

靈魂有趣的科學家

物理學家包立

● 作者：董潔林

作者簡介：董潔林是北京清華大學中國科學技術政策研究中心兼職研究員，也是《人類科技創新簡史：慾望的力量》作者。

有

一顆聰慧頭腦的科學家很多，但聰慧又有趣的靈魂稀少，物理學家包立（Wolfgang Pauli，1900～1958）兼而有之。

他帶著「神童」光環出身於奧地利書香之家，從小遊走於著名科學家之間。愛因斯坦廣義相對論剛問世，高中生包立就開始鑽研。於1919年通過觀測日全食的光線彎曲而首先肯定廣義相對論的英國科學家愛丁頓（Arthur Eddington，1882～1944）曾說，世界上懂廣義相對論的人不超過三個：即他自己、原創愛因斯坦，第三位是誰不清楚。如果當時少年包立聽到此話，一定會打上門去。

高中最後一年，包立讀了一篇試圖統一引力場和電磁場的論文，立刻給作者寫了一封言辭犀利、火力十足的信。收信人是著名數學家魏爾教授，他是規範場的創始人。從此，這二位就成為了忘年交。包立最早三篇論文都與廣義相對論和規範場有關，後來也經常在思考統一場這個宏大的科學問題。包立因為「不相容原理」（Pauli exclusion principle）獲得1945年諾貝爾獎時，在普林斯頓高等研究院的諾貝爾獎慶祝晚宴上，魏爾教授還揶揄少年包立曾經給了他「惡毒的一拳」，此時他們二位與愛因斯坦都是該研究院同事。

18歲的包立進入德國慕尼黑大學後，師從索末菲教授（Arnold Sommerfeld，1868～1951），他是量子力學的開山鼻祖級人物。這位大師考察了包立一段時間後，發現這孩子啥都知道，覺得自己沒什麼好教他了，那就直接做專題吧。於是大學生包立接到了人生第一個科研專案：為《數學百科全書》（*Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*）撰寫廣義相對論綜述章節。包立花了兩年時間完成

了一份兩百多頁的檔案、並附帶近四百個參考文獻和注釋。包立的兩位老師索末菲和波恩（Max Born，1882～1970）大喜過望，決定為這位21歲的青年出個單行本，就叫《相對論》。波恩教授樂滋滋地把包立版《相對論》一書送給愛因斯坦，還附加了一封得意的便簽：這小犢子不僅物理好、文筆優美，還是一個排版狂人……。



1921年包立版《相對論》單行本的封面。

愛因斯坦對此書也深感驚豔，評論到：「沒人會想到這篇成熟、構思宏大之作的作者是一位21歲的青年。他對相對論構思時心理層面的理解，可靠的數學推導，深刻的物理洞見，清晰而系統的表達能力，文獻知識，對主題的全面把握，還有挑剔贊

許的分寸，都很值得佩服。」後來，愛因斯坦一直視包立為「精神兒子」（spiritual son），並多次提名他為諾貝爾獎候選人。

含著學術金鑰匙長大的包立是舊量子力學重要參與者，也是新量子力學的奠基人之一。但他的科學成就並非都顯示在發表的論文中，他留下的幾千封與同行和朋友們交流的信件，慷慨揮灑自己無與倫比的洞見與才華。很多人以收到包立的信件為榮，並廣泛傳閱。連 20 世紀的物理學巨人波耳教授（Niels Bohr, 1885 ~ 1962）對包立的來信也視若珍寶、隨身攜帶，見到合適的人就與之分享。無疑，包立信件中的奇思妙想啟發了很多同行開拓嶄新的科學領域。

1930 年，物理學界討論的一個熱門話題是「為什麼 β 衰變時有一部分能量不見了？」當時這是一個危及能量守恆這個基本物理學定律的大問題，包立堅信能量守恆律，認為是一種尚未被人觀察到的無電中性小粒子帶走了部分能量，於是寫了一封信給同行闡述自己的想法，「微中子」（neutrino）就這麼誕生了。1956 年，科學家首次測量到了微中子的存在，大量相關成果接踵而至，如今至少有四次諾貝爾獎頒發給了數位與微中子直接相關的成就。

