

PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA

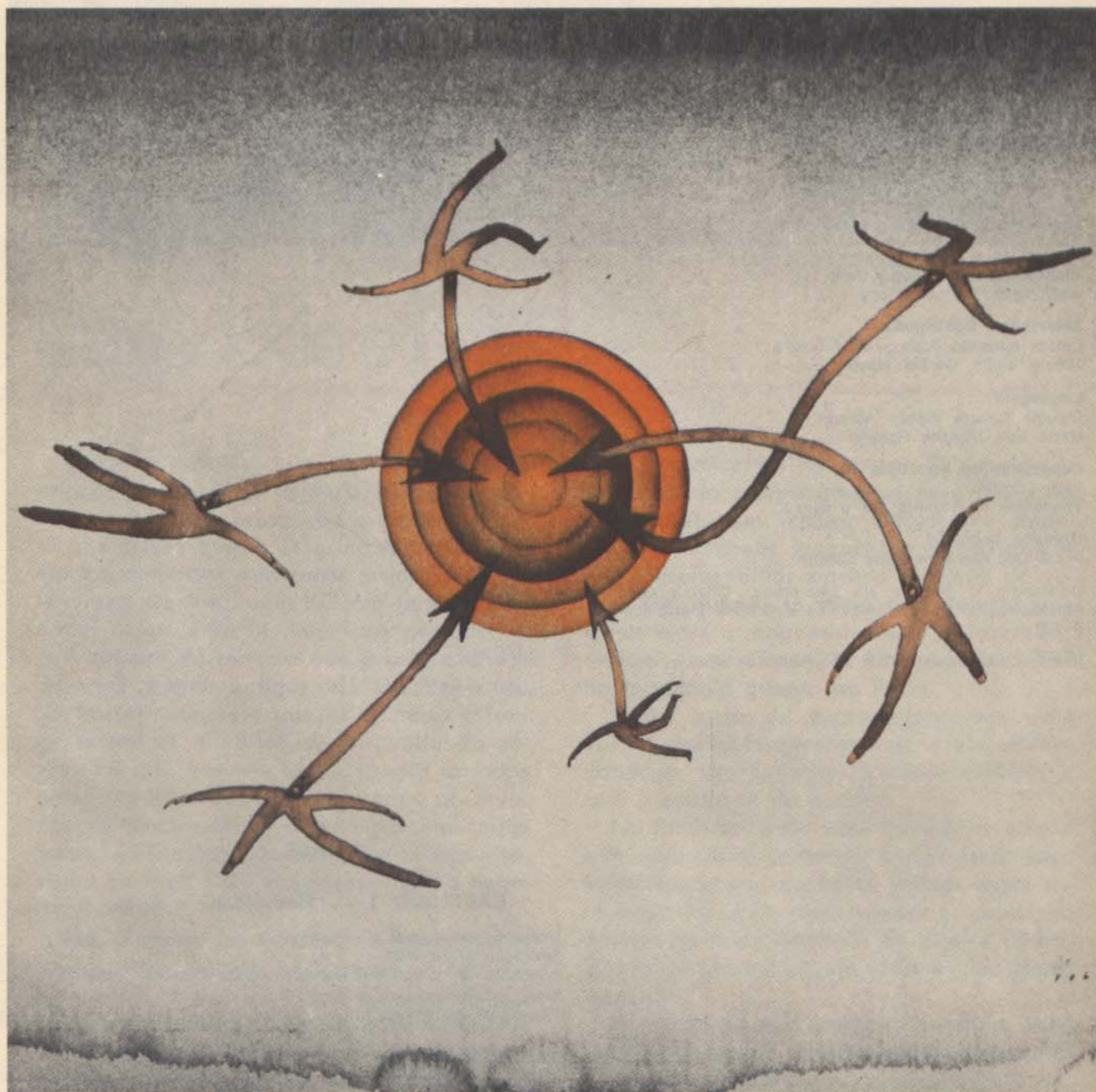
IFUSP — Instituto de Física da Universidade de São Paulo
MEC/FENAME/PREMEN

BIBLIOTECA
- INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO -
- IFUSP - SALA EP 210 -

eletromagnetismo

1

Eletricidade e ímãs



MEC/FENAME/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), mediante convênios com a FENAME e o PREMEN.

Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger
Giorgio Moscati

Mecânica

Antonia Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Diomar da Rocha Santos Bittencourt
Hideya Nakano
Luiz Muryllo Mantovani
Paulo Alves de Lima
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Elettricidade

Eliseu Gabriel de Pieri
José de Pinho Alves Filho
Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo

Jesuina Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Programação Visual

Carlos Egidio Alonso
Ettore Michele di San Fili Bottini

Fotografias e Reproduções

José Augusto Machado Calil
Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira
Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo
Maria Nair Moreira Rebello

Construção de Protótipos

José Ferreira
Voanerges do Espírito Santo Brites

Desenho Industrial

Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal, 8 219, São Paulo — SP.

CAPA

Como um Ímã faz parte da obra do pintor belga que recebeu o 1.º prêmio internacional na XII Bie-

nal de São Paulo. Sua produção tem sido importante não só no campo da pintura; além de fazer filmes, trabalhou com os cineastas Alain Resnais, Roman Polanski e ilustrou obras de Kafka, Lewis Carrol e Jorge Louis Borges. Na opinião de Júlio Cortazar, a obra de Folon "é o lugar de reencontro do mistério e da poesia".

Como um Ímã, quadro pintado com aquarela, foi o título dado pelo pintor belga Jean-Michel Folon para representar algo que, na sua concepção, tem os poderes de um ímã.

