

物理進展

與諾貝爾榮耀

楊仲準

中央研究院物理研究所博士後研究員

三百年來，物理科學的發展，似乎每隔百年便有一顛覆常識的理論問世。著名的牛頓(Isaac Newton, 1642-1727)，在18世紀初建立了描述物體運動情形的牛頓力學、描述光傳遞現象的光學、與教導函數間交叉運算的微積分等基礎理論。19世紀中，馬克斯威爾(James Clerk Maxwell, 1831-1879)奠定了電動力學與氣體動力學基礎。到了20世紀初，普朗克(Max Planck, 1858-1947)的黑體輻射理論(1900年)打開了量子概念的大門。1905到1916年間，愛因斯坦(Albert Einstein, 1879-1955)發展的相對論，則是使人類對於

時間與空間的互動、對物質與能量的互換有一全新的認識。至此之後，一直到現今，可稱為人類科技發展最快也最富戲劇性的年代。相當巧合的，自1901年起，依照諾貝爾(Alfred Nobel)的遺願所設立的諾貝爾獎，以鉅額的獎金獎勵在物理、化學、醫學、文學與和平等五個領域中對人類有傑出貢獻的研究學者。自此諾貝爾獎也成為學術研究的最高榮耀與成就評量。綜觀這百年來的諾貝爾獎所頒給的物理成就，也就是這百年來物理學發展的縮影。現在就讓我們來談談這百年間物理學的發展與諾貝爾獎的關係。

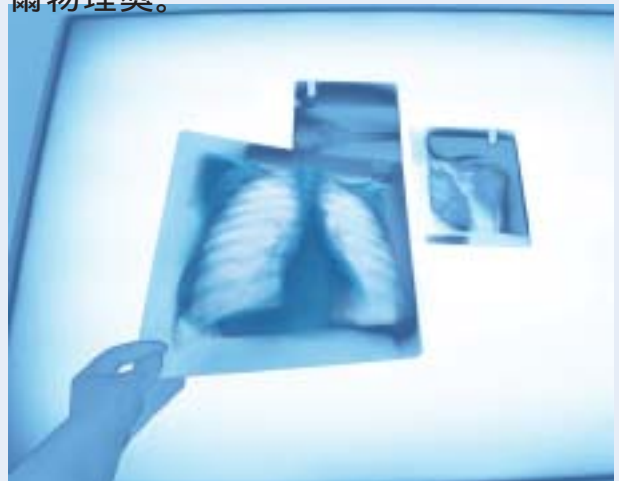
一、由陰極射線開始

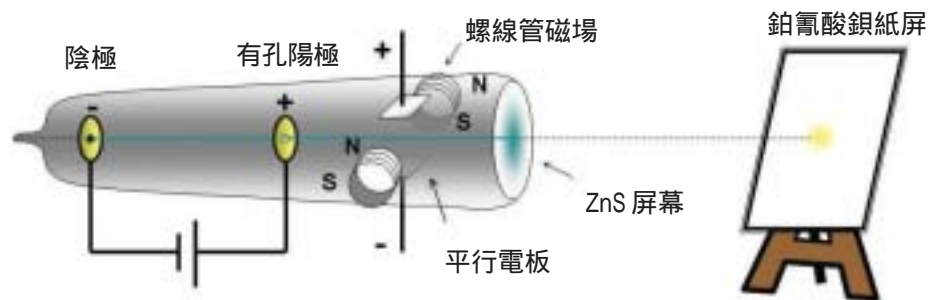
自十九世紀末，古典物理學理論的架構已經趨於完整。當時的學界焦點，多半放在熱輻射與氣體動力學的問題上。此外對陰極射線的研究，也正是一個熱門課題。陰極射線是指在塗有螢光劑的真空玻璃管內，放置兩個電極板，在電極上加高電壓。在適當的設計下，便可以在另一側的管壁上看到淡綠色的螢光。在當時的科學界並不知道這個射線是什麼樣的物質或是光線所造成，而引發一連串的相關研究。諾貝爾物理學獎在與陰極射線直接或間接的研究上，就頒出了許多獎項。首先，我們先談談陰極射線的副產品 - X 光。

