
DEMONSTRE EM AULA: CORRENTES INDUZIDAS

Francisco Catelli
Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul – RS

Resumo

A atenuação do movimento pendular de uma lâmina de material não ferroso no interior de um campo magnético gerado por um eletroímã, bem como a queda de um pequeno magneto no interior de um tubo condutor não ferromagnético são demonstrações bem conhecidas das correntes induzidas. O advento de novas tecnologias na fabricação de ímãs permite, como é descrito neste artigo, a duplicação deste fenômeno de indução em aula através de uma montagem onde o ímã oscila no lugar da lâmina.

I. Introdução

Uma demonstração bastante conhecidaⁱ das correntes induzidas (correntes de Foucault) mostra a atenuação do movimento pendular de uma lâmina de material não ferroso, alumínio, por exemplo, quando esta se move num campo magnético cujas linhas são perpendiculares ao seu plano. Este é um experimento que suscita bastante interesse nos alunos, mas que tem como inconveniente a necessidade de material de laboratório relativamente sofisticado.

Apareceram recentemente no mercadoⁱⁱ ímãs de neodímio-ferro-boro, ímãs estes que produzem um campo magnético de intensidade inacreditavelmente alta, tão alta que é bastante difícil separar dois destes ímãs, ligados pelos pólos opostos, simplesmente puxando-os (Ao manuseá-los, evite aproximá-los de relógios de ponteiro, disquetes, telas de TV ou monitores de computador, eles podem sofrer danos em função do campo magnético intenso.). Tais ímãs abrem, sem dúvida, o caminho para demonstrações espetaculares nas aulas que tratam da lei de Faraday. Uma delasⁱⁱⁱ consiste em deixar cair em queda livre um destes ímãs, primeiro por dentro de um tubo de PVC, e depois por dentro de outro tubo idêntico (mesmo comprimento e diâmetro), mas de material condutor e não ferroso (cobre, por exemplo). A queda por dentro do tubo condutor é notavelmente mais demorada!

Outra demonstração, que será descrita a seguir, baseia-se no mesmo princípio físico. A idéia é movimentar de maneira controlada um ímã (os de neodímio-

ferro–boro são os que produzem os resultados mais espetaculares), fazendo-o mover-se primeiro livremente, e em seguida próximo a uma lâmina de alumínio. No segundo caso, a atenuação do movimento será evidente.

II. Descrição da montagem

O ímã é movimentado através de um pêndulo, do qual ele constitui a massa. É sugerida uma suspensão como a da Fig.1, a qual evitará o movimento irregular deste. Visto que o ímã é pequeno, a linha para a suspensão pode ser a de costura, e a fixação desta nos suportes pode ser feita facilmente com fita adesiva.

