

物理學的起源及發展

人類如何從星象的觀測
進而發現原子的存在

國立臺灣師範大學 物理系 林明瑞

一、什麼是物理學

在我們的日常生活經驗裡，有些自然現象或物質的變化有著明顯的規律：譬如地球上季節的變化；又如大部分的固體如鐵、木炭等在高溫時變成紅色，當熱至更高的溫度時則發出白熾的光輝。我們要問：為什麼地球上四季的變換是如此的規律？固體物質為何在不同的溫度時發出不同的色光？物理學的研究就是在提供諸如此類的問題。我們可以具體地說：「物理學就是在解釋人類所觀察到的一切現象，提供『為什麼？』，『是如何？』，『是什麼？』的答案。」或者我們可以說：「物理學的研究就是在尋找支配宇宙間所發生的一切現象的基本定律。」

二、物理學的起源及發展

古代的人類自進入農耕社會後，迫切需要制訂曆法，以便播種的時間和生活上的安排有所遵循，乃進行對天文星象的觀測。經過長期觀測所累積的經驗裡，人們掌握了一些星球在天空中運行的規律。但是為什麼這些星球的運動遵守這些規律呢？牛頓發現了萬有引力定律，並建立了力學的理論體系，成功地解釋了這些星球運動的規律。有了力學的理論，人們進一步探討物質的組成，開展了輝煌燦爛的物理學領域。下面我們將就人類探索宇宙真理的過程，分成幾個歷史段落，加以敘述：

1 古代埃及人及希臘人對星象的觀測

古代的埃及人生活在尼羅河下游兩岸的狹長平原上。由於尼羅河定期的氾濫，迫使人們去發

展一個準確的曆法，來預測河水氾濫的時間，以保障人們的生命與財產。起先，埃及人依照月亮的盈虧制成陰曆。但是，他們很快地發現陰曆並不能準確地預測河水氾濫的日期。後來，埃及人逐漸地發現每當天狼星第一次出現在南方黎明的天空時，洪水也就來了。因此，埃及人根據該星球位置的移動設計出一個相當精確的日曆，每年有365天。雖然埃及人已開始對星象的觀測，但只是基於實際上的需要，並沒有發展出解釋天體現象的理論。一直到希臘時代（西元前700年至西元200年），希臘人發明了幾何學與三角學，並且用之於星球位置的測定。根據這些比較準確的觀測數據，希臘人推論並且試圖解釋所看到的天體現象。物理學開始了它的萌芽階段。希臘偉大的哲學家亞里斯多德（西元前384年至322年）推論地球是球形的。他有兩個主要的理由：第一，當一個旅行家向北方前進時，發現一些前所未見的星星出現在北方的地平面上，而一些平日所習見的星星則消失在南方的地平面下。往南走的旅客則所見相反。第二，亞里斯多德時代已知道月亮是由於太陽的照射而發光，而月蝕現象則是由於地球遮住了太陽光所造成。地球投射在月亮上的陰影則形成月蝕的形狀。由於月蝕的形狀是弧形的，所以推定地球的形狀必定是球形。在同一時代，希臘人也知道了如何量度地球的直徑。他們並且推論出太陽比月亮更遠離地球。亞里斯多德認為地球是不動的，而天空中所有的行星都繞著地球而轉。到西元二世紀時，托勒密綜合前此的推論與觀測，建立「地球為宇宙中心」的學說。依此學說，地球為宇宙的中心，而月亮、

水星、金星、太陽、火星、木星、土星則依次在圓形的軌道上環繞地球而轉，在土星的外層則是外太空的行星群，各星球除繞地球公轉外，在各自的圓形軌道上，每一個星球又循著小圓圈而轉，小圓的圓心則在公轉的軌道上運行。

