



科學的黃金歲月(III)

● 傅俊結*

這是科學的黃金歲月的最後一篇，在這三篇文章中，我們的主要目的是，在二十一世紀初的今天，回首科學的發展往事，在哪個時期的什麼科學理論？對人類的科學思維，產生決定性的，持續性的影響。我們的看法是，十七世紀的牛頓的工作，以及上一世紀初的廣義相對論和量子力學。在前兩篇文章分別感恩，讚嘆了牛頓和愛因斯坦，這最後一篇要感恩讚嘆的，不是一個人，而是一群。因為量子力學是一群科學家的集體創作，可以這麼說，因為量子力學實在是太難了，單獨靠一個人的天份是沒辦法完成的。

凱爾文爵士所提到的十九世紀末，科學家所面臨到的兩朵烏雲，其中一朵是由愛因斯坦的相對論所撥開，另一朵烏雲想要撥雲見日，唯有靠我們現在所要介紹的量子力學。要把量子力學的祖宗十八代，來龍去脈說清楚，就只得細說從頭，從赫茲開始說起。赫茲是波動頻率的一種單位，有些科學門外漢可能都還不曉得赫茲是一個科學家的名字。為什麼會用他的名字來表示頻率的單位呢？因為赫茲確立了電磁波的存在，他在實驗室用實驗證明了馬克斯威爾的電磁場理論是正確的，所預測的電磁波是存在的，並準確測出電磁波的速度，也就是我們一般所謂的光速每秒三十萬公里。赫茲的這一發現也為當時延續蠻久的一場爭論，光是波還是粒子，暫時劃上了一個休止符。事實上，赫茲還發現了一個奇怪的現象，這個現象，就是將來被稱為光電效應的現象，而光電效應卻是支持光是粒子的一個重要武器，也是愛因斯坦得到諾貝爾獎的一

* 傅俊結，南台科技大學電子工程系副教授。

個主要貢獻，更是量子存在的一個重要根據。

但是，這些發現也許都太先進了，必須等到二十幾年之後，才有理論的解釋，基本上也就是量子力學的解釋。赫茲的實驗真可以說是造化弄人，他在這樣一個實驗中，同時展現出光是波也是粒子的現象。一般來說，科學的理論是走在實驗之前，而赫茲的實驗成果卻是走在理論之前好幾十年。雖然赫茲的實驗成就是如此的偉大，他卻在三十七歲的時候就離開了這個世界，真是所謂的天忌英才，英年早逝。

在量子力學的誕生過程中，有一個很有名的實驗，稱為黑體輻射。一個物體是黑色的，那是因為這個物體可以吸收所有的可見光，所以當光線照射到它的時候，它沒辦法反射可見光到我們的眼睛。因此，我們所看到的，就是黑色。當我們把一塊鐵一直加熱的時候，隨著溫度的升高，這塊鐵的顏色也會隨之改變。科學家想藉由黑體輻射的模型來理解，輻射能量和溫度之間的關係？這個關係，在理論上有兩個很有名的公式，一個是由韋恩所推導的，一個是由瑞利和金斯所發明的。

德國物理學家韋恩由古典熱力學出發，並使用馬克斯威爾的分子速率分佈公式，來推導他的輻射能量分佈公式，可是韋恩的這一推導，一開始就已經被批評了，因為自從赫茲的實驗之後，科學界就已經認定輻射就是一種電磁波，電磁波就是一種波動，而不是粒子。可是韋恩卻借用分子的假設在推導，所以一開始人們就認為，韋恩的公式不可能是對的。儘管如此，實驗物理學家卻發現，韋恩的公式在短波長方面，跟實驗結果相當的吻合，但是在長波方面，和實驗結果卻有誤差，而且這個誤差隨著波長的增加，是愈來愈大。

