

量子理論的統計性質

□ 陳 力 俊 譯

□ Werner Heisenberg 原著

取材自 *The Physicist's Conception of Nature*

在十九世紀末期由於Gibbs 和 Boltzmann 等人的研究，使細節無法完全明瞭的系統（如多質點系統（能以式化的物理定律來描述，但直到1900年Max Planck 提出量子學說而至被證實以前，在往常為人所信服的「決定論」（determinism）根底並未動搖。Planck 在研究輻射理論的時候跟許多十九世紀的科學家一樣，遭遇到「古典物理」所不能解釋的輻射現象，使他不得不假定原子對能量僅能作間斷成束的傳遞。像所有其他關於原子理論的概念一樣，他這個不連續而成脈狀傳遞能量的正確假設使我們再次體驗到原子輻射是一種統計現象。然而在此後二十五年人們才弄清楚量子理論在實質上強使我們以統計定律規範輻射現象而必須徹底揚棄「決定論」。Planck 的理論由 Einstein, Bohr 和 Sommerfeld 的工作證明為細覓原子物理堂奧的唯一門徑，待Rutherford-Bohr 原子範型理論被證明能用來解釋化學作用以後。化學、物理學和天文物理學遂融為一體，再找不出明顯界線。量子理論定律數學式化的成功使純「決定論」這個舊科學的大支柱正式宣告崩解。

我們可由所謂的「測不準」關係看出當代物理和古典物理形式的區別，今天我們知道我們不可能同時準確地測定一個原子質點的位置和速度，當我們能準確的測定它的位置時，我們使用的工具產生不可避免的擾動使我們無法測定它的速度，反過來說，當我們能準確的測定它的速度時，它的位置又無法測定了，這兩種「不定性」的乘積不能小是 Planck 常數，這「測不準原理」使牛頓力學的觀念不能有效應用的事實變得十分明顯，因為在對一個機械作用行計算時我們必須同時知道在某一特定時刻質點的位置和速度，而這是與能正確描述自然現象的量子理論相抵觸的。

量子理論的另外一個定式是 Niels Bohr 的「互補原理」，這「互補」觀念的含義是用來描述原子系統的不同直觀形繪，雖然分別適用於一特定實驗，但並不能同時適用於每一實驗。舉例來說 Bohr 原子範型可以一微細的行星系統來描繪，在中心的是原子核，電子在外繞核而旋轉。在另一實驗中，我們想像原子核為一組駐波所圍繞則較為方便。（這駐波的頻率與原子放出的輻射波特性有關）在考慮原子的化學性質時，我們能計算出原子融合的反應熱，但在這種情

形下，我們就無以同時考慮到電子的行狀了。每一套模圖各有其適用的場合，但他們本身常是互相矛盾而不能見容於同一實驗的，因之我們稱他們有互補的關係。由於每一種模圖所含的不定關係都可以「測不準原理」的定式來表示，這「不定性」的存在，使我們得以避免不同形繪間邏輯上的矛盾。

以上的粗略解釋也許能幫助我們在不涉及量子理論的數學構架下了解「對一系統無以作定量的完全了解是量子理論每一定式的基本要件」也就是說：「量子理論定律必須具有統計性質」。像我們知道鐳原子放射出 α 質點，由量子力學的演算我們能得到 α 質點在單位時間內離開核的或然率，但它不能預言在某一特定時刻輻射會發生，因這是「測不準原理」所不容許的。我們甚至不能以為一個能讓我們決定這特定時刻的新定律尚待發掘，這是因為如此則離開原子核的 α 質點就喪失了它的波性，而核放射出的 α 質點具有波性是一個實驗上的事實。在這情形下，是由各種實驗證實原子物質具有的波粒二元性，使我們必須用統計定律來描述諸般現象。

通常在宏觀（large-scale）的過程中，這種原子物理的統計觀點並不顯得重要，因為在絕大多數的情形下，統計定律用於宏觀過程所導致的結果，其某一情況發生的或然率之高，往往可使我們忽略其他的情況，而視之為只有特定的情況發生。但我們要注意的是一個宏觀過程行狀與一個或少數幾個原子的作用有關的情形不是沒有。在這情形下我們僅能對宏觀過程作統計上的預測。這裏我願舉一個為人熟知但並不受歡迎的例子來說明，就是原子彈的擊發過程，對普通炸彈，爆炸強度可由爆炸物質量和化學成分來預測。對原子彈，我們雖可以預測出爆炸強度的上下限，但不能預先計算出爆發強度的精確值。它的不可能是因為整個過程的衍發，由在引發的那一剎那某幾個原子的行狀而決定。

相似的在某些生物過程中，我們注意到也有少數幾個原子決定宏觀事件性狀的情形。這在遺傳過程中基因突變的例子裏特別明顯。上兩個例子可用來解釋量子理論所具統計性質的實用結果。上項發展，在二十年前已作成定論，也許未來在這方面我們也看不到任何基本的改變。