2 歐洲中古世紀

在托勒密之後，希臘文明不久就衰微了。繼之而起的羅馬帝國忙於侵略作戰，談不上對科學的貢獻。西元五世紀時，羅馬帝國沒落了。代之而起的是教會勢力的膨脹。人的思想、行為及言論受到教會嚴密的控制。任何違反教會意旨的人都受到殘酷的迫害。教會崇尚亞里斯多德的哲學思想，尊重傳統的權威。任何違反聖經說法及亞里斯多德教誨的言論，都被視為異端邪說，而遭到嚴厲的禁止。在這種不准交互辯證、自由討論的環境下，剛萌芽的物理學研究被阻滯了幾近一千五百年之久。人類的文明陷入了所謂的中古黑暗世紀。西元十五世紀時，教會的勢力逐漸減弱，歐洲人重新激起了對天文學研究的興趣。波蘭的偉大學者哥白尼（Nicholas Copernicus）在仔細地研究了行星的運動後，創立了以太陽為宇宙中心的學說。在這個太陽系統裏，水星、金星、地球、火星、木星、土星都依次在圓形的軌道上繞太陽而轉。愈接近太陽的行星，公轉的速率愈快；遠離太陽者，則愈慢。在這個新系統裡，哥白尼利用地球和火星公轉速率的差異，很輕易地解釋了火星的逆行運動現象，而不必像托勒密學說那樣必須藉助於大小兩個圓形軌道的複雜作用。反對哥白尼「地動說」的人批評說：「假如地球繞太陽而轉，則地球將會飛散而裂成碎塊！」，哥白尼則反辯說：「若依托勒密的學說，是不是太陽也會飛散而裂成碎塊呢？」，哥白尼雖然對任何反對的意見，都振振有辭，對自己創立的學說抱著信心，但因為違反教會所認定的傳統權威，哥白尼害怕受到教會的迫害，遲遲不敢發表他的著作，直到臨死前，在他的朋友的力請下，才發表了「太陽為宇宙中心」的學說。

3 西元十七世紀

希臘人除了觀察天空中星球的運動外，他們也觀察了地面上各種物體的運動。亞里斯多德把所觀察到的運動分成兩大類別：自然運動和強制運動。

自然運動：亞里斯多德認為宇宙間任何一個物體都有一個專有位置，而該專有位置則由物體的「本性」來決定。假如一個物體不在它的專有位置上，則該物體必然會掙扎到它應有的位置上，因此產生了運動。譬如把一塊石頭丟上空中，它必定會掉回地面，因為它的專有位置是在地面上。愈重的物體則奔向它的專有位置的「掙扎性」愈強。因此當一個物體墜向地面時，愈重的物體，下墜的速率愈快。

強制運動：強制運動是由於一個物體被推或被拉而產生運動。它是由外界強制進行的，而不是由物體的「本性」來決定。

基於以上運動的觀點，亞里斯多德認為一個物體若原本在它的專有位置上，則除非受到外力的推或拉，該物體應該保持不動。地球應該是處在它的專有位置上，它是不動的，因為若要使地球移動，則所需要的推或拉的力，是無法想像的巨大。地球為宇宙中心的學說也就因此從希臘時代一直延續到西元十六世紀。

伽利略（Galileo Galilei）出生於西元1564年，從他一生對物理學的貢獻而言，可說是實驗物理學之父。在17歲時，伽利略觀察教堂內一個大吊燈的擺動，發現了單擺的原理：單擺來回擺動的週期僅與擺長的平方根成正比，而與擺幅無關。在26歲時，他被任為比薩（Pisa）大學的數學教授。在這個時期，伽利略做了著名的比薩斜塔實驗：他將各種不同重量的圓球自塔頂同時落下，結果各圓球同時落地，輕易地打敗了亞里斯多德的有關自然運動的說法。斜塔實驗之後，他又做了著名的斜面實驗：將兩塊平滑的斜面，面對面地固定在一光滑的平面上。將一個小圓球置於第一斜面的頂端，令其自由滑下，則見其速率逐漸增加，但當滑上第二斜面時，速率逐漸減小，伽利略發現小圓球在第二斜面上最大的

爬升高度幾乎與第一斜面頂端的高度相等。將第二斜面的斜角減小時，情況仍然一樣。因此伽利略推論：若將第二斜面完全放平時，則小圓球將因無法爬升至所要的高度，而永遠地運動下去。他稱物體的這種性質為慣性。由這個實驗的結果，伽利略認為亞里斯多德有關強制運動的觀念也是錯誤的。一個物體保持運動狀態，不一定需要外力的推或拉。因此他認為哥白尼的「地動說」所設想的地球繞太陽而轉的說法是合理的。

