

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01498 - SÃO PAULO - SP
BRASIL**

PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-806

**CONJUNTO EXPERIMENTAL PARA A
DEMONSTRAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE CAMPO
MAGNÉTICO E CORRENTE ELÉTRICA**

Alberto Gaspar
Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Setembro/1989

CONJUNTO EXPERIMENTAL PARA A DEMONSTRAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE CAMPO MAGNÉTICO E CORRENTE ELÉTRICA

Alberto Gaspar

Instituto de Física, Universidade de São Paulo
Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, SP, Brasil

Neste artigo apresentamos uma montagem simples, utilizando material de baixo custo, para verificações experimentais qualitativas na interação entre o campo magnético e a corrente elétrica. De início, como introdução, expomos as razões que nos levaram a elaborar esta montagem, em seguida apresentamos um esquema para a sua construção relacionando o material utilizado, a sua justificativa teórica e, finalmente, alguns comentários sobre possíveis dificuldades que a montagem possa apresentar e as formas de evitá-las.

1. INTRODUÇÃO

Sob o ponto de vista didático o eletromagnetismo costuma ser abordado a partir de três fenômenos básicos: I) ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica; II) geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica e III) geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável. Cada um destes fenômenos permite a elaboração de experimentos que possibilitam, numa primeira abordagem, uma visão panorâmica da teoria eletromagnética.

O conjunto experimental que apresentamos baseia-se no primeiro destes fenômenos e consta de quatro experimentos. Em dois deles, balança de corrente e condutor retilíneo (rolete) em campo magnético procuramos evidenciar a força que atua sobre um condutor

retilíneo percorrido por uma corrente elétrica, imerso num campo magnético. A relação bidimensional entre a orientação da corrente e os vetores força e campo magnético, que costuma ser trabalhada através de regras práticas (regras da mão direita ou esquerda), pode ser verificada em pelo menos quatro configurações.

Os dois outros experimentos são aplicações práticas do fenômeno. Um deles consiste num galvanômetro de bobina móvel que pode ser ligado em série com um reostato evidenciando a sua sensibilidade à variações da intensidade de corrente e, portanto, a possibilidade de sua medida. O outro é uma espira girante. Disposta convenientemente num campo magnético e possuindo um sistema comutador elementar, que permite ou não a passagem da corrente elétrica, ela mostra o princípio de funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua.

É interessante notar que os experimentos envolvem ainda conceitos de equilíbrio dos sólidos tais como centro de gravidade, momento de uma força e binário.

2. MONTAGEM E MATERIAL UTILIZADO

Descreveremos a seguir, detalhadamente, as etapas da montagem do conjunto. O material utilizado é especificado à medida que a montagem é descrita. Inúmeras adaptações são possíveis — é importante, entretanto, que se entenda bem a função de cada elemento para que essas adaptações sejam feitas adequadamente.

2.1. BASE

A base está representada na figura 1. Ela é feita de madeira medindo aproximadamente 15 cm x 30 cm e tem como elementos fixos dois suportes para pilhas grandes (tipo "D") ligados em série, um reostato de fio de níquel-cromo, dois "trilhos" de cobre para o movimento do rolete (c), dois suportes de cobre (d,e) para a balança, o

galvanômetro e a espira girante e uma chave (f), tipo campainha. Os fios de ligação são de cobre, sólidos, nº 18. O fio que liga o suporte de pilha ao trilho é intercalado por uma tomada para um pino, tipo banana (g), para que a ligação com o suporte (d) possa ser feita diretamente ou através do reostato. O fio que faz esta ligação deve ser flexível.