1901 年的第一屆諾貝爾物理學獎，頒給了發現 X 光的倫琴(Wilhelm Conrad Röntgen)。X 光的發現是研究陰極射線的一項意外發現。當倫琴在研究陰極射線管時，發現位於玻璃管外塗有鉑氰酸銲的紙屏居然也會發出綠光。確定這個螢光的來源是來自於陰極射線管後，嘗試著向要擋掉這個光源，卻發現無論放了黑布在陰極射線管上，或是在管與紙屏間擋了書籍，都無法阻止它發光。當他試著用手去做阻擋時，居然發現這個光照出了他手骨的形狀。也因此，倫琴做了許多有關 X 光的研究而獲得了第一次諾貝爾物理學獎的榮耀。此

後勞厄(Max Von Laue)與布拉格父子(William Bragg, Lawrence Bragg)研究 X 光通過物體的情形，而分別獲得 1914 年與 1915 年的諾貝爾物理學獎。西格班(Karl Manne Georg Siegbah)則是利用分析物質受到電子衝擊發出的 X 光光譜而獲得 1924 年的物理獎。

回到陰極射線這個主題，由於二十世紀初對原子的基本結構尚未釐清，因此對於陰極射線到底是什麼也一直爭論不休。湯姆生(J.J. Thomson)透過多種實驗方法，終於認識到陰極射線其實是一種帶電粒子，稱之為「電子」，並且算出電子的電荷與質量的比例。湯姆生也因而得到 1906 年的諾貝爾物理獎。而 1905 年，諾貝爾物理獎也頒給了對陰極射線管做出巧妙設計，可以使陰極射線透出真空達到外界空氣中的雷納德(Philipp Lenard)。事實上，雷納德還有另一個重要的貢獻是發現了光電效應(見 94 年 3 月出刊科學研習)的規律。而愛因斯坦也就是利用光量子的方法解釋了光電效應而獲得了 1921 年的諾貝爾物理獎。





圖一 陰極射線管示意圖。陰極射線管為一支抽到幾乎真空的玻璃管。管中最左方的電極施加高負電壓，而置中的有孔電極則接上正電壓，使得電子束可以由左方的陰極飛出透過有孔的陽極打向 ZnS 的屏幕。由於電子被 ZnS 屏幕阻隔而停止，產生制動輻射(Bremsstrahlung)。此時若是在電子運動方向外有一個可受 X 光激發的螢光物質，便會發出螢光。倫琴便是這樣發現了倫琴輻射，也就是 X 光。圖中有一組相互垂直的電場與磁場架設，在許多的電子束儀器中常常出現，稱之為速率選擇器。只有適當速率的電子，才能筆直的通過這個架設。同時陰極與陽極的電壓差可以換算出電子的行進速率。只要適當的調控加速電壓，便可以由古典的電磁理論得出荷質比。湯姆生首先發現陰極射線會受到電場與磁場的作用偏折，在由此出發找出這個帶電粒子的荷質比。