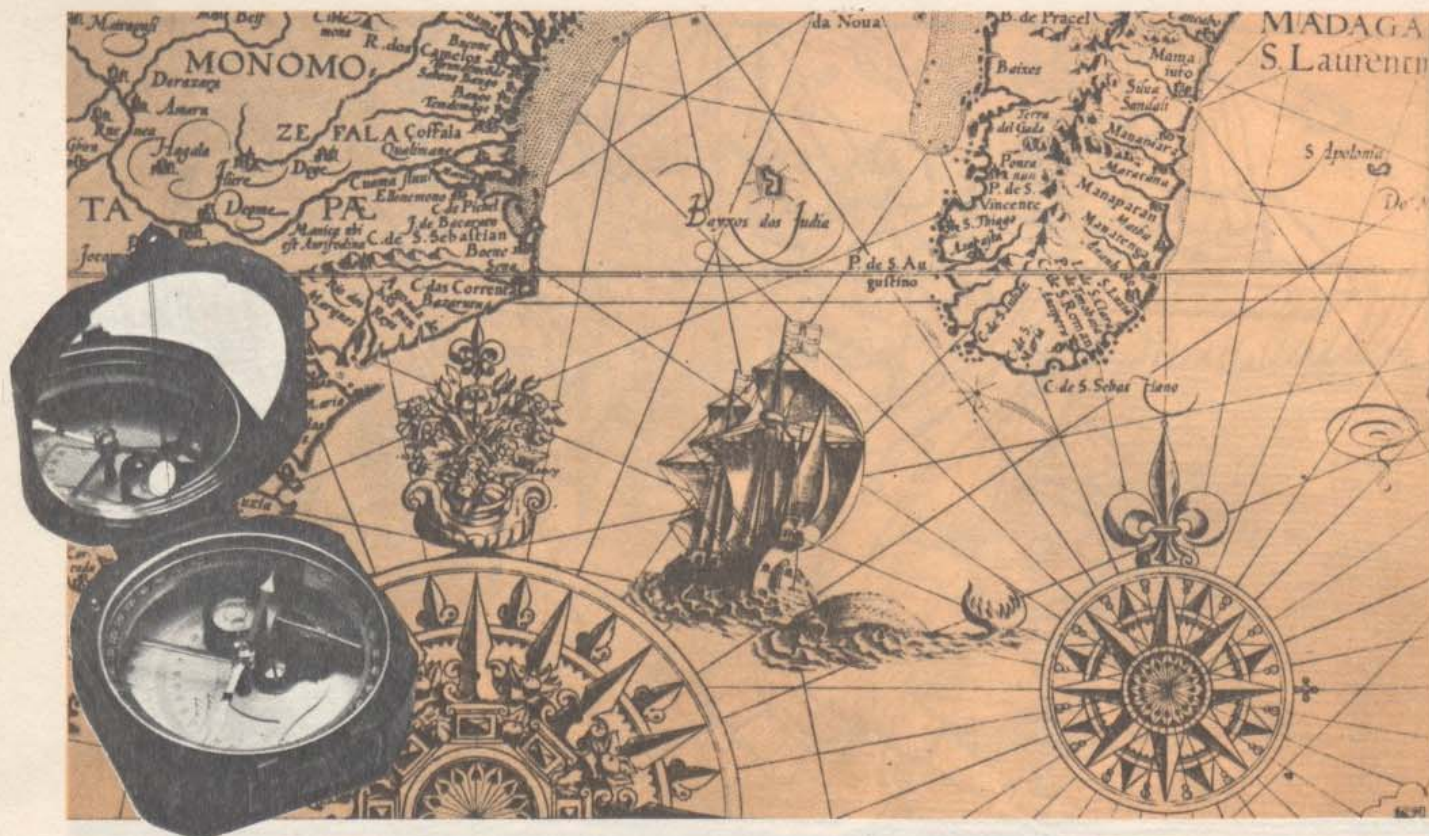
ÍNDICE

CAPÍTULO 1 — Elettricidade e ímãs

1. Interação entre ímãs e uma bússola	1—2
2. Interação entre ímãs	1—4
3. Interação entre corrente elétrica e uma bússola ..	1—5
4. Ímãs e solenóides	1—8
5. Exercícios de aplicação	1—10

Leitura Suplementar

Uma teoria para os ímãs	1—13
-------------------------------	------



Eletricidade e ímãs

Einstein, quando criança, recebeu uma bússola de seu pai. Quando velho, ele comentou que esse brinquedo o fascinara tanto que talvez tivesse sido um fator decisivo em lhe despertar o interesse pelo estudo da natureza. De fato, uma bússola tem propriedades capazes de fascinar uma pessoa.

A origem da bússola não é bem conhecida, mas os mais antigos relatos sobre o uso da bússola sugerem que os chineses foram os primeiros a utilizá-la, por volta do século VII d.C. Existem textos gregos datados do século VII a.C. que se referem à observação de propriedades magnéticas em certos corpos constituídos de um mineral que provinha da região da Magnésia — daí o nome **magnetismo**.

Por dezenas de séculos, o magnetismo permaneceu simples curiosidade. Foi somente na época do Renascimento que a bússola foi trazida da China para a Europa. Esse instrumento exerceu papel importante nas grandes viagens e descobrimentos

que se realizaram na época. O estudo sistemático do magnetismo só teve início no século XVI, com William Gilbert. No entanto, os fenômenos magnéticos começaram a ser compreendidos apenas a partir do século XIX, quando se descobriu a relação que existe entre o magnetismo e a eletricidade.

Hoje essa relação é fundamental tanto na tecnologia quanto na Física.

Neste curso de eletromagnetismo, você vai estudar os fenômenos magnéticos relacionando-os com correntes, campos elétricos e com a estrutura da matéria.

No final do curso, você deverá ter adquirido uma visão unificada desses fenômenos eletromagnéticos e poderá aplicar esses conhecimentos para compreender os princípios básicos de funcionamento de alguns aparelhos como um motor, um rádio ou um transformador.

Ao terminar este primeiro capítulo, você terá condições de explicar algumas propriedades dos ímãs.



Os navios são munidos de dispositivos que permitem a orientação em alto-mar. Antigamente se usavam bússolas para esse fim. Como a bússola era muito primitiva e facilmente danificável, só poucos tripulantes tinham acesso a ela. Se alguém não autorizado nela mexesse, seria severamente punido, como sugere a figura acima, que data da Idade Média.

1. Interação entre ímãs e uma bússola

Todos já viram uma bússola e sabem que ela sempre aponta aproximadamente para o norte geográfico da Terra.

Utilize uma bússola e determine a direção norte-sul, marcando-a com giz sobre sua carteira ou no chão. Compare seus resultados com os obtidos por seus colegas.

Q1 — Todas as bússolas indicam direções paralelas?

O que poderia ter provocado um resultado diferente encontrado por outro colega seu?

Q2 — Aproxime de sua bússola um ímã de barra; faça isso colocando-o a várias distâncias e em várias posições com

relação à bússola. O que acontece com a direção indicada pela bússola?

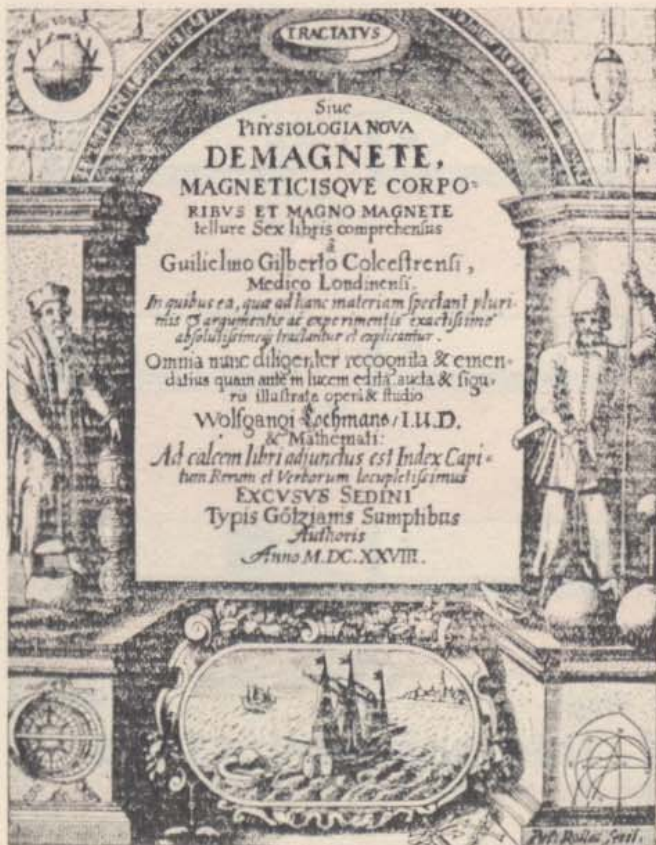
Q3 — Afastando da bússola o ímã, qual é a direção assumida pela agulha?

