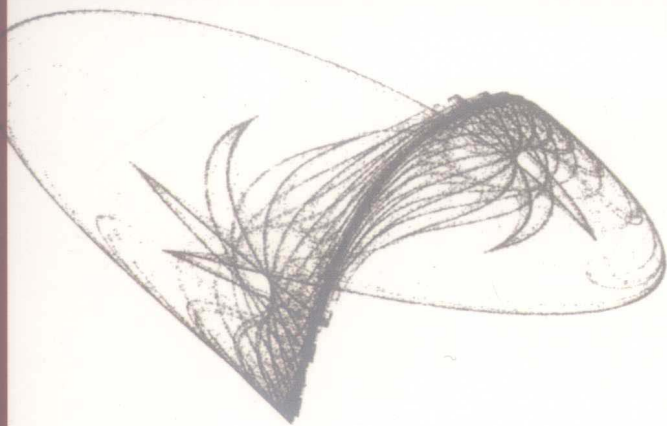




諾貝爾獎 百年鑑 10

絕對零度的奇蹟

■ 超導超流與相變 ■



百年來的成就豐富了20世紀 也影響未來的物理之路

通向絕對零度之路 難窮其理的超導 神奇莫測的超流 形形色色的相變

上海師範大學物理系主任、教授 陸繼宗
上海應用技術學院物理系副教授 黃保法 ◇ 著

物理學博士 李精益 ◇ 校訂



絕對零度的奇蹟 超導超流與相變

作者／陸繼宗、黃保法

校訂／李精益

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 4 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

絕對零度的奇蹟：超導超流與相變／陸

繼宗，黃保法著． -- 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：C10)

ISBN 957-776-325-1 (平裝)

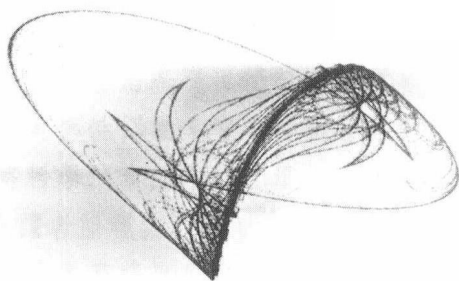
1. 低溫物理

335.34

91001184

絕對零度的奇蹟

超導超流與相變



陸繼宗、黃保法◇著

物理學博士 李精益◇校訂



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。

2000年12月10日

(第100屆諾貝爾獎頒獎日)



校訂者序

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「北鬥七星」、「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，在臺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可「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

陸繼宗，男，1941年生，1964年畢業於武漢大學物理系。上海師範大學物理系系主任、教授。上海市物理學會常務理事；中國物理學會引力與相對論天體物理分會理事；中國科學院理論物理研究所客座研究員；中國高科技中心協聯成員。曾任義大利羅馬大學、美國南卡羅來納大學和德國多特蒙德(Dortmund)大學訪問教授；德國馬克斯·普朗克物理研究所和義大利國際理論物理中心訪問科學家。

黃保法，男，1945年生，1969年畢業於北京大學物理系，1983年畢業於華東師範大學研究所。上海應用技術學院物理系副教授。中國高科技中心協聯成員。曾任義大利國際理論物理中心訪問科學家。

校訂者簡介

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

引言 / 011

2

通向絕對零度之路 / 017

從慈禧太后喝冰鎮酸梅湯說起 / 017

1877 年的聖誕節禮品 / 020

絕對零度和熱力學第三定律 / 021

「絕對零度先生」 / 028

3

難窮其理的超導 / 035

意外的發現 / 035

奇異的特性 / 039

長期的困惑 / 042

合作的產物 / 047

三人兵團 / 056

超導穿隧效應和超導電子器件 / 066

新的挑戰 / 079

廣闊的應用前景 / 088

4

神奇莫測的超流 / 097

氦 I 和氦 II / 097

卡皮查與超流的發現 / 102

超流的量子理論 / 108

理論物理的多面手 / 111

新的量子液體 / 117

5

形形色色的相變 / 125

相和相變 / 125

奇妙的臨界現象 / 127

范德瓦耳斯氣體 / 131

一級相變和二級相變 / 135

相變理論種種 / 138

重正化群的魅力 / 142

6

結語 / 153

本卷大事記 / 158





1

引言

20 世紀已經成爲過去，一個新世紀來臨了。值此世紀之交，回顧一下物理學在 20 世紀中的歷史進程，展望它在新世紀中的發展前景，應該是有所裨益的。

1900 年，英國著名物理學家開爾文勳爵 (Lord Kelvin, 1824 ~ 1907；克耳文勳爵) 在一次爲瞻望 20 世紀而作的題爲「19 世紀的烏雲籠罩著熱和光的動力學理論」的報告中說道：「在已經基本建成的科學大廈中，後輩物理學家只要做一些零星的修補工作就行了。」如果他只講了這些，那麼這段話根本就不會流傳至今。重要的是，他緊接著在後面講了一句傳頌千古的但書：「但是，在物理學晴朗天空的遠處，還有兩朵小小的令人不安的烏雲。」這兩朵烏雲就是當時用經(古)典物理理論所不能解釋的兩個實驗：黑體輻射實驗和邁克耳孫 (A. A. Michelson, 1852 ~ 1931) 的以太漂移 (ether drift) 實驗。恰恰就是這「兩朵小小的令人不安的烏雲」，帶來了 20 世紀物理學一場翻天覆地的革命。

