

# 力學與現代科技

翁政義

現代科學的發展起自於文藝復興時期哥白尼(Copernicus)於 1530 年公開發表“太陽為宇宙中心”的學說，駁斥留傳幾世紀的亞里斯多德(Aristotle)和托勒米(Ptolemai)的“地球為宇宙中心”學說。這個創見最重要的意義在於讓天文學獨立於哲學之外，並拋開神的意志，人類可以用理性的態度了解宇宙和物理世界，結果促成人類修正對宇宙的觀念。1953 年，愛因斯坦(Einstein)在哥氏逝世 410 週年紀念會說：

***“哥白尼不但奠定現代天文學的基礎，還促成人類對於宇宙觀念的改變。一旦地球不再是宇宙中心，一旦地球只是一顆小行星，人類所自詡的重要性就無法維持，因此哥白尼以他的成就和偉大的人格，教導人類必須謙卑”。***

刻卜勒(Kepler)承繼了第谷(Tycho)所遺留下的非常豐富的天文觀察數據，並利用當時發展已甚成熟的幾何三角及代數等數學，於 1609 至 1618 年間，發展出行星運動定律，首先確定行星的運動和它與太陽的距離有關，而行星的軌道竟然是橢圓形的。矛盾的是他至死還不了解他的行星運動定律的由來，七十年後才由牛頓(Newton)建立重要的物理學說。

伽利略(Galileo)精研數學，發明望遠鏡，觀察天體，研究運動、潮汐和落體理論；他結合理論和實驗，運用數學與物理學，對於未來科學的發展，尤其在科學的研究方法和現代化的實驗精神，他的功勞很大。人類對物理世界的本質做有意義的探討，係始於伽利略的實驗工作。

伽利略去世那年（1642 年），牛頓誕生，他利用刻卜勒和伽利略

的部份發現，於 1665 年至 1667 年間創立了萬有引力定律和運動定律，從而建立了力學，奠定了古典物理的基礎。他在 1687 年所出版的“自然哲學的數學原理” (*The Mathematical Principles of Natural Philosophy*) 被公認為人類史上空前崇高的智力成就。牛頓的力學定律對於其後許多科學領域，如光的波動、熱的運動、電磁波動等都繼續產生重大的影響，亦即力學提供了建立科學所需的定理，促成現代科學的誕生。電磁學家奧斯特 (Oersted) 在 1806 年提出對“力”的看法：

***“依我看，這個宇宙是上帝的藝術表現，用幾個很基本的筆法去勾勒。這幾個筆法，我們稱之為力，眾人看得見的所有東西，無論多複雜，回到基本假設點，都是力，都是能量的作用。光、電、磁、熱、音……都是力的不同作用方式罷了。這些現象都來自同一位創造者，因此回到基本都是一致的創造法則”。***

在電磁學方面，法拉第(Faraday)於 1831 年發現電磁感應現象，開啟了電力與電機工程的應用。三十年後，馬克士威爾(Maxwell)結合了高斯(Gauss)、安培(Ampere)、法拉第等定律，再加入類似高斯定律的磁場條件，建構了完整的電磁動力學方程式，被認為是電磁現象的總體描述。至此，十九世紀科學家已為古典物理建立了牢固的基礎。

十九世紀末，幾乎所有實驗結果都可以用牛頓力學和馬克士威爾電磁理論解釋，當時的物理學家都很樂觀的認為此後的努力僅在於推進數據的更精確化而已，而不會有新理論的出現。然而，在十九世紀結束前十年，一些新現象的被發現，像電子、X-射線、及放射線等，都無法以傳統物理理論解釋；尤其甚者，另有一些現象，像處於相對運動的觀察者的光速、熱輻射的吸收與放射等問題，利用傳統裡理論

分析之結果與實際觀測結果不符，甚至相去甚遠。因此，用來解釋這些現象的新觀念與新理論是必要的，於是，二十世紀開始，新科學-近代物理誕生，改變了物理學的面貌。

牛頓力學理論的可貴在於它在任何慣性坐標系統具有不變性(covariant)，亦即經過伽氏(Galilean)坐標轉換，其力學定律形式不為之改變。馬克士威爾電磁波理論已證明所有電磁波的速度都是常數，不是相對的量。但是，對於馬氏方程式施以伽氏轉換，則產生不同的方程形式，亦即將會得到不同的波速。從牛頓力學理論觀點，這種結果乃為相對運動的必然結果，然而卻與馬克士威爾電磁波理論相違。為了化解這不相一致結果，愛因斯坦於1901年創立了狹義相對論。他提出了兩個假說，其一為電磁現象定律和力學定律在任何慣性座標都是一致的，這意謂著必須修正Maxwell方程或修正Galilean轉換，他選擇修正Galilean轉換；而事實上，若利用早於狹義相對論發表前數年，勞倫次(Lorentz)為保持電磁現象在不同慣性座標系統的不變性所創立的Lorentz轉換，即符合此項假說。其二為在所有慣性座標系統，光速是常數；這個假說不僅符合Maxwell電磁波理論的結果，亦符合1887年麥克遜(Michelson)和摩利(Moley)的實驗結果。

狹義相對論的重點在於提出空間和時間的量測並非絕對的，而是隨著觀測者與被測者間的相對運動而不同；同時也證明了馬克士威爾電磁波理論仍適用於狹義相對論，而牛頓力學理論則否。當相對運動速度甚小於光速時，牛頓力學與狹義相對論之預測則無甚差異，這也是牛頓力學定律長期以來被認為是正確的原因。

