

物理學—科技發展的基石*

王恩哥

（中國科學院院士兼澳門科技大學榮譽理學博士）

摘要：物理學是科技發展的基石，每時每刻都在影響著我們的生活。本文從物理學家研究自然界本質問題的視角切入，通過對原子的發現、量子力學演變及當今物理學發展歷史的講述，展示物理學對科技發展的重要推動作用。

關鍵詞： 物理學、科技發展、量子力學

* 收稿日期：2022 年 09 月 05 日，通過日期：2023 年 11 月 22 日。本文為王恩哥榮譽博士於澳門科技大學廿三周慶校慶活動演講，由編輯部校對增訂有關內容，王恩哥院士作最後確認，編輯部謹此謝忱。

Physics: The Cornerstone of Scientific and Technological Development

Wang, Enge

(Academician of the Chinese Academy of Sciences,
Honorary Doctor of Macau University of Science and Technology)

Abstract: Physics is the cornerstone of technological development, and it affects our lives every moment. This article starts from the perspective of physicists studying the fundamental problems of nature. Through the narration of the discovery of atoms, the evolution of quantum mechanics, and the history of the development of physics today, it demonstrates the important role of physics in the development of technology.

Keywords: Physics; Technological development; Quantum mechanics

一、引言

科技發展深刻地影響著我們的生活，也改變了我們的思維方式，而物理學就是諸多科學技術發展的基石，今天我們提及的許多科學技術，最初都起源於對物理的研究。古希臘語中的「物理」一詞的本意就是自然本質，他們認為研究自然界中本質現象的人就叫做「物理學家」，最早的物理學研究，正是從研究自然界本質現象開始的。

二、原子的誕生與重要性

著名物理學家理查·費曼（Richard Phillips Feynman, 1918-1988）說過，如果將人類科學進步的歷史濃縮成一句話，那就是原子的發現，這對現代人類來說極其重要。

自德謨克利特（Δημόκριτος, BC. 460-356?）提出「原子」概念兩千多年以來，沒有人看到過真正的原子。在當時科學界，英國和德國的科學家對此領域的發展有重要貢獻。德國科學家倫琴（Wilhelm Conrad Röntgen, 1845-1923）在實驗玻璃管中發現了一種高能射線（Röntgen radiation），叫做「X射線」（X-ray）。X射線的能夠穿透人體骨骼，甚至穿透活體動物（如老鼠）等成像，這在當時歐洲引起巨大轟動。後來居裡夫婦（Pierre Curie, 1859-1906；Maria Skłodowska-Curie, 1867-1934）在實驗中發現，隨著能量的發射，一種名為「鈾」的元素可以最終演變成「鉛」，他們證明了原子有結構，並且可以從一種元素轉化為另一種元素。這一發現打破了人們原有的認知，原子並不是一成不變的最小單位。

那麼原子內部究竟包含著什麼呢？劍橋大學卡文迪許實驗室（Cavendish Laboratory，以英國著名物理與化學家亨利·卡文迪許〔Henry Cavendish, 1731-1810〕命名，即劍橋大學物理學系）對原子結構的發現做出傑出貢獻。1897年，約翰·湯姆森（Sir Joseph John Thomson, 1856-1940，曾任卡文迪許實驗室教授）在實驗中在陰極管發現負電荷。1911年，紐西蘭物理學家歐尼斯特·盧瑟夫（Ernest Rutherford, 1871-1937，曾任卡文迪許實驗室教授）提出了最早的原子模型

(Rutherford Model)

三、量子力學與現今物理學發展

物理學真正重大的變革發生在二十世紀初，也就是「量子論」的出現。三位傑出的物理學家分別對量子力學 (Quantum Mechanics) 發展做出了卓越的貢獻。首先，德國物理學家馬克斯·普朗克 (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858-1947) 在 1900 年提出著名的「量子假說」(Quantum hypothesis)，這一理論徹底改變我們對光和物質的認識。接著，丹麥物理學家尼波斯·波爾 (Niels Henrik David Bohr, 1885-1962) 在 1913 年對量子現象進行了深入的解釋，回答了「為什麼會有量子」這個問題，他的貢獻為量子力學的發展奠定基礎。最後，薛定諤 (Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, 1887-1961) 在上述理論框架下，推導出「薛定諤方程」(Schrödinger Equation)，並提出著名的薛定諤貓思想實驗 (Schrödinger's Cat, 1935)，進一步豐富量子力學理論體系。這些理論如同經典物理學中的「牛頓運動定律」一樣，成為了永恆的經典。

十九世紀末二十世紀初，面對「黑體輻射」(Black-body Radiation) 這一重大難題，物理學家們一度陷入了困境，許多著名物理學家試圖用公式來描述這一現象，但都未能很好的在理論上做出解釋。威恩 (Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien, 1864-1928) 提出的公式在高頻段符合，但在低頻段卻出現巨大的偏差；瑞利 (John William Strutt, 1842-1919) 提出的公式則在低頻段符合，但高頻段能量密度迅速上升出現了紫外災難的問題。

