INSTITUTO DE FÍSICA – UFRGS
FÍSICA II–C (FIS01182)
Método Keller

UNIDADE XIII

A LEI DE AMPÈRE

I. – Introdução:

O estudo da produção de campos magnéticos por correntes elétricas em condutores foi iniciado na unidade anterior. Especificamente, você calculou campos magnéticos produzidos por distribuições arbitrárias de correntes através da Lei de Biot–Savart.

Nesta unidade ainda abordaremos a produção de campos magnéticos por cargas em movimento. Mais especificamente, serão calculados os campos magnéticos criados por correntes elétricas estacionárias através da *Lei de Ampère*, que é um caso particular de uma lei mais geral, a *Lei de Ampère–Maxwell* (ou Lei de Ampère *generalizada*), que é descrita pela equação

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \;=\; \mu_0 \left(i \;+\; \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right) \;, \tag{1}$$

mostrando que *um campo magnético* $\vec{B}$ *pode ser produzido por uma corrente elétrica* i ou *pela variação (temporal) do fluxo do campo elétrico* $\vec{E}$, Φ_E.

Quando não se consideram campos elétricos variáveis com o tempo (caso desta unidade), a equação acima reduz–se a

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \;=\; \mu_0 i \;, \tag{2}$$

que é conhecida como Lei de Ampère e que descreve a produção de campos magnéticos por correntes elétricas. A Lei de Ampère é uma das leis fundamentais do Eletromagnetismo. Ela nos diz que *a integral de linha sobre um caminho fechado do campo magnético* $\vec{B}$ *produzido por correntes é proporcional à corrente líquida que atravessa a superfície limitada pelo caminho de integração*.

A Lei de Ampère é muito semelhante à Lei de Gauss, inclusive quanto à sua aplicabilidade a problemas práticos. Comparando as expressões analíticas da Lei de Gauss ($\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q$) e da Lei de Ampère, vemos que a primeira envolve a integral de superficie $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$, e a segunda, a integral de linha $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$, o que limita a aplicabilidade destas leis em casos práticos. A Lei de Ampère só é útil para calcular campos magnéticos criados por correntes que apresentem uma simetria suficientemente adequada para permitir uma fácil determinação da integral de linha, mas isto não quer dizer que esta lei não seja geral; apenas torna–se difícil aplicá–la de maneira conveniente para distribuições de correntes que não tenham simetria suficiente. Ela se constitui em um instrumento de cálculo para campos magnéticos semelhante à Lei de Gauss no caso de campos elétricos. Outra similaridade entre as duas leis consiste no fato de que o campo ($\vec{E}$ ou $\vec{B}$) que aparece na integral é o campo total na superfície (Gauss) ou na linha (Ampère), e não somente o campo devido a carga ou corrente internas, como muitas vezes se é levado a pensar.

A analogia entre a Eletrostática e a Magnetostática, já comentada na unidade anterior fica agora mais evidente, e pode ser resumida no quadro a seguir.

	Leis que podem ser usadas para o cálculo de campos de distribuições arbitrárias de cargas ou correntes elétricas	Leis gerais, porém úteis no cálculo de campos somente quando há simetria suficiente
Eletrostática	Coulomb: $$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}$$	Gauss: $$\oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$
Magnetostática	Biot–Savart: $$dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\frac{dl\ sen\theta}{r^2}$$	Ampère: $$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

Nesta unidade você estudará o campo magnético produzido por um fio percorrido por uma corrente elétrica, a interação entre dois condutores paralelos percorridos por correntes elétricas e a definição do Ampère como unidade de corrente elétrica e também campos magnéticos em solenóides.

Uma grandeza associada ao campo magnético $\vec{B}$ é o *fluxo magnético* Φ_B, que é dado por $\Phi_B = \int \vec{B}\cdot d\vec{s}$, completamente análogo ao fluxo elétrico Φ_E. Você fará uso do conceito de fluxo magnético quando estudar a *Lei de Faraday*.

Na próxima unidade, serão estudados os problemas inversos aos estudados nas duas últimas unidades, i.e., *campos (e correntes) elétricos criados por campos magnéticos* .

II. – Objetivos: Ao término desta unidade você deverá ser capaz de:

1) Enunciar verbal e analiticamente a Lei de Ampère, explicando o significado de cada um de seus termos.

2) Calcular, por meio da Lei de Ampère, o campo magnético $\vec{B}$ devido à distribuições de correntes que apresentem simetria definida.

3) Calcular fluxos magnéticos.

4) Calcular forças que fios retilíneos conduzindo correntes exercem entre si.

5) Definir o Ampère como unidade de corrente elétrica.

III. – Procedimento sugerido:

{ Livro–texto: Fundamentos de Física, D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, vol. 3, 4ª ed., LTC, 1996.}

1. Objetivo 1:
   a) Leia as seções 31–3 e 4 do livro–texto.
   b) Entenda a definição de Ampère como está apresentada na pág.188.
   c) Responda à questão 8.
   d) Resolva os problemas 35 e 38.

2. Objetivo 2:
   a) Leia a seção 31–5 do livro–texto.
   b) Considerando a eq.(16): Se $i = 0$, $\vec{B}$ é necessariamente nulo? E se $\vec{B} = 0$, i é necessariamente nula?
   c) Responda às questões 7, 11, 13 e 14.
   d) Explique, usando a *regra da mão direita*, como se determinam a direção e o sentido de $\vec{B}$ nas proximidades de um fio.
   e) Resolva os problemas 34, 41, 46, 47 e 51.

3. Objetivo 3:
   a) Leia a seção 31–6 do livro–texto.
   b) Responda à questão 17.
   c) Resolva os problemas 53, 61 e o problema abaixo *.

Um toróide tem seção retangular de base b e altura h ($h << b$), raios internos R_1 e externo R_2 ($R_2 = R_1 + b$), é formado por N espiras e percorrido por uma corrente i. Calcule o fluxo magnético que passa através de uma seção, desprezando a variação de $\vec{B}$ ao longo da altura da seção.

IV. – Respostas dos problemas:

Capítulo 31

(*) $\Phi_B = \frac{\mu_0}{2\pi} iNh \; ln\frac{R_2}{R_1}$

34) $|\vec{B}| = 8 \times 10^{-5}\ T$; o vetor $\vec{B}$ está contido no plano da página, orientado para cima.

38) $3,2 \times 10^{-3}\ N$, dirigida para o fio.