為了解決韋恩公式在長波段的失效，英國物理學家瑞利和金斯推導出他們的輻射能量分佈公式，可是非常的諷刺，他們的公式在長波段可以解決韋恩公式所沒辦法面對的問題，和實驗的結果也相當的吻合，但是在短波段卻面臨到和韋恩公式的同樣的問題，跟實驗結果有誤差，而且這個誤差隨著波長的愈來愈短誤差愈來愈大。怎麼辦？現在一個現象需要兩個公式來解釋它，因為每一個公式只能解釋一部分，很明顯的，科學家需要一個普遍性的公式，來包括短波和長波的情形。

這個問題的最後解答，是由德國物理學家普朗克來完成的。一開始，普朗克先不去管韋恩公式和瑞利金斯公式的物理意義，他純粹用一個數學的技巧，叫做內插法，



要把這兩個公式做一個整合，湊出一個經驗公式。經過一段時間的思考與嘗試，普朗克運氣超好的，真的推導出一個公式，而且這個公式與實驗的結果還蠻符合的，不管是在短波長或者長波長。畢竟，普朗克是物理學家，不是數學家，普朗克自己也知道，他的公式如果是對的話，那這公式的背後，一定有其一個重要的物理意義的存在，他必須把這個物理意義找出來，才算是真正的解決了這個問題。否則，就只是在玩一個數學遊戲而已。

經過一段長時間的深入思考，普朗克發現，他的公式要對的話，在物理上必須有一個重要的假設，就是，能量不是連續的，而是離散的。這真的是一個石破天驚的想法，自從伽利略牛頓以來，所有的物理量，不管是時間，能量，電壓，電流，這些應該都是連續的，怎麼會有物理量是離散的呢？時間一分一秒的過去，在第一秒和第二秒之間，會經過一點五秒，在第一秒和第一點五秒之間，會經過一點三秒，就是這樣，時間應該是連續的流動啊？如果時間是離散的，這怎麼可能呢？難道時間會跳躍嗎？總而言之，我們把它這樣想下去，我們就可以理解，普朗克把能量離散化的這個想法，是有多大膽了。

另一方面，從數學來看，數學家花了很長的時間，要把數的連續性建立起來，所以發明了無理數，儘管因為有理數有稠密性，所以在日常生活的使用上，已經沒有什麼大問題，也有一兩幾千年了。所以，在數學上數學家要從離散化走向連續化，而普朗克居然要走回頭路。沒辦法啊，普朗克的公式在黑體輻射的實驗上，跟實驗結果是如此的匹配。所以普朗克對引進量子這一個假設，來把能量量子化的這個想法，非常的深信不疑。如果要給量子力學的誕生一個生日的話，那麼應該就是在 1900 年的 12 月 14 號，這一天普朗克在德國物理學會上，發表了他的這個大膽假設，就是能量的吸收與發射事實上都是離散的，引進了一個現在被稱為普朗克常數的數。

在量子力學生日的這一天，普朗克已經四十二歲了，而且，基本上他是一個保守的人，所以接下來所謂的量子力學革命，他並沒有深入的參與其中。因為這個革命需要大膽的勇氣，離經叛道的想法。這時候愛因斯坦剛從蘇黎世理工大學畢業，還找不到學術工作，為了討生活，只得到專利管理局當一個公務員。丹麥科學家波爾，那時才 15 歲，還在讀國中，帥哥薛定格也一樣，他比波爾小兩歲，基本上也是還在學習



階段。更年輕的是，將來會提出物質波理論的法國理論科學家德布羅意，那時才八歲，還在讀國小，而提出不相容原理的包立，才出生八個月。海森堡，將來會提出測不準原理的偉大物理學家海森堡，更是還沒出生，最年輕的，比海森堡還年輕的，就是英國理論物理學家狄拉克，他是唯一歐洲大陸之外，對量子力學的貢獻最出名的一個人物，也是他首先看出，古典的牛頓力學和新發展的量子力學，他們之間的數學連結。接下來的，所謂量子力學革命，就是由上面所提到的這一群年輕小伙子，在二十年的時間裡面把它發展成熟。

