



測不準原理

● 傅俊結*

我們今天要談談量子力學的一個基本原理，這個原理可以說是自然界給人類的一個限制，能力上的一個限制，也就是說，我們人類並不是萬能的，人定勝天的想法在自然界面前是一種異想天開不切實際的想法，這個原理叫做測不準原理（Uncertainty Principle）。嚴格來講，更精準的翻譯是，不確定性原理。之所以會翻譯成測不準原理，我覺得是因為測不準原理這幾個字比不確定性原理更接地氣吧。所以我們接下來都直接用測不準原理。

測不準原理（Uncertainty Principle）是量子力學中的一個核心概念，由德國物理學家維爾納·海森堡（Werner Heisenberg）於 1927 年提出。這一原理揭示了在微觀世界中，某些物理量的測量存在根本性的限制，即無法同時精確測量某些成對的物理量（如位置和動量）。測不準原理不僅顛覆了經典物理學中對測量精度的傳統認知，還為量子力學的發展奠定了重要基礎。我們將從測不準原理的歷史背景、數學表述、物理意義、實驗驗證及其在科學與哲學中的影響等方面進行詳細探討。

一、歷史背景

測不準原理的提出與 20 世紀初量子力學的誕生密切相關。在經典物理學中，牛頓力學和電磁學認為，只要知道一個物體的初始狀態（如位置和速度），就可以精確預測

* 傅俊結，南臺科技大學電子工程系副教授



其未來的運動軌跡。然而，隨著科學家對微觀世界（如原子和電子）的研究深入，經典物理學的理论逐漸暴露出局限性。

1. 量子力學的萌芽

20 世紀初，馬克斯·普朗克（Max Planck）提出了量子假說，認為能量是以離散的“量子”形式傳遞的。隨後，尼爾斯·玻爾（Niels Bohr）提出了原子結構的量子化模型，進一步推動了量子力學的發展。

2. 海森堡的貢獻

1927 年，海森堡在研究量子力學中的測量問題時，提出了測不準原理。他指出，在微觀尺度上，測量行為本身會對被測量的物件產生干擾，從而導致某些物理量的測量存在固有的不確定性。

二、測不準原理的數學表述

測不準原理的數學運算式為：

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

其中：

Δx 是位置的不確定性，

Δp 是動量的不確定性，

h 為普朗克常數。

這個公式表明，位置和動量的不確定性乘積有一個下限。換句話說，如果我們試圖更精確地測量位置（ Δx 減小），那麼動量的不確定性（ Δp 就會增大），反之亦然。除了位置和動量，測不準原理還適用於其他成對的物理量，例如能量和時間。

三、測不準原理的物理意義

測不準原理揭示了微觀世界的本質特性，與經典物理學的確定性觀念形成了鮮明



對比。

1.測量行為的干擾

在經典物理學中，測量被認為是對被測量物件的“被動觀察”，不會對其狀態產生顯著影響。然而，在量子力學中，測量行為本身會干擾被測量的物件。例如，為了測量電子的位置，我們需要用光子或其他粒子與之相互作用，這種相互作用會改變電子的動量，從而導致動量的不確定性。

2.波粒二象性

測不準原理與量子力學中的波粒二象性密切相關。微觀粒子（如電子）既可以表現為粒子，也可以表現為波。波的性質使得粒子的位置和動量無法同時被精確確定。

3.機率描述

測不準原理表明，微觀粒子的狀態只能用機率來描述，而不是確定性的值。例如，我們無法精確知道一個電子的位置，只能知道它在某個位置出現的機率。

四、實驗驗證

測不準原理不僅是理論上的推測，還得到了大量實驗的驗證。下邊我們簡介幾個實驗

1. 單電子雙縫實驗

在單電子雙縫實驗中，電子通過雙縫後會形成干涉條紋，這表明電子具有波動性。然而，當我們試圖測量電子通過哪條縫時，干涉條紋會消失，這表明測量行為干擾了電子的狀態，驗證了測不準原理。