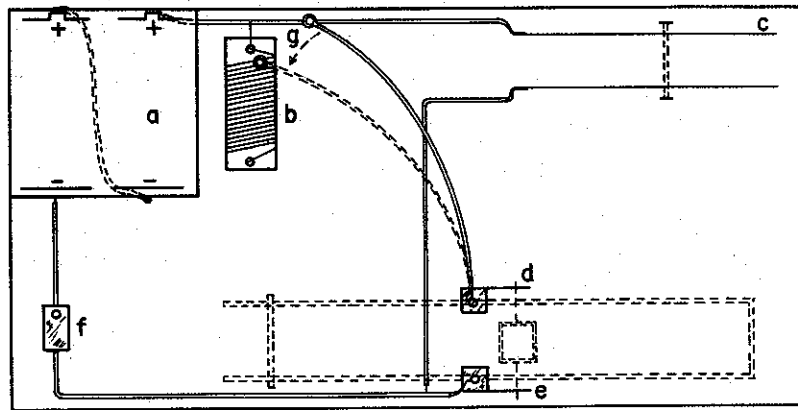


Fig. 1 - Base

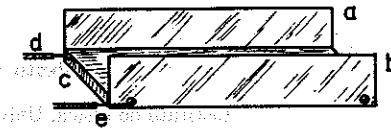
escala: 2cm

- a - suportes para pilhas
- b - reostato
- c - "trilhos" para o rolete
- d, e - suportes para a balança, galvanômetro e espira girante
- f - chave
- g - tomada para um pino

Os trilhos, representados na figura 2, são dois pedaços de chapa de cobre, retangulares, de 2 cm x 10 cm e 0,5 mm de espessura, fixados a um pedaço de madeira de 2,5 cm x 10 cm e 0,5 cm de espessura. Os parafusos que fixam as chapas de cobre à madeira servem também para fixar os fios de ligação.

Fig. 2 - Trilhos para o rolete

- a, b - chapas de cobre
- c - pedaço de madeira
- d, e - fios de ligação



Os suportes para a balança, etc. são feitos também de cobre recortados de acordo com o perfil da figura 3-a, elaborados e montados sobre a base como indicado nas figuras 3-b e 3-c. Os suportes têm uma fenda vertical (d) de aproximadamente 1 cm de altura por 1 mm de largura, que vão servir de mancal do eixo para o galvanômetro e a espira girante. Por essa razão essas fendas devem ter a mesma altura para que os eixos nelas apoiadas fiquem na horizontal.

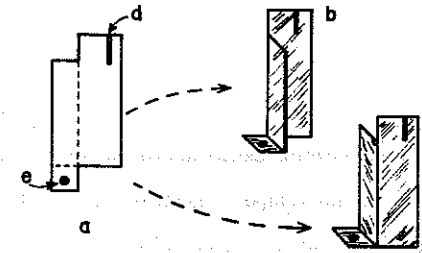


Fig. 3 - Suportes para balança

- a - formato do recorte da chapa. As linhas tracejadas representam as dobras que devem ser feitas em ângulo reto
- b, c - suportes montados
- d - fenda para o eixo de galvanômetro e da espira girante
- e - orifício para fixação do suporte à base através de parafuso

O interruptor tipo campainha é indispensável porque a corrente elétrica utilizada nos experimentos é muito alta (as pilhas são colocadas, praticamente, em curto-circuito) e, por isso, os circuitos só devem ser ligados por pouco tempo em cada experimento, caso contrário o desgaste das pilhas será muito rápido. Uma sugestão para um interruptor desse tipo está representada na figura 4. A melhor lâmina para o contato (figura 4-b) é de bronze, de 0,2 mm de espessura, devido à sua elasticidade.

O reostato é constituído por um fio de níquel-cromo, nº 30, enrolado numa base de plástico retangular de 2 cm x 5 cm, como indica a figura 5.

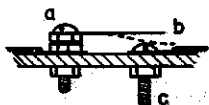


Fig. 4 - Interruptor

- a, c - parafusos com porca
- b - lâmina metálica flexível

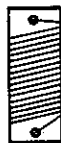


Fig. 5 - Reostato

2.2. ACESSÓRIOS

2.2.1. Balança de Corrente

A balança consta de um fio de cobre sólido, nu, de 2 mm de diâmetro dobrado em forma de U, com, aproximadamente, 20 cm de comprimento e 3 cm de largura, como está representado na figura 6-a. Como ele deve ser disposto horizontalmente sobre os suportes deve-se fazer, nas proximidades do seu ponto médio, duas dobras (figura 6-d) para que a balança tenha estabilidade. Convém ainda limar a parte inferior dessas dobras, para fazer um sulco de encaixe no suporte. Para possibilitar o equilíbrio da balança coloca-se na parte aberta do U um contrapeso feito de material isolante (acrílico, plástico, madeira, etc.). É conveniente que as dobras de apoio da balança fiquem um pouco mais próximas do

lado aberto do U onde é colocado o contrapeso para que a balança, sem o contrapeso, caia do lado fechado do U. Isto porque se ela cair do lado em que o contrapeso é colocado não será possível equilibrá-la.