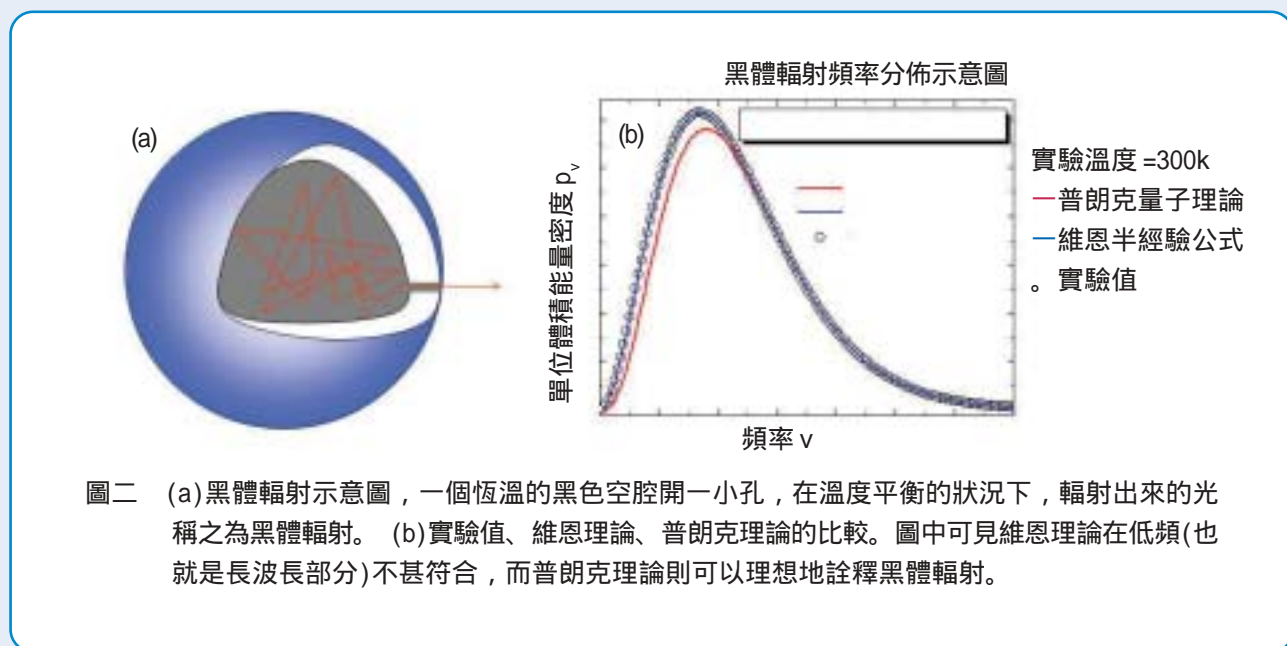
二、量子論與量子力學的發展

前面提到，十九世紀末期，熱輻射現象也是物理學界亟待解決的一個問題。維恩(Wilhelm Wien)發明了利用空腔來構成黑體(blackbody)。所謂的黑體是指一個物體在任何溫度下能吸收任何頻率的輻射能。然而，完全黑體並不存在。接近理想的黑體可以使用密閉的空腔，對外僅開一小孔，當外界輻射經由小孔入射於空腔後，雖經多次反射，但幾乎沒有機會再由小孔射出而留在空腔內，因此可以視為輻射被空腔所完全吸收。同樣的，如果將此空腔加熱至某一溫度，研究分析由此小孔發出的光譜，則也可視為由相同的溫度的黑體所散發出來的光。維恩依照古典熱力學的理論

以及實驗的分析提出了一個半經驗公式，可以解釋黑體輻射的短波段部分，然而在長波段區域卻明顯的無法吻合實際觀測結果。雖然如此，他還是獲得了 1911 年的諾貝爾物理獎。為了解決這個問題，普朗克(Max Karl Ernst Ludwig)提出了能量僅能具有某些特定量的量子化概念，並推導出能量量子 E 與頻率 ν 成正比的著名關係式 $E = h\nu$ 。而能完美的解釋黑輻射的現象，也因此獲得了 1918 年的諾貝爾物理獎。受到普朗克的能量量子化理論的啟發，愛因斯坦(Albert Einstein)利用光量子的理論解釋光電效應。也因此獲得了 1921 年的諾貝爾物理獎。波爾(Niels Henrik David Bohr)提出了原子內電子的運行軌道與角動量均是量子化的假設，成功的解釋了氫原子的

吸收與發射光譜，也獲得了1922年的諾貝爾物理獎。至此，對描述微觀世界的量子理論的研究，在當時成為一股潮流。然而由於普朗克與愛因斯坦對光具量子化的看法，使得光的本質到底是粒子或是波動引發了爭議。同時德布羅依(Louis Victor De Broglie)將光可具有波動性與粒子性的看法推廣到一般物質，提出了物質波的概念。他的想法後來用電子繞射實驗所證實，因而得到了1929年的諾貝爾物理獎項。而光與物質為何皆兼具有粒子性與波動性，直到最後波爾提出了互補原則，才暫時解決了這個問題。依照波爾的詮釋，光與物質皆同時具有粒子性與波動性，而粒子或是波的性质只有透過量測之後，才會表現出來。而到底是表現粒子性或是波動性，