由於伽利略敢向傳統權威挑戰，在 28 歲時，他被趕出了比薩大學。幸運地他在巴度亞（Padua）的大學找到教職。西元 1608 年，有一位荷蘭的眼鏡技師無意間將兩塊眼鏡片前後排置，竟可將遠方的景物拉近觀察。伽利略聽到這消息後，馬上便明瞭其間所包含的原理。1610 年他終於製出了放大 30 倍的折射式望遠鏡，望遠鏡的發明使得天文學的研究跨進了一個新境界。天空中奇妙的景像神奇地展現在人類的眼前。伽利略是一位熱心的哥白尼學說的支持者，1623 年他說服了教皇奧本八世讓他出版了一本書：「托勒密與哥白尼系統的爭辯」。這本書的流行，終於導致教會的報復。伽利略在當時的學術地位雖然崇高，但是仍然逃脫不了教會的迫害。67 歲時他被宗教法庭判處終身軟禁在家，不准自由行動。這在當時算是一個寬赦的處罰。伽利略死於西元 1642 年，享年 78 歲。

和伽利略同一時期，另有兩位非常著名的天文學家：布萊爾（Tycho Brahe）和刻卜勒（Johann Kepler）。布萊爾堅決反對哥白尼的學說。1575 年他被丹麥國王菲力德力克二世聘請為宮庭星相家，開始對天空中行星的位置及運動軌跡進行系統的而且相當精確的測定，並且繪製了一幅詳細的星座圖。布萊爾是一位優秀的實驗天文學家。在他進行星球方位的測定時；並沒有藉助於望遠鏡（實際上，第一座天文望遠鏡在 35 年後才由伽利略製成。），但是星座圖的精確度卻令人異常的驚異。刻卜勒是布萊爾的助手。

1601 年，布萊爾去世。刻卜勒着手解釋這些星

球運動的數據。在經過數年的努力工作後，刻卜勒發現為了圓滿解釋這些觀測到的天文數據，他必須放棄托勒密的學說，而改採哥白尼的太陽為宇宙中心的理論。但是行星公轉太陽的軌道必須是橢圓形。刻卜勒總結行星的運動為三大定律：

(i) 行星在橢圓形軌道上，環繞太陽而轉，太陽位於該橢圓的一個焦點上。

(ii) 行星與太陽聯成的直線，在相同的時間內所掃過的面積相等。因此當行星靠近太陽時速率較快，而當遠離時則較慢。

(iii) 行星公轉一周的時間的平方值與行星至太陽的距離的立方值成正比。

刻卜勒的成就具有非常重大的意義。他不僅證明了哥白尼學說的正確性，而且也打倒了兩千年來所樹立的亞里斯多德思想權威，解除了人們在科學思想上的束縛。

刻卜勒雖然找到了行星運動的規律，但是為什麼行星的運動遵守這些規律呢？這個問題一直等到牛頓發現萬有引力定律後才獲得解答。

4 西元十八世紀

在伽利略去世的同一年，偉大的物理學家牛頓（Issac Newton）誕生在英國。牛頓在西元 1661 年進入劍橋的聖三學院唸書。八年後他被聘為該院的數學講座教授。當他還是學生時，就獨力地發展了微積分學。1665 年，由於當地瘟疫流行，學校關閉了好幾個月，牛頓回到了鄉間的住家。著名的「蘋果事件」，觸發了牛頓有關「地心引力」的觀念。他將此觀念推廣到整個宇宙，終於發現了萬有引力定律：即宇宙中任何兩個物體都是彼此互相吸引著，引力的大小與他們質量的乘積成正比，與他們之間距離的平方成反比。牛頓並且着手發展力學的理論。他完全揚棄了亞里斯多德對力的觀念，他繼承了伽利略的觀點，建立了力學三大定律：

