

PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA

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

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

eletromagnetismo

3

O campo magnético



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

Jesuína Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Leitura Suplementar

José Antonio de Freitas Pacheco

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, 20 516, São Paulo — SP.

CAPA

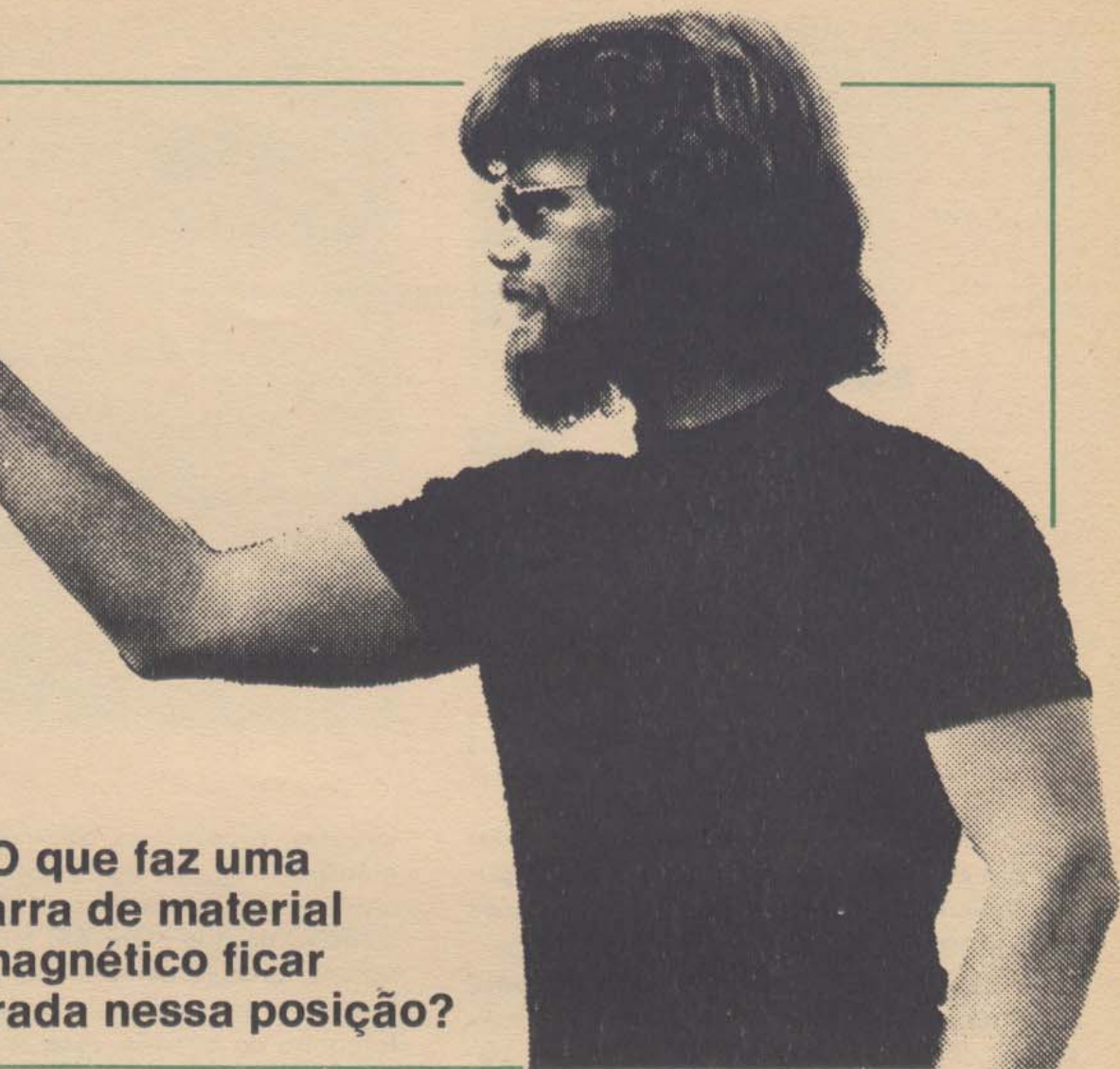
Na região que circunda um ímã aparecem efeitos sobre os materiais magnéticos. Algumas

das características desses efeitos podem ser visualizadas com limalha de ferro espalhada ao redor do ímã. Você utilizará este procedimento para estudar os efeitos magnéticos de ímãs.

SUMÁRIO

CAPITULO 3 — O campo magnético

1. Campo magnético criado por ímãs	3—1
2. Linhas de campo	3—3
3. Superposição de campos	3—5
4. Vetor indução magnética	3—6
5. Campos produzidos por correntes	3—8
6. Exercícios de aplicação	3—13
Leitura Suplementar	
Campos magnéticos no Universo	3—18



O que faz uma barra de material magnético ficar equilibrada nessa posição?

O campo magnético

Os efeitos magnéticos de ímãs ou de condutores percorridos por correntes são perceptíveis por uma bússola colocada nas proximidades. A ação dos objetos magnetizados sobre a bússola se faz sentir sem que eles precisem tocá-la, da mesma forma que ocorre com a ação gravitacional e a eletrostática.

Os efeitos da interação magnética são observáveis através da alteração na posição da agulha da bússola, o que indica que surgiram forças no espaço em que a bússola foi colocada.

Neste capítulo vamos introduzir uma grandeza física para facilitar a descrição dos feitos magnéticos produzidos por um ímã ao seu redor.

1. Campo magnético criado por ímãs

A ação a distância exercida pelo ímã não aparece apenas em determinados pontos do espaço, mas em toda a região próxima do ímã. Dessa forma, dizemos que existe um **campo magnético** na região do espaço na qual uma bússola se orienta, devido à ação de um ímã.

Paralelamente, em relação ao magnetismo terrestre, dizemos que a Terra cria, nas suas proximidades, um campo magnético que determina a orientação da agulha da bússola.

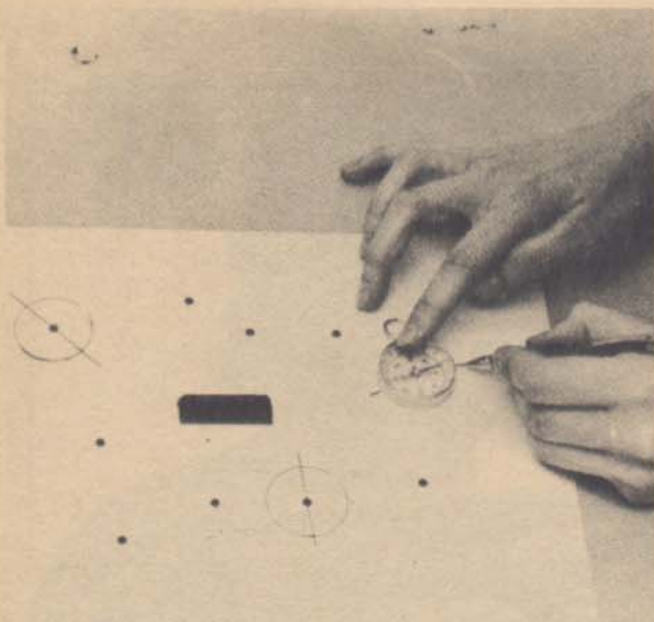


figura 1

