



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

PARADOXO DA REALIZAÇÃO DE TRABALHO PELA FORÇA MAGNÉTICA

Marcelo da S. VIEIRA¹, Elder Eldervitch C. de OLIVEIRA², Pedro Carlos de Assis JÚNIOR³, Christianne Vitor da SILVA⁴, Félix Miguel de Oliveira JÚNIOR⁵

¹ Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campus VII, Patos-PB. E-mail: Marcelo.mib00@Yahoo.com.br. Telefone: (83)3421 1475.

² Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campus VII, Patos-PB. E-mail: elder2@ymail.com. Telefone: (83)3421 1475.

³ Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campus VII, Patos-PB. E-mail: pedrofisica@uepb.edu.br. Telefone: (83)3421 1475.

⁴ Departamento de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Campus I, Natal-RN. E-mail: christianne_matematica2005@yahoo.com.br. Telefone: (84)3421 1475.

⁵ Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campus VII, Patos-PB. E-mail: felixmojunior@Yahoo.com.br. Telefone: (83)3421 1475.

RESUMO

A força magnética não realiza trabalho sobre cargas elétricas, pois tal força devido ao surgimento de um campo magnético é sempre perpendicular ao seu deslocamento. No entanto existem situações do cotidiano que claramente ocorre trabalho devido à força magnética. Um exemplo disso é quando um ímã atrai um pedaço de ferro que estava inicialmente em repouso. Nesta situação é realizado trabalho sobre o pedaço de ferro e isso é devido ao surgimento da força magnética. Outro exemplo de realização de trabalho devido a essa força é o giro de um motor elétrico. O motor elétrico é constituído de espiras que giram devido ao torque exercido por essa força. Uma vez que a força magnética não realiza trabalho sobre cargas elétricas, como é possível explicar a realização de trabalho por tal força nos exemplos acima citado. O objetivo desse trabalho é explicar de forma clara e sucinta esse aparente paradoxo. A motivação de realizar este trabalho vem da necessidade que os livros textos de física básica até então usados nos primeiros semestres dos cursos de ciências e engenharia têm de explicarem claramente que a força magnética não realiza trabalho sobre cargas elétricas, mas os mesmos não explicam bem as situações práticas onde há a realização de trabalho devido à força magnética.

PALAVRAS CHAVE: força magnética, trabalho, campo magnético.

1 INTRODUÇÃO

Considere duas placas planas carregadas uniformemente: uma positivamente e a outra negativamente. Tais placas geram entre si um campo elétrico \mathbf{E} uniforme. Ao se colocar uma carga de prova q entre estas placas, será constatada a existência de uma força de origem elétrica agindo em q (ver Figura 1). Dessa forma o campo elétrico desempenha um “papel” de transmissor de interações entre cargas elétricas



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

(GASPAR, 2000). As bibliografias existentes referentes aos livros textos de física básica explicam de maneira clara o trabalho realizado por forças elétricas em cargas puntiformes (HALLIDAY, 1997).

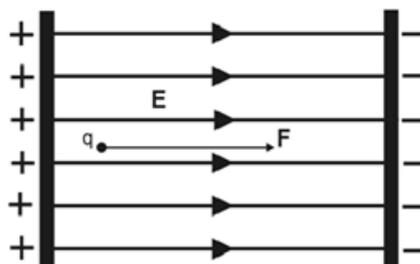


Figura 1 – Carga q imersa em um campo elétrico uniforme E , sob a ação da força F devido a este campo.

Observa-se que a carga desloca-se na mesma direção e sentido de força elétrica, havendo dessa forma realização de trabalho devido a essa força atuando sobre a carga. De fato, o trabalho da força elétrica é muito importante para aplicações práticas, como por exemplo, nos circuitos elétricos onde tal trabalho realizado serve de força eletromotriz para estes circuitos, ou na aceleração de cargas em robustos aceleradores de partículas (HALLIDAY, 1997). Porém, pouco se tem falado na bibliografia especializada a respeito do trabalho da força magnética. Grandes partes destes textos, não detalham muito sobre o assunto. Neste artigo objetivamos discutir alguns pontos interessantes e de suma importância a respeito da realização de trabalho devido a forças magnéticas, que não são bem explicados nos livros textos comumente utilizados. O público alvo deste artigo são estudantes de física, ciências e engenharia, além de professores de física e professores de áreas afins, uma vez que os mesmos tenham alguma familiaridade com os conceitos de eletrostática e magnetostática.