第一定律：除非受到外力的作用，任何物體將連續地保持它原先的靜止狀態，或者沿著直線做等速度運動。

第二定律：一個物體的加速度與作用在該物

體上的淨力成正比，而與該物體的質量成反比。

第三定律：對於任何一個作用力，必然生一反作用力。這兩力大小相等，方向相反，分別作用在不同的物體上。

第一定律實際上繼承自伽利略的慣性定律。第二定律可視為力的定義。第三定律則為一自然現象的描述。在牛頓以前，力是一個抽象的觀念，現在則變成一個具體的，可加以量度的量。牛頓以萬有引力定律與力學三大定律為基礎，成功地以數學導出了刻卜勒的行星運動三定律，揭開了千百年來人類一直在探索的天體運動的奧秘，也開創了天文學的理論研究之門。在物理學的發展上，牛頓做出了劃時代的貢獻。除了力學理論外，牛頓發明了反射式望遠鏡，使人類能更深一層地觀察宇宙，他也發現了光的色散現象，開創了物理光學的研究領域。由於牛頓在學術上的巨大貢獻，1703年他被選為皇家協會的終身主席。1705年英國女王授以爵士的名位。牛頓於1727年去世，享年85歲，被公認為物理學之父。

5 西元十九世紀

有了力學的理論武器，物理學的進展非常的迅速。物理學家除了繼續對天文學的研究外，也開始探索物質是如何組成的？是什麼樣的力使各物質的基本單位結合在一起？而這些基本單位又是什麼呢？在這方面的努力，使得科學家知道了更多的物理學基本原理。應用這些原理，各種取代人力的機器被製成了，也因此造成了工業革命，導致人類社會結構的大變動。人類的物質文明進入了一個新紀元。十九世紀是物理學家忙碌工作的一個世紀。除了力學外，物理學家也開拓了電磁學、熱學和光學的研究領域，並且都獲得了豐碩的成就，使得古典物理學的發展達到了高峯。

在電磁學方面，人類很早便發現摩擦生電的現象以及地球磁場的存在。十八世紀末葉，庫倫（Charles Coulomb）量度了兩電荷間作用力的大小，發現電力的大小與兩電荷間距離的平方成

反比，而與它們電量的乘積成正比。這就是我們所通稱的庫倫定律。隨後，奧斯特（Oersted）和安培（Ampere）發現電流可以產生磁場。法拉第（Michael Faraday）則發現了相反的現象：即變化中的磁場可以產生電流，並且根據這個原理，在1820年製成了第一部發電機。法拉第沒有受過正式的教育。他出身於一個貧苦的家庭，父親是個鐵匠。他在電磁學上重大的實驗成就，完全憑著他的非常敏銳的物理直覺以及刻苦的努力。但由於數學知識的缺乏，他無法做更深一層的理論探討。電磁學完美的理論體系最後由馬克斯威爾（James Clerk Maxwell）完成。馬克斯威爾生於1831年，家裡非常富有。1854年他以最高的榮譽畢業於劍橋的聖三學院。從29歲起便被任為物理教授。他在劍橋大學創立著名的卡文狄須（Cavendish）實驗室，可惜英年早逝，死時才48歲。

在熱學方面，1824年卡諾（Carnot）提出了著名的理想熱機循環。1847年焦耳（James P. Joule）由實驗證實了機械能可以轉換成熱能，奠定了能量不減定律的基礎。三年後克勞休斯（Rudolf J. Clausius）和凱溫（First Baron Kelvin）分別發現了熱力學第二定律。

在光學方面，牛頓從力學的觀點認為光應具有粒子性。由於牛頓在學術上的權威性，使得光的粒子說流行了一個世紀。海更斯（Huygens）雖然提出了光的另一種新觀念：波動學說，但卻受到了衆人的嘲笑。1801年楊格（Thomas Young）完成著名的光的干涉及繞射實驗，才給光的波動說注入了新的生命。此後即發生了粒子說與波動說的爭辯，一直到二十世紀初期，光的雙重性格才被認定：即光兼具有粒子性與波動性。

6 西元二十世紀

工業革命後，無數的優秀青年投入了科學技術的研究行列。科技的發展可說是一日千里。物理學是一切科學技術的基礎，因此吸引了許多第一流人才，從各個角度去拓展物理學的領域。從

