. 量子力學

339.1

90022366

微觀絕唱 量子物理學



江向東、黃豔華◇著

物理學博士 李精益◇審訂



策劃序

從 1901 年開始頒發的諾貝爾獎，可以說是 20 世紀物理學、化學和生命科學發展的縮影。它記錄了百年來這三大學科的幾乎所有重大成就，對世界科學事業的發展產生很大的促進作用，被公認為科學界的最高榮譽。人們崇敬諾貝爾獎，讚嘆諾貝爾獎得主們的科學貢獻，並已出版了許多相關書籍。

那麼，我們為什麼還要策劃出版這套《諾貝爾獎百年鑑》叢書呢？

這是因為，有許多熱愛科學的讀者，很希望有這樣一套書，它以具體的科學內容為基礎，使社會公眾也能對科學家們的成就有一定的感性認識；它以學科發展的傳承性為主線，讓讀者領略科學進步的永無止境；它還是簡明扼要、通俗易懂的，令讀者能輕鬆閱讀，愉快受益。

基於這種考慮，本叢書將百年來三大學科的全部諾貝爾獎按具體獲獎內容分為 26 個領域，每個領域寫成一卷 8 萬字左右的小書，以該領域的進展為脈絡，以相關的諾貝爾獎獲獎項目為重點，讀者將不但能了解這些諾貝爾獎成果的科學內容，更能知道這個領域的發展歷程。叢書的分卷不局限於一級學科的分類，以體現現代科學之間的交

融。此外，叢書還另設了3卷綜述，便於讀者對這三大學科的全貌有一個宏觀認識。叢書29卷內容如下：

20世紀物理學革命	現代有機化學
20世紀化學縱覽	無機物與膠體
20世紀生命科學進展	材料物理與化學
X射線與顯微術	現代分析技術
核物理與放射化學	生物分子結構
量子物理學	量子與理論化學
基本粒子探測	蛋白質核酸與酶
場論與粒子物理	遺傳與基因
粒子磁矩與固體磁性	細胞生物學
超導超流與相變	生理現象及機制
測量技術與精密計量	內分泌與免疫
天體物理學	臨床醫學與藥物
物理學與技術	傳染病與病毒
熱力學與反應動力學	神經與腦科學
物質代謝與光合作用	

在叢書策劃基本成形後，我們曾到上海、北京、南京等地的許多著名高校及中國科學院、中國醫學科學院等科研院所徵求專家們的意見，得到了他們的大力支持。許多學者不顧事務繁忙，慨然為叢書撰稿。我們謹向他們表達由衷的感謝和深深的敬意。





審訂者序

上海科技教育出版社策劃出版《諾貝爾獎百年鑑》之宗旨，已具見於「策劃序」中，毋庸贅述。然身為本叢書台灣版物理部分各卷之審(校)訂者，自覺應對讀者手上之書略做說明，因為較諸原版它有一些變動。

近十年從大陸引進各類書籍在台發行者相當普遍，對兩岸之文化交流居功厥偉，但亦帶來不少問題。文史社科類書茲不論，以下稍談理工類書。絕大多數人或許以為取得一本大陸書，只要將簡體字轉換成繁體字即大功告成，可付梓上市矣！實則不然，蓋由電腦轉檔得到之底稿，若非以人腦看一遍，往往將出現極荒謬可笑之錯誤！筆者有一本《簡明天文學》即多處可見「北門七星」、「干涉儀」等詞彙！其次，兩岸對有些名詞之翻譯差別甚大，而此間編輯多不具理工背景，自然不知須注意此點，因而無論如何認真校稿，書中仍常出現令讀者不知所云之段落！再者，大陸書籍一般不附原文(近數年來注原文者似有增加趨勢)，此點時常困擾讀者，而書中還不時冒出俄文……等等。簡言之，在台灣出版大陸寫作之理工書，確實需由具備相關領域常識(在大多數情形下，常識已足矣！)之人先行「加工」，印出之書才能讓大家讀來稱心如意，且不會

產生排斥感，如此方可從中獲益。惜乎目前台灣之出版社肯用心於此者，誠不多見！

筆者既指出上述各點，今負責《諾貝爾獎百年鑑》台灣版物理部分各卷之審訂或校訂工作，自己對其進行過「加工」。此外，為充實篇幅，提高可讀性，尚加入不少圖片；其標準如下：（一）具歷史價值；（二）有助於瞭解物理知識；（三）能培養讀者在物理上更寬廣而健全之素養（如有些相當複雜之儀器裝置及實驗結果，自然不可能一看即懂；它們之所以出現無非是希望年輕學子深切認知學物理絕不只是導公式、背題組而已；真正有用的科技知識是必須恰當掌握相關細節的；科學的進展往往來自於新儀器之發明〔以人次論，百年來2/3以上的諾貝爾物理獎項頒給實驗工作，而其中有許多是得力於新儀器〕……）。