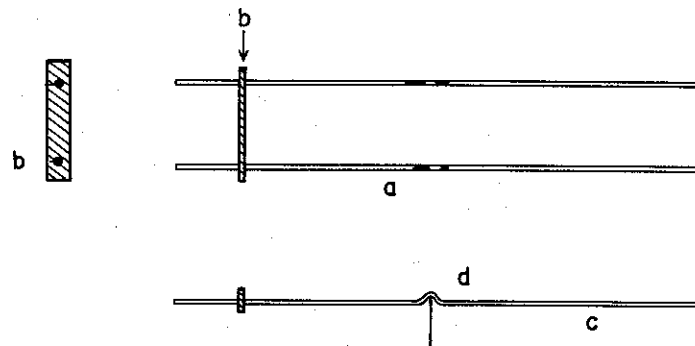


Fig. 6 - A balança de corrente

- a - balança vista de cima
- b - contrapeso de material isolante
- c - balança vista de lado
- d - dobra de apoio no suporte

2.2.2. Rolete

O rolete (figura 7) pode ser feito de um pequeno pedaço cilíndrico de 3 a 4 cm de comprimento e 2 a 5 mm de diâmetro, de metal não magnético, como latão, bronze, alumínio, cobre, etc.. Convém colocar nas extremidades do rolete guias, tipo haltere, que além de impedir que ele saia do trilho aumentam o seu peso o que facilita o seu contato com os trilhos. Essas guias podem ser feitas com cola tipo epoxi.

Fig. 7 - Rolete



2.2.3. Bobina Móvel do Galvanômetro

Utiliza-se um anel obtido da boca de um recipiente plástico (yakult, por exemplo) como suporte para o enrolamento da bobina. Coloca-se dentro da bobina, na direção do seu diâmetro um pedaço de madeira balsa, por exemplo, e espetam-se nele, atravessando a bobina, dois alfinetes de maneira que fiquem diametralmente opostos. Os alfinetes não devem se tocar, ou seja, não deve haver passagem de corrente, diretamente, através dos alfinetes, que são o eixo do galvanômetro. Em seguida enrolam-se a bobina com 10 a 20 voltas de fio fino de cobre esmaltado (nº 30, por exemplo). Descasca-se o fio nas extremidades e solda-se, uma extremidade de cada lado, a cada um dos alfinetes o mais próximo possível da bobina. Para isso pode-se tirar o alfinete, soldar o fio e recolocá-lo novamente. O ponteiro pode ser feito também de madeira balsa ou com um palito de dentes. Para que ele se mantenha na vertical quando apoiado nos suportes é preciso um contrapeso colocado sob a madeirinha que liga os dois alfinetes.

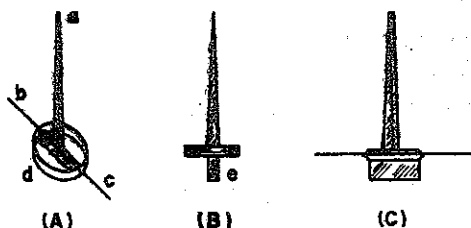


Fig. 8 - Bobina móvel do galvanômetro

(A) vista em perspectiva

(B) vista frontal

(C) vista lateral

a - ponteiro

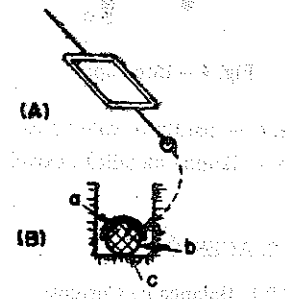
b, c - eixos (alfinetes)

d - bobina

e - contrapeso

2.2.4. Espira Girante

Modela-se com um fio de cobre esmaltado (nº 24, por exemplo) uma espira retangular de 2,0 cm x 1,5 cm, ou circular de 1,5 cm de diâmetro com 10 a 20 espiras (fig. 9-A). Os eixos são prolongamentos do próprio fio esmaltado, que devem ser convenientemente descascados. Para isso deve-se, inicialmente, colocá-la sobre os suportes e modelá-la de maneira que fique em equilíbrio horizontalmente. Em seguida descasca-se muito bem com um estilete a face inferior de ambos os lados do eixo (veja figura 9-B). É importante que o contato entre o eixo da espira e os suportes se dê, sempre, nessa posição. Na posição oposta, isto é, quando a espira estiver girada a 180°, não haverá contato elétrico porque o fio não foi descascado desse lado.