牛頓以來，所有的物理學研究都是在人類經驗或是感覺所能及的尺度上進行，從細菌的大小一直到太陽系的空間。十九世紀結束的時候，物理學的研究已發展到了人類經驗的極限。許多實驗的結果，已無法應用傳統的物理理論予以解釋，有些甚至與古典物理學的理论預測相反。至於物質的最基本組成單位，依然是個神秘。物理學家被迫放棄部分的傳統物理觀念，發展新的觀點去突破人類經驗的極限，以數學為工具去探索人類所不能感覺到的廣大未知世界。二十世紀初期是物理學的大發現時代也是物理觀念的大革命時代。這些在人類所不能感覺到的極小尺度上例如原子的大小，或是極大的尺度上例如銀河系的空間，所建立的物理學就是所謂近代物理學。

二十世紀是原子時代，人們忙著研究原子核內的秘密；也是太空時代，人們急急探索太陽系以外的茫茫宇宙。

1900年蒲郎克（Max Planck）為了圓滿解釋黑體輻射的實驗數據，提出能量量子化的嶄新觀念。指出能量並不是連續的，而是相當於一束一束的量。這個新觀念劃出了古典物理學與近代物理學的分界線，也帶動了此後一連串革命性的物理新觀念的出現。但是，無疑的，二十世紀物理學的巨人應歸於愛因斯坦（Albert Einstein）。他在1905年及1915年所分別提出的狹義相對論和廣義相對論，改寫了整個物理學的內容。一直到今天，相對論已成了研究基本粒子和宇宙學不可缺少的部分。愛因斯坦出生於1879年。小時木訥，他的父母親一度以為他心智遲鈍。學校的老師為他的胡思亂想所困擾，認定他將來一無所成。考大學時，第一次沒考上，第二次重考才考進著名的瑞士聯邦理工學院。唸大學時，他不是一個出色的學生，靠著考前惡補及參考同學的詳細筆記而僥倖過關。他厭惡學校內的機械式教育，認為有害於心智的成長。他不像伽利略、牛頓、馬克斯威爾那樣從小就天才橫溢，出類拔萃，但是愛因斯坦在物理學上的偉大貢獻，只有牛頓才堪予比擬。愛因斯坦於1955年逝世，

享年76歲。

1905年愛因斯坦首先採用蒲郎克的量子觀念解釋光電效應，並且發表了解釋布朗運動的統計理論，從理論上推斷分子的存在。1908年培林（Jean Perrin）以實驗證實了愛因斯坦有關分子運動的理論，確定了分子的存在。1909年密立根（Robert A. Millikan）完成了著名的油滴實驗，量度了電子所帶的電荷，並且發現電子所帶的電荷為電量的最小單位。1911年拉塞福特（Ernest Rutherford）以 α 粒子撞擊金箔發現原子核的存在，並且建立電子環繞原子核的原子模型。1913年波爾（Niels Bohr）建立新的原子模型，大胆地假設電子軌道及角動量的量子化，輕易地解釋了氫原子光譜的主要系列。1914年佛郎克（J. Frank）和赫茲（G. Hertz）以實驗證實了波爾原子模型的正確性。1916年威爾孫（Wilson）和松莫非爾（Sommerfeld）改進波爾模型，以電子的橢圓軌道解釋氫原子光譜的精細結構。1924年戴布勞格利（Louis V. de Broglie）提出物質波的革命性新觀念，認為所有的物質均兼具有粒子與波動的雙重性格。1925年波利（Wolfgang Pauli）從理論上預測電子自旋的存在並且提出「排斥原理」。1926年蕭丁格（Erwin Schrodinger）和海森堡（Werner Heisenberg）分別單獨地發展了量子力學。1927年大衛生（C. J. Davisson）和哲莫（L. H. Germer）從電子撞擊鎳晶體的繞射實驗裡證實物質波觀念的正確性，由此開展了固態物理學的研究。同年海森堡提出測不準原理（Uncertainty Principle），菲利普（Philips）和泰勒（Taylor）也從實驗中證實電子自旋的存在。1928年狄拉克（Paul A. M. Dirac）發展相對論量子力學，從理論中預測電子自旋和磁矩應有的量。1931年他又預測了正電子的存在。1932年安德森（Anderson）在宇宙射線中找到了正電子，同一年，查兌克（Chadwick）發現了中子。1935