取決於量測的方法與工具。海森堡(Werner Heisenberg)、薛丁格(Erwin Schrödinger)與狄拉克(Paul Advien Maurice Dirac)等人總結當時的一些理論與實驗的結果，提出了較為完備而能描述原子世界較小物體的運動情形的量子力學理論。海森堡利用矩陣代數的方法，建立了矩陣力學而獲頒1932年的諾貝爾物理獎。薛丁格則受到德布羅依的啟發，提出了波動力學和狄拉克的相對論性的波動力學共同得到1933年的諾貝爾物理獎。著名的天才費曼(Richard Phillips Feynman)也因在量子電動力學所做的基礎性研究，對基本粒子物理學具有深刻影響和斯溫格(Julian Seymour Schwinger)、與朝永振一郎(Sin-itiro Tomonaga)於1965年得獎。



三、原子模型與基本粒子

關於物質的基本構成-原子，人類到了 20 世紀才開始瞭解到他的一些本質與構成。首先貝克勒(Antoine Henri Becquerel)發現了鈾鹽的天然放射性。而居禮夫婦(Pierre Curie, Marie Curie)則是在瀝青鈾礦中提煉出放射性更強的鐳。他們的研究開啟了原子時代的來臨，也使得他們同時獲頒 1903 年的諾貝爾物理獎。現今我們知道，原子的內部構造主要是由電子繞著由質子與中子所構成的原子核共同組合而成。電子是由前面說到的湯姆生所發現，質子則是由拉賽福(Ernest Rutherford)所發現，但是他獲得的是 1908 年的諾貝爾化學獎，主要是表彰他在輻射元素研究上的貢獻。中子是由查瑞克(James Chadwick)所發現，並確認中子不帶電，大約與質子等重，也因此得到 1935 年的諾貝爾物理獎。

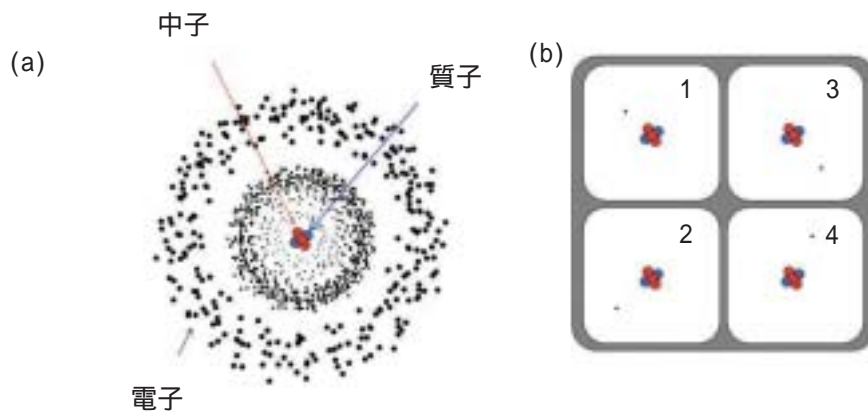
除了這些一般粒子外，反粒子的發現，也在核物理的研究上佔有一席之地。前面提到，狄拉克因相對論性的量子力學理論得獎項，但同時他也預言了正電子的存在。果然，安德森(Carl David Anderson)在研究宇宙輻射時，就發現了正電子的軌跡，而與赫斯(Victor Franz Hess)共同得到 1936 年的諾貝爾物理獎。1955 年西格雷(Emilio Gino

Segre)與張伯倫(Owen Chamberlain)利用加速器產生反質子，也因此獲得了 1959 年的諾貝爾物理獎。

當電子、質子、中子與其反粒子被發現後，一些科學家不禁又開始提問，是否有更基本的粒子存在。1964 年蓋德曼(Murray Gell-Mann)提出了夸克模型將許多由加速器中發現的不穩定粒子分類。因而獲得了 1969 年的諾貝爾物理獎。夸克分為上、下、奇、魅、底、頂六種。1974 年丁肇中與李克特(Burton Richter)分別觀測到魅夸克而獲得 1976 年的諾貝爾物理獎。此外還有佛萊德門(Jerome I. Friedman)、肯得(Henry W. Kendall)、泰勒(Richard E. Taylor)等對電子與質子和束縛中子的深度非彈性散射進行的先驅性研究，以及對粒子物理中夸克模型的發展起了重要的啟發作用，而得到 1990 年的諾貝爾物理獎。