2 METODOLOGIA

Abordamos problemas clássicos da física básica sobre cargas elétricas inseridas em campos elétrico e magnético com o intuito de fortalecer o caminho para



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

(ii) O sentido é dado pela regra da mão direita, partindo de \mathbf{V} para \mathbf{B} .

(iii) O módulo desta força é dado por $F = qVB\sin\theta$. Em que, θ é o ângulo que \mathbf{V} forma com \mathbf{B} .

Como consequência dessas características, observa-se que a força magnética possui uma propriedade muito importante: ela é sempre perpendicular à velocidade da partícula e assim, perpendicular ao deslocamento da mesma. Logo, pode-se concluir que a força magnética não realiza trabalho sobre cargas elétricas. A Figura 2 ilustra tal fenômeno numa carga com velocidade \mathbf{V} imersa num campo magnético uniforme \mathbf{B} entrando no plano da página (TIPLER,1990).

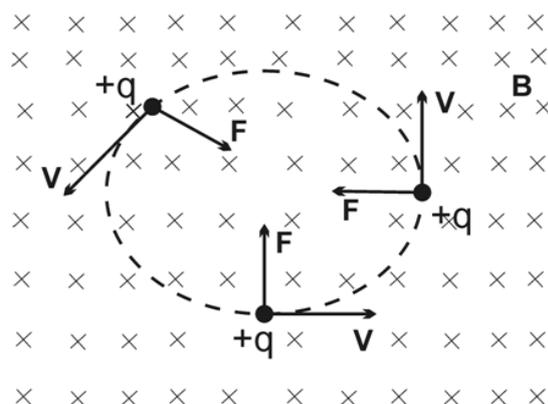


Figura 2 – Carga q movendo-se com velocidade V num campo magnético uniforme.

Como consequência da não realização de trabalho sobre cargas pela força magnética, não há variação de energia cinética sobre tais cargas. Sendo assim, o efeito dessa força sobre as cargas é de apenas defletir o seu movimento. Mas em sistemas macroscópicos de cargas em movimento num campo magnético, pode haver realização de trabalho devido ao surgimento desta força. Seria isto uma violação do princípio da não realização de trabalho por parte da força magnética em cargas elétricas? A resposta a este questionamento é NÃO. A seguir, mostrar-se-á alguns exemplos de sistemas macroscópicos em que isto acontece e uma explicação do mecanismo físico por trás dessa realização de trabalho será dada.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

Apresentaremos aqui o exemplo do fio condutor percorrido por uma corrente imersa num campo magnético uniforme e o de um motor elétrico.

3.2 FIO CARREGADO NA PRESENÇA DE UM CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

Como foi mencionada anteriormente, a força magnética atuante em uma carga em movimento é sempre perpendicular ao seu deslocamento. Vamos considerar agora o caso de um fio condutor retilíneo percorrido por uma corrente I , imerso num campo magnético \mathbf{B} , entrando no plano da folha (HALLIDAY, 1997). Nesse sistema observa-se algo interessante: ocorre um deslocamento no fio, paralelo à direção da força magnética que surge neste. A Figura 3 ilustra tal fenômeno.

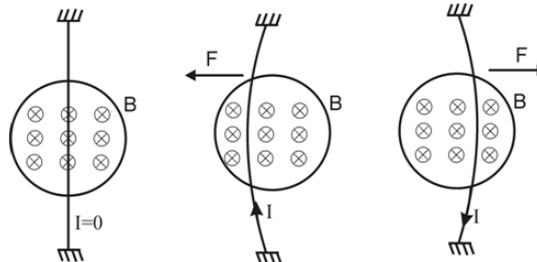


Figura 3 – Fio transportando uma corrente I na presença de um campo magnético B .