（下接23頁）

並有效地應用這些物質於家庭、學校及社會的需要。此外，通過學習化學的過程中發展化學概念，熟練實驗技巧並培養科學態度以充實學生的科學素養。我國在高級中學二年級無論是主修自然組或社會組的學生均有必修的化學課程以期達到上述目標。但有兩個因素使我們高中化學教育不能達到預期的目標。

1 過時的課程標準

民國五十三年，我國選用CHEMS為我國高中化學的藍本，參考大部分CHEMS的教材來擬定高中化學課程標準，雖然六十年曾修訂一次，但仍離不了CHEMS的範疇。正如上述，CHEMS在一九六〇年代為極成功的化學課程，但其內容理論方面太多而在美國引起學生不願選修之結果。我國雖不是選修而必修，但不容易引起學生學習的興趣。根據課程標準各書局所出版的我國高中化學教科書雖然有九種之多，大部分都是選譯美國教科書所寫成，既沒有各自的特色，更與我國國民生活及經濟建設沒有相互關連。因此，修訂我國高中化學課程標準，使其更具適切性，並具有選擇的彈性而符合我國目前社會所需要的課程標準。

2 大學及專科學校的聯考

毫無疑問的大專聯考大大的影响我國高中的正常化學教育。在大專聯考要得到更好的成績，教師及學生們通常留意化學的事實及知識，因此教師以講解方式的教學來代替學生的實驗室探討，學生即以背誦的方式學習化學。

雖然課程標準規定，化學是高中學生所必修的，可是，社會組學生在大專聯考時不必考化學的事實，使很多社會組學生在高中階段裡完全忽略化學課程。

為了推行正常而配合現代的高中化學教育，必須適當修訂我國現行高中化學課程標準及改革大專聯考，以著者的觀點，我們新的高中化學課程標準應根據下列兩點為基礎：

1 新化學課程的趨勢

上述美國現行高中化學課程的特色，似乎可

做我國新課程標準的參考。我們的課程標準必須包含概念系統、化學知識及科學過程（包含合理的思考過程、實驗技巧及科學態度）的平衡發展。

2 我國的需要

在我國，高中是一種很重要的教育階段。在高中時，不但要教育學生為接受更高教育的基礎，尚要培養他們成為一個好國民。因此我們的新課程標準必須適合於我們的學生、社會及國家的需要。課程標準的內容必須與我們日常生活、環境問題、國家建設及個人就業和升學有關。

對於大專聯考方面，建議化學應包括在所有的大專聯考裡面。自然組學生化學的分量可增加，社會組學生即可與物理合起來為「物理科學」或甚至把物理、化學、生物及地球科學等合為「自然科學」而加入於聯考試題中。如此，從修訂高中化學課程標準及改革大專聯考兩方面進行時，相信我國高中化學教育更為成功所結的果子更豐盛。

//////////《上接 20 頁》//////////
年魏茲謝克（Von Weizsacker）提出原子核的「液滴模型」以說明原子核的質量。1949年梅爾（Mayer）和傑孫（Jensen）分別單獨地提出原子核的「層殼模型」說明核內質子和中子的排列，初步揭開了核子間相互作用的奧秘。1953年波爾（A. Bohr）和莫德森（B. Mottelson）建立原子核的「集體模型」以補救「液滴」和「層殼」兩模型的缺點。

在二十世紀五十年代結束的時候，物理學家對原子的構造已有了相當清楚的瞭解。起先人們以為質子、中子和電子應該是組成物質的最基本單位，但隨著宇宙射線的研究和高能加速器的建造，科學家發現了許多比質子、中子還要小的粒子。這些所謂的基本粒子是當今物理學的熱門研究主題之一。

物理學的研究是無止境的，當一個舊問題解決時牽連著另一個新問題的出現。一個新觀念的提出或是一個重大的實驗成就都可能觸發物理學突破性的進展。