

普朗克打開量子世界的大門， 整個物理學從此顛覆

總會諮詢顧問 廖建利

在量子世界裡，微小的粒子從來不是只走一條路，而是同時走遍所有的路。這聽起來是不是感覺有點玄？多數人以前也認為，任何物體在空間中都只有一條固定的軌跡，最多就是一條直線，但後來人們發現，這個想法完全錯了。

人類最初理解的世界是用一種確定性的方式，就是物體的運動是線性的，有着直接的因果關係。

牛頓力學告訴我們，如果知道一個物體現在的位置和速度，就能精確預測它未來的狀態。人們一直都沉浸在這種決定論的安全感中，彷彿宇宙是一部巨大的鐘錶，一旦被上緊發條，就會按照唯一的軌跡運轉下去。

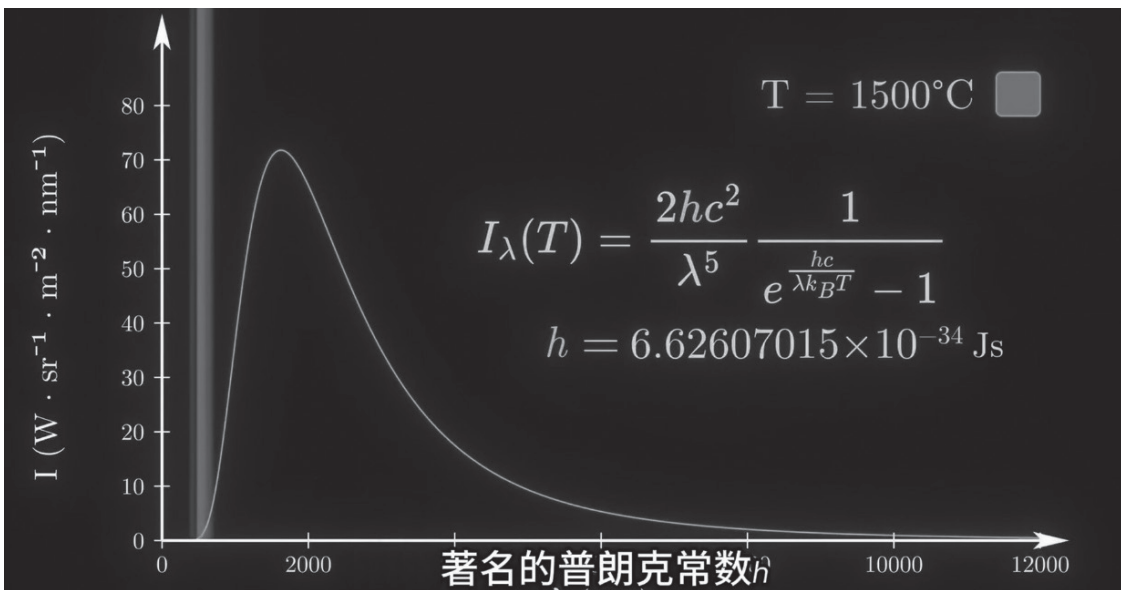
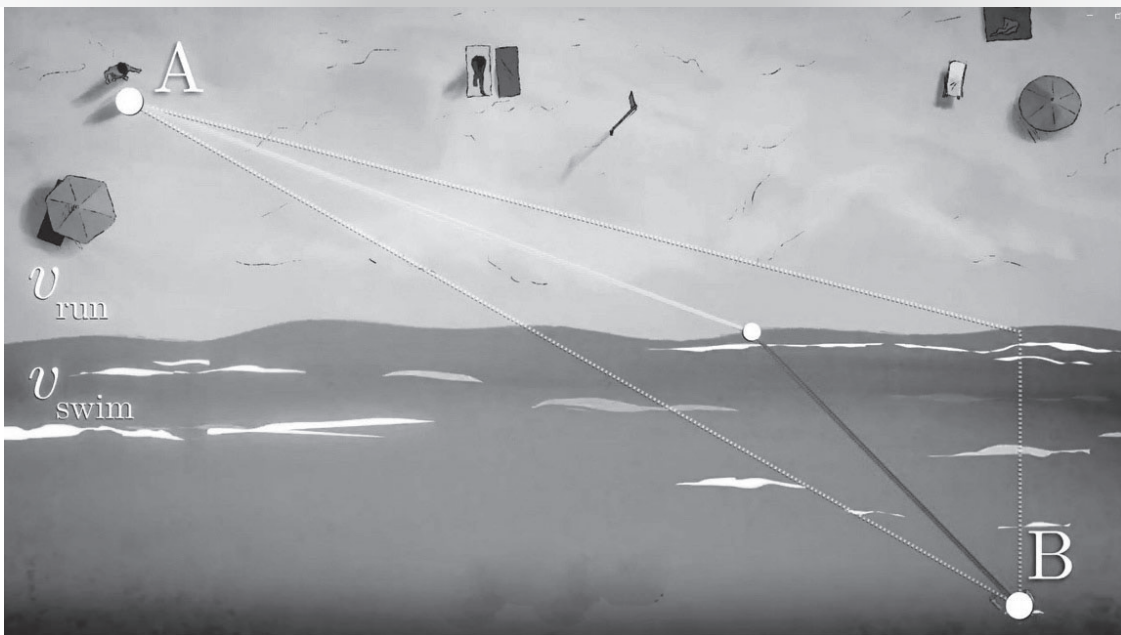
然而，量子力學的出現，徹底摧毀了這種直覺。