開爾文勳爵話音未畢，就在 1900 年，為了解釋黑體輻射實驗，德國物理學家普朗克 (M. Planck, 1858 ~ 1947) 提出：能量是不連續的 (就像電荷是不連續的一樣)，它只能是某一最小單位的整數倍，這一最小單位被稱為能量子。量子論就此誕生。1905 年，在長期的思想醞釀後，愛因斯坦 (A. Einstein, 1879 ~ 1955) 創建了相對論。量子論和相對論是近代物理學與經典物理學 (classical physics, 古典物理學) 的主要差別。

量子論和相對論這一對世紀兒的誕生，是這場物理學翻天覆地革命的開始。波耳 (N. Bohr, 1885 ~ 1962；大陸用「玻爾」) 舊量子論的出現以及隨後量子力學的確立，表明這場革命已臻完善。而量子場論、固體量子理論、半導體理論、原子核理論的建立，標誌著這場革命不但已取得了巨大勝利，而且已經有了實際的應用，並導致許多新技術的出現。始於 20 世紀 40 年代的新技術革命，本質上就是這場物理學革命的延伸和物化。

現在人們對量子論與相對論和在這些領域攀摘諾貝爾物理學獎桂冠的物理學家們已較為熟悉，至少略有所聞了。但是對於與量子論同步發展的低溫物理與相變 (phase transition) 領域內的諾貝爾物理學獎得主和他們的成就，大概就沒有那麼熟悉了。愛因斯坦和普朗克是大家熟知的，但對在低溫物理領域作出傑出貢獻、在發展量子論中與愛因斯坦和普朗克有三駕馬車之稱的能斯特 (W. H. Nernst,

1864 ~ 1941；1920年諾貝爾化學獎得主)，可能知道的人就不多了。其實，低溫物理和相變現象是物理學中非常重要的內容，其重要性並不亞於量子論和相對論。

低溫物理本質上是量子論的，因為物理學上對低溫的定義是：能量可以和零點能相比擬的溫度範圍。當物質的溫度下降到最低溫度——絕對零度時，粒子並不會完全靜止，而是仍然具有一定能量，這就是零點能(zero point energy)。它是一個徹頭徹尾的量子概念。我們後面將會談到的超導和超流現象，也只有用量子場論才能理解。沒有量子力學、沒有量子場論，就根本無法解釋某些奇特的低溫現象和性質。與此同時，這些奇特的低溫現象和性質不僅為量子論提供了例證，而且進一步促進了量子論的發展。例如，有一些低溫現象能把原本只在微觀尺度上出現的量子現象在宏觀尺度上清楚地顯示出來，這就是所謂的宏觀量子效應。這是一件了不起的事，它使人們看到了量子效應的普遍性。

量子論和低溫物理的這種相互依存、彼此促進的關係是很容易理解的：物體到了極低溫時，原子或分子被「凍結」了。溫度愈低，原子或分子的運動愈慢，它們的動能小到可與零點能相比擬，這就使得其量子特性充分地表現了出來。所以必須用量子理論才能描述和解釋物體的低溫性質。另一方面，某些低溫性質，用普通的量子理論也還不能解釋，必須在量子理論的基礎上發展出新的理論，如



BCS 理論等，才能解釋它們。其中有些現象，如高溫超導，甚至到目前為止也還沒有理論能夠解釋。這就促使了量子論自身的發展。如果我們斗膽把唐代詩人王勃的不朽名句「落霞與孤鶩齊飛，秋水共長天一色」篡改為：「低溫與量子齊飛，微觀共宏觀一色」，或許正好可以說明這一情況。

通往低溫世界之路是從 1877 年卡耶泰 (L. P. Cailletet, 1832 ~ 1913) 液化「永久氣體」氧氣開始的。荷蘭物理學家卡末林 - 昂內斯 (H. Kamerlingh-Onnes, 1853 ~ 1926) 於 1908 年製成了液氦，並在 1911 年發現了水銀的超導現象。後來，物理學家又發現了液氦在低溫下的超流現象。這些現象本質上都是相變現象，也就是說，物質的狀態發生了明顯的改變。人類對相變現象的研究，最早是從對氣體和液體之間的相互轉變開始的。在這個過程之中，荷蘭物理學家范德瓦耳斯 (J. D. van der Waals, 1837 ~ 1923；凡得瓦) 做出了重要貢獻。卡末林 - 昂內斯在研究低溫時對超導現象的研究，也大大促進了相變領域的發展。後來人們發現，相變可以分為一級相變和連續相變，其中蘊含著許多豐富的內容。一級相變大多與固體內部的結構變化有關，其個中奧秘，物理學家們現在也還未能了解得十分清楚。而對於連續相變，經過朗道 (L. D. Landau, 1908 ~ 1968)、卡丹諾夫 (L. P. Kadanoff) 等人的努力，最終由威爾遜 (K. G. Wilson, 1936 ~) 於 1971 年提出的重正化群理論給予了相當好的理

論解釋。與此同時，科學家們正在利用絕熱去磁(adiabatic demagnetization)、核絕熱去磁等技術，獲得越來越低的溫度。現在，低溫物理已從純學術研究發展成一門造福於人類的高新技術——低溫技術(包括超導技術、磁浮技術等)，將在 21 世紀更好地服務於人類。

在本書中，我們將把注意力集中在低溫物理與相變領域的衆多諾貝爾物理學獎得主身上，以他們的工作和貢獻為線索來進行介紹，因為這些工作和貢獻恰好貫穿超導、超流和相變的整個領域。我們不但希望通過對他們的成就的介紹，能讓我們的讀者對 20 世紀低溫物理和相變領域的發展過程有一個較全面的了解；更重要的是，希望通過反思，對我們的青年物理學家有所啓迪，使他們能在新的世紀裏，在攀登科學高峰的道路上奮勇前進，為國家、為民族爭光。