十九世紀末在科學史上另一件大事是：根據傳統物理理論計算黑體輻射能量密度分布的瑞利-金思(Rayleigh-Jeans)公式與實驗量測

結果，差異極大。瑞一金氏公式係先計算密閉空間內的駐波分佈，其與頻率的立方成正比，再根據駐波連續能量的分佈，求得駐波的平均能量（ $kT$ ，與頻率無關， $k$ ：波次曼常數），而後得到黑體輻射的能量密度公式（與頻率的立方成正比）；當頻率增加時，其能量密度大幅增加，這種現象在頻率低時，尚符合實驗結果，但當頻率較高時，實驗結果的能量密度不僅不增加，反而趨近於零。這種傳統理論與實際不相符合的現象引起普朗克(Planck)於 1901 年提出黑體輻射的量子理論，他假設每一簡諧器所具有的能量是分立的，不是連續的，其能量為一正整數與其頻率和普朗克常數的乘積，從而計算簡諧器的平均能量，結果 $(h \nu / (e^{h \nu / kT} - 1))$ ， $h$ ：普朗克常數， $\nu$ ：頻率)與頻率有關。在頻率甚低時，與傳統理論結果一致，而在所有頻率範圍與實驗數據極為吻合。量子的觀念於焉誕生。

1905 年，愛因斯坦採用普朗克處理黑體輻射的量子觀念，成功的解釋光電現象。因為假若光的能量分佈於輻射波的波前，則不可能有足夠的能量在極短時間內激發出電流（電子的高速運動）來，唯有以光子型態集中在波包(wave packet)，而將該能量全部或部份交給被照射金屬表面的電子，激發電流的產生。而光電現象之解釋亦說明了光波具有粒子行為，亦即光子具有波粒二象的性質。

1912 年，波耳(Bohr)提出原子內的電子必須維持某一能量而行軌道運動，當其獲得或喪失能量恰好等於與鄰近軌道能量之差時，則電子可跳躍至鄰近軌道。這種"量子躍遷"的觀念開啟了探討原子內部構造行為的正確方向，並導引新科學—量子力學的誕生。經過許多科學家像德布羅衣(de Broglie, 1924, 物質波理論)、鮑立(Pauli, 1925, 不相容原理)、薛丁格(Schrödinger, 1926, 量子波理論)、海森柏格

( Heisenberg , 1926 , 不確定理論 ) 及波耳( 1927 , 量子的互補原理 ) 等的努力 , 量子理論宣告確立。原子的 “行星式軌道” 模型被 “電子雲” 模型所取代 ; 並產生許多科學及技術領域上的發展與應用。

二十世紀開始的新科學就是由上述 “相對論” 和 “量子論” 兩大理論及其應用所帶動。這兩大理論的重點在於改變傳統上空間和時間絕對的觀念 , 改變傳統上連續能量和動量與位移確定的觀念。這些新科學理論的誕生 , 不僅解決了傳統物理無法解決的問題 , 並且更延伸至前所未有的領域。一般而言 , 傳統物理理論適用於正常尺度的範圍 , 但當探討在宇宙尺度或原子尺度所發生的現象時 , 傳統理論則無法適用。後來 , 狹義相對論和量子力學的結合 , 導出了有史以來人類智慧最偉大的結晶--量子電動力學(quantum electrodynamics)。這項發明為每一件事提供最完整的答案 , 讓我們瞭解最接近人類切身利益和存在意義的物理真相。

綜觀人類發展的過程 , 經歷了大約八千年的農業社會時期 , 到了十七世紀後 , 現代科學 ( 尤其是力學 ) 的開始建立 , 陸續在其應用產生重大的影響。首先是十八世紀的蒸汽機的發明 , 到十九世紀內燃機與發電機的發明 , 接著石化工業的興起 , 使電力、石化與汽車成為二十世紀最大的產業 , 至此 , 人類古老社會結構徹底改變。到了二十世紀後半 , 電腦、電晶體、積體電路及其後個人電腦的發明 , 開啟另一波的物質文明 , 並導致重塑今日社會的 “資訊科技革命”。這個新科技主要是利用量子力學理論中有關光與物質的相互作用 , 及凝態物質的特性 , 其產品所消耗的能量甚為微小 , 而非傳統以馬力來計算能量者所可比擬 ; 所以說 , 它們為人類提供了腦力而非體力的服務。

從上述人類發展過程顯示 : 工業技術的進展及其所產生物質生活

水準提升與導致社會結構的改變，完全由科學發現的基礎原理所導引，並隨著技術的大幅與快速進步，各領域逐漸整合，並使科學與技術之距離日益趨近，甚至融合在一起。今日，微電子的微細化技術即將進入奈米的範圍（100 奈米以下）；同時，由於二十世紀八〇年代，掃描式穿隧顯微鏡等的發明，使觀察、量測、操控及製造奈米等級材料的技術日漸成熟，於是“奈米科技”時代來臨。奈米科技的意義不在於物件或原料尺度之小，最重要者在於當物質小到某個尺度範圍內時，其物理與化學性質產生前所未有的巨大變化，並將產生無數的廣泛應用，而這些新的物質構造與其特性也唯有從量子理論基礎的探討才能獲得。亦即，量子理論在科技應用上將扮演重要的角色。

力學的建立與發展，對於科學與技術發展的影響與貢獻深遠，面對未來科技的發展，力學會繼續擔任重要的角色，誠如奧斯特所言，任何物質的功能，都是力與能量的不同作用方式罷了。然而，雖然傳統力學尚有許多施展的空間，對未來在奈米科技及生物科技的重要性而言，傳統力學的手段則力有未逮，因此，在力學的研究與教學的重新思考是一件刻不容緩的課題。