

James Clerk Maxwell (譯名：馬克士威)

生卒年：西元 1831 年~1879 年

出生地：蘇格蘭 愛丁堡

著名學說：馬克士威-波茲曼分布、馬克士威方程式

馬克士威於 1831 年出生於蘇格蘭愛丁堡的一個富裕家庭，自幼聰明好問，受有良好的教養。八歲時喪母，和父親的感情非常深厚。從十五歲起，就開始發表學術性論文。在 1850-56 年間，就讀劍橋大學，成績極為優異。畢業後，曾在蘇格蘭和倫敦擔任學院的物理教授。1871 年，獲邀回劍橋大學創辦著名的卡文迪西實驗室，被聘為首任實驗物理講座教授。1879 年，死於任上，享年僅 48 歲。馬克士威 (James Clerk Maxwell, 1831 - 1879) 是 19 世紀最偉大的數學家 and 物理學家之一。他利用法拉第實驗發現的電磁感應現象，得以對電磁場精確地描述。他更進一步地假設電磁場一致作用，產生一種新的能量，稱之為「輻射能」。1864 年，**馬克士威**統合了原有電學和磁學的理論完成完整的電磁理論，現稱之為「**馬克士威方程式 (Maxwell's equations)**」，在電磁學中**馬克士威方程式**的重要性猶如力學中的牛頓運動定律一樣具有權威性。這理論預測有「電磁波」的存在，在真空中以光速傳播，**馬克士威**認為光波的本質是電磁波，而非機械波。1887 年赫茲 (Heinrich Hertz, 1857 - 1894) 發現電磁波，因此電磁波成為近代科學研究的重要一支。

電磁波的發現

馬克士威 (Maxwell) 提出電磁學方程式，預言空間存在電磁波，以及赫茲 (Hertz) 以實驗證實了電磁波的存在。

1855 年，**馬克士威**在劍橋哲學學會宣讀一篇「論法拉第的力線」的論文，使用場論的概念闡明法拉第力線的意義，讓這些觀念更精確化、定量化。

1862 年，他在英國的哲學雜誌上發表第二篇"論物理的力線"，提出了位移電流的觀念，在建立**馬克士威**描述電磁理論的方程式裏，這是一個相當重要的關鍵。

1864 年**馬克士威**在倫敦皇家學會宣讀 (1865 年發表) 論文「電磁場的動力學理論」，這篇論文將他之前的科學家在電磁學這個領域所有的發現做了一次總整理，並且再加入自己的研究成果，成功地將所有的電磁現象統一起來，而建立起電磁學領域裡，著名的**馬克士威方程式**。

1864 年，**馬克士威**建立了關於電磁場的方程式，首次從理論上預言了電磁波的存在，同時也提出光的電磁波理論，而電磁波的運動規則，可由**馬克士威**的方程式來描述。**馬克士威**的方程式表示，變化的磁場會產生電場，而位移電流造成變化的電場，又會產生磁場；如此反覆不斷，在空間中形成電磁波。由此可知，位移電流的概念是電磁波理論的前提。**馬克士威**藉由這些簡單又美麗的方程式，闡述了電磁學的理論基礎，同時揭示了電磁現象和光現象之間的統一性，而這都是在人類尚未「發現」電磁波之前。

1873 年，**馬克士威**出版「電磁通論」，歷經兩世紀庫倫、厄斯特、安培、法拉第等人的努力，最後在馬克士威的手中，古典電磁學終於統一。這部巨著闡述電磁學理論，其重要性媲美1687 年牛頓在力學上的巨著「自然哲學數學原理」，更與1859 年達爾文在進化論上的成果「物種起源」相提並論。**馬克士威**提出的方程式，「預言」了電磁波的存在，並沒有去「證實」它。

1879 年**馬克士威**逝世，享年48 歲，八年以後赫茲終於以實驗發現了電磁波，驗證了馬克士威的預言；雖然他未能親眼目睹，但自此電磁學的理論更加完備，各類相關發展也更多采多姿。

電與磁的統合

在法拉第發現電磁感應的現象後，統一電學與磁學的理論工作，接著由十九世紀最偉大的物理學家—**馬克士威**完成。他把庫侖定律、安培定律、法拉第定律與磁力線的封閉性質，以簡潔、優美、嚴謹的數學組成一組方程式，構成電磁學的核心理論。這組方程式通稱為**馬克士威方程式**，於 1864 年寫下。所有已知的電磁現象，都可從這組方程式中解出。**馬克士威**從電磁感應的理論演算中，預測電磁波的存在，所算出電磁波的傳波速率，恰等於當時已直接測出的光速，因此他認為光就是電磁波的一種。**馬克士威**有關電磁波的預測，直到 1888 年，才被德國人赫茲證實。赫茲利用火花放電的原理產生電磁波，並利用線圈偵測到它的存在。