Repita esse procedimento aproximando da bússola um prego, uma caneta de plástico e outros objetos e observe o que ocorre com a direção da agulha da bússola.

Q4 — Levando em conta os resultados obtidos, que cuidados você deve tomar para determinar a direção norte-sul da Terra?

Quando se fazem experiências com ímãs e bússolas, deve-se tomar o cuidado de afastar outros ímãs e objetos de ferro.

Q5 — Que direção assumiria a agulha de uma bússola se ela não estivesse submetida à influência de nenhum ímã?



William Gilbert (1544-1603) — Médico da corte inglesa, foi dos primeiros a aplicar o método experimental em investigações científicas, estudando as propriedades dos ímãs. Em 1600 publicou o livro **De Magnete** (Sobre Ímãs), cujo fac-símile da 2ª edição (1628) reproduzimos acima.

Agora, você pode determinar a direção norte-sul da Terra com maior precisão e notar que todos os seus colegas devem obter direções muito próximas.

A Terra age sobre a bússola como se fosse um ímã gigante; no entanto, sua influência sobre o instrumento é muito menos intensa do que a exercida por um ímã que esteja próximo.

O pólo sul da bússola é o extremo que aponta para o norte geográfico da Terra; analogamente, o extremo que aponta para o sul geográfico terrestre é o norte da bússola.

Identifique os pólos norte e sul da bússola observando que cada ponta da agulha tem uma cor diferente; basta saber onde estão o norte e o sul da Terra.

Q6 — Identifique, em sua sala, um objeto que esteja ao norte em relação a você.

Agora, verifique as respostas das questões de 1 a 6.

RESPOSTAS

R₁ -

R₂ -

R₃ -

R₄ -

R₅ -

R₆ -

A extremidade do ímã que atrair o pólo sul da agulha será o pólo norte, e vice-versa.



figura 1

- R1 — A sua bússola e as de seus colegas não indicarão, em geral, exatamente as mesmas direções.
- R2 — Quando próximo da bússola, o ímã causa um desvio na direção da agulha. Comentário: O desvio sofrido pela agulha da bússola é tanto maior quanto mais próximos estiverem o ímã e a bússola. Para ímãs pequenos, essa influência começa a ser notada a partir de distâncias da ordem de 50 centímetros; o comportamento da agulha por ação do ímã depende não só da distância entre eles, mas também de onde e como se coloca o ímã em relação à bússola.
- R3 — Afastando o ímã até uma distância maior do que 50 cm da bússola, a agulha volta gradualmente à posição inicial. Não havendo ímãs nas proximidades, a direção que a agulha assume deve corresponder à direção norte-sul da Terra.
- R4 — Devem-se afastar da bússola todos os ímãs e outros materiais que contenham ferro, como, por exemplo, pregos, pilhas etc. Tais objetos também podem influir na orientação da bússola e, assim, devem estar longe dela durante as experiências.
- R5 — Quando livre da presença de ímãs, a bússola apontará a direção norte-sul da Terra. Se a propriedade magnética da Terra também não existisse, a bússola apontaria indiferentemente para qualquer direção.
- R6 — Discuta com seus colegas e com o professor e veja se todos concordam.

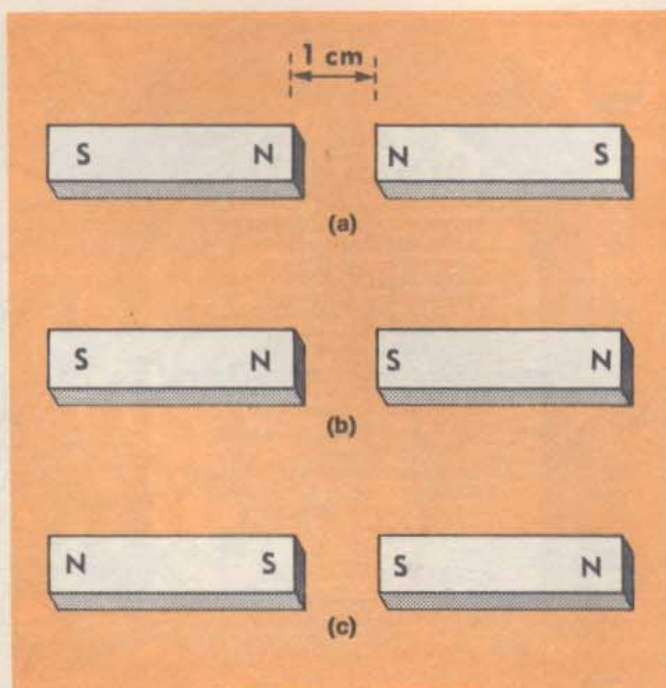


figura 2

2. Interação entre ímãs

Vamos agora estudar algumas características da interação entre ímãs.

Com o auxílio da bússola, você pode determinar os polos magnéticos dos ímãs. Aproxime um ímã de barra da bússola, como mostra a figura 1. A extremidade do ímã que atrair o pólo norte da agulha será o pólo sul, e vice-versa.

Tome dois ímãs de barra e identifique cada uma de suas extremidades marcando-as com "N" e "S" (com giz, por exemplo).

Q7 — Coloque dois ímãs separados por uma distância de 1 cm, na posição indicada em (a) na figura 2; repita o procedimento fazendo os ímãs se disporem como em (b), e depois como em (c). Descreva o que acontece em cada caso.

Q8 — O que você conclui a respeito da força que se estabelece entre os ímãs?

Utilize mais uma bússola, por exemplo, a de um colega, para realizar a seguinte experiência: coloque uma das bússolas sobre sua carteira e movimente a outra em torno dela, mantendo as duas sempre bem próximas.

