

# 你所不知道的包立

文 / 許家豪



## 1. 天才的崛起

**包立**本名沃夫岡·包立 (Wolfgang Ernst Pauli)，他的中間名 Ernst 是源自於他的教父，而他的教父不是別人，正是物理學家 Ernst Mach，包立出生於 1900 年 4 月 25 日，那一年普朗克為了解決黑體輻射問題，首次提出了量子的概念，開啟了量子時代的篇章，或許是這些機緣巧合讓包立的命運注定不凡。

從中學開始，他便展現出他的與眾不同。包立就讀於維也納的一所文理中學 (Döblingen Gymnasium)，學校的課業對他來說太無聊了，因此他總在上課時偷看藏在桌下的東西，不像同齡的孩子會偷看漫畫或是小說，包立在看的是由愛因斯坦所撰寫的廣義相對論。1918 年包立以優異的成績畢業，畢業後的兩個月，年僅 18 歲的包立發表了他的第一篇關於廣義相對論的論文，同年包立拿著父親的推薦信去拜訪慕尼黑大學的索莫非 (Arnold Sommerfeld)，希望能跳過學士直接成為他的博士生，索莫非礙於人情收了包立做他的學生，而包立也不負眾望的，用時僅僅三年就取得博士學位，並發表了關於電離化氫分子的力量理論。當包立在慕尼黑就讀的第二年，索莫非要求他為德國的《數學科學的百科全書》撰寫關於相對論的篇章，包立在獲得博士畢業後的兩個月交出了一篇長達 237 頁的文章，對此愛因斯坦給出了極高的評價。

「任何一個閱讀過這部偉大且成熟的作品的人都不會相信，這竟是出自一個 20 歲的年輕人之手，作者對相對論的理解、對數學的掌握、深刻的物理洞察能力、對文獻清晰完整的表達能力、對主體的批判、討論的正確性，是任何一個人都會羨慕的。」- 愛因斯坦

## 2. 群星璀璨的二十世紀初

**博士**畢業後，包立前往哥廷根大學 (Georg-August-Universität Göttingen) 擔任玻恩 (Max Born) 的助手，在那裡他參加了波耳關於元素週期表的演講，包立對此並不滿意，他覺得需要一個理由解釋為什麼電子不會全都填入最低能量態，包立認為反常塞曼效應 (anomalous Zeeman effect) 與此有著密切的關聯，在與波耳的交談過後，波耳邀請他前往哥本哈根，並在尼爾斯·波耳研究所 (Niels Bohr Institutet) 著手研究反常塞曼效應，1923 年包立成為漢堡大學 (University of Hamburg) 的教授，此時的他仍沒忘記研究反常塞曼效應，他認為它有著非常漂亮且簡單的規律但當時的理論卻無法解釋，為此整理並分析了大量關於原子光譜的實驗值，這一工作的難度並不亞於當年克卜勒研究行星數據所面臨的挑戰，最終他發現如果引入一個新的量子數便能很好的解釋此效應，隔年 Uhlenbeck、Goudsmit 和 Ehrenfest 證實這個新量子數就是自旋 'spin'。

1924 年底包立閱讀了斯通納 (Edmund Clifton Stoner) 的論文，了解到鹼金屬原子在外加磁場下，價電子的能階數目 ( $n+1$  固定) 恰好等於稀有氣體在相同次殼層的電子數目，他很快速意識到，這代表著當四個量子數都被決定時，有且僅有一顆電子能佔據此態，至此**包立不相容原理 (Pauli exclusion principle)**正式問世，同時量子力學開始爆炸式成長，各種理論相繼被提出，1924 年德布羅意提出物質波概念，波粒二象性開始被世人所接受，1925 年海森堡、玻恩和約爾當共同建立矩陣力學， $i, h$  開始出現在量子理論中，包立由矩陣力學出發，推導出了與實驗值高度吻合的氫原子光譜數值，1926 年薛丁格提出薛丁格方程式 (Schrodinger equation)，波函數 (Wave function) 的概念讓大家更能理解微觀世界的運作，同年玻恩給出玻恩定則 (Born rule)，機率詮釋讓量子力學徹底打破古典物理的想像，同年克萊恩 - 戈登方程式 (Klein-Gordon equation) 橫空出世，首次將量子力學結合相對論，量子場論也在此萌芽，1927 年包立將自旋理論 (spin-1/2) 和薛丁格方程式結合，提出了非相對論性的包立方程式 (Pauli equation)，1928 年狄拉克給出相對論版本的狄拉克方程式 (Dirac equation)，預測了正電子的存在，並在 1932 年由安德森 (Carl David Anderson) 在宇宙射線中觀察到。

