

Prefácio

No primeiro volume da coleção *Eletromagnetismo* apresentei, de forma bastante detalhada e, espero eu, clara, grande parte da teoria ligada ao tópico do Eletromagnetismo denominado Eletrostática, em que se supõe que a movimentação de cargas que, porventura, exista no sistema, já tenha se encerrado, atingindo uma situação de equilíbrio elétrico. O objetivo era simples, a saber, apresentar o formalismo do Eletromagnetismo, iniciando com a Eletrostática, de uma forma detalhada e acessível às pessoas em geral e, em particular, aos estudantes de cursos de Física, Química e Engenharias em todas as modalidades. Assim, no volume I iniciamos a partir das ideias básicas da existência de cargas elétricas, passando pelo estudo das interações entre elas, introduzindo o conceito de campo elétrico e continuando com a análise do potencial eletrostático por meio de várias ferramentas teóricas disponíveis. Apresentamos também relações envolvendo energia armazenada no campo elétrico e chegamos a um dispositivo, o capacitor, que foi o primeiro elemento de circuito por nós estudado.

O próximo passo nessa sequência lógica de ideias consiste em relaxar o vínculo de equilíbrio estático, permitindo movimento ordenado de cargas e dando origem a correntes elétricas. Assim, o presente volume inicia com o estudo da Eletrodinâmica, começando justamente por situações em que há correntes elétricas estacionárias, ou seja, constantes. A partir desse ponto, surgem novos conceitos, como resistência e condutância elétricas, e aparecem dois novos elementos de circuito, os resistores e as fontes de força eletromotriz.

Inevitavelmente, a existência de correntes elétricas faz com que um novo fenômeno associado a elas surja. Temos então o Magnetismo, em que campos magnéticos são produzidos pela circulação de correntes. Assim, temos o outro campo vetorial relevante no Eletromagnetismo, o magnético, e partimos para o estudo desse novo campo. Iniciamos com a Magnetostática, ou seja, consideramos apenas campos magnéticos independentes do tempo, e introduzimos a força magnética e novas ferramentas teóricas, como os potenciais magnéticos vetorial e escalar.

Em seguida, passamos ao estudo de campos dependentes do tempo, entrando,

de fato, no âmbito do Eletromagnetismo. Surge então a indução eletromagnética, com a sua formalização matemática na forma da Lei de Faraday. De fato, do ponto de vista conceitual, é nesta área que mais se apresentam questões sutis, que precisam ser formalizadas corretamente e discutidas em detalhe, de forma a eliminar ou, pelo menos, minimizar erros conceituais. Com isso, ao final deste volume a teoria formal do Eletromagnetismo fica apresentada, em toda a sua plenitude, e o terreno para os tópicos a serem discutidos no volume III fica preparado. Uma sequência mais detalhada dos tópicos apresentados é dada a seguir.

O capítulo 13 introduz a ideia de correntes elétricas, discutindo algumas propriedades e grandezas associadas com a circulação de corrente elétrica. Aqui ocorre uma separação clara com relação ao regime eletrostático, visto que o vínculo que utilizamos até o capítulo 12 era o de que estávamos numa situação em que já havia cessado toda a movimentação de cargas. Agora, permitimos essa movimentação, o que implica a existência de agentes físicos responsáveis pela produção de correntes. Assim, definimos os conceitos de força eletromotriz (seção 13.1), resistência, condutância, resistividade e condutividade elétricas (seção 13.2), obtemos a equação da continuidade (seção 13.3) e estabelecemos condições de contorno para regiões onde há fluxo de correntes (seção 13.4). Na seção 13.5 temos uma visão microscópica da origem da resistência elétrica, e as seções 13.6 e 13.7 apresentam alguns efeitos associados a correntes elétricas, como os efeitos Joule, Seebeck e Peltier, entre outros. Este capítulo apresenta, ainda, os geradores e receptores elétricos (seção 13.8) e algumas experiências didáticas (seção 13.9).

O capítulo 14 trata dos resistores. Nele são apresentados os tipos de resistores (seção 14.1), seus modos de associação (seção 14.2), as leis de Kirchhoff para circuitos elétricos, incluindo aqueles com capacitores (seção 14.3), e alguns instrumentos de medida (seção 14.4). O capítulo se encerra com a apresentação de algumas experiências interessantes (seção 14.5).

O estudo do Magnetismo, e, em particular, da Magnetostática, inicia no capítulo 15, com a apresentação dos conceitos iniciais sobre o campo magnético e a lei de Biot-Savart, na seção 15.1. Na sequência, vemos a lei de Gauss para o Magnetismo, na seção 15.2, e a lei de Ampère, nas seções 15.3 e 15.4. Vários exemplos de aplicação são apresentados na seção 15.5, e algumas experiências envolvendo magnetismo, na seção 15.6.