A - espira girante

B - eixo visto de frente

a - parte do eixo com capa

b - parte desencapada ou descascada do eixo

c - perfil da fenda do suporte

Fig. 9 - A espira girante

2.2.5. Ímã em U (Campo Magnético)

O campo magnético é obtido através de ímãs tirados de trincos magnéticos utilizados frequentemente em portas de armário. Estes ímãs são faciais, isto é, têm os polos localizados em suas faces (figura 10). Elas são colocadas nas extremidades superiores

de uma armação feita com uma chapa de aço (lata de óleo, por exemplo) de 2,0 cm de largura, dobrada na forma de um "U" de 4,5 cm de altura e 5,0 cm de largura (figura 11). Devem estar dispostos de maneira que o campo magnético de todos esteja na mesma direção e sentido, ou seja, que todos estejam se atraindo. Na nossa montagem, para que todos os experimentos funcionassem bem foi necessário usar quatro ímãs, dois de cada lado (fig. 11-a). É importante notar que a armação de suporte dos ímãs deve ser de material ferromagnético e em forma de U. Isto porque as linhas do campo magnético são sempre curvas fechadas e a armação, construída desta maneira, possibilita um caminho de retorno para essas linhas. Veja os esquemas da figura 12 em que se procurou evidenciar a diferença entre a configuração das linhas de campo sem a armação (fig. 12-A) e com a armação (fig. 12-B). Observe que a nossa armação não é tão eficiente como a esquematizada na figura 12-B porque suas paredes são muito finas. Este problema pode ser resolvido facilmente com a utilização de duas ou mais chapas superpostas ou uma chapa mais grossa.

os polos localizam-se nas faces do ímã

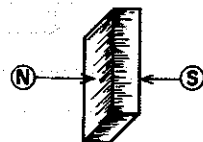


Fig. 10 - Ímã de trinco magnético

- a - ímãs de trinco magnético
- b - armação de lata (material ferromagnético)

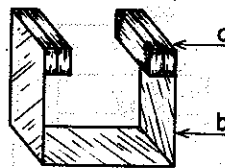


Fig. 11 - Ímã em U

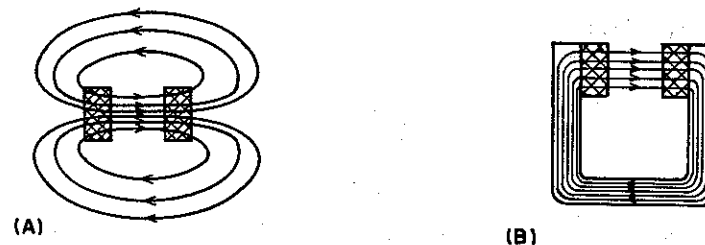


Fig. 12 - O campo magnético

- linhas de campo magnético sem a armação em U (A) e com armação em U (B).

2.2.6. Vetores \vec{F} , \vec{B} e \vec{l}

É interessante construir, em arame ou madeira balsa, um modelo representativo dos vetores \vec{F} , \vec{B} e \vec{l} que vai facilitar a análise qualitativa dos experimentos, onde \vec{l} é um vetor que tem a direção e o sentido da corrente elétrica (figura 13)

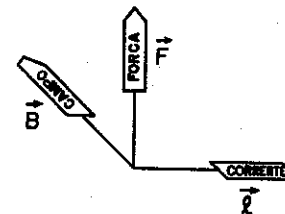


Fig. 13 - Vetores \vec{F} , \vec{B} e \vec{l}

3. PROCEDIMENTO E DISCUSSÃO

3.1. BALANÇA DE CORRENTE

Coloca-se a balança sobre o suporte equilibrando-a através do posicionamento adequado do contrapeso. Coloca-se o ímã em U na extremidade da balança. Veja figura 14. Liga-se a chave fechando-se o circuito. Verifica-se que a balança vai se desequilibrar movendo-se para cima ou para baixo, dependendo da posição do ímã em U, ou seja, do sentido do campo magnético.