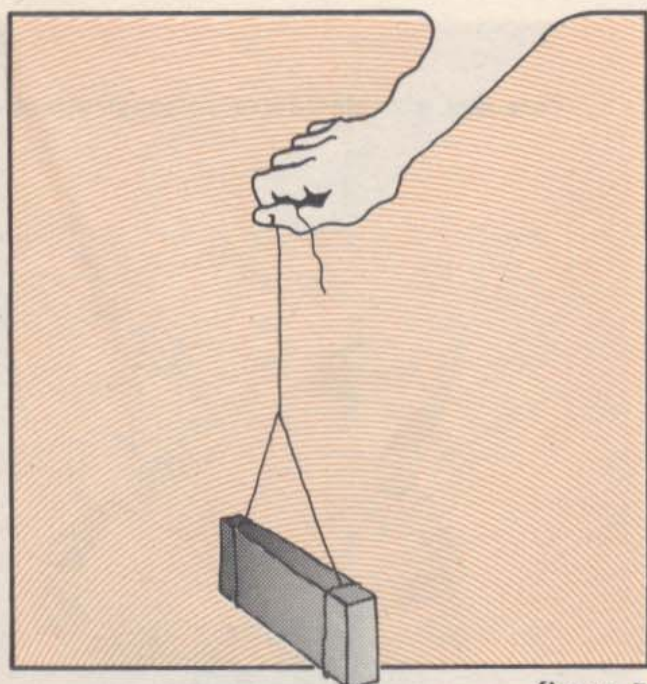


figura 3

Q9 — Uma bússola exerce alguma influência sobre a outra?

A agulha da bússola nada mais é do que um ímã, que pode girar livremente em torno de um eixo vertical.

Você pode construir uma bússola suspendendo um ímã de barra por um fio fino, como mostra a figura 3: é possível usá-lo para determinar a direção norte-sul da Terra. A direção N—S assim determinada é chamada direção norte-sul magnética da Terra e não coincide com a direção norte-sul geográfica. No Brasil, essas direções são quase as mesmas.

3. Interação entre corrente elétrica e uma bússola

Haverá alguma relação entre corrente elétrica e ímãs?

Já vimos na seção anterior que, quando aproximamos ímãs de uma bússola, a direção da agulha se modifica.

Veremos a seguir que não só os ímãs têm influência sobre as bússolas, mas também a corrente elétrica.



Carruagem magnética da antiga China carregando uma figura que sempre aponta em direção ao sul.

RESPOSTAS

R₇ -

R₈ -

R₉ -

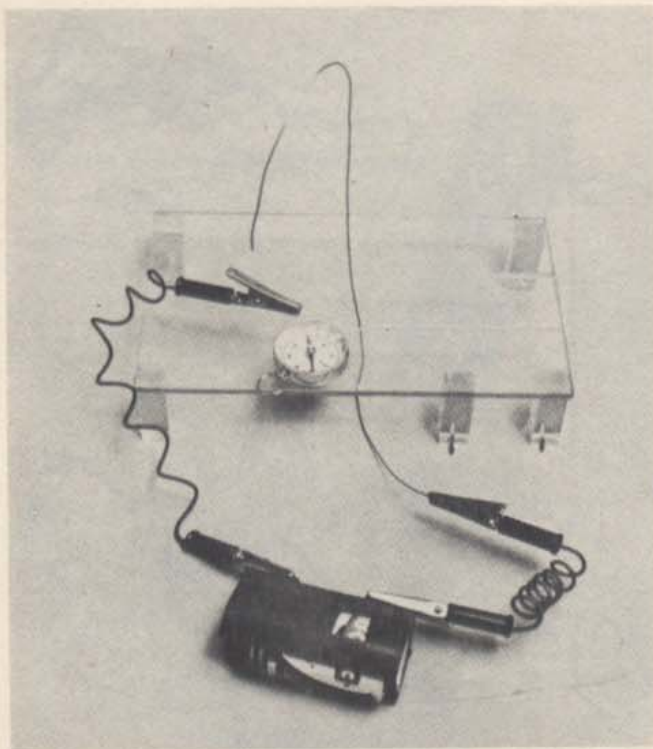


figura 4

Pegue um fio condutor de aproximadamente 1 m de comprimento e coloque-o no suporte, como mostra a figura 4. Coloque a bússola sobre o suporte, movendo-a sobre ele de forma que a agulha aponte na direção do fio. As pontas do fio devem ser raspadas para retirar o esmalte que as recobre e possibilitar o contato elétrico com a pilha. A ligação com a pilha será feita através de fios de ligação com "jacarés" nas pontas.

Agora, ligue os extremos do fio a uma pilha e observe o que acontece com a agulha da bússola.

CUIDADO: A pilha não deve permanecer ligada mais do que uns 5 segundos, pois do contrário se gasta muito rapidamente. Além disso, durante as experiências que realizar, mantenha a pilha a mais de 20 cm da bússola. Como você já verificou, o aço da blindagem da pilha tem propriedades magnéticas.

Q10 — O que acontece com a bússola quando você liga o circuito?

Q11 — Que conclusão você tira da experiência que acaba de fazer?

Agora, verifique as respostas das questões de 7 a 11.

Para que a agulha fique perpendicular a AB...

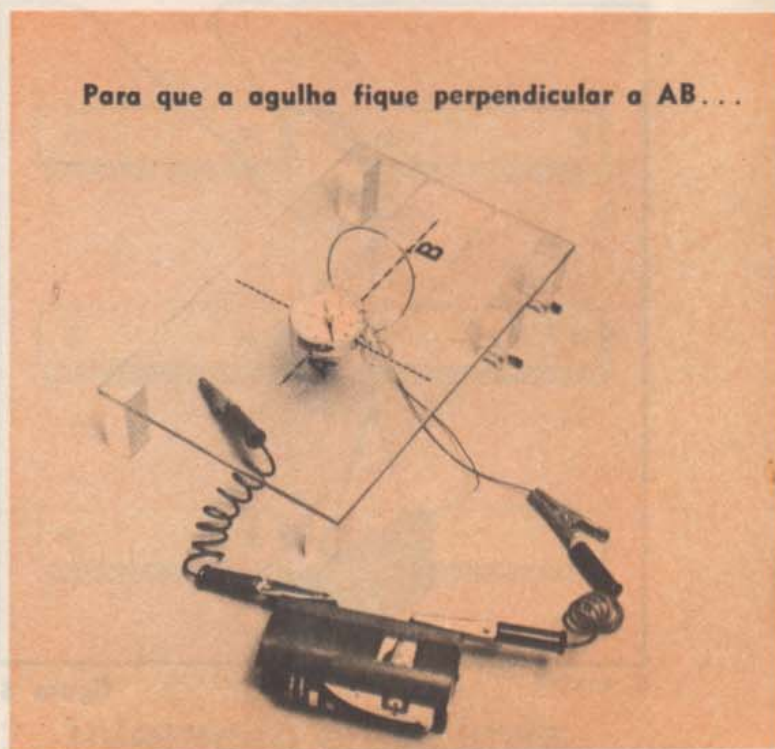


figura 5

Acabamos de estudar um fenômeno muito importante, que é a interação da corrente elétrica com a bússola.

Vamos investigar um pouco mais esse fenômeno para saber que fatores são importantes nessa interação. Para isso, estudaremos o efeito da corrente elétrica sobre a bússola quando a corrente flui num trajeto circular (numa **espira**).

Use o fio da experiência anterior para fazer uma espira (utilize a pilha para enrolar uma volta do fio).

