

# Prefácio

Nos primeiros dois volumes da coleção *Eletromagnetismo* apresentei, em detalhes, os fundamentos da Teoria Eletromagnética, sendo o primeiro volume dedicado, essencialmente, à Eletrostática, e o segundo, à Eletrodinâmica, Magnetismo e ao Eletromagnetismo propriamente dito, encerrando o volume II com as equações de Maxwell. Ainda que longe de encerrar o assunto, essa fundamentação teórica permite a passagem para o estudo de várias “aplicações” envolvendo as ideias vistas, e este último volume da série dedica-se justamente a essas aplicações.

O volume se inicia no capítulo 21, que apresenta a formulação eletromagnética em termos de potenciais e campos retardados. Inicialmente, a conexão entre os potenciais elétrico escalar e magnético vetorial e os campos elétrico e magnético é estabelecida, com a introdução da ideia de transformação de calibres (seção 21.1). Em seguida, dois calibres importantes são introduzidos, o calibre de Coulomb (seção 21.2) e o calibre de Lorentz (seção 21.3), e as equações de onda para os potenciais, nesses dois calibres, são estabelecidas. A solução destas equações é apresentada e discutida, em detalhes, nas seções 21.4, que introduz os potenciais e campos retardados, e 21.5, onde, efetivamente, as equações de onda são resolvidas por meio do método de funções de Green. Na continuação, o capítulo apresenta as equações de Jefimenko (seção 21.6), que constituem um método alternativo à determinação dos campos por meio dos potenciais, tendo a vantagem de relacionar diretamente os campos com as fontes geradoras dos mesmos. Em seguida, os potenciais e campos de Liénard-Wiechert, associados a cargas pontuais, são obtidos (seção 21.7), e as expressões para a Lagrangeana e Hamiltoniana de cargas pontuais submetidas a campos eletromagnéticos externos são desenvolvidas (seção 21.8). O capítulo 21 se encerra com a apresentação dos potenciais de Hertz, que são indicados para a discussão de problemas em que há meios polarizáveis e magnetizáveis (seção 21.9).

O capítulo 22 obtém as leis de conservação relacionadas ao Eletromagnetismo: da carga elétrica (seção 22.1), da energia (seção 22.2) e dos momentos linear (seção 22.3) e angular (seção 22.4). Discutimos, também, os efeitos da existência de

monopólos magnéticos, em particular aqueles relacionados à quantização da carga elétrica (seção 22.5).

Continuando, o capítulo 23 discute a propagação de ondas eletromagnéticas em diversos meios. Inicialmente, uma revisão envolvendo conceitos relacionados a ondas é apresentada na seção 23.1. Em seguida, apresentamos a propagação de ondas em vácuo (seção 23.2), em meios dielétricos (seção 23.3) e em meios condutores (seção 23.4). Depois, estudamos um modelo para a dispersão e absorção das ondas (seção 23.5), discutimos a superposição de ondas monocromáticas formando pacotes de ondas (seção 23.6), e apresentamos as relações de Kramers-Kronig (seção 23.7), verificando a questão da causalidade relaciona aos campos eletromagnéticos.

Após o estudo da propagação das ondas eletromagnéticas, no capítulo 23, a sequência imediata de assuntos consiste na discussão de fenômenos relacionados a essa propagação. Assim, no capítulo 24 investigamos os fenômenos de reflexão e transmissão de ondas eletromagnéticas em interfaces entre dois meios dielétricos em incidência normal (seção 24.1) e em incidência oblíqua (seção 24.2), e também em interfaces entre um dielétrico e um condutor (seção 24.3), tanto em incidência normal como em incidência oblíqua.

Na sequência, no capítulo 25 introduzimos condições de contorno ao problema de propagação de ondas, e temos, então, guias de ondas, onde ocorrem reflexões e transmissões, de modo que as ideias vistas nos capítulos 23 e 24 são fundamentais para a compreensão dos resultados obtidos. Iniciamos estudando a propagação em uma guia de ondas elementar, formada por dois planos condutores (seção 25.1), e estabelecemos um formalismo geral para uma guia de ondas genérica, em forma de tubo (seção 25.2), particularizando os resultados para uma guia de seção reta retangular (seção 25.2.1) e para uma guia de seção reta circular (seção 25.2.2). Ao final, investigamos as cavidades ressonantes (seção 25.3).

O estudo da emissão de radiação tem início no capítulo 26, que trata de cargas pontuais. Alguns casos particulares importantes são, então, discutidos. A seção 26.1 investiga a emissão de radiação em baixas velocidades, que é a situação “clássica” corriqueira, obtendo a fórmula de Larmor. Em seguida, na seção 26.2, é discutida a emissão que ocorre quando a velocidade e a aceleração da partícula carregada são colineares, como ocorre num acelerador de partículas linear. O caso geral é, então, apresentado, na seção 26.3, com a obtenção da fórmula de Liénard para a potência emitida. Em seguida, na seção 26.4, é estudado outro caso particular muito relevante atualmente, ligado à emissão de radiação por partículas em movimento circular, como ocorre durante a emissão de radiação síncrotron. Esta seção é complementada pela seção 26.5, que discute a distribuição da energia irradiada em termos de frequências.