Na primeira situação, onde $I = 0$ nada acontece com o fio, pois neste caso as cargas estão em repouso e cargas em repouso não sofrem ação do campo magnético. Na segunda situação foi estabelecida uma corrente no sentido de baixo para cima, dessa forma observamos que surge uma força \mathbf{F} para a esquerda devido à regra da mão direita na lei da força magnética em fios condutores (NUSSENZVEIG, 1997), a qual desloca o fio também para a esquerda. Ou seja, há nesse caso a realização de trabalho no fio devido à força magnética. Na terceira situação o mesmo ocorre quando invertemos a corrente, com a diferença de que a força magnética surge para a direita e assim o fio passa a ser deslocado para a direita. Isso significa que há a realização de trabalho no fio devido à força magnética.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

Dessa forma surge o seguinte questionamento: Como explicar esse trabalho realizado? Primeiramente deve ser bem observado que a força magnética atuante no fio, nada mais é que a soma das forças que atuam nas cargas individuais que portam a corrente, em cada uma dessas cargas a força magnética é perpendicular ao deslocamento da mesma. Se estas cargas não estivessem vinculadas ao fio, elas percorreriam uma trajetória circular tal qual ilustrado na Figura 2, na qual a força magnética é sempre perpendicular ao deslocamento. Mas como as cargas estão vinculadas ao fio, as ligações químicas que as mantêm presas ao fio fazem com que elas ao tentarem defletir, “puxem” o fio. Aí é que está o “segredo” da realização do trabalho devido à força magnética atuando no fio. Quando estas cargas tentam defletir devido à força magnética que surge, estas transmitem energia cinética ao fio, pois estão presas a ele, devidas ligações de origem elétrica, havendo então a realização de trabalho sobre o fio condutor.

3.3 MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico, ver Figura 4 (www.google.com.br/imagens/motoreletrico), muito comum e bastante utilizado em diversos dispositivos é outro exemplo em que claramente ocorre realização de trabalho devido à ação da força magnética. Antes de passarmos a discutir a realização de trabalho da força magnética no motor elétrico, primeiramente vamos comentar brevemente o funcionamento desse motor. O princípio básico de funcionamento do motor elétrico é devido à ação de um campo magnético atuante numa espira condutora percorrida por uma corrente elétrica. Dessa forma, surge um torque na direção do eixo da espira (HALLIDAY, 1997).

A espira possui um momento de dipolo magnético \mathbf{m} , cuja direção e sentido são dados pela regra da mão direita e seu módulo é dado por (NUSSENZVEIG, 1997):

em que A é a área da espira, e I é a corrente que a percorre.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB



Figura 4 - Motor elétrico

Ao colocarmos a espira num campo magnético \mathbf{B} , o momento de dipolo da espira tende a se alinhar com este campo devido ao torque que surge, e tal fenômeno é ilustrado na Figura 5.

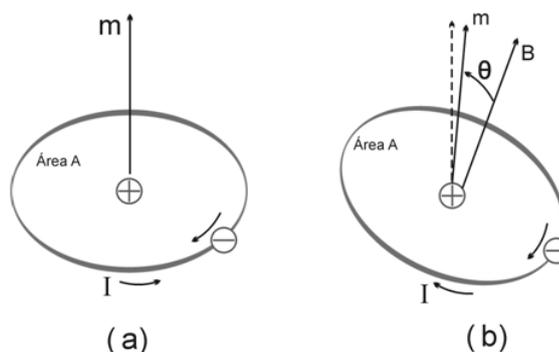


Figura 5 – Espira percorrida por uma corrente imersa em um campo magnético

No primeiro caso, ver Figura 5(a), tem-se uma espira percorrida por uma corrente com momento de dipolo magnético e em ausência de campo magnético. No segundo caso, Figura 5(b), observa-se uma tendência de alinhamento do momento de dipolo da espira com o campo magnético. O que podemos concluir disso é que ao colocarmos a espira no campo, este exerce um torque na espira que faz com que \mathbf{m} tenda a se alinhar com o campo \mathbf{B} (CUTNEL, 1992). Quando ocorre o alinhamento de \mathbf{m} com \mathbf{B} , a espira por inércia faz com que \mathbf{m} se desalinhe ligeiramente do campo \mathbf{B} , dessa forma fazendo com que a espira inverta o giro para que o alinhamento do dipolo com o campo magnético volte novamente a acontecer, fazendo assim com que o momento de dipolo da espira oscile em torno de \mathbf{B} . Se conseguirmos um



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

dispositivo que faça com que a corrente mude o sentido imediatamente após o dipolo se alinhar com o campo, ao invés do dipolo inverter o giro, este continuará o giro. Repetindo tal processo obtém-se um giro contínuo na espira e assim esta pode ser utilizada como um motor. Se a corrente na espira for contínua teremos o motor de corrente contínua.

