



測不準原理

● 傅俊結*

測不準原理是 *uncertainty principle* 的早期翻譯名稱，但是這個原理與實驗時，測量的準確度並沒有直接的關係。我想把它翻譯成測不準原理，只是因為這樣比較通俗化，更適合一般大眾的口味而已。比較學術性的翻譯，應該是不確定性原理。在海峽的對岸就是用此譯名。這個原理是海森堡（Heisenberg）在 1927 年的一篇論文中所提出的，這個原理以一種簡單的思考開始。就是當我們在做實驗時，測量這個動作不可避免的會干擾到被測量粒子的運動狀態。因此也就產生了不確定性。



32 歲時的海森堡

* 傅俊結，南台科技大學電子工程系副教授。

海森堡本來想用矩陣力學來為電子的運動路徑寫出數學表達式，所用的術語仍然是牛頓力學裡面的座標、速度，但是並沒有成功。他本身是理論物理學家，對實驗室的工作並不是他所擅長的，在偶然的一次機會，海森堡在實驗室的雲霧室，觀察電子的運動路徑。反覆思考。突然領悟到，他在觀察的並不是電子的真正運動軌道，只是雲霧室中水滴的霧氣所形成的軌跡，而水滴比電子大得多，所以我們所觀察到的，只是一系列電子的不確定位置，而不是電子的真正運動軌道。因此在微觀世界，一個微小粒子在某位置具有一定的不確定性，同時，在此位置的運動速度也具有一定的不確定性。位置的不確定性和速度的不確定性相乘會大於某一個正的常數，就是所謂的普朗克(Planck)常數。

因此，當我們要使其中某一個量的不確定性很小時，另一個量的不確定性就會很大。更精確的說，當我們要預測一個運動粒子它未來的運動狀態，例如，將來的位置和速度。那麼，我們就必須精確地量度它現在的位置和速度，怎麼樣量度呢？基本的辦法，就是將光照射到這個運動粒子。不管這個光是來自顯微鏡還是放大鏡，而且當我們要把粒子的運動位置量得越準確，所需要的光的波長就越短，因此能量就越大。而能量越大的光子，對運動粒子的速度就干擾的越厲害。也造成粒子的速度誤差就越大。簡單地說，我們對運動粒子的位置測量的越準確，對速度就測量的越不準。反過來說也是對的，對速度測量的越準確，則位置的誤差就會越大。科學家後來發現除了位置和速度，很多成對的物理量也具有這種性質，例如能量和時間，角動量和角度，等等。

不確定性原理不只是量子力學的基本原理，也因為這個原理，量子力學開始用統計方法來解釋微觀世界的物理現象，也造成愛因斯坦後來反對量子力學的原因之一。即使他對早期量子力學的發展也頗有貢獻。愛因斯坦對量子力學後來發展方向的疑慮，有一句話最能表示他的態度，就是，他說他不相信上帝是玩骰子的。

在量子力學之前，牛頓力學風光了 300 年。特別是牛頓萬有引力理論的成功，使得牛頓以來的科學家相信，我們的宇宙是可以完全被決定的。例如一個運動粒子，藉由牛頓力學，可以精確地決定在某時刻該粒子的位置和速度。這種理念以法國科學家拉普拉斯(Laplace)為代表。他認為，存在某種科學定理，只要我們知道此時此刻宇宙



的狀態，那麼藉由這個科學定理，我們就可以知道宇宙將會發生的任何事情。牛頓的運動定律就是此種科學定律之一，而且可說是非常成功。例如，我們只要知道此時此刻太陽系中太陽和行星的位置與速度，那麼我們就可以用牛頓運動定理，計算出任意時刻太陽系的狀態。這種決定論的科學思想在微觀世界是不成立的、辦不到的。因此，不確定性原理對人類的科學思想的發展恰好是一個分水嶺。在這個分水嶺兩邊的科學家，為了彼此的觀點，辯論了好幾十年，最有名的辯論就是波爾與愛因斯坦。但是，隨著時間的拉長，科學技術的發展，越來越顯得量子力學中的不確定性原理的正確性。即使天才如愛因斯坦對量子力學的統計詮釋方法有不同意見，最後都證明愛因斯坦的觀點是站不住腳的。



左邊是海森堡，右邊是波爾

海森堡在晚年，回憶起他在 1927 年提出不確定性原理的心路歷程時，說到，事實上，是在 1926 年一次與愛因斯坦的討論談話中愛因斯坦啟發了他！