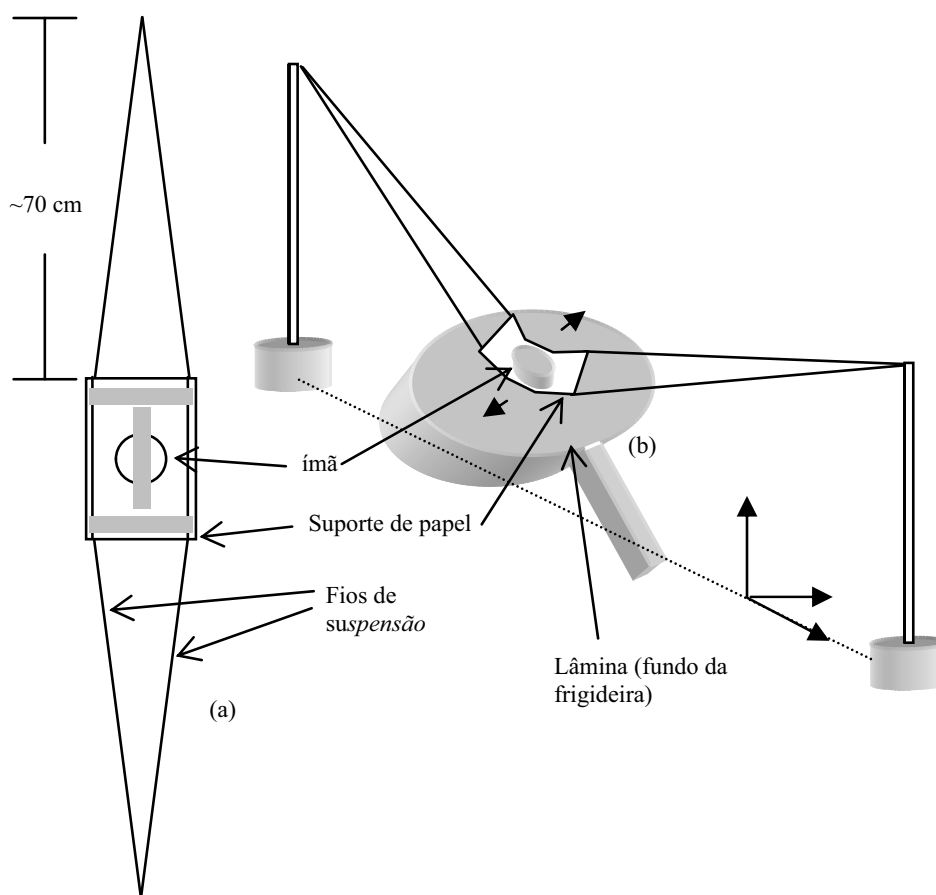


Fig.1: a) O ímã é colado com fita adesiva num pequeno retângulo de papel. Os fios de suspensão, de uns 80 cm de comprimento, são fixados conforme indicado. b) O pêndulo montado, com a lâmina (fundo da frigideira), situação na qual há grande atenuação do movimento.

A demonstração pode ocorrer na seguinte seqüência: inicialmente, o pêndulo é posto a oscilar, observando-se que o movimento sofre uma atenuação bastante pequena. Em seguida, de posse de uma lâmina de alumínio (nas demonstrações

em aula usamos o fundo de uma frigideira, por ser constituído de alumínio plano e bastante espesso), mostra-se que o ímã do pêndulo não atrai sensivelmente a lâmina (o que é natural, pois o alumínio não é ferromagnético). Coloca-se então a lâmina próxima ao ímã de tal modo que este, quando em repouso, fique a uns 5 mm ou menos de distância desta. Antes de colocar o pêndulo em movimento, é interessante perguntar aos alunos o que eles acham que vai acontecer. Após ter ouvido as opiniões, o pêndulo é posto a funcionar e... surpresa! Ele não chega nem mesmo a completar uma oscilação completa! Com ímãs comuns, dotados de campos magnéticos menos intensos, o efeito aparece de maneira menos evidente: o pêndulo cessa seu movimento ao cabo de umas 15 oscilações completas – ele oscilaria mais vezes se a lâmina não estivesse presente. Outro detalhe a ser considerado é a espessura da lâmina: o vulgarmente chamado “papel de alumínio”, empregado freqüentemente na embalagem de alimentos, não atenua visivelmente o pêndulo, certamente devido à maior resistência elétrica da lâmina (muito fina) a qual é responsável pela pequena intensidade das correntes induzidas. Caso existam condições, é interessante preparar também uma lâmina de alumínio (espessa: 1 mm ou mais) munida de cortes longitudinais, próximos uns aos outros: notar-se-á que a atenuação, neste caso, é muito menor.

III. Interpretação

Há muitos livros bons que discorrem sobre o assunto das correntes induzidas (ver, por exemplo, a nota 1). Uma explicação resumida pode ser a que segue : imagine um anel “recortado” da lâmina (Fig.2); quando o ímã está longe, o campo magnético no interior deste anel é fraco, e cresce à medida em que o ímã se aproxima. A lei de Faraday prevê que a variação do fluxo magnético no tempo induz uma FEM ε :

$$\varepsilon = - d\phi_m/dt.$$

(Neste caso, é uma boa aproximação considerar o fluxo magnético ϕ_m como o produto do campo magnético “B” do ímã pela área “A” do anel). Como o anel é fechado (convém notar que a escolha deste é arbitrária, o mesmo raciocínio valeria para outros caminhos fechados) esta FEM induzida será responsável por uma corrente i e, em conseqüência, haverá uma dissipação de energia ao longo do tempo no anel que nada mais é do que a potência P:

$$P = \varepsilon i.$$

De onde vem esta energia dissipada? Sua origem é a energia mecânica do pêndulo, e se esta aparece sob forma de energia elétrica, é lógico que o movimento do pêndulo deve alentecer, até parar. Se desejado, a lei de Lenz pode ser discutida aqui: a corrente no anel tem um sentido tal que este se comporta como um dipolo magnético, de polaridade tal que, neste caso, o ímã seja repellido, “freando” seu movimento.