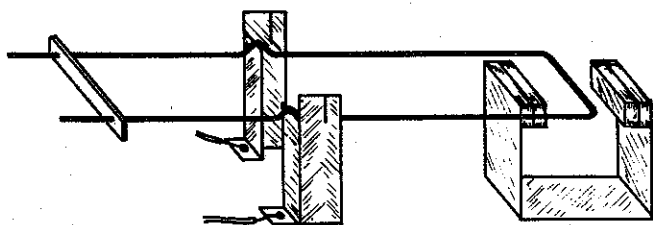


Fig. 14 - A balança de corrente

3.2. ROLETE

Coloca-se o ímã em U dentro dos trilhos de maneira que o campo magnético fique na direção vertical. Coloca-se o rolete sobre os trilhos paralelamente aos ímãs. Liga-se a chave fechando-se o circuito. Verifica-se que o rolete vai movimentar-se para frente ou para trás dependendo do sentido do campo magnético determinado pela posição do ímã em U. Veja figura 15.

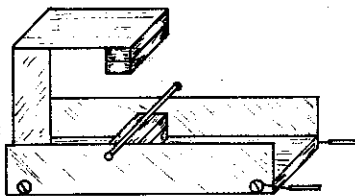


Fig. 15 - o rolete

3.3. DISCUSSÃO DO FUNCIONAMENTO DA BALANÇA E DO ROLETE

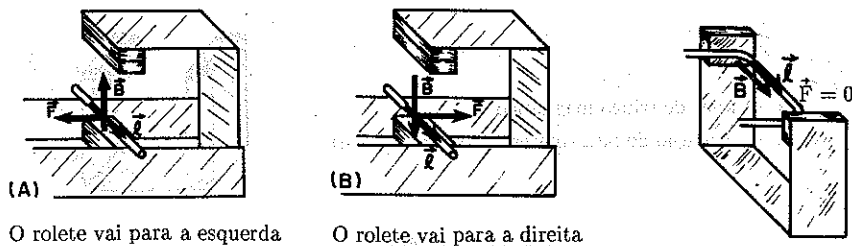
Estes dispositivos são aplicações diretas da força \vec{F} exercida sobre um condutor percorrido por corrente i , imerso num campo magnético \vec{B} , expressa pela relação $\vec{F} = i\vec{\ell} \times \vec{B}$ onde $\vec{\ell}$ é um vetor orientado ao longo do condutor, no sentido da corrente. Essa relação pode, em cada caso, ser verificada através das regras práticas da mão direita ou esquerda ou ainda, no nosso caso, pelo modelo representativo dos vetores \vec{B} , \vec{F} e $\vec{\ell}$ (veja figuras 16 e 17). Na nossa montagem o sentido da corrente, representado pelo vetor $\vec{\ell}$, é fixo e por essa razão variamos apenas o sentido do campo magnético. É possível, ainda, mostrar que, quando as direções do campo magnético e da corrente forem paralelas, a força é nula (veja a figura 18), o que evidencia o caráter vetorial da relação entre \vec{F} , $\vec{\ell}$ e \vec{B} .



(A) - A balança se desequilibra movendo-se para cima

(B) - A balança se desequilibra movendo-se para baixo

Fig. 16 - O funcionamento da balança



(A) O rolete vai para a esquerda

(B) O rolete vai para a direita

Fig. 17 - O funcionamento do rolete

Fig. 18 - $\vec{B} \parallel \vec{\ell}$

3.4. GALVANÔMETRO DE BOBINA MÓVEL

Coloca-se o ímã em U entre os dois suportes. Coloca-se a bobina móvel do galvanômetro apoiada nas fendas dos suportes de maneira que, em equilíbrio, ela fique imersa, horizontalmente, no campo magnético. Liga-se a chave e verifica-se que o galvanômetro gira para um dos lados. Retira-se o pino da tomada (reveja fig. 1, item 7) e, mantendo a chave ligada, percorre-se o reostato com esse pino fazendo variar a corrente. Verifica-se que a deflexão do ponteiro do galvanômetro varia à medida que varia a intensidade da corrente.

