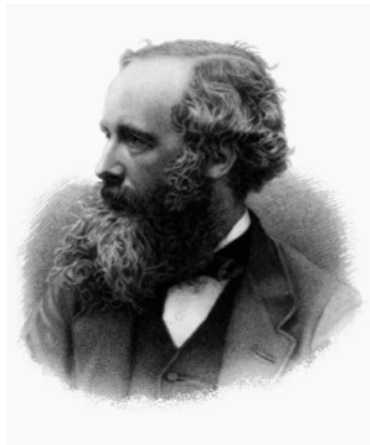


Les Equacions de Maxwell

Wikipedia

Figura 1: James Clerk Maxwell (1831–1879)



Introducció

LES EQUACIONS DE MAXWELL són un conjunt de quatre equacions que descriuen completament els fenòmens electromagnètics. La gran contribució de James Clerk Maxwell (Figura 1) fou reunir en aquestes equacions molts anys de resultats experimentals i investigacions teòriques, deguts a Coulomb, Gauss, Ampère, Faraday i altres, introduint els conceptes de camp i de corrent de desplaçament, i unificant els camps elèctrics i magnètics en un sol concepte: el camp electromagnètic. De les equacions de Maxwell, a més, es desprèn l'existència d'ones electromagnètiques propagant-se amb velocitat c , el valor numèric de la qual coincideix amb el valor de la velocitat de la llum en el buit, amb la qual cosa Maxwell va identificar la llum amb una ona electromagnètica, unificant l'òptica amb l'electromagnetisme.

Formulació

La formulació moderna de les equacions de Maxwell és deguda a Oliver Heaviside i Josiah Willard Gibbs, que en 1884 reformularen les equacions originals de Maxwell en un sistema abreujat utilitzant notació vectorial. La formulació original de Maxwell data de 1865 i contenia 20 equacions de 20 variables. La formulació vectorial resultava especialment atractiva perquè remarcava les simetries intrínseques en les equacions fent més fàcil la seva utilització.

Les equacions de Maxwell són les que es mostren a la Taula 1; i reben el nom de les lleis que reformulen:

- Les equacions 1 i 2 reben el nom de *Lleis de Gauss*
- L'equació 3 rep el nom de *Llei de Faraday*
- L'equació 4 rep el nom de *Llei d'Ampère-Maxwell*

Els símbols emprats a les fórmules estan detallats a la Taula 2.

Història

Maxwell va consagrar la labor més extensa de la seva vida a l'electricitat. La seva contribució més important va ser l'ampliació i la formulació matemàtica de treballs previs sobre electricitat i magnetisme de Michael Faraday, André-Marie Ampère i altres en un conjunt interrelacionat d'equacions diferencials (originalment, 20 equacions amb 20 variables, posteriorment reformulades en un quaternió i notacions basades en vectors). Aquestes equacions, conegudes ara col·lectivament com equacions de Maxwell, foren presentades per primera vegada a la Royal Society el

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_i \quad (1)$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (2)$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_{\partial C} \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S} \quad (3)$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} + \frac{d}{dt} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad (4)$$

Taula 1: Equacions de Maxwell

Símbol	Magnitud
Q	Càrrega elèctrica
\vec{B}	Inducció Magnètica $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$
\vec{D}	Desplaçament Elèctric $\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$
\vec{S}	Àrea de la Superfície Gaussiana d'Integració
\vec{E}	Camp Elèctric
\vec{H}	Camp Magnètic
\vec{j}	Densitat de Corrent Elèctric

Taula 2: Símbols Emprats

1864 i juntes descriuen el comportament dels camps elèctric i magnètic, així com les seves interaccions amb la matèria.

Maxwell va mostrar que les equacions prediuen l'existència d'ones de camps elèctrics i magnètics oscil·latoris que viatgen pel buit a una velocitat que es podria conèixer mitjançant experiments senzills; fent servir les dades disponibles aleshores, Maxwell va obtenir una velocitat de 310.740.000 m/s. En Una teoria dinàmica del camp electromagnètic, un assaig de 1864, Maxwell escrigué:

La concordança dels resultats sembla revelar que la llum i el magnetisme són afecçons de la mateixa substància i que la llum és una pertorbació electromagnètica propa-

gada a través del camp d'acord amb les lleis electromagnètiques.

Es va demostrar que la teoria de Maxwell era correcta i la seva connexió quantitativa entre llum i electromagnetisme es considera un dels grans triomfs de la física del segle XIX.

Per aquell temps, Maxwell creia que la propagació de la llum requeria un medi per a les ones, anomenat èter lumínic. Gradualment, l'existència de tal medi, aparentment indetectable pels instruments mecànics malgrat que impregnava tot l'espai, era cada vegada més difícil de conciliar amb experiments com el de Michelson-Morley. Encara més, precisava d'un sistema de referència absolut en el qual les equacions eren vàlides, amb el resultat desagradable que aquestes canviaven de forma per a un observador en moviment. Aquests esculls motivaren Albert Einstein a enunciar la teoria de la relativitat especial i en el procés Einstein prescindí de la necessitat d'un èter lumínic.

Impacte

(Els treballs de Maxwell)... el més profund i profitós que ha experimentat la física des dels temps de Newton.

— Albert Einstein