A Figura 6 ilustra o esquema de um motor elétrico. Neste caso tem-se um ímã que é responsável por gerar o campo magnético necessário para que o motor funcione, tem-se ainda uma espira quadrada de dimensões L que é percorrida por uma corrente contínua I e tem-se um comutador, que é responsável por inverter o sentido da corrente para que a espira gire continuamente. Quando a espira está imersa no campo magnético gerado pelo ímã, está tende a alinhar seu momento de dipolo com o campo, mas quando isto ocorre, o comutador inverte a corrente para que a espira continue girando e assim exercendo a função de motor (CUTNEL,1992). Devido à ação do campo surge na espira um binário de forças, cuja intensidade é dada pela Eq.(02) e cuja direção e sentido são mostrados na Figura 6. Em que, L é o comprimento do lado da espira.

Ao ligarmos o campo magnético claramente se observa que há uma realização de trabalho no motor, pois nesse caso o torque devido ao binário de forças apresenta a mesma direção do deslocamento angular da espira.

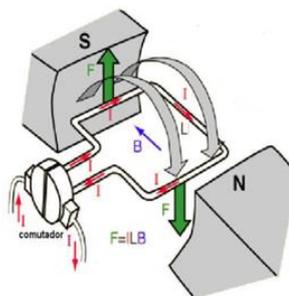


Figura 6 - Esquema de um motor elétrico



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

Podemos observar também na Figura 6 que a força magnética é sempre perpendicular ao deslocamento dos portadores de carga na espira. A mesma explicação para o trabalho realizado sobre o fio carregado num campo magnético vale para o trabalho da força magnética realizado no motor elétrico. Quando as cargas portadoras de corrente “sentem” o campo magnético, elas tentam defletir, porém como estão vinculadas à espira, elas transmitem energia cinética para esta, havendo dessa forma realização de trabalho.

4 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou de forma simples e prática uma explicação ao paradoxo do trabalho da força magnética, um questionamento até então muito pouco explicado nos livros texto de ciências e engenharia aos estudantes e profissionais da área. Conclui-se dessa forma por meio dos exemplos apresentados, que a força magnética pode perfeitamente realizar trabalho sobre sistemas. Tal feito é possível uma vez que as cargas portadoras de corrente nestes sistemas estão vinculadas a estes por ligações de origem elétrica e sendo assim, quando as cargas sofrem a ação da força magnética, elas transmitem energia cinética ao sistema, como foi explicado nos casos do fio condutor e do motor elétrico, havendo dessa forma realização de trabalho sobre tais sistemas. Além dos exemplos mostrados nesse artigo de sistemas macroscópicos na qual há a realização de trabalho devido à força magnética, a mesma explicação se estende a outros sistemas macroscópicos, como por exemplo, na atração e repulsão entre dois ímãs permanentes, nas quais também há trabalho devido ao surgimento da força magnética. E apesar desta força realizar trabalho sobre sistemas macroscópicos, como nos exemplos do artigo, tal força ainda obedece a uma de suas características mais fundamentais que é a de sempre ser perpendicular ao deslocamento das cargas portadoras de corrente.



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

REFERÊNCIAS

CUTNEL, JOHNSON. **Physics**. 4 ed. São Paulo: Wiley, 1992.

GASPAR, A. **Física 3**. 1 ed. São Paulo: Ática, 2000.

HALLIDAY, D. RENICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1997.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 3, Eletromagnetismo**. São Paulo: Blucher, 1997.

TIPLER, P. A. **Física**. Vol. 2, 2 ed. São Paulo: Guanabara, 1990.