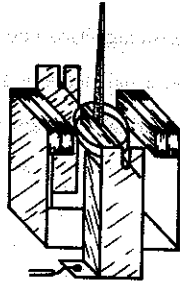


Fig. 19 — O galvanômetro

3.5. O FUNCIONAMENTO DO GALVANÔMETRO

Observe a figura 20-A. Como a corrente nos dois lados da bobina tem sentidos opostos e o sentido do campo magnético é o mesmo, as forças que atuam nesses lados terão sentidos opostos. Isso pode ser verificado facilmente com o modelo dos vetores. Essas forças, \vec{F} e $-\vec{F}$, formam um binário que atua sobre a bobina fazendo com que ela gire (no caso da figura, no sentido anti-horário). Entretanto, à medida que ela gira, o peso \vec{P} do conjunto bobina-ponteiro-contrapeso, que atua no seu centro de gravidade, CG, e a reação \vec{R} que atua no ponto de sustentação, PS, localizado no eixo, formam um binário que se opõe à rotação da bobina (veja a figura 20-B). Observe que a distância entre \vec{F} e $-\vec{F}$ diminui quando a bobina gira enquanto que a distância entre \vec{P} e \vec{R} aumenta, ou seja, o

momento do binário das forças \vec{F} e $-\vec{F}$ diminui enquanto o momento do binário das forças \vec{R} e \vec{P} aumenta. Quando ambos os binários tiverem o mesmo momento, em módulo, o conjunto bobina-ponteiro-contrapeso entra em equilíbrio. Se a corrente varia, variam os vetores de \vec{F} e $-\vec{F}$ e conseqüentemente varia a deflexão do ponteiro.

É importante notar que o centro de gravidade, CG, do conjunto bobina-ponteiro-contrapeso deve ficar abaixo do seu ponto de sustentação PS, e é por essa razão que utilizamos o contrapeso. É fácil ver que, quanto menor a distância entre PS e CG maior vai ser a deflexão do ponteiro para uma dada corrente i , ou seja, mais sensível será o galvanômetro.

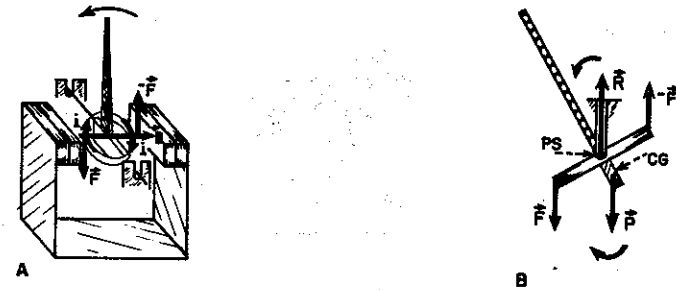


Fig. 20 — O funcionamento do galvanômetro

3.6. A ESPIRA GIRANTE

Coloca-se o ímã em U como no galvanômetro. Coloca-se a espira girante com seu eixo apoiado nos suportes. Ela deve permanecer em equilíbrio na posição horizontal (veja figura 21), quando existe contato entre o eixo e os suportes. Liga-se a chave e a espira começa a girar.

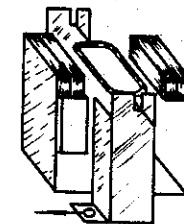


Fig. 21 — A espira girante

3.7. O FUNCIONAMENTO DA ESPIRA GIRANTE

O funcionamento da espira gigante é semelhante ao do galvanômetro: as forças \vec{F} e $-\vec{F}$ formam um binário que faz a espira girar (veja figura 22). Para que a espira gire num só sentido o eixo foi descascado apenas em um dos lados (veja figura 9-B). Dessa forma só existe contato enquanto a espira descrever um semi-ciclo em que o momento do binário das forças \vec{F} e $-\vec{F}$ têm um determinado sentido de rotação (veja figuras 23-A, 23-B e 23-C). No semi-ciclo seguinte, quando o sentido de rotação do momento do binário das forças \vec{F} e $-\vec{F}$ se inverte, o contato deixa de existir e, portanto, não há passagem da corrente (veja figuras 23-D e 23-E). Isso faz com que a espira gire sempre num só sentido. Se o eixo fosse inteiramente descascado a espira tenderia a oscilar ou giraria, ora num sentido, ora noutro.

