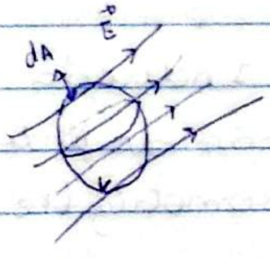
As Equações de Maxwell representam um marco na física ao unificar, matematicamente, os fenômenos da eletricidade e do magnetismo. Elas foram postuladas por James Clerk Maxwell no século XIX e consagram conceitos essenciais para a física e Engenharias, sendo a base teórica para diversas inovações tecnológicas.

A primeira equação, conhecida como Lei de Gauss para campos elétricos ($\vec{E}$), afirma que o fluxo do campo elétrico (ϕ_E) envolvido por uma superfície fechada é proporcional a razão da carga envolvida (Q_{INT}) pela superfície pela permissividade (ε_0). Ou seja,



$$\Phi_E = \oint\!\!\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{INT}}{\varepsilon_0} \quad (1)$$

(Lei de Gauss para $\vec{E}$ na forma integral)

Essa equação (1) também pode ser escrita na forma diferencial, aplicando o Teorema da Divergência,

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (2)$$

sendo ρ a densidade de cargas volumétrica.

A segunda equação é a Lei de Gauss para campos magnéticos ($\vec{B}$), afirma que o fluxo é zero. De acordo com esta lei, há a confirmação na inexistência de monopólos magnéticos. Diferente das linhas de campo elétrico que começam e terminam em cargas, as linhas de campo magnético formam curvas fechadas. Todo ímã tem seu polo norte e sul, mesmo que ele seja partido, ainda haverá polo norte e sul. Em campos magnéticos, a exigência de, ao menos, dipolos magnéticos. Matematicamente,

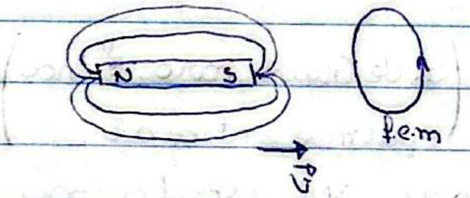
$$\oint\!\!\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0 \qquad (3)$$

(Lei de Gauss para $\vec{B}$ na forma integral.)

Aplicando o Teorema da Divergência, é possível ~~escrever~~ escrevê-la na forma diferencial,

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0 \qquad (4)$$

A terceira lei, conhecida como Lei da Indução de Faraday, afirma que a variação do fluxo magnético Φ_B gera uma força eletromotriz (f.e.m ou ε) induzida.



$$\Phi_B = \int \vec{B}\cdot d\vec{S} \; , \qquad (5)$$

$$\varepsilon = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \qquad (6) \quad \text{(Lei de Faraday)}$$

Aplicando o Teorema de Stokes, é possível escrevê-la

$$\vec{\nabla}\times\vec{B} = -\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \qquad (7)$$

A indução eletromagnética de Faraday é o princípio de funcionamento de geradores e transmissores elétricos.

A quarta equação de Maxwell foi responsável por ampliar a Lei de Ampère, até então

$$\int \vec{E}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot i \qquad (8)$$

considerava apenas a corrente estacionária. Entretanto, como na física a simetria desempenha papel crucial, se anteriormente, a variação do fluxo magnético gerava corrente, o que aconteceria se ~~o~~ fosse o inverso, se houvesse variação do campo magnético. Diante dessa questão, Maxwell adicionou a corrente de deslocamento (idesl), que surge ao variar o campo elétrico no tempo. Elaborando a quarta equação, conhecida como lei de Ampère-Maxwell,

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 i_{desl.} \quad (9)$$

Macroscopicamente,

$$\oint \vec{E}\, d\vec{l} = \iint (\mu_0 \vec{J} + \mu \vec{J}_{desl.})\, d\vec{S} \quad (10)$$

sendo $\vec{J}$ a ~~corr~~ densidade de corrente e $\vec{J}_{desl.}$ a densidade de corrente de deslocamento.

Aplicando o Teorema de Stokes,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (11)$$

Dessa forma, quando o campo elétrico não é variável no tempo, a equação perde o segundo termo e retorna a sua forma original.

As equações de Maxwell confirmaram a existência das ondas eletromagnéticas, inclusive que a luz é uma onda eletromagnética, unificando o eletromagnetismo e a óptica.

Essa afirmação foi comprovada posteriormente com experimentos de interferência e difração da luz.

Assim, as Equações de Maxwell, juntamente com as ondas eletromagnéticas são a base para diversas aplicações como rádios, televisores, micro-ondas, satélites, exames medicos (raio-x, ressonância magnética), fibras ópticas, dentre outros, sendo essenciais para o bom funcionamento e modernidade ~~em~~ no cotidiano.