



譯/ 蕭如珀、楊信男

1925 年 1 月：包立〈Wolfgang Pauli〉宣布了不相容原理

〈譯自 *APS News*，2007 年 1 月〉



Wolfgang Pauli

1925 年對於量子物理學來說是很重要的一年，這一年從包立在 1 月宣布了不相容原理開始。這個著名的原理說明了兩個完全相同的費米子不可能處在相同的量子狀態，首次提供了元素週期表結構的理論基礎。

包立於 1900 年出生在維也納，同年量子力學也因蒲朗克宣布了能量量子的概念而誕生。包立的父親是一位醫生，也是維也納大學的化學教授，他的教父是 Ernest Mach（譯者註：奧地利—捷克大物理學家和哲學家，1838-1916）。包立自幼即是一位天才，當上課厭煩時，他會閱讀愛因斯坦有關相對論的論文。當

他 20 歲，還是慕尼黑大學 Arnold Sommerfeld（知名理論物理學家）的學生時，就曾發表有關相對論的論文，還在百科全書中寫了介紹相對論的文章，讓其他的物理學家，包括愛因斯坦本人都大為震驚。在研讀過古典力學和相對論後，包立因 Sommerfeld 介紹他讀量子力學而感到不安，因一開始他發現這題材讓他很困惑。

也許因為包立很聰明，所以他的教授和同事們都很包容他一些令人厭煩的習性，例如他總是睡到很晚，中午以前不去上課；他又極端會批判，出了名的會嘲諷其他同事沒條理的研究是「連錯都談不上」。他愛挑剔的個性經常讓人忙著澄清自己的想法；此外，他還很會製造事端，因此科學家相信只要讓他接近實驗室，實驗就注定會失敗。

包立在 1921 年獲得博士學位後，先到 Göttingen，之後又到哥本哈根，1923 年到漢堡大學任職。他第一節課就上元素的周期表，但因當時尚不瞭解原子殼的結構，所以他很不滿意。1913 年，波耳主張電子只能佔用某些量子化的軌道，但又似乎找不到一個原子裡的所有電子不就擠到一個最低的能量狀態中的理由。就這樣對於週期表的結構沒有令人信服的解釋，加上包立才剛著手試圖去解釋異常的基曼效應（Zeeman effect，電子自旋的結果），使他深信兩個問

題應該有些關聯才對。

1924 年末，包立做了一大突破，他提出了在當時用來解釋電子量子狀態的三個量子數外，再加入第四個量子數的看法。前三個量子數在物理上有意義，因為它們和圍繞原子核的電子運動有關，包立說他的新量子特性為一個「古典無法解釋的雙值性」。在提出此主張後不久，包立即意會到此看法可能對封閉軌道的問題找到答案了。

之後在 1925 年 1 月，包立宣布了不相容原理，說明在一個原子中沒有兩個電子能處於和四個量子數都完全相同的狀態中，每一個電子都必須處於自己獨特的狀態，不能有其他的可能性。

包立提出第四個量子數的看法困擾著當時的物理學家，因為沒有人能解釋它的物理意義，就連包立本人也很困惑。包立還同時因他無法提出不相容原理的合理解釋，也無法從量子力學的其他法則中推導出此原理而深感煩惱，所以他為此問題而悶悶不樂。然而，此原理卻行得通，它解釋了週期表的結構，且還必須用它來解釋物質的其他特性。

之後也在 1925 年，Samuel Goudsmit 和 George Uhlenbeck 受到包立研究的激勵，解釋了第四個量子

數為電子的自旋。包立起先應用不相容原理來解釋原子中的電子，但後來更被延用到有半整數自旋的任何費米子系統，但不包括自旋為整數的玻色子。

在包立宣布他的不相容原理後的兩年間，新的量子力學迅速崛起，Heisenberg 提出了矩陣力學的表述，而 Schrödinger 也基於 de Broglie 主張物質有波動性質的想法，提出了波動力學。

包立於 1928 年搬到瑞士蘇黎世，在第二次世界大戰期間他住在美國，戰爭結束後又再回到蘇黎世。1931 年，包立提出了一個新粒子—微中子存在的主張，以解決在貝他衰變中能量不減所缺少的一部份。在做了許多研究有成後，他將往後大部分的歲月用來思考科學的歷史與哲學。

包立總是強調對於一個現象要做清楚、有條理的解釋，他也總是努力地同時找出對實驗的直覺理解與其嚴謹的數學結構。Max Born〈譯者註：德國物理學家，1954 年獲得諾貝爾獎〉曾如此評論他說：「我知道他是一位天才，只有愛因斯坦能比。但他是一個完全不同典型的人，在我眼中，他不及愛因斯坦偉大。」1945 年，包立因不相容原理的發現而獲得諾貝爾獎，1958 年離開人世。