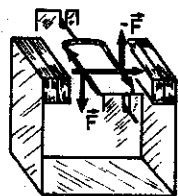


Fig. 22 - O funcionamento da espira girante - I

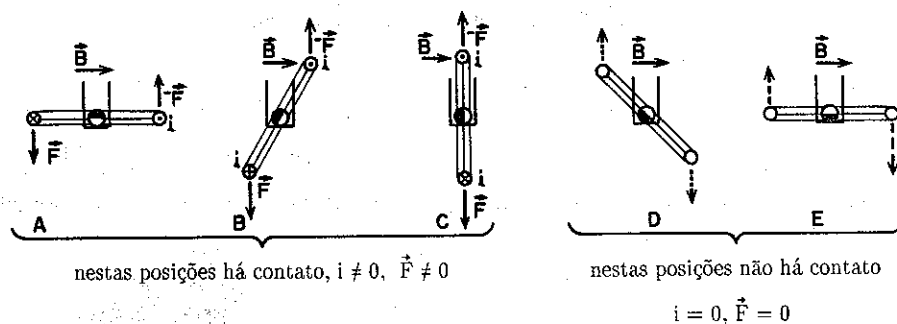


Fig. 23 - O funcionamento da espira girante - II

4. COMENTÁRIOS

O maior problema desta montagem é o mau contato que pode aparecer, principalmente entre o rolete e os trilhos e entre a espira girante e os suportes. Isto ocorre sobretudo devido à oxidação do cobre. Por essa razão, sempre que se pretende utilizá-los, eles devem ser novamente limpos ou raspados, com bom-bril ou estilete, nas áreas onde deve haver contato. Na balança e no galvanômetro este problema é menor entretanto, a limpeza é sempre útil porque, quanto melhor o contato, melhor o funcionamento dos experimentos.

O único metal magnético ou ferromagnético que deve ser usado é o do suporte dos ímãs (ímã em U). Os trilhos, o rolete, a balança e os suportes **não podem** ser construídos de metal magnético porque seriam atraídos diretamente pelos ímãs, inviabilizando os experimentos. Sugerimos a utilização do cobre porque é de fácil manuseio. Pode-se utilizar também o alumínio embora seja um material muito difícil de ser soldado o que, as vezes, pode ser necessário.

A utilização de duas pilhas grandes, em série, é necessária apenas para o rolete, o que exige uma corrente muito alta para funcionar bem. Para os demais experimentos bastaria uma só pilha.

É bom lembrar ainda que ao se montar um experimento **deve-se desmontar o outro**. Assim, quando se coloca o rolete nos trilhos **deve-se retirar a balança do suporte**, ao se colocar o galvanômetro no suporte **deve-se retirar o rolete dos trilhos** e assim por diante.

Quanto à sua aplicação no ensino este conjunto tem sido utilizado por nós, com excelentes resultados, tanto para alunos dos mais variados níveis de escolaridade como para professores de Ciências e Física em cursos de treinamento.

Finalmente gostaríamos de agradecer ao professor Ernst Hamburger pela revisão e valiosas sugestões feitas a este trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, B. e MÁXIMO, A., Curso de Física, 3º vol., Editora Harbra, 1986.

MORETO, VASCO P., Eletricidade e Eletromagnetismo, Editora Ática, 1988.

Projeto de Ensino de Física, IFUSP, Eletromagnetismo, MEC/FENAME/PREMEN, 1976.

RESNICK, R. e HALLIDAY, H., Física, 3, Livros Técnicos e Científicos Editora, 198

TIPLER, PAUL A., Física 2, Editora Guanabara Dois, 1978.

KOSNETSOV, H., Fundamentos de Eletrotécnica, Editorial MIR, 1967.

1954

The following information is for the use of the
personnel of the Department of the Interior
and the Bureau of Land Management in the
Department of the Interior, Bureau of Land
Management, Washington, D. C. 20250
and the Bureau of Land Management, Denver,
Colorado.