1953 年 6 月，包立和普林斯頓高等研究院的



包立。（維基，Bettina Katzenstein/ETH Zürich）

佩斯（Abraham Pais, 1918 ~ 2000）在荷蘭萊登（Leiden）參加一個國際會議，討論了核子及介子（meson）相互作用等問題，也談及如何用規範場理論來描述核力場。會議後包立沿著這個思路做了一些研究，寫成一篇題為〈介子／核子相互作用和微分幾何〉（Meson-Nucleon Interaction and

Differential Geometry) 的文稿，附在一封信中於同年 7 月寄給了佩斯 [3,4]。該文基於魏爾、卡魯札 (Theodor Kaluza, 1885 ~ 1954) 和克萊因 (Oskar Klein, 1894 ~ 1977) 等人的規範場工作推導出統一描述核力場與電磁場的非阿貝爾規範場方程。在物理學原理和假設之上、依靠數學工具嚴謹的推導方程不僅顯示研究者的數學技巧和實力，也是一個展現物理學思路和洞察力的過程，非常重要。

1953 年 11 月，包立在歐洲就此項工作做了兩場講座後，又給佩斯發了一封信補充了之前的理論、並表達了對該理論顯示場介子品質為零的顧慮。1954 年 2 月 10 日，來到普林斯頓高等研究院訪問的包立也就此題目給了一個講座 [4]。由於該非阿貝爾規範場方程的介子品質為零，不符合已知物理實驗結果，於是追求完美的包立最後沒有正式投稿發表論文，但他 1953 年 11 月的講座內容被人整理發表了 [4]。

有趣的是，在包立講座約兩周之後，當時在附近的布魯克赫文國家實驗室 (Brookhaven National Laboratory) 臨時工作的楊振寧先生也受邀回普林斯頓高等研究院報告他的近期工作。當他在黑板上寫出了與包立一樣的非阿貝爾方程那個瞬間，坐在聽眾席的包立立即讓楊先生解釋場粒子品質問題，楊先生無言以對，場面尷尬。1954 年 10 月，楊振寧和米爾斯發表了題為〈同位旋守恆和規範不變〉

(Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance) 的論文 [6]，其中這個通過試錯方式獲得的非阿貝爾方程是核心。同樣是在 1954 年，劍橋大學薩拉姆 (Abdus Salam, 1926 ~ 1996) 教授的博士生 (Ronald Shaw, 1929 ~ 2016) 也推導出

了一樣的方程並用此解釋同位旋規範不變性 [6]。現在，該方程被很多人稱為楊／米爾斯方程。

重要的是，包立對這個非阿貝爾規範場介子品質為零問題發人深省的尖銳追問，像幽靈一樣籠罩在理論物理學家的心頭，引導人們不斷探索答案。

之後，格拉肖 (Sheldon Glashow, 1932 ~)、希格斯 (Peter Higgs, 1929 ~)、溫伯格 (Steven Weinberg, 1933 ~)、薩拉姆、胡夫特 (Gerardus 't Hooft, 1946 ~)、韋爾特曼 (Martinus Veltman, 1931 ~)、格羅斯 (David Gross, 1941 ~)、波利策 (Hugh Politzer, 1941 ~)、威爾柴克等後輩科學家沿著這個方向耕耘並先後獲得了物理學諾貝爾獎，他們集體構建了今天理論物理「標準模型」。包立的工作也對規範場的另一個分支「超對稱理論」有重要影響。

的確，包立對自己的工作十分挑剔。他於 1925 年提出「不相容原理」很好地解釋了元素的週期分佈規律，但這項基於物理直覺對現象的經驗解釋讓他十分不滿，自嘲為「騙局」。之後十幾年，他一直試圖從物理原理出發用嚴謹的數學工具來推導和理解這個規律，終於在 1940 年前後搞清楚了不相容現象是由電子等費米子的自旋和波函數、及量子統計規律等所導致的。這樣，1945 年登上諾貝爾獎巔峰的包立才自信而坦然了。

德國物理學家海森堡 (Werner Heisenberg, 1901 ~ 1976) 是包立的同門師弟，二戰前他們友誼深厚。二戰後，作為納粹德國領銜原子彈計畫的首席科學家，海森堡在科學界十分孤獨落寞。他於 1950 年代開始探索統一場論，知道師兄包立這方面功底深厚，希望找他合作。包立對海森堡的早期