經此番「加工」後，筆者有自信各位即將閱覽的是一本比大陸版更好，也更適合台灣讀者之口味及需求的書。最後希望筆者與出版社同仁的用心能得到大家的肯定，更深切期待此叢書的出版能為有心人提供一套確實能「增進功力」的科普讀物！

李精益 辛巳冬至於高雄望月陋室





作者簡介

江向東，男，1950年生，1976年畢業於中國科技大學近代物理系。中國科學院高能物理研究所副研究員、《現代物理知識》雜誌副主編兼編輯部主任。曾在加拿大國際原子能研究中心和義大利國際理論物理中心進行協作研究。

黃艷華，女，1968年生，1992年畢業於北京工業大學應用物理系。任職於中國科學院高能物理研究所，現為《現代物理知識》雜誌編輯。

審訂者簡介

李精益，台灣大學物理學士，清華大學物理碩士，美國德州奧斯汀大學(UT-Austin)物理博士。教育部審定副教授資格。目前教學研究興趣在於：結合科學史與科技新知，闡揚「科學與技術乃文明關鍵組成部分及首要演進動力」此一理念。此外積極參與出版事業，期能提升台灣全民科學素養。





目錄

1

傳統觀念的突破 / 011

2

電子紀元的開創者 / 017

電子的發現 / 017

原子論和實證主義哲學 / 026

電子電荷的測定 / 036

3

量子論的誕生 / 043

熱輻射與黑體 / 043

開啓量子之門 / 049

光電效應和光量子論 / 052

最偉大的物理學家 / 058

4

原子理論及其實驗驗證 / 063

波耳和原子結構模型 / 063

弗蘭克—赫茲實驗 / 071

「最偉大的發現者」 / 077

斯塔克效應 / 083

斯塔克的醜陋行徑 / 088

5

波粒二象性 / 095

物質波 / 095

電子繞射實驗 / 101

科學父子倆 / 105

6

量子力學的創立 / 109

海森伯與矩陣力學 / 109

薛丁格與波動力學 / 113

狄拉克理論 / 115

波函數的統計詮釋 / 123

不確定原理 / 128

關於量子力學的詮釋 / 133

7

從不相容原理到微中子 / 141

奇才泡利 / 141

不相容原理的提出 / 144

在自旋問題上的失誤 / 146

超越諾貝爾獎的成就 / 150

泡利的風格 / 157

8

無盡的探索之路 / 163

本卷大事記 / 169



1

傳統觀念的突破

中國有句俗語，叫做「亂世出英雄」。從物理學的角度來看這句話的意思，就是物理現象紛繁雜亂，在沒有一個像樣的理論給予解釋的混亂情況下，某人提出一種新穎獨到的理論，此人便可謂亂世所出之英雄。較之於亂世，歌舞昇平的繁榮時代更不容易出英雄，在物理學界也是如此。

事實上，20 世紀初物理學革命肇始之日，正值古典物理學(classical physics，經典物理學)發展到了登峰造極之時。當時，物理學所研究的兩種自然力，即引力和電磁力，已被認為研究得很透徹。對於引力理論，在牛頓力學的基礎上，經過拉格朗日(Joseph L. Lagrange, 1736 ~ 1813)、哈密頓(William R. Hamilton, 1805 ~ 1865)、雅可比(K. G. J. Jacobi, 1804 ~ 1851)和泊松(Siméon D. Poisson, 1781 ~ 1840)等人的努力，包括分析力學(analytic mechanics)在內的牛頓力學體系非常完備地建立起來了。對於電力和磁力，在安培(André M. Ampère, 1775 ~ 1836)、奧斯特