由於基本粒子的研究，也使的基本作用力的研究發展起來。宇宙目前已知的四個基本作用力為重力、電磁力、強作用力、弱作用力。作用力的傳遞是透過交換所謂的「交換子」來達成。除去目前尚有爭議的重力子外，公認的電磁作用力交換子為光子，強作用力的交換子為介子，弱作用力則為 W^\pm 與 Z^0 粒子。強作用力的理論由湯川秀樹所提

出，而介子則是由鮑威爾(Cecil Frank Powell)所發現，兩人也因此而分別獲得到1949與1950年的諾貝爾物理獎。將弱作用力與電磁力結合在一起的弱電理論是由溫伯格(Steven Weinberg)、格拉謝(Sheldon Lee Glaschow)、與撒拉姆(Abdus Salam)所建立，他們也因而獲得1979年的諾貝爾物理獎。盧比亞(Carlo Rubbia)與范德梅爾(Simon Van Der Meer)則是發現了弱電統一理論預言的 W^+ 與 Z^0 粒子而獲得1984年的諾貝爾物理獎項。1999年，諾貝爾獎再次頒給電弱作用的研究-霍夫特(Gerardus't Hooft)與韋特曼(Martinus Veltman)，主要是表彰他們解釋了電弱作用的量子結構。



圖三 (a)原子模型。原子核中包含質子與中子。原子核外有電子圍繞。圖中核外的黑點為電子的分佈機率密度。(b)若是在任一瞬間對此原子周圍的電子量測，只會發現電子出現在單一的位置。但是如是做長期的統計，則可發現如(a)圖一般的分佈。每一圈密度較高的地方，為不同的電子軌域。

四、固態物理學的發展

由於量子力學的發展，也帶動了固態物理的興起。例如肖克力(William Shockley)、巴丁(John Bardeen)、布拉頓(Walter Houser Brattain)因為研究半導體與晶體管效應得到 1956 年的物理獎。1962 年藍道(Lev Davidovich Landau)因對凝聚態物質的研究與液氦的超流理論得獎。阿爾芬(Hannes Olof Gosta Alfvén)與尼爾(Louis Eugene Felix Neel)對磁流體與固體磁性的研究獲頒 1970 年的物理獎。1977 年安德森(Philip Warren Anderson)、范弗烈克(John Hasbrouck Van Vleck)、莫特(Nevill Francis Mott)則是由於開發固體的磁性和無序系統的電子結構的研究方法而獲獎。而關於超導這一項目則一共發出了五年的獎項，分別是 1913、1972、1973、1987 和 2003。1913 年頒給發現超導現象的歐尼斯(Heike Kamerlingh Onnes)。1972 年頒給提出超導微觀 BCS 理論的巴丁(John Bardeen)、庫伯(Leon North Cooper)和施理弗(John Robert Schrieffer)。1973 年給發現半導體和超導體中的穿隧效應的江崎玲於奈(Leo Esaki)和加埃沃(Ivar Giaever)，與預言穿隧電流性質的約瑟夫夫(Brian David Josephson)。1987 年，柏諾茲(J. Georg Bednorz)和繆勒(Karl A. Müller)則因發現新型的鑷鉕銅氧高

溫超導而獲得物理獎項。2003 年，阿布理科索夫(Alexei A. Abrikosov)、金茲堡(Vitaly L. Ginzburg)與萊格特(Anthony J. Leggett)因開發超導與超流理論而獲獎。

其他尚有許多諾貝爾物理獎所表彰的工作亦有重大貢獻，諸如 1944 與 1952 年頒給核磁共振的研究、1964 年頒給雷射的研究、1974 年頒給射電天文學、1986 年頒給發明電子顯微鏡的學者、1991 年頒給液晶的研究。然而諾貝爾物理獎也有許多遺珠之憾，最著名的就是愛因斯坦就沒有因為相對論的研究獲獎。還有做出電弱作用與稱不守恆實驗的吳健雄女士也因尚未解密的原因而未獲獎。但是即使如此，也不能掩蓋他們對物理學的貢獻。諾貝爾物理學獎一百餘年來，的確是對許多物理學的重大發現做出了實質的肯定，研究頒獎的紀錄，就是研究一段近代物理的發展史。