理論提出了諸多修正，他們試圖構建一個統一所有力和場的「世界方程」。但討論一段時間後，包立認為這是一個漏洞百出的理論，最後拒絕在論文上共同署名。

對於很多同輩科學家來說，率直、幽默而博學多才的包立是一縷尖銳但也十分有趣的靈魂，被譽為「物理學的良知」和「上帝之鞭」（God's whip）。他把過分客氣禮貌看作人類關係的異端，對華而不實、低劣和錯誤的科研工作毫不吝嗇嘲諷和批評。他的口頭禪是：「錯，徹底錯！」更有甚者，「連錯都算不上。」如果一個學術報告會有包立到場，他看見謬誤便會立刻搖頭尖銳批評的風格，難免會使得科學道行較弱的報告人瑟瑟發抖。其實，有幸受到包立批評的高手不會受到傷害、反而受益匪淺，海森堡就說過自己的文章在發表前不讓包立先過目批評一番就心裡沒底，可見最頂級的大腦之間交流不需要太多虛與委蛇。

不僅同行們認為包立的靈魂特別而有趣，他自己也是這麼認為的。為此，他前後二十多年記錄了上千個自己的夢境，把靈魂裸露給心理學家榮格（Carl Jung，1875～1961）來研究和解讀，並與榮格一起探索科學與心理活動的關係[2]。科學界還廣泛流傳一個笑話「包立效應」（Pauli effect），即幹什麼事（比如做科學實驗時），如果正好包立在附近，那就一定會出問題。他還真相信這個「包立效應」，花了不少精力與榮格一起探討其科學根據或神秘原因。

包立一生科學成就既多又卓越，但一些知他甚深的人對他有更高的期待。他的老師波恩評價說：包立應該是一個比愛因斯坦更偉大的科學家，但他的

科學成就沒有達到愛因斯坦的高度[7]。為什麼呢？

海森堡認為，包立既注重從實驗和自然現象中洞察科學規律，又用最先進的數學工具來構建模型解釋自然，一個人試圖同時整體地駕馭實驗和理論實在太難了[1]。包立自省到，自己「從小就知道得太多了」。自幼就受教於頂級科學家的包立對科學充滿熱情，但他對科研成就的獲取遠不如其他人饑渴。他對很多人的論文貢獻良多、無疑應該是共同作者，但他從未爭取。他的完美主義偏好以及興趣多而發散的特質，使得他的智慧處處閃光，卻不願發表不夠完備的工作，也沒有把點連成片，從而與奠基科學宏偉大廈的使命擦肩而過。

58歲就英年早逝的包立今年120歲了。這位犀利、真誠而全能的科學家會如何評價他走後這六十多年科學界的人和事？又會給新一代科學家提供什麼樣的忠告呢？∞

本文參考資料請見〈數理人文資料網頁〉
<https://yaucenter.web.nctu.edu.tw/?lang=tw>

延伸閱讀

- 高涌泉，〈包立如何發現不相容原理？〉，《科學人》2019年第207期05月號。
- 佩斯，*The Genius of Science: A Portrait Gallery*，Oxford University Press，2000。在書中佩斯闡述了20世紀偉大的物理學家如：波耳、波恩、愛因斯坦、……、包立、……、以及楊振寧的個性和工作，以及他們對科學的重大影響。
- 米勒（Arthur Miller）著（黃佩玲譯），《數字與夢：榮格心理學對一個物理學家的夢之分析》（*137: Jung, Pauli, and the Pursuit of a Scientific Obsession*），八旗文化（2019）。

包立的師友

1925



波恩與包立1925年秋。

(CERN · PAULI-ARCHIVE-PHO-012 · , reused with permission from the Pauli Archive, CERN)

1926



愛因斯坦與包立1926年秋。

(CERN · PAULI-ARCHIVE-PHO-014 · , reused with permission from the Pauli Archive, CERN)

1934



波恩與索末菲1934年於日內瓦。

(CERN · PAULI-ARCHIVE-PHO-041 ·, reused with permission from the Pauli Archive, CERN)

1940



海森堡攝於1940年。

(維基 · Bundesarchiv, Bild 183-1986-0310-501 / CC-BY-SA 3.0)

1954



波耳與包立1954年7月於瑞典隆德大學物理系。

維基 · Erik Gustafson攝