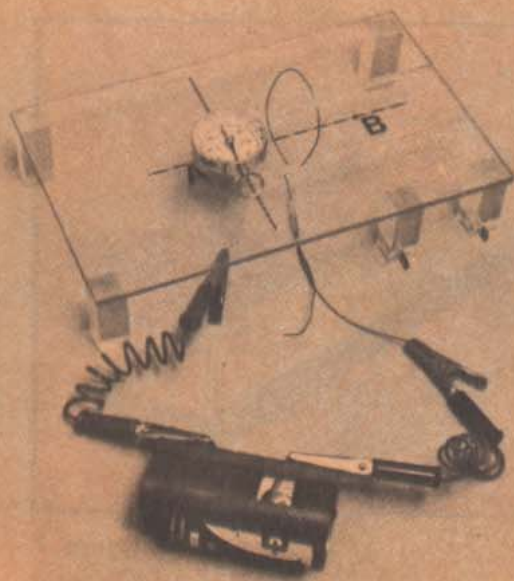
Coloque sobre o suporte uma folha de papel com dois cortes paralelos que coincidam com as fendas. Esta folha facilitará o registro das observações feitas na experiência.

Coloque a espira e a bússola sobre o suporte, como é indicado na figura 5. Ajuste o suporte de modo que o eixo da espira seja perpendicular à agulha da bússola. Veja a figura 5.

Q12 — Ligue momentaneamente o fio à pilha. O que acontece com a agulha da bússola? (Não mantenha a ligação por muito tempo para não gastar a pilha.)

Repita a experiência com a bússola situada no ponto B (veja figura 5); ligue momen-

...a mesinha deve ser girada.



lanceamente a pilha, tomando o cuidado de manter o mesmo sentido da corrente que percorre a espira. Observe a orientação da agulha da bússola.

Q13 — O que acontece com a agulha da bússola?

Vemos então que uma espira, quando percorrida por corrente elétrica, se comporta como se fosse um ímã.

Q14 — Em que posição se deveria colocar um ímã para produzir o mesmo efeito sobre a bússola?

Você pode realizar uma experiência análoga usando várias espiras paralelas, percorridas por corrente que flui no mesmo sentido: isso constitui um dispositivo denominado **solenóide**. O solenóide é um fio condutor enrolado em forma de mola, em torno de um cilindro.

O mesmo fio que você usou para construir uma espira vai ser usado para construir um solenóide; para obter a forma descrita acima, enrole o fio em uma pilha, retirando-o depois.

Coloque o fio, assim enrolado, no suporte, como mostra a figura 6, mantendo a folha de papel.

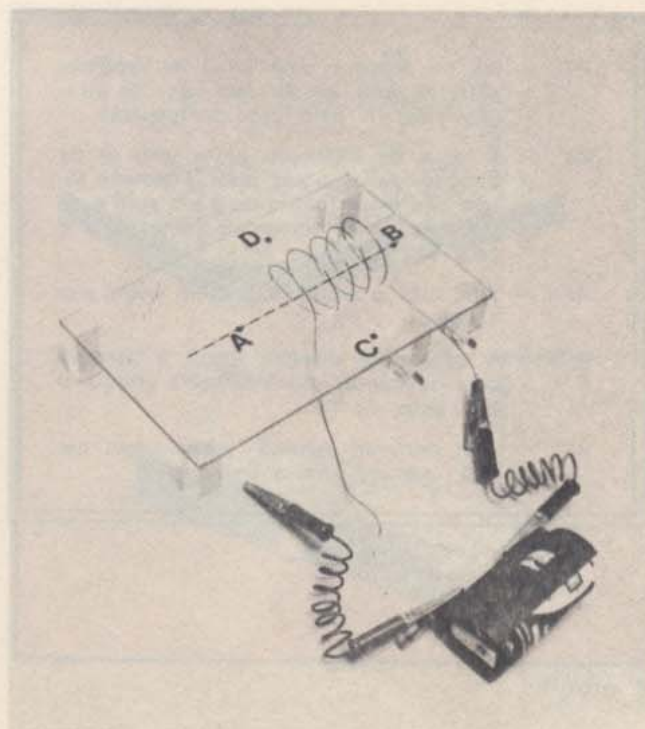


figura 6

RESPOSTAS

R₁₀ -

R₁₁ -

R₁₂ -

R₁₃ -

R₁₄ -

- R7 — Em (a) aparece uma força de repulsão entre os ímãs, em (b) uma força de atração e em (c) uma força de repulsão.
- R8 — A força de interação entre ímãs é de atração, se os pólos mais próximos forem diferentes (um norte e um sul), e de repulsão, se forem iguais (dois norte e dois sul).
- R9 — Sim, mas o efeito magnético entre elas é fraco.
- R10 — A agulha da bússola tende a assumir uma direção aproximadamente ortogonal à direção do fio.
- R11 — Uma corrente elétrica, assim como um ímã, interage com a bússola.

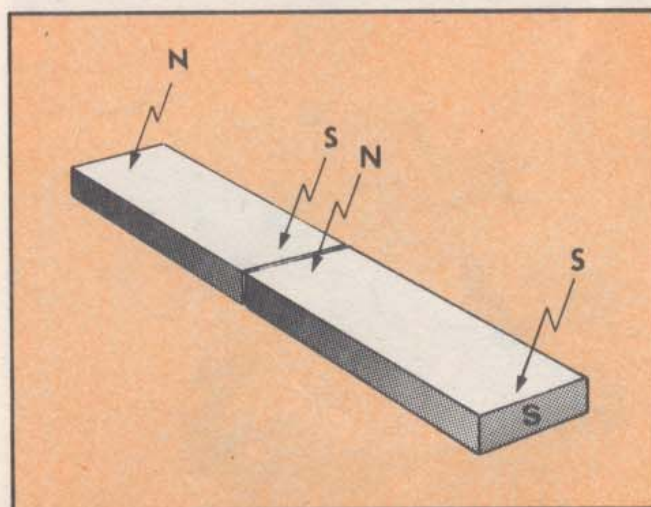


figura 7

dois ímãs de barra iguais. Encoste o pólo sul de um deles ao pólo norte do outro (figura 7).

- Q17 — Aproxime a bússola de cada extremidade livre do conjunto, assim como de sua região central. O que pode concluir a respeito da união desses ímãs?

Você deve ter percebido que, ao juntarmos os dois ímãs de barra, obtivemos um novo ímã de barra.

- Q18 — Partindo esse novo ímã ao meio (basta simplesmente separar os dois componentes), o que acontecerá com as propriedades magnéticas de cada uma das partes? Quantos ímãs teremos agora?

- Q19 — Se você dividisse ao meio cada um dos ímãs que obteve (não o faça!), o que acha que aconteceria com as propriedades magnéticas de cada uma das partes?

Agora verifique as respostas das questões de 12 a 19.

Uma vez que um solenóide percorrido por corrente elétrica se comporta como um ímã, devemos esperar que, associando dois deles como mostra a figura 8, o solenóide

Aproxime a bússola do solenóide e ligue momentaneamente os extremos do fio a uma pilha.