### 3.

## 看似

**相比**於事業上的成功，包立的感情世界出現了巨大的變化，1927 年因為父親的不忠，包立的母親選擇結束了自己的生命，隔年他的父親就再婚，對象是一個跟包立年紀相仿的藝術家，包立形容她是邪惡的繼母。兩年後包立退出天主教會，但確切理由仍然未知。

## 順利的人生

因為工作上的關係，包立需要很往返於柏林，在那裡他遇見了歌舞表演者 Käthe Margarethe Deppner，包立開始與她約會，儘管她還有一個化學家男朋友，在幾次約會過後包立就向她求婚，而女方也欣然答應了，一切看似都往好的方向發展，殊不知這卻是噩夢的開始，1929 年 12 月包立和 Deppner 成為夫妻，然而這段婚姻只維持不到一年就以離婚告終，因為雖然他們結了婚，Deppner 卻仍忘不了她的化學家男友，結婚的大部分時間包立都待在蘇黎世，而 Deppner 則待在柏林，包立事後說到：「如果她找的是個鬥牛士我還能理解，但他只是一個平凡的化學家 ...」，令人驚訝的是儘管生活亂成一團，包立仍能保持出色的工作能力，1930 年為了解決  $\beta$  衰變中的能量、動量以及自旋角動量不守衡問題，他認為  $\beta$  衰變會產生一個新的質量極小且不帶電的粒子，波耳知道後非常排斥這個說法，並認為  $\beta$  衰變只有在統計意義上才守恆，然而費米卻非常贊同，1934 年費米提出了  $\beta$  衰變理論，而那個粒子被費米稱為微中子，直到 1956 年微中子才被 Frederick Reines 和 Cowan Jr 探測到。終於在提出微中子假說後，包立出現嚴重的神經衰弱症，他開始酗酒和抽菸，最終他的父親看不下去了，建議他去找心理學家卡爾·榮格 (Carl Gustav Jung) 聊聊。

## 4. 卡爾·榮格

**卡爾·榮格**是解夢方面

的專家，他認為夢能反映出人的潛意識，一開始榮格本人並沒有為包立治療，而是請他的助手 Erna Rosenbaum 來記錄包立的夢，直到包立有信心自己記錄下來，五個月後榮格親自接手，而此時包立有 300 多個已紀錄的夢需要分析。除了分析夢，包立還坦承他有情緒不穩定、酒精成癮以及與女性相處的問題。好在包立有著超凡的記憶能力，最終榮格分析了包立 1300 個原型夢 (archetypal dreams)，並要他展示自我情感，以 anima archetype 形象化，將被壓抑的情訊轉為純粹的智力，後來榮格將包立的夢分析並被寫入《心理學與煉金術》(Psychology and Alchemy) 一書中。1934 年包立再婚並停止了治療，但他與榮格之間仍有書

信往來，包立因此成為榮格最好的學生，這些信後來被整理出版為《原子與原型》(Atom and Archetype) 一書。榮格在包立的建議下改良了共時性 (Synchronicity) 的想法，並且和包立提出了 **Pauli-Jung conjecture**，以十分物理的方式來研究心理學。



## 5. 晚年生活

**1940**年，包立證明了自旋統計定理且成為普林斯頓高等研究所的客座教授，並在 1945 年憑藉不相容原理獲頒諾貝爾物理獎，隨後回到蘇黎世大學研究 QED 的重整化問題，1953 年當選為倫敦皇家學會會員、瑞士物理學會、美國物理學會和美國科學促進會成員。

直到死前包立都還與物理有著莫名的聯繫，1958 年包立被診斷出胰腺癌，在蘇黎世的紅十字會醫院住院治療，他的病房是 137 號，剛好近似於精細結構常數  $\alpha$  的倒數。1958 年 12 月包立結束了他傳奇的一生，包立絕對是絕頂聰明的，但是他過於執著在「科學理論不能脫離現象」，因而錯失許多機會，比如包立早在楊振寧之前就曾推導過楊-米爾斯理論 (Yang-Mills theory)，不過他無法解決質量問題因此從未發表過。包立曾經感嘆道，年輕時，自認在理論物理學者間，自己的數學最好，當偉大問題來臨，他會是解決的人，沒想到當偉大問題到來，解決它們的卻是別人。