A investigação da emissão de radiação continua no capítulo 27, onde a emissão

de multipolos e antenas é apresentada. Inicialmente, são investigados, na seção 27.1, dois multipolos especiais, o dipolo elétrico (seção 27.1.1) e o dipolo magnético (seção 27.1.2). Na sequência, são obtidos os resultados para uma distribuição qualquer de multipolos (seção 27.2), e apresentam-se os casos particulares da zona estática (seção 27.3) e da zona de radiação (seção 27.4). Em seguida, apresenta-se uma expansão em multipolos para os campos eletromagnéticos (seção 27.5), tanto numa região onde não há fontes (seção 27.5.1) como numa região onde elas existem (seção 27.5.2). Ainda considerando multipolos, a seção 27.6 mostra a distribuição angular da potência irradiada pelos multipolos, enquanto a seção 27.7 discute a distribuição angular da energia e do momento angular associados aos multipolos.

O capítulo 28 trata do fenômeno que é o mais característico do comportamento ondulatório, a difração. A descrição de tal fenômeno é relativamente complicada, e iniciamos com uma discussão qualitativa da difração relacionada ao princípio de Huygens (seção 28.1). Depois, apresentamos a teoria escalar de difração (seção 28.2) e a aplicamos para a difração de Fraunhofer (seção 28.3), investigando quatro casos particulares relevantes: fenda única (seção 28.3.1), fenda dupla e múltiplas fendas (seção 28.3.2), fenda retangular (seção 28.3.3) e fenda circular (seção 28.3.4). Em seguida, discutimos a difração de Fresnel (seção 28.4), introduzimos uma expansão das ondas eletromagnéticas em termos de ondas esféricas (seção 28.5) e analisamos o espalhamento por uma esfera condutora (seção 28.6) e o espalhamento Thomson (seção 28.7).

O capítulo 29 apresenta o fenômeno não usual e bastante interessante da reação de radiação, a qual ocorre pelo fato de as partículas carregadas não serem, efetivamente, pontuais, combinado com a velocidade finita de propagação dos campos eletromagnéticos. Com isso, a carga produz força sobre si mesma, gerando resultados inesperados. Inicialmente, é discutido um modelo simples baseado em conservação de energia (seção 29.1). Em seguida, apresenta-se um modelo mais aprimorado (seção 29.2), e obtém-se a fórmula de Abraham-Lorentz. Por fim, desenvolve-se um modelo clássico para a reação de radiação associada a um elétron, proposto por Lorentz (seção 29.3), com a discussão de algumas implicações físicas.

O capítulo 30 apresenta a conexão entre o Eletromagnetismo e a Relatividade Restrita, ou especial, apresentando a formulação relativística em termos de quadri-vetores, para o Eletromagnetismo. Inicialmente, são apresentados os princípios relativísticos de Galileu (seção 30.1) e de Einstein (seção 30.2), com a discussão de efeitos relacionados à simultaneidade (seção 30.2.1), à dilatação do tempo (seção 30.2.2) e à contração de comprimento (seção 30.2.3). Em seguida, são apresentadas as transformações de Lorentz e a ideia de quadri-vetores (seção 30.3), discutindo-se as leis de transformação para algumas grandezas cinemáticas. A Mecânica Relativística é, então, apresentada (seção 30.4). O capítulo se encerra com a apresentação, na seção 30.5, das transformações associadas com os campos eletromagnéticos, intro-

duzindo os tensores de campo, os quadrivetores densidade de corrente e potencial, e o operador d'Alembertiano quadridimensional.

Dois apêndices fazem parte deste volume. O apêndice G detalha a resolução das equações de Helmholtz que aparecem com muita frequência ao longo do texto, introduzindo também as funções de Bessel esféricas (seção G.1), e uma expansão, utilizando essas funções, para a função de Green associada à equação de Helmholtz (seção G.2). O apêndice H, por sua vez, discute o funcionamento de lentes esféricas, tanto delgadas (seção H.1) como espessas (seção H.2), introduzindo o método matricial, válido para lentes esféricas quaisquer.

Este volume encerra a coleção *Eletromagnetismo*, mas está longe de esgotar o assunto relacionado aos fenômenos eletromagnéticos, que é, realmente, bastante vasto. Um dos principais objetivos da obra é o de tornar o Eletromagnetismo mais palatável, desmistificando pontos obscuros e gerando uma melhor compreensão dos fenômenos físicos. Espero ter alcançado esse objetivo, tendo em conta, ainda, que o livro se propõe a estimular a formulação de perguntas, despertando a curiosidade pela pesquisa, tanto teórica quanto experimental. Parabênzo novamente a Todapalavra Editora pelo excelente trabalho editorial realizado e solicito que sugestões, críticas e comentários sejam enviados a ela ou diretamente a mim.

*Kleber Daum Machado*  
*Departamento de Física*  
*Universidade Federal do Paraná*  
*kleber@fisica.ufpr.br*  
*<http://fisica.ufpr.br/kleber>*  
*10 de outubro de 2013*