我們先從一個生活中的例子說起。假如在海灘上，你看到有人溺水，如果你直奔入海，你雖然很迅速地下水，但要多游一段；如果你先沿着沙灘多跑幾步，再斜插入海，你可能反而會更快。光的傳播就像這樣，它會自動選擇最快的路徑，這就是著名的費馬最

短時間原理。但問題來了，光並沒有思維，它是怎麼知道哪條路最快的呢？經典物理只能籠統地告訴我們光會折射，卻無法解釋它背後的機制。

直到對量子力學的深入研究，人們才發現，其實光根本就沒有做出選擇，它只是把所有的路徑都走了一遍，而我們看到的那條最快的路徑，只是無數路徑相互干涉的結果。這種思維的轉折，就來自普朗克的發現。1900年，他在研究黑體輻射時遇到了一個可怕的悖論：如果能量是連續的，理論上來說將預言出「紫外災難」，也就是短波長下能量會發散到無窮大。但實驗結果卻並非如此。

於是，他提出一個驚人的假設：能量只能以一個個不連續的量子形式交換。每一份能量都不是隨意的，而是被切割成一小塊、一小塊的。這個能量塊的大小會隨着頻率的升高而增大，這個正比關係的係數，就是著名的普朗克常數。人們第一次意識到，自然界的連續性其實是錯覺。



1905年，愛因斯坦在普朗克思想的基礎上提出了光量子假說。他認為光不是連續的波，而是一粒一粒的光子。這個想法解釋了光電效應，並因此獲得諾貝爾獎。隨着量子思想的發展，波爾提出了氫原子的量子化模型，認為電子只能在某些固定軌道上存在，否則原子將無

法穩定。而德布羅意則進一步提出，不僅光子有波動性，物質也有波動性。電子不是一顆小球，而是一種波，它在軌道上必須形成駐波才能穩定下來。於是，物質波的概念誕生了。電子既是粒子，也是波，這種波粒二象性奠定了量子力學的理论基礎。



1925年，海森堡提出了矩陣力學；第二年，薛丁格提出波動力學。它們看起來是兩種完全不同的寫法，但後來人們發現，其實說的是同一件事。薛丁格寫下了那條改變世界的方程式，他用波函數來描述粒子的演化。但波函數究竟是什麼呢？它是一種真實的物理實體，還是說僅僅是一種計算工具？這場爭論直到今天都沒有定論。

1927年，海森堡又提出一個讓人更加震驚的結論：粒子的位置和動量無法同時被精確知道。這並不是因為實驗做得不夠好，而是大自然本身就不允許。也就是說，我們的世界在最深層次上是無法完全預測的，這讓決定論的鐘錶宇宙從根本上崩塌。薛丁格為了諷刺這種荒誕，提出了著名的「薛丁格的貓」思想實驗。一隻貓的生死與一個量子事件掛鉤，在被觀測之前，貓既是活的，也是死的。在宏觀世界來看，這顯然很荒謬，但這卻正是量子疊加的本質。

狄拉克更是大膽，他把量子力學和相對論統一起來，寫下了狄拉克方程，並且預言了反物質的存在。更令人震撼的是，最後通過實驗真的驗證了這一點，彷彿理論真的有洞穿現實的力量。儘管如此，愛因斯坦始終無法接受量子力學的不確定性。他與波多爾斯基、羅森提出了EPR悖論，認為量子力學一定不完整，背後必然還有某種隱藏變量，否則量子糾纏展現出的「鬼魅般的超距作用」，未免也太過於讓人匪夷所思。

可是到了1960年代，約翰·貝爾提出了貝爾不等式，並通過實驗檢驗，結果卻讓人無言以對：量子力學的預測是正確的，局域隱藏變量解釋不了量子糾纏。換句話說，宇宙真的存在超越常識的非定域性。費曼則在

這個基礎上提出了更瘋狂的想法：粒子從A點到B點不是只走一條軌跡，而是所有軌跡都要走。每一條路徑都對結果有貢獻，只是有的互相抵消，有的互相增強。於是，我們看到的現實，其實是所有可能性的疊加與干涉。這聽起來很不可思議，但這意味著，我們所體驗到的確定性其實只是一種幻象。

到了20世紀50年代，休·艾弗雷特提出了著名的多世界詮釋。在他看來，量子疊加從來沒有坍塌過，而是以無數平行宇宙的形式同時存在。每一次測量，其實就是一次宇宙的分裂。在某個宇宙裡貓是活的，在另一個宇宙裡貓是死的。這不得不讓我們重新思考，我們所謂的命運，是否也像電子的路徑一樣，在無數平行的世界裡同時展開？多世界詮釋告訴我們，每一種可能性或許都真的發生了，只是我們只能體驗其中之一。

當你再回頭看光的路徑選擇時，會不會覺得格外深刻？光沒有智慧，卻好像比我們聰明。它不是做出選擇，而是讓所有的可能性都發生，然後在干涉中顯現出最優的結果。我們的人生或許也一樣，我們以為自己在做選擇，其實我們可能同時走在無數條看不見的路徑上，只是最終體驗到其中的一條。決定論曾經給我們安全感，但量子力學提醒我們，不確定性才是宇宙的底色。而在這個不確定性中，自由意志或許並不是幻覺，而是深藏在量子本質裡的空間。你看，科學表面上在解釋自然，其實也在解釋我們自己：我們是誰，我們如何存在，我們的選擇究竟意味著什麼。量子力學不僅改變了物理學，也改變了哲學，改變了我們對自由、對命運、對宇宙的理解。