2.量子隧穿效應

在量子隧穿效應中，粒子能夠穿過經典物理學認為不可逾越的勢壘。這一現象的解釋需要考慮測不準原理，因為粒子的位置和動量在勢壘附近存在不確定性。

3.冷原子實驗

近年來，科學家利用冷原子實驗對測不準原理進行了高精度驗證。實驗結果表明





，測不準原理在極端條件下依然成立。

五、測不準原理的影響

測不準原理不僅在物理學中具有重要意義，還對哲學和技術產生了深遠影響。

1. 對科學哲學的影響

測不準原理挑戰了經典物理學中的決定論觀念，即認為宇宙的運行是完全可以由牛頓定律來確定的。量子力學的不確定性表明，宇宙的本質應該是機率性的。

2. 對技術的影響

測不準原理為許多現代技術提供了理論基礎，例如：

- 掃描隧道顯微鏡（STM）：利用量子隧穿效應觀察原子尺度的表面結構。
- 量子電腦：利用量子疊加和量子糾纏原理實現超強計算能力。
- 雷射技術：鐳射的相干性依賴于量子力學原理。

隨著臺積電晶片製造的尺度越來越小，相信測不準原理接下來也會產生關鍵的作用。

3. 對日常生活的啟示

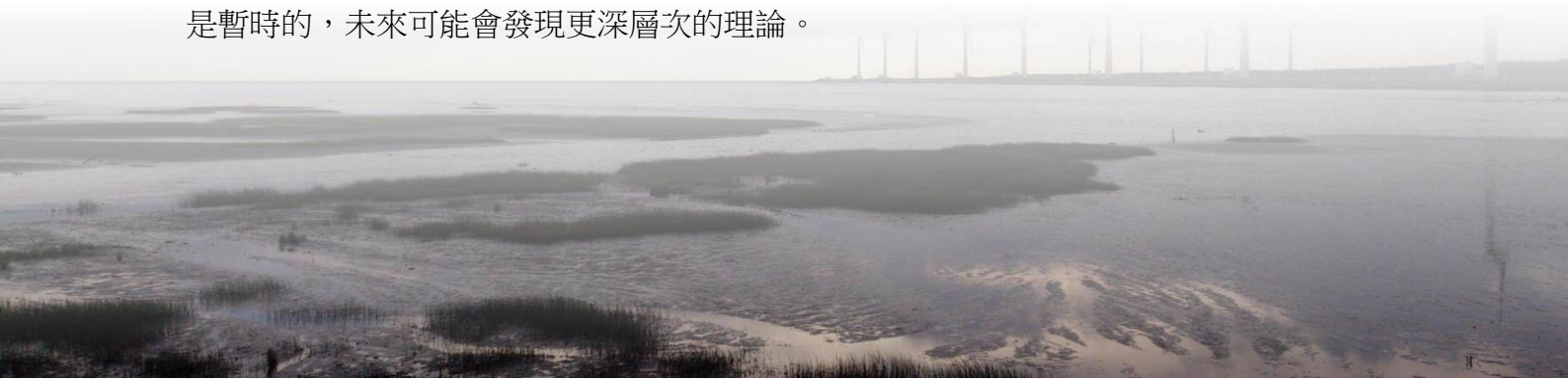
儘管測不準原理主要適用於微觀世界，但它提醒我們，在某些情況下，精確測量是不可能的，我們需要接受不確定性的存在。

六、爭議與誤解

測不準原理自提出以來，一直伴隨著爭議和誤解。以下簡介兩個

1. 哲學爭議

一些科學家和哲學家認為，測不準原理反映了人類認知的局限性，而不是自然界的本質特性。例如，愛因斯坦曾表示“上帝不擲骰子”，認為量子力學的不確定性只是暫時的，未來可能會發現更深層次的理論。





2.常見誤解

測不準原理常被誤解為“測量儀器不夠精確”或“觀察者的主觀影響”。實際上，測不準原理是微觀世界的固有特性，我們可以把它想象成，上帝在創造這個世界的時候，就已經給微觀世界這個固有的限制，這與測量儀器的精度無關。

結論

測不準原理是量子力學的基石之一，它揭示了微觀世界的獨特性質，挑戰了經典物理學的確定性觀念。通過數學表述、實驗驗證和技術應用，測不準原理不僅推動了科學的發展，還深刻影響了人類對自然界的理解。儘管這一原理仍然存在爭議和誤解，但它無疑是現代物理學中最重要和最迷人的概念之一。