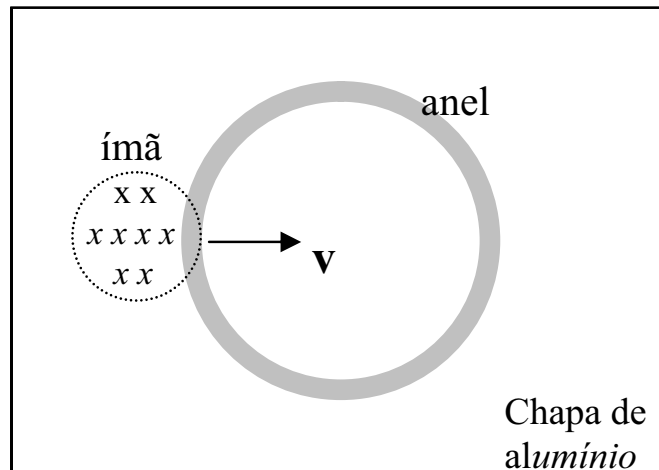


Fig. 2: O anel sombreado (escolhido arbitrariamente) é percorrido por uma corrente induzida quando o ímã se aproxima e passa por sobre ele. Qualquer outra espira fechada apresentaria o mesmo comportamento.

Para uma confirmação experimental mais efetiva destas correntes, pode-se substituir a lâmina por um solenóide sem núcleo, cujas extremidades sejam conectadas a um amperímetro sensível. Um solenóide de 600 espiras, ligado a um multímetro selecionado para uma escala de 1 mA, é suficiente para visualizar as correntes induzidas. O ideal é usar um pêndulo longo, com um comprimento ao redor de 1 m, oscilando com pequena amplitude, e um amperímetro analógico, de zero central. Este é certamente um momento precioso para levar os estudantes à descoberta de que a FEM induzida não depende apenas das grandezas campo magnético (B) ou área (A), mas da **variação** de uma, de outra, ou de ambas. Estas observações podem ser significativamente enriquecidas com o uso de um osciloscópio, caso esteja disponível.

Mas, além da idéia de variação, esta montagem oferece a possibilidade de explorar uma simetria deveras interessante: e se a chapa for movimentada, em vez do ímã? (Antes de executar o experimento, convém perguntar aos alunos o que eles acham que vai acontecer...) O fato é que o importante é o movimento **relativo** do ímã e do condutor, o que pode ser facilmente determinado de forma experimental. Historicamente, este aspecto está presente no famoso artigo de Einstein^{iv}, autêntico pilar da relatividade especial, intitulado “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”. Ele diz textualmente no primeiro parágrafo:

“Consideremos, por exemplo, as ações eletrodinâmicas entre um ímã e um condutor. O fenômeno observável depende aqui unicamente do movimento relativo do condutor e do ímã, ao passo que, segundo a concepção habitual, são nitidamente distintos os casos em que o móvel é um, ou o outro, destes corpos. [...]”
Annalen der Physik, 17 (1905).

IV. Conclusão

As vantagens indiscutíveis desta demonstração são os resultados plenamente convincentes que ela fornece, aliados a uma grande simplicidade instrumental. O custo resume-se ao ímã, e é baixo, considerando a variedade de demonstrações e explorações que ele permite. Mas o melhor de tudo, o que certamente mais motiva os estudantes – mesmo que estas idéias não sofram um aprofundamento posterior - é a beleza e o poder das interpretações físicas ligadas à simetria dos fenômenos eletromagnéticos estudados. Divirtam-se!

V. Notas e bibliografia

ⁱ Ver, por exemplo, os problemas 23 e 24 do capítulo 32, página 222 de Fundamentos da Física, volume 3, de HALLIDAY, Resnick e Walker. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1996 (4ª Edição). Um tratamento teórico mais detalhado sobre correntes induzidas pode ser encontrado em Raymond SERWAY, “Física”, volume 3, página 225. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1996 (3ª Edição).

ⁱⁱ Um fornecedor nacional de ímãs de Nd Fe B é CIDEPE - Rua Liberdade, 1468, CEP 92020 240 – Canoas – RS, tel/fax : 051.477.4909.

ⁱⁱⁱ NICKLIN, R. C., A. Graham e R. Miller (seção “Apparatus for teaching physics”) “*Lenz Law Demonstration for a Large Class*”. The Physics Teacher, vol. 35, janeiro de 1997, pp. 46 – 47. Ver também no mesmo número e seção, SAWICKI, Charles A. “*A dynamic demonstration of Lenz Law*”. The Physics Teacher, vol. 35, janeiro de 1997, pp. 47 – 49.

^{iv} EINSTEIN, Albert. “*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*”, em O princípio da Relatividade, da série “Textos Fundamentais da Física Moderna”, volume 1, página 47. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971.