Repita a experiência colocando a bússola em pontos A, B, C e D marcados sobre o papel como mostra a figura 6.

- Q15 — Trace sobre o papel a direção assumida pela agulha da bússola em cada ponto, localizando também as extremidades N e S.

- Q16 — Você chegaria ao mesmo resultado se usasse um ímã colocado convenientemente em lugar do solenóide? Faça a experiência.

Você acabou de verificar que um solenóide se comporta como um ímã quanto à interação com bússolas.

4. Ímãs e solenóides

Você verificará agora uma outra propriedade comum aos ímãs e solenóides.

O que acontece quando dividimos uma barra imantada ao meio? Ela deixa de ser ímã?

Você não fará tal experiência, mas uma equivalente. Identifique os pólos N e S de



figura 8

resultante também se comporte como um ímã. O que foi dito acima é equivalente a dizer que, ao dividirmos um solenóide ao meio, cada uma das partes, sendo percorrida por corrente, ainda se comporta como um ímã; isso não deve ser estranho a você, uma vez que construiu um solenóide a partir de espiras.

O que aconteceria se dividíssemos um ímã longitudinalmente? Você pode fazer a experiência equivalente, amarrando dois ímãs de barra como é indicado na figura 9 e separando-os depois.

Será que, dividindo um ímã sucessivamente ao meio, nas direções transversal e longitudinal, chegaríamos a obter um objeto com um único pólo, por exemplo, um pólo norte?

Os resultados que obtivemos em nossas experiências sugerem que não. De fato, este resultado é confirmado por inúmeras experiências em que um ímã foi subdividido em um grande número de pedaços.

Até hoje jamais se conseguiu obter uma partícula que tivesse as propriedades de um pólo magnético isolado; até mesmo os prótons, os elétrons e os nêutrons comportam-se de maneira análoga a um ímã.

A partir desses fatos, podemos imaginar uma estrutura para os ímãs que explique suas propriedades magnéticas.

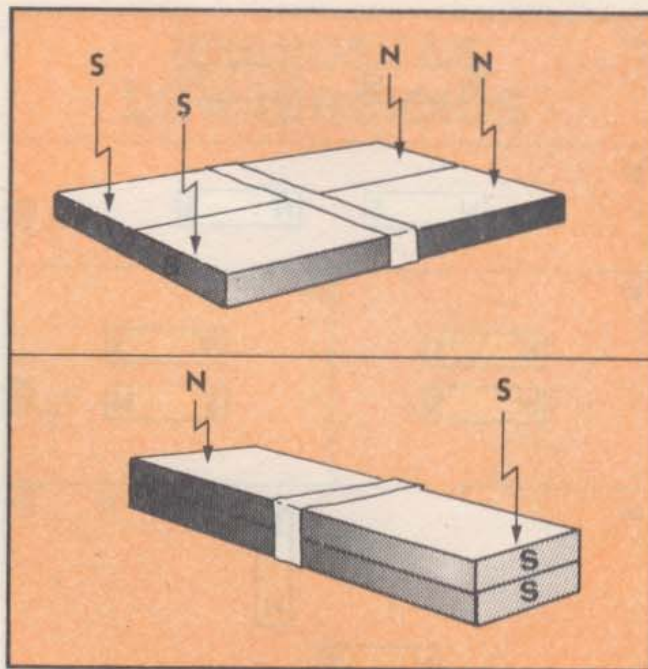


figura 9

RESPOSTAS

R₁₅ -

R₁₆ -

R₁₇ -

R₁₈ -

R₁₉ -

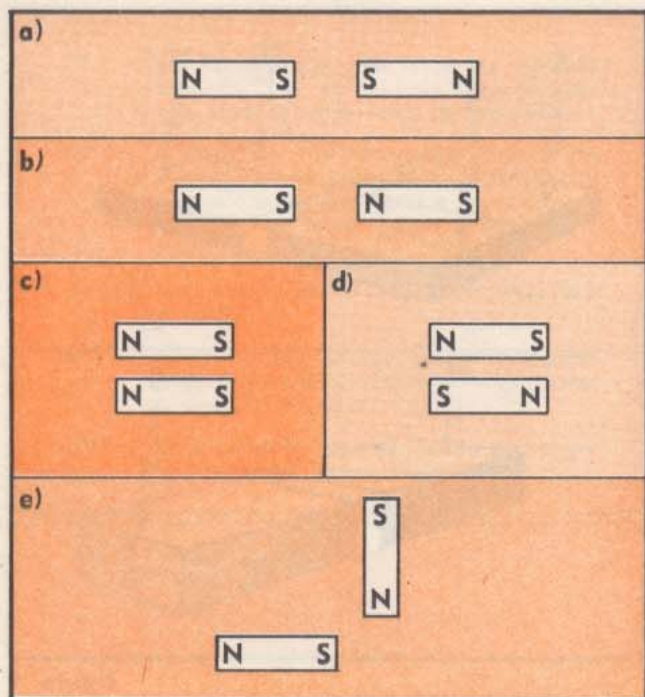


figura 10

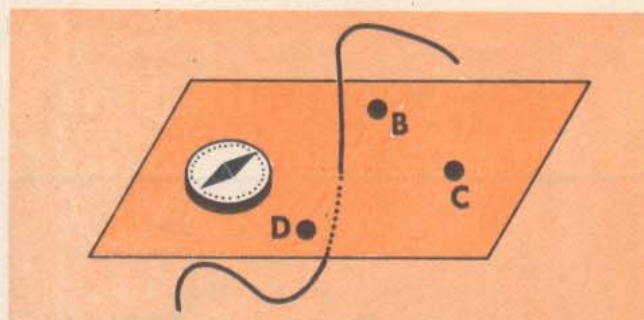


figura 11

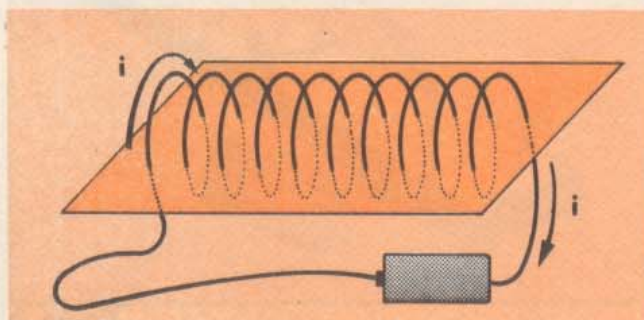


figura 12

5. Exercícios de aplicação

R12 — A agulha da bússola tende a se orientar na direção do eixo da espira.

R13 — A agulha tende a se orientar na direção do eixo da espira com a mesma orientação anterior.

R14 — Um ímã colocado sobre o eixo da espira com a orientação N—S conveniente produziria o mesmo efeito sobre a bússola.

