



物質波

● 傅俊結*

人類對光的研究曾經有一段很長的辯論歷史，一開始，牛頓在他的一本著作中認為光是由非常小的粒子組成的，以牛頓那時的地位及名望，人們也就有很長的一段時間認為光是由粒子組成的。直到有名的楊氏雙夾縫干涉實驗以及馬克斯威爾統一電場和磁場的方程式的提出，人類才從實驗及理論上奠定了光是一種電磁波，光具有波動性。



提出物質波的法國科學家德布洛伊

自從馬克斯威爾的電磁波理論的成功，有很長一段時間，科學家認為光就是一種電磁波，可是，愛因斯坦對光電效應的解釋，使得光是一種粒子這個概念又起死回生，從那時候開始，光到底是波還是粒子？科學家對這兩個概念持續爭辯了好長一段時間，有時候，光就會表現出波動的行為，但是有些現象又只能用光是粒子的概念來解釋。我們現在所要討論的物質波，可以說是二十世紀理論物理一個革命性的概念，這是法國科學家德布洛伊在他的博士論文中所提出來的概念。德布洛伊在提出的他的物質波的假設後不久，奧地利物理學家薛丁格藉由這個物質波的觀點提出了用波動函數來描述粒子的運動而建立起了後代所謂的薛丁格方程式，使得光是波動的觀點又扳回一城，後來德國物理學家波恩把薛丁格的波動函數用機率密度來解釋更是為後來量子力學的不確定關係打下了基礎。這個方程式是量子力學最基本最重要的一個方程式。這個物質波概念跟我們講說，所有運動的粒子都有波動的行為，

* 傅俊結，南台科技大學電子工程系副教授。

不管這粒子的運動快或慢只要它有在動。他給出了我們一個公式，
$$\lambda = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
。這裡 h 是一個常數，叫做普朗克常數， m 是運動粒子的質量， v 是運動粒子的速度， c 是真空中光速，大約每秒三十萬公里， λ 表示波長。這個公式，跟我們講說，當一個以運動速度 v 在運動的粒子，它表現出來的波動行為的波長。舉一個實際的例子，當一個投手以每小時 144 公里的速度，投出一個質量等於 150 公克的棒球時，這顆棒球會表現出波動的現象，它的波長，帶進上面所給的公式，可以算出大約等於 1.1×10^{-34} 公尺。這麼小的數值當然不是我們日常生活可以感受得到或者儀器可以量得出來的，但是在微觀的量子世界它卻是真實存在。

德布洛伊這個科學家他本身是法國的貴族，也就是說，事實上他是一個王子，他在唸大學的時候，並不是念科學的，他大學本身是念歷史的，他在大學念書期間，時常會聽到他念科學的哥哥跟他講述那時正在蓬勃發展的由量子力學所帶動的科學革命，他在耳濡目染之下，大學畢業之後就開始參與這場科學革命的發展。網路上曾經有一些八卦說德布洛伊是一個類似公子哥兒的無業青年，整天遊手好閒，最後只是靠著一篇沒幾頁的博士論文以及它的貴族身份混畢業，事實上他的博士論文長達一百多頁，而且也引進物質波的這個重要概念，他在他的這個博士論文中，所引進的物質波這個概念，在博士論文答辯的時候，曾經引起很大的爭議，有些保守的口試委員並不同意他的論點，以至於他的博士論文差一點過不了關，後來是他的指導教授把他這個學生的博士論文寄給了那時候名滿天下的愛因斯坦，請愛因斯坦給點意見，愛因斯坦在回信中對德布洛伊的博士論文讚譽有加，認為它這個博士論文所引進的物質波具有一種革命性的概念，才使得德布洛伊的口試委員會同意他過關。在科學上常常有這種事情在發生，一種帶有革命性的想法，剛被提出來時，保守派的大老們是會有意見的。這時大概只有實驗上的支持才會結束爭端。

德布洛伊在提出他的物質波假設時，那時候並沒有直接的實驗證據來支持他，他純粹是用一種理論上的、對稱性的推導出物質波這個概念。通常人們會把電子這種微觀粒子看成和牛頓力學的運動質點一樣具有相同的特性。後來美國的實驗物理學家戴維森和格末在 1927 年證明了電子散射會有繞射的波動現象，才給德布洛伊的物質波一個實驗上的強力支持，德布洛伊也因為這個發現為他贏得了 1929 年的諾貝爾物理獎。

