

ENSINO DE ELETROMAGNETISMO NO CURSO DE BACHARELADO EM FÍSICA—ELABORAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DE TEXTO

Oswaldo Camargo Botelho dos Santos
Suzana Salem Vasconcelos (Orientadora)

(IFUSP) osvaldo.santos@usp.br

(IFUSP) suzana@if.usp.br

O estudo da teoria do eletromagnetismo é extremamente importante na formação de físicos. É uma teoria bonita e elegante, com enorme potencial de aplicação, que, ao unificar diferentes áreas da física, tornou-se um paradigma. Além disso, desempenhou papel relevante na gênese da teoria da relatividade e contribuiu para o processo de desmecanização da matéria que acabou levando à concepção atual do universo.

Um texto didático sobre o eletromagnetismo clássico foi elaborado por professores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo e tem sido adotado, pelos mesmos, nas disciplinas Física III e IV, semestrais, do curso de Bacharelado em Física. O conteúdo e a forma de apresentação dos temas são diferenciados em relação a livros usualmente utilizados em disciplinas introdutórias ao eletromagnetismo, especialmente no segundo volume, Física IV. A abordagem escolhida visa aprofundar a discussão e compreensão de aspectos físicos da natureza; mostrar que não são estanques, ao contrário, estão relacionados; incentivar o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos com consequente apropriação dos conteúdos estudados. Pretende-se que os estudantes adquiram familiaridade com as ferramentas matemáticas necessárias para o estudo dos fenômenos físicos, sem perderem de vista a imagem da natureza que as expressões matemáticas descrevem.

O projeto em andamento consiste na leitura crítica do texto, de aproximadamente 600 páginas, dividido em dois volumes. O objetivo é propor eventuais modificações, concluir capítulos incompletos, elaborar exercícios e sugerir a realização de experimentos para demonstração.

O primeiro volume, Física III, apresenta os conceitos básicos do eletromagnetismo clássico e “constrói” as quatro equações de Maxwell na forma integral e diferencial. O esquema apresentado na Figura 1 relaciona as equações de Maxwell com conceitos físicos abordados no livro. É importante salientar que esta representação não é um mapa conceitual, mas sim um diagrama esquemático que ilustra relações entre as fontes de campos e os campos elétricos e magnéticos. Na Figura 2 podemos visualizar as equações de Maxwell nas formas diferencial e integral.

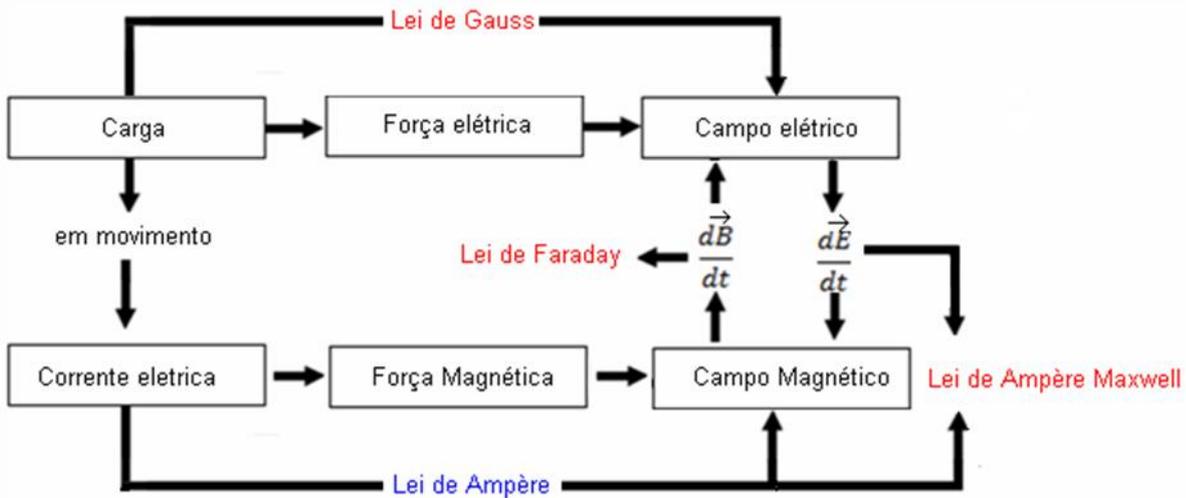


Figura 1- Diagrama esquemático relacionando conceitos físicos com as equações de Maxwell

equações de Maxwell			
nome	conceito	forma integral	forma diferencial
Gauss elétrica	$q \rightarrow \vec{E}$	$\oiint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \iiint_V \frac{\rho}{\epsilon_0} dV$	$\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon_0$
Faraday	$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \rightarrow \vec{E}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \hat{n} dS$	$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Ampère Maxwell	$I \rightarrow \vec{B}$ $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \rightarrow \vec{B}$	$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \iint_S \left[\mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right] \cdot \hat{n} dS$	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
Gauss magnética	\cancel{q}_{MAG}	$\oiint_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$

Figura 2- As equações de Maxwell

O segundo volume, Física IV, apresenta o estudo de aplicações das equações de Maxwell: circuitos elétricos, ondas eletromagnéticas no vácuo e em meios materiais; da relatividade especial; de transformações relativísticas de campos; de radiação. Ambos os livros estão divididos em aulas e cada uma delas corresponde ao conteúdo discutido em uma aula das disciplinas Física III e IV do curso de bacharelado do IFUSP. É de se esperar que, após a leitura dos livros, o estudante consiga relacionar os conceitos estudados no texto de Física III com o conteúdo discutido no texto de Física IV.