(Hans C. Oersted, 1777 ~ 1851)、歐姆(Georg S. Ohm, 1787 ~ 1854)、法拉第(Michael Faraday, 1791 ~ 1867)、韋伯(Wilhelm E. Weber, 1804 ~ 1891)和開爾文(Lord Kelvin, 1824 ~ 1907; 克耳文)等人成功的基礎上，馬克士威(James C. Maxwell, 1831 ~ 1879)綜合和提煉前人的研究結果，並在物理概念和數學表述上加以引申和發展，建立了著名的統一描述電磁場的馬克士威方程組，完成了物理學上的一次大綜合。因此，19世紀後期的許多物理學家都認為，物理學的大廈已經建成，留給後輩的只是一些裝修工作，比如把常數測量得更精確一些，把公式推導得更完備一些。據說，德國慕尼黑大學的一位物理學教授就勸說過年輕的普朗克(Max Planck, 1858 ~ 1947)放棄物理學，理由是這門學科無甚要事可做了。英國著名科學家開爾文，則在一篇賀詞中明顯地流露出物理學大功告成的觀點：「物理學已經可以認為是完成了，下一代物理學家可以做的事情看來不多了。」好在開爾文沒有把話說絕，在其賀詞的結尾提到了不盡如人意的一點：「在物理學平靜而晴朗的天空之遠處，還掛著兩朵令人不安的小小的烏雲。」

正是這兩朵烏雲——無法用古典理論解釋的邁克耳孫(A. A. Michelson, 1852 ~ 1931)以太漂移實驗和黑體輻射實驗，帶來了20世紀物理學的一場大變革：前者催生了愛因斯坦(Albert Einstein, 1879 ~ 1955)的相對論，後者則導致了量子理論的橫空出世與蓬勃發展。量子論和相對論，這兩



次改變了古典物理學觀念的大突破，都是在 19 世紀科學研究的基礎上，從對光的本質的新認識中產生的。對光輻射（包括紅外輻射或熱輻射）的能量分佈的研究導致了量子論，對光的傳播速度的研究導致了相對論。它們是構築 20 世紀物理學大廈的基石。在本書中，我們將主要介紹量子理論的創立過程，以及那些對此做出了卓越成就的物理學家們。

1900 年，爲了解釋黑體輻射實驗，普朗克提出了「能量量子」(energy quantum)概念；1905 年，爲了解釋光電效應，愛因斯坦提出了「光量子」(light quantum)概念。他們認爲，能量(或者光)是不連續的，它只能是某一最小單位(即量子)的整數倍。這一思想是對人們千百年來固有的傳統觀念的重大突破。

所謂觀念，乃是指思想意識，或者指客觀事物在人腦裏留下的概括的形象。對於一個人來講，改變自己的一個看法常常都不大容易，若要超越自我改變某種業已習以爲常的觀念，無疑會難得多。對於日常生活中的傳統觀念來講，它既帶有群體共識，又帶有歷史底蘊，因此改變起來就比改變某個人的觀念更艱難。更有甚者，對於物理學上的傳統觀念來講，由於它是一種被諸多量化實驗檢驗過的普遍經驗的沿襲，若要突破它，其難度之大可以想見。

在古典物理學中，能量連續性概念是天經地義的。而說光的發射和吸收是以一個個分立的「量子」的形式出

現，無疑也是突兀離奇的。用我們熟悉的風作例子，不論是徐徐的微風，還是颯颯的疾風，吹拂時給人的感覺都是一種均勻連續的平滑感。儘管從微觀的角度來看，風也是由一個個氣體分子的運動形成的。但如果有人在行文中把風形容為一顆顆「風彈」或者一粒粒「風丸」，準會招來用詞不當、文理不通的評語。因為在我們的傳統觀念和語言規範裏，風總是我們誰都熟悉的那種樣子。說到這裏，我們就能感悟到「能量子」和「光量子」的提出者需要多麼大的勇氣。這種科學勇氣，值得後人深深敬佩。

光既是波又是粒子的二象性被愛因斯坦發現之後，這種新奇的觀念啓發了人們對光以外其他物質的本性的思考。1923~1924年，法國物理學家德布羅意 (Louis V. de Broglie, 1892~1987) 建立了物質波理論，指出所有物質都具有波粒二象性，為後來量子力學的建立奠定了不可或缺的基礎。幾年之後，美國物理學家戴維孫 (Clinton J. Davisson, 1881~1958) 和英國物理學家喬治·湯木生 (George P. Thomson, 1892~1975) 各自獨立地在實驗上發現了晶體對電子的繞射作用，從而證實了德布羅意的物質波理論。物質波理論的建立，是人類探索自然界物質本性的進程中的里程碑，充分體現了物理學家們的科學創新精神。

在物質波理論的啓發之下，1925~1926年，德國物理學家海森伯 (Werner K. Heisenberg, 1901~1976) 和奧地利物