普朗克 (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858-1947) 發現，「黑體輻射」問題的出現有一個假設，就是發射的能量是連續的。於是，他假設能量是不連續的，並於 1900 年提出一個參數叫做“ h ” (普朗克常數，公式為 $E=h\nu$)，“ h ”乘以頻率得到的能量便是最小一份，即一個「量子」，終於能夠合理地描述「黑體輻射」問題。此後很多物理學家都承認了普朗克對量子力學發展了不起的貢獻。譬如：狄拉克 (Paul Adrien Maurice Dirac, 1902-1984) 指出「普朗克開創科學史上的量子新紀元」；愛因斯坦認為「『普朗克常數』的發現是二十世紀所有物理學研究的基礎，並從那時

開始奠定物理學發展的方向」。我認為“ h ”參數的出現有著非同一般的意義，因為大多數的物理量與物理常數是通過實驗發現，也有一部分是通過數學推算出來的，但是“ h ”參數是完全依靠個人的智力把它想像出來的，這才是普朗克對物理學做出的最突出的貢獻。

在之後的 1913 年，波爾研究了盧瑟夫原子模型，進一步解釋了量子：「原子核位於中心，電子在不同的軌道上旋轉，當電子從較小的軌道躍遷到較大的軌道時，它會吸收能量；如果電子從較大的軌道躍遷到較小軌道，就會釋放能量。由於這兩個軌道並不緊挨在一起，這種能量一定是斷續的。」儘管現在的波爾原理和模型已經有很大的改進，但我認為這個解釋仍然是最直接最簡單的。

1926 年，薛定諤方程的出現成為了量子力學的重要基石。薛定諤在《生命是什麼》（(What Is Life?, 1944，原為都柏林三一學院課程內容）中，以物理的方式探討生命科學的發展和其根本原理。但愛因斯坦（Albert Einstein, 1879-1955）並不偏愛「薛定諤方程」的概念，他認為所有事物都具有不確定性，並以一定的概率呈現。他曾與兩位實驗學家合作發表一篇論文，試圖通過實驗證明量子力學是錯誤的，但實驗結果正好相反。這進一步證明了量子力學在物理學體系裡的地位。

物理學界花費長達三十多年的時間鑽研量子力學，儘管其實際應用的價值遭到懷疑和質疑，但它作為物理學基石的重要性和價值是不容忽視的。通過對薛定諤方程的深入研究，我們發現量子力學在材料科學中具有廣泛的實際用途。例如，通過計算電子和原子的行為，我們可以預測材料的導帶（conduction band）和價帶（valence band）之間的帶隙（band gap），從而確定它們是金屬（Metal）、半導體（Semiconductor）還是絕緣體（Insulator）。這些材料的性質對於電子設備的設計和製造具有至關重要的影響。我們還可以對半導體一側摻空穴（Hole，即 P 摻雜〔Doping〕），而對另一側摻電子（Electron，即 N 摻雜〔Doping〕），從而形成一個 PN 結（p-n junction），即電晶體內最重要的組成部分。事實上，我們現在所依賴的許多科技產品中涉及到的電子學、光學、磁學和材料科學等領域，都有量子力學的理論支撐。它不僅拓展了我們對自然界的理解，還為我們的科技發展提供了強有力的支援，讓人類得以不斷探索和發現新的科技奇跡。因此，量子力學作為一門基礎的物理科學，其重要性是無法估量的。

四、結語

物理學每時每刻都在影響我們的生活。例如，對水的相變研究催生了蒸汽機的發明，進而推動機械化時代的到來。物理學對電磁場的調控啟發我們製造出了電動機和發電機，引領了電氣化時代的發展。基於量子力學對固體中能帶調製的電晶體的出現，使得積體電路成為我們生活中不可或缺的重要元素。正是量子力學的發展，推動了半導體和電腦技術的進步，塑造我們現今資訊化社會的面貌。由此可見，物理學始終走在科技進步的最前端

最後，我想用費曼（Richard Phillips Feynman，1918-1988）的話來總結。他說：「教授物理的目的不是為了你們的考試，甚至不是為了讓你們將來從事工業界或軍事界的工作。我最希望的是讓你們感受到客觀世界的美妙。這種美妙源於對物理的鑽研探索，它會給你們提供很好的解釋，讓我們能夠從物理的角度來看待這個世界，並使其更加美妙。」

作者簡介

王恩哥，著名物理學家，為中國科學院院士、發展中國家科學院院士以及澳門科技大學榮譽理學博士

通訊位址：北京市海澱區中關村南三街 8 號

通訊電郵：egwang@pku.edu.cn