O capítulo 16 trata da força magnética sobre cargas em campos magnéticos, nas seções 16.1, 16.2 e 16.3, em grau crescente de complexidade. A operação de ciclotrons e síncrotrons é discutida na seção 16.4, e a força de Lorentz é introduzida na seção 16.5, que apresenta também as experiências de Thomson, ligadas ao descobrimento do elétron como partícula elementar, e o efeito Hall. Em seguida, discutimos a força magnética sobre fios percorridos por corrente elétrica, na seção 16.6, passamos a uma apresentação da conexão entre Magnetismo e Relativi-

dade, na seção 16.7, e estudamos o comportamento de espiras sujeitas a campos magnéticos, o que leva à produção de motores elétricos, assunto importante atualmente, nas seções 16.8 e 16.9. Continuando, vemos aplicações ligadas aos dipolos magnéticos, na seção 16.10, passamos novamente ao estudo da força entre espiras, na seção 16.11, e investigamos a força magnética produzida sobre correntes superficiais, na seção 16.12. Por fim, temos algumas experiências na seção 16.13.

O capítulo 17 introduz alguns conceitos e ferramentas teóricas que serão necessários posteriormente, em particular no volume III. A seção 17.1 apresenta o potencial magnético vetorial, e a seção 17.2 discute exemplos de aplicação dessa grandeza ao caso extremamente relevante de um dipolo magnético. A seção 17.3 introduz o potencial magnético escalar, não tão conhecido quanto o potencial magnético vetorial, mas que, em certas situações, se torna bastante importante.

O Magnetismo na matéria é estudado no capítulo 18. Como fizemos quando estudamos Eletricidade, iniciamos com uma visão qualitativa dos fenômenos, na seção 18.1, de modo a desenvolver as ideias físicas envolvidas, e na seção 18.2 apresentamos o desenvolvimento formal. A seção 18.3 apresenta as condições de contorno relacionadas às interfaces entre meios materiais magnéticos, e uma visão quantitativa microscópica do Magnetismo é desenvolvida na seção 18.4, incluindo o estudo de materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos. Algumas aplicações elementares destas ideias são vistas na seção 18.5, e a seção 18.6 apresenta algumas experiências envolvendo os conceitos vistos.

A partir do capítulo 19, a restrição de que os campos não dependem do tempo é removida, e iniciamos, efetivamente, o estudo do Eletromagnetismo em toda a sua plenitude. Este capítulo apresenta a Lei de Faraday, que envolve fenômenos bastante interessantes e, ao mesmo tempo, intrigantes, particularmente sob o ponto de vista conceitual. A seção 19.1 mescla aspectos históricos, experimentais e teóricos relativos à Lei de Faraday, destacando pontos conceituais importantes que, frequentemente, são pouco discutidos, gerando interpretações errôneas de alguns fenômenos. Na sequência, os conceitos de indutância mútua e autoindutância são apresentados, na seção 19.2, e a seção 19.3 trata dos indutores, cujo funcionamento se baseia na Lei de Faraday. Em seguida, a energia associada ao campo magnético é apresentada na seção 19.5, e as forças e torques sobre sistemas de condutores são estudadas na seção 19.6. Por fim, a seção 19.7 apresenta algumas experiências interessantes envolvendo correntes induzidas.

O capítulo 20 inicia apresentando a correção de Maxwell à Lei de Ampère, que deve ser feita quando há campos elétricos variáveis no tempo, na seção 20.1. A partir deste ponto, temos as quatro equações de Maxwell em sua forma definitiva, como mostra a seção 20.2, envolvendo campos elétricos e magnéticos com dependência temporal. Uma consequência disso é que devemos levar em conta agora as condições de contorno para os campos, o que é feito na seção 20.3. O capítulo se encerra

com a apresentação, na seção 20.4, de como ficaria o Eletromagnetismo se cargas magnéticas fossem encontradas experimentalmente.

Dois apêndices fazem parte deste volume. O apêndice E apresenta o fenômeno da supercondutividade, iniciando com uma visão qualitativa, na seção E.1, passando por um modelamento quantitativo fenomenológico, na seção E.2, e introduzindo as equações de London, na seção E.3. Além disso, a teoria de Ginzburg-Landau e sua conexão com a quantização do fluxo magnético são apresentadas na seção E.4.

O apêndice F trata de circuitos envolvendo correntes elétricas variáveis. Ele pode ser entendido como um complemento ao capítulo 13, pois agora investigamos circuitos em que a corrente circulante é variável e, em particular, periódica, como a que usamos em nossas casas. Apresentamos alguns geradores e motores, na seção F.1, passamos a circuitos elementares de corrente contínua, como os circuitos RC, RL, LC e RLC, na seção F.2, e, em seguida, encerramos o apêndice estudando alguns circuitos de corrente alternada, na seção F.3.

Espero que o livro continue contribuindo para uma desmistificação do Eletromagnetismo, gerando uma melhor compreensão dos fenômenos físicos, que ele responda a possíveis perguntas e dúvidas e, principalmente, que estimule a formulação de novas, despertando a curiosidade pela pesquisa, tanto teórica quanto experimental. Parabéns novamente a Todapalavra Editora pelo excelente trabalho editorial realizado e solicito que sugestões, críticas e comentários sejam enviados a ela ou diretamente a mim.

Por fim, gostaria de dedicar este volume à minha querida mãe.

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