A título de ilustração, apresentamos dois exemplos de situações físicas discutidas nos volumes de Física III e IV. O primeiro deles se refere a uma aula de título *Lorentz ou*

Faraday: movimento relativo entre fio com corrente e espira. Nessa aula é feita a análise de um fenômeno físico - o surgimento de corrente induzida em uma espira – nos dois referenciais, do fio e da espira. No primeiro a caso, a explicação para o fenômeno está baseada na força de Lorentz e, no segundo, na lei de Faraday. O seguinte exemplo é resolvido:

Um sistema é formado por um fio muito longo percorrido por uma corrente I e por uma espira quadrada, de lado L e resistência R , coplanar com o fio. O fio e a espira aproximam-se a uma velocidade constante v , sendo que no instante $t = 0$ a distância entre eles vale a . Supomos $v \ll c$, para evitar efeitos relativísticos.

- Explique e calcule a corrente induzida na espira, no referencial do fio.*
- Explique e calcule a corrente induzida na espira, no referencial da espira.*
- Calcule o campo elétrico criado pelo fio no plano dessa folha de papel, no referencial da espira.*
- Descreva detalhadamente o que acontece no interior da espira em cada caso.*

O exemplo aqui apresentado do livro de Física IV se refere a aspectos do funcionamento de uma linha de transmissão discutindo o funcionamento de um telefone com fio.

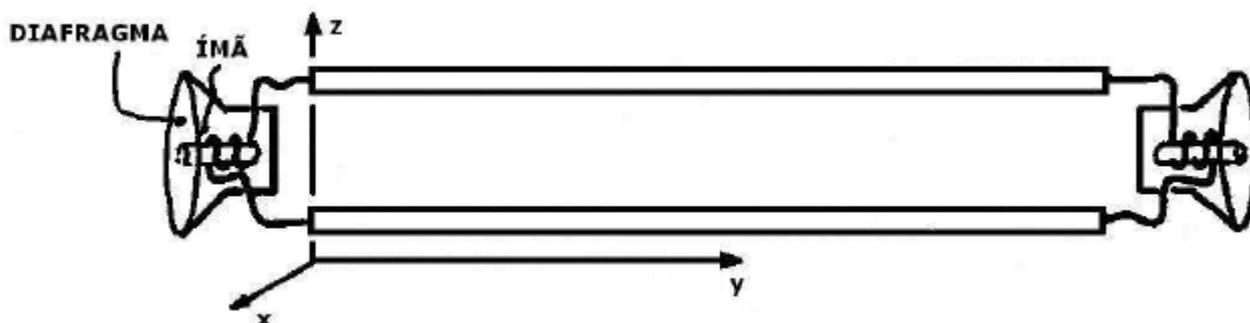


Figura 3 – representação esquemática de um telefone com fio

Um aparelho de telefone, para os nossos propósitos, pode ser considerado como sendo apenas um fone, feito de um diafragma preso a um ímã, como mostra a Figura 3. Este ímã constitui o núcleo móvel de um solenoide, cujas extremidades estão ligadas à linha de transmissão. Quando uma pessoa fala, as ondas sonoras fazem com que o diafragma vibre, causando também vibrações no ímã. Estas, por sua vez, induzem correntes elétricas no solenoide, ligado num dos extremos da linha de transmissão. As correntes levam cargas de uma das placas para a outra, causando o aparecimento de cargas de sinais opostos nas placas que constituem a linha e, conseqüentemente, de uma tensão descrita pela função $V(t)$. Esta tensão se propaga até o extremo oposto da linha, onde existe outro fone. Ao chegar lá, a tensão dá origem a uma corrente neste outro fone, que induzem campos magnéticos no interior do solenoide e que, por sua vez, causam vibrações no ímã. Estas são transmitidas ao diafragma, que faz vibrar o ar, reproduzindo

os sons emitidos no extremo oposto da linha. Os cálculos relativos a esse exemplo estão no livro.

A leitura crítica do texto de Física III já foi concluída e a análise do volume de Física IV está em andamento com previsão para ser concluída até o final da bolsa.

Ao desenvolver o trabalho de leitura crítica e aprimoramento do texto, o bolsista, além de estudar a teoria do eletromagnetismo, tem a oportunidade de fazer uma reflexão a respeito de como o assunto deve ser apresentado a alunos de graduação.

Os livros de Física III e IV foram elaborados pelos seguintes professores do IFUSP: José Luciano Miranda Duarte, Manoel Roberto Robilotta, Maria José Bechara e Suzana Salem Vasconcelos.

Agradecemos ao programa *Ensinar com Pesquisa* da Universidade de São Paulo pela bolsa concedida.