研究經過

馬克士威在讀了法拉第的「電的實驗研究」之後，它的電磁學論文分為三次發表。在一八五五年的「關於法拉第的力線」，他提出力線可以推展到靜電學、靜電感應及磁感應等。但在後半部，他表示「封閉的電流等於是薄薄的一層磁殼，磁殼的強度由電流的強度決定。」，他又用電張量關係(力矩位能)來表達法拉第的電磁感應法則。法拉第非常欣賞他的數學才華，寫信給馬克士威稱讚他在一八六一到一八六二年的「關於物理的力線」這篇論文，他把磁力線視作一種「漩渦粒子」來研究，同時也採用變位電流的想法。由這些想法，發現了傳導於介質內的電磁波的概念，因而計算出電磁波的速度，且得出幾乎與光速一樣。**馬克士威**認為那不是偶然的，於是提出光也是電磁波的大膽假設，並根據幾個基本實驗的事實寫下「**馬克士威方程式**」。由於他的方程式過於複雜，不容易被學界所接受。直到赫茲將馬克士威的方程式整理成簡易的四個方程式之後，才為一般科學家所接受，也因而**馬克士威**在理論物理學方面留下了出眾的成績。

馬克士威方程式

馬克士威方程式統整和修正了原有磁學中的安培定律 ($\nabla \times \mathbf{H} = 4\pi/c \mathbf{J} + 1/c \partial \mathbf{D} / \partial t$) 和 法拉第定律 ($\nabla \times \mathbf{E} = -1/c \partial \mathbf{B} / \partial t$)，以及原有電學中的高斯定律 ($\nabla \cdot \mathbf{D} = 4\pi \rho$) 和 歐姆定律 ($\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$)，式中描述的磁場強度 \mathbf{H} ，電場強度 \mathbf{E} ，電位移 \mathbf{D} ($\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$)，電荷密度 ρ ，傳導電流 \mathbf{J} ($\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$)， $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ ， ϵ 是介質的電容率， μ 是磁導率，向量運算子 $\nabla \equiv (\partial / \partial x, \partial / \partial y, \partial / \partial z)$ 。在真空中 ϵ_0 與 μ_0 又和光速 c 有 $\epsilon_0 \mu_0 = 1 / c^2$ 的關係。

馬克士威繼承法拉第的基本思想，但以「場」來取代假想的「力線」。利用電場與磁場作為基本物理量，他著手整理當時的電磁理論，以數學式精煉出四個定律，分別是電的高斯定律、磁的高斯定律、法拉第定律，以及經他修正過的安培定律。原則上，宇宙間任何的電磁現象，皆為這四個定律所涵蓋。

(一) 電的高斯定律：大數學家高斯最先導出的方程式，描述電荷與周圍電場之間的關係。這個定律的前身即著名的庫侖定律，但它屬於超距學派的定律，描述兩個帶電質點之間的作用力。庫侖定律等於是電學中的牛頓重力定律，甚至連公式都很類似。

(二) 磁的高斯定律：這個方程式指出孤立的磁極絕不存在，即磁南極與磁北極一定總是成對出現。

(三) 法拉第定律：這個方程式描述的是變動的磁場如何產生電場——這個現象是法拉第最偉大的物理發現。

(四) 安培定律修正版：安培定律原本是描述電流如何產生磁場，馬克士威卻發現變動的電場也可以產生磁場。因此這個方程式所描述的，是磁場如何由電流與變動的電場共同產生。

馬克士威於一八五五年開始研究電磁學，發表上述方程組則是一八六四年的事。這十年當中，他所做的都是理論工作，即嘗試利用自己超群的數學天份，將前人的結果寫成正確的數學式。他所以能發現安培定律有漏洞，也是根據數學中的線索，也就是說他用數學導出了「變動的電場可產生磁場」這個結論。這點與他的良師益友法拉第完全不同，法拉第數學程度相當差，倚仗的是豐富的想像力與苦幹實幹的毅力。

然而**馬克士威**的數學魔術還不止於此，在提出這組完美的方程組之後，他進一步在這些數學式中尋找新的物理現象，結果竟然以紙筆推算出電磁波的存在，甚至連波速都算了出來。巧合的是，這個理論中的波速竟然和當時已知的光速非常接近，因此他做出一個大膽的假設：電磁波是真正存在的物理實體，而可見光是電磁波的一個特例。

遺憾的是，在**馬克士威**有生之年，始終未能見證電磁波存在的客觀證據。直到一八八七年，赫茲（H.R. Hertz，1857-1894）才在實驗室中製造並測得電磁波，進而量到電磁波的波長與波速。當然，實驗數據與**馬克士威**的預測完全符合。

在赫茲宣布實驗結果後不久，義大利工程師馬可尼（G. Marconi，1874-1937）與俄國的波波夫（A.S. Popov，1859-1906）同於一八九五年分別實現了遠距離無線電傳播。進入二十世紀後，電磁波的每個波段（包括無線長波、無線短波、微波、紅外線、可見光、紫外線、X射線、 γ 射線）都找到了實用價值，成為人類不可一日或缺的夥伴。

• 熱學

熱學在此為熱力學、分子運動論、統計力學的泛稱，三者所研究的皆為與溫度有關的物理現象。從歷史發展觀之，這三門熱學支系各有千秋卻又相輔相成。最先出現的是巨觀的熱力學，緊接著是微觀的分子運動論，在這兩個理論的充分互動下，最後終於導致統計力學的誕生。而在這環環相扣的漫長發展中，**馬克士威**曾對分子運動論作出不朽的貢獻。

一八五九年，他首次在分子運動論中引進機率觀點，導出氣體分子的速度分布定律，即著名的「**馬克士威速度分佈**」，此乃由分子運動論邁向統計力學的一個重要里程碑。