R15 — A posição da agulha será sempre aproximadamente paralela ao eixo do solenóide, mas a sua orientação em **A** e **E** será oposta à orientação em **C** e **D**, da mesma forma que se obteve com um ímã de barra. Comentário: A direção indicada pela bússola em **C** e **D** poderá não ser paralela ao eixo do solenóide porque a influência do magnetismo da Terra é grande comparada com a do solenóide nesses dois pontos.

R16 — Sim, o resultado obtido com o ímã é semelhante ao obtido com o solenóide quando se coloca o ímã com a direção N—S coincidindo com o eixo do solenóide.

R17 — Esses ímãs, agora unidos, funcionam como um ímã de dimensões maiores. Cada extremo atrai uma ponta diferente da bússola; quando disposta próxima à região central, a bússola não acusa a existência de pólos.

R18 — Cada parte é um ímã. Teremos, então, dois ímãs, como se esperaria.

R19 — Pela experiência anterior, devemos esperar obter quatro novos ímãs.

E1 — Que tipo de força aparece entre dois ímãs colocados nas posições indicadas na figura 10?

E2 — A extremidade da agulha de uma bússola que aponta para o sul geográfico da Terra atrai uma das extremidades de um ímã. Qual?

E3 — Uma bússola está colocada próximo a um fio de latão como mostra a figura 11. Nessa situação, estando o fio desligado da pilha, a agulha da bússola está apontando para o fio. Em seguida, coloca-se a bússola sucessivamente em **B**, **C** e **D**, sem mover o suporte.

a) Se você não ligar o fio à pilha, a bússola continua apontando para o fio em cada um dos pontos assinalados? Por quê?

b) Qual a direção da agulha da bússola em cada um dos pontos quando o fio é ligado a uma pilha?

E4 — Que fatos experimentais você conhece que o levam a concluir que não existem monopolos magnéticos (objetos com um único pólo)?

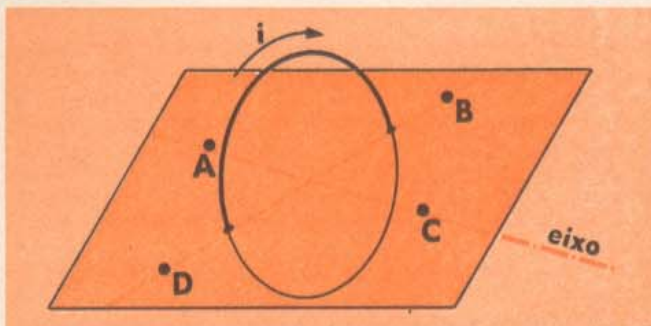


figura 13

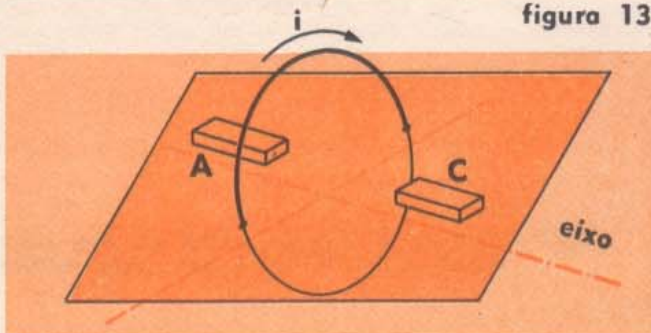


figura 14

- E5** — Em que posição você deveria colocar um ímã de barra para obter um efeito magnético análogo ao do solenóide da figura 12? (Monte uma experiência para dar a resposta.)
- E6** — Suponha que você tem uma espira percorrida por corrente cujo efeito magnético é muito intenso. Indique na figura 13 a direção N—S da agulha da bússola quando colocada sucessivamente nas posições A, B, C e D.
- E7** — Suponha que no exercício anterior, em vez de uma bússola, você coloca um ímã de barra muito leve sucessivamente em A e C como indicado na figura 14. Que tipo de força agirá sobre o ímã em A e em C?
- E8** — Aproximam-se de uma bússola os objetos relacionados abaixo. Indique os que podem provocar um desvio da agulha da bússola.
- um pedaço de madeira
 - um prego
 - outra bússola
 - um pedaço de plástico
 - um ímã
- E9** — Se você cortasse um ímã ao meio, apareceria repulsão ou atração entre as duas partes. Considere o caso em que o corte é transversal ou longitudinal.

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R_1 -

R_2 -

R_3 -

R_4 -

R_5 -

R_6 -

R_7 -

R_8 -

R_9 -



Desde a antiguidade os homens procuram explicações para fatos ou crenças que os afetam. A chuva, por exemplo, é um fenômeno que interfere diretamente na vida do homem. Os antigos acreditavam que, jogando flechas nas nuvens, provocariam chuva. No texto do livro de ficção científica *Somnium, Sive Astronomia Lunar* (O Sonho, ou Astronomia Lunar), escrito por Kepler e publicado em latim, em 1634, encontra-se outro exemplo:

"Uma razão física com algo de jocoso está na base da crença de que os eclipses do Sol e da Lua trazem tantas desgraças. Sem dúvida, os maus espíritos são chamados poderes das trevas e do ar. Devem, pois, ser considerados como condenados e, por assim dizer, emboscados nas regiões tenebrosas, no cone de sombra da Terra. Por outro lado, quando o cone de sombra da Lua varre a Terra em um eclipse total do Sol, os espíritos voltam pelo cone de sombra da Terra."

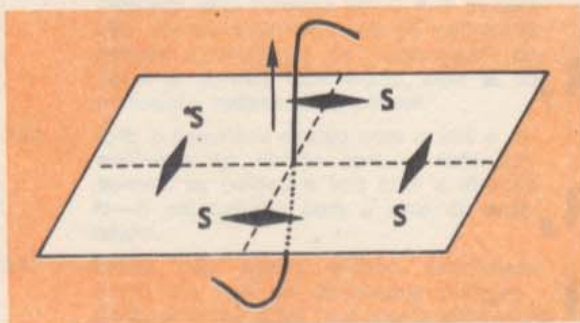
A Leitura Suplementar ao lado procura formular uma teoria para os imãs tentando explicar fatos, não através de credências ou misticismos, mas em analogias experimentais com efeitos elétricos já conhecidos.

R1 — Em (a) e (c) aparece uma força de repulsão, e em (b), (d) e (e), uma força de atração.

R2 — Extremidade norte.

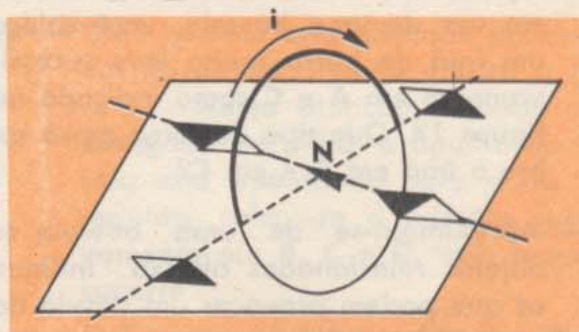
R3 — a) Em qualquer ponto B, C ou D, a direção da agulha da bússola é igual à inicial. Esta direção coincide com a direção N—S da Terra.

b) Quando o fio é ligado à pilha, a direção da agulha da bússola é aproximadamente igual à indicada na figura abaixo. A posição das extremidades N e S depende do sentido de percurso da corrente no fio.



R4 — Dividindo um ímã sucessivamente em partes cada vez menores, tem-se sempre dois pólos em cada pedaço. Se você imaginar a menor porção de um ímã equivalente a uma única espira, ela terá ainda dois pólos.

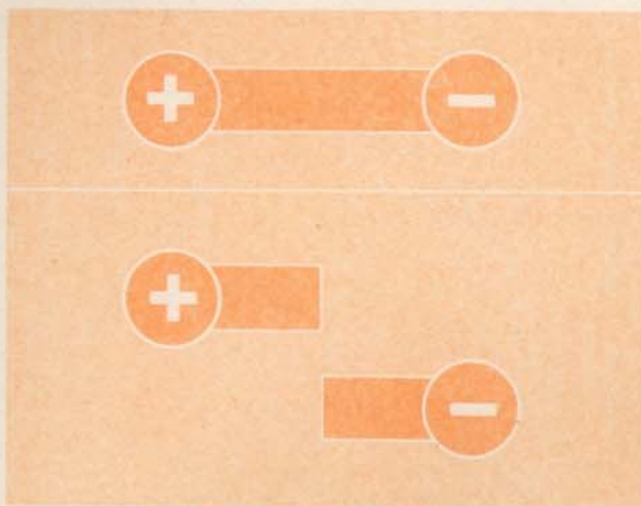
R5 — Para produzir um efeito magnético análogo ao do solenóide da figura 12, você deveria colocar um ímã de barra com a direção N—S coincidindo com o eixo do solenóide. A posição das extremidades norte e sul dependeria do sentido da corrente elétrica no fio. No caso representado na figura, deveríamos colocar o norte à esquerda e o sul à direita.



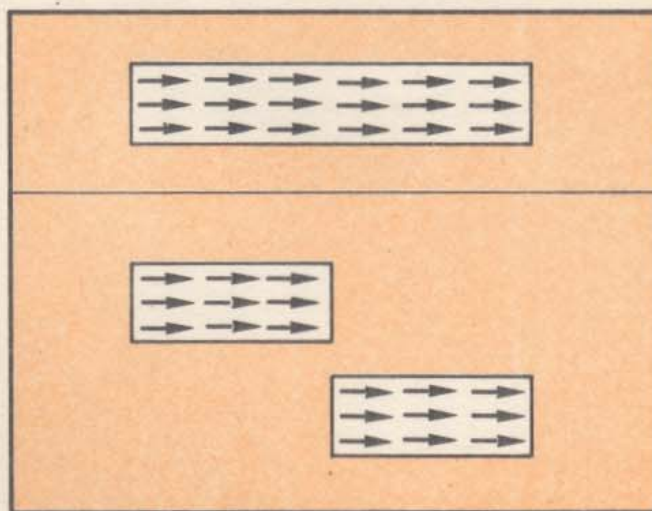
R7 — Em A agirá uma força de atração, e em C, de repulsão.

R8 — Um prego, uma bússola e um ímã.

R9 — Se o corte for transversal, aparece força de atração entre as duas partes. Se o corte for longitudinal (ao longo da direção norte-sul), aparece força de repulsão. Os dois casos podem ser visualizados respectivamente pelas situações (b) e (c) representadas na figura 10 do exercício 1.



Cada uma das partes em que foi dividido o dipolo elétrico possui um só tipo de carga elétrica.



As duas partes em que foi dividido o dipolo magnético possuem característica dipolar de um ímã.

Leitura Suplementar

Uma teoria para os ímãs

Transcrevemos nesta leitura trecho de um livro escrito em 1938 pelos físicos Leopold Infeld e Albert Einstein.

Os autores analisam resultados de experiências, sobre atração e repulsão entre ímãs, do tipo das que você efetuou no estudo deste capítulo e procuram relacioná-las com resultados semelhantes obtidos com dipolos elétricos (pares de cargas de sinais opostos, separadas por uma pequena distância).

A experiência sobre atração e repulsão entre ímãs tal como você fez é indicada nesse trecho por experiência (1) e a experiência sobre a inexistência de monopolo é indicada por experiência (2).

"...Podemos tentar moldar uma teoria do magnetismo baseada na teoria dos fluidos elétricos. Isso é sugerido pelo fato de que aqui, como nos fenômenos eletrostáticos, temos atração e repulsão. Imaginemos dois condutores esféricos possuindo cargas iguais, uma positiva e outra negativa. Aqui "iguais" significa ter o mesmo valor absoluto; +5 e -5, por exemplo, têm o mesmo valor absoluto. Admitimos que essas esferas sejam ligadas por meio de um isolante, tal como um bastão de vidro. Essa disposição pode ser esquematicamente representada por uma seta dirigida do condutor negativamente carregado para o condutor positivo. Chamaríamos a todo conjunto dipolo elétrico. É claro

que dois dipolos como esse se comportariam exatamente como os ímãs da experiência (1). Se imaginarmos a nossa invenção como um modelo de um ímã real, poderemos dizer, admitindo a existência de fluidos magnéticos, que um ímã nada mais é do que um dipolo magnético, tendo em seus extremos dois fluidos de tipos diferentes. Essa teoria simples, imitando a teoria da eletricidade, é adequada para uma explicação da primeira experiência. Haveria atração em uma das extremidades, repulsão na outra e um equilíbrio de forças iguais e opostas no meio. Mas que dizer no tocante à segunda experiência? Quebrando o bastão de vidro no caso do dipolo elétrico, obtemos dois pólos isolados. O mesmo deverá dar-se no caso da barra de ferro do dipolo magnético, contrariamente aos resultados da segunda experiência. Assim, essa contradição nos força a introduzir uma teoria algo mais sutil. Em vez de nosso modelo anterior, podemos imaginar que o ímã consiste em pólos magnéticos elementares muito pequenos, que não podem ser partidos em pólos separados. A ordem reina no ímã em seu todo, pois todos os dipolos são orientados da mesma maneira. Vemos imediatamente por que o corte de um ímã ocasiona o aparecimento de dois pólos novos nas novas extremidades e por que essa nova teoria aprimorada explica os fatos tanto da experiência (1) como da experiência (2)."

O livro do qual este trecho foi extraído está publicado em português sob o título **A Evolução da Física** (L. Infeld e A. Einstein; Zahar Editores) e constitui leitura muito interessante e de nível acessível a você.

Esta obra foi impressa pela
Companhia Gráfica LUX
Estrada do Gabinal, n.º 1521 — Rio de Janeiro — RJ
para a
FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça
Rio de Janeiro — RJ — República Federativa do Brasil
em 1976.