



本月物理史

譯/蕭如珀、楊信男

1957 年 7 月：

巴丁、庫伯和施里弗將他們的論文「超導性的理論」投寄發表

(譯自 *APS News*, 2007 年 7 月)

50 年前，也就是 1957 年，約翰·巴丁 (John Bardeen)、里昂·庫伯 (Leon Cooper) 和羅伯特·施里弗⁽¹⁾ (Robert Schrieffer) 提出他們對超導性的完整理論，終於解釋了超導性，這個自 1911 年被發現以來，對物理學家一直都是個謎的現象。

1911 年，海克·卡莫林·翁內斯 (Heike Kamerlingh Onnes) 在他探尋、研究處於極低溫狀態的各類物質時，偶然發現有些金屬物質在接近絕對零度時，電阻會突然消失，他稱此為超導現象。科學家很快地又發現，有更多的物質也擁有此特性。

但一直沒有人能完整地解釋它的原理。在往後的數十年間，許多傑出的物理學家為建構出超導性的基本理論而努力，卻無人太大的進展。有些物理學家絕望了，不想再探討此問題；在這其中的一位物理學家菲力克斯·布洛克 (Felix Bloch) 就曾如此建議而被引用：「布洛克法則：超導性是不可能的。」

李查·費蒙 (Richard Feynman) 後來亦回想說，他曾經「花了無數的時間，試著瞭解此現象，也用盡



巴丁、庫伯和施里弗 (由左至右)

圖片來源: AIP Emilio Segrè Visual Archives

各種我所能想到的方法...我產生了情緒上的障礙，不想再研究超導性的問題，因此當我得知 BCS 的論文時，有好長一段時間都無法迫使自己來研讀。」

當理論物理學家在翁內斯的發現後沒什麼進展時，實驗物理學家卻發現了超導體的幾個有趣特性。1933 年，華爾特·麥士那 (Walther Meissner) 發現超導體會排斥磁場，此效應會讓磁鐵漂浮起來。這個被稱為麥士那效應的發現為物理學家增添了新的麻煩，因為任何超導性的理論也都必須要能加以解釋。

蕭如珀 自由業
楊信男 台灣大學物理系
e-mail: snyang@phys.ntu.edu.tw

約翰·巴丁曾試圖探討超導問題，但後來又去做其他的研究。

有些物理學家也曾成功地解釋部分的超導現象，Fritz 和 Heinz London 兄弟得到一個理論，可用以解釋超導的一些特性，但卻無法提供微觀層次的機制。1950 年，Herbert Frohlich 提議說，超導性可能和電子與晶格振動（聲子）間的交互作用有關。在當時，實驗物理學家觀察到，一個物質變成有超導性時的臨界溫度和此超導體的原子質量有關。Frohlich 的理論的確可以解釋此同位素效應，但卻無法說明如麥士那效應等的其他超導特性。

當時巴丁正在做其他的研究，但同位素效應的發現重新燃起了他對超導問題的興趣。他和 David Pines 以解釋同位素效應的理論為基礎，除了 Frohlich 所考慮的電子與聲子之間的交互作用外，還同時釐清了晶格在低能量時，電子如何能克服彼此間的庫倫排斥力而相吸。

解出另一部份的疑惑要歸功於里昂·庫伯，他主張說，電子和晶格的交互作用，使得自旋方向相反的二個電子結合起來形成緊密相關的電子對。在被稱之為庫伯電子對（Cooper pairs）中的電子並不需要緊緊在一起，但可以相關聯的方式運動。庫伯體認到這些電子對的運動可以解釋電子如何在超導體中毫不受阻地流動。電子對在低溫時會形成，一旦增加能量就會使其遭受破壞，而使物質回復到正常、非超導性的狀態。

再下來的見解來自於羅伯特·施里弗，他是巴丁在伊利諾大學的學生。1957 年初，他到紐約參加美國物理學會的年會，在搭乘地鐵的途中得到了靈感。他想出了如何用單一波函數的數學方式來描述超導體中所集結巨量的庫伯電子對。當他一回到伊利諾，立刻告訴巴丁和庫伯這個突破，他們就知道超導性的問

題已經得到解答了。

巴丁、庫伯和施里弗將所有的見解整合成完整的理論，其中電子經由和晶格的交互作用形成了庫伯電子對，這些電子對不會像在正常導體中做隨機運動，而會以相關性的方式運動，使得電流不受阻力。

平日寡言的巴丁有一天宣布：「是的，我認為我們已經解釋了超導性。」同年 4 月，巴丁、庫伯和施里弗在《物理評論》（*Physical Review*）中發表了一篇短論文，標題為「超導性的微觀理論」。他們於 1957 年 7 月將完整詳盡的報告寄到《物理評論》，用了「超導性的理論」這樣一個合宜的標題，於同年 12 月發表出來。

BCS 理論極為成功，它詳盡說明了超導性的機制和相關的效應，很不可思議地和實驗的數據非常吻合。巴丁後來回想說：「截至目前所有關於超導體令人困惑的特性就像拼圖遊戲般地完全契合。」BCS 理論很快地被接受，被公認是正確的。

1972 年，巴丁、庫伯和施里弗因他們超導性的理論同獲諾貝爾獎，這是巴丁第二次獲得諾貝爾物理獎，他第一次因電晶體，於 1956 年和 William Shockley 與 Walter Brattain 分享該獎項。

2007 年，BCS 理論滿 50 週年，此理論適用於傳統的超導體，但無法解釋 20 年前第一次發現的高溫超導體，因此疑惑仍然存在。雖然如此，BCS 理論的影響遠超過超導性，因為科學家已在太空物理和核物理方面發現了類似 BCS 超導體的狀態。

註（1）施里弗於 2004 年 9 月 24 日在加州駕車超速肇事，造成 1 死 7 傷，於 2005 年 11 月 6 日被判刑 2 年入獄。車禍當時，被吊銷駕照的施里弗據說在駕駛座上睡著了，這是史上第一位諾貝爾獎得主因非政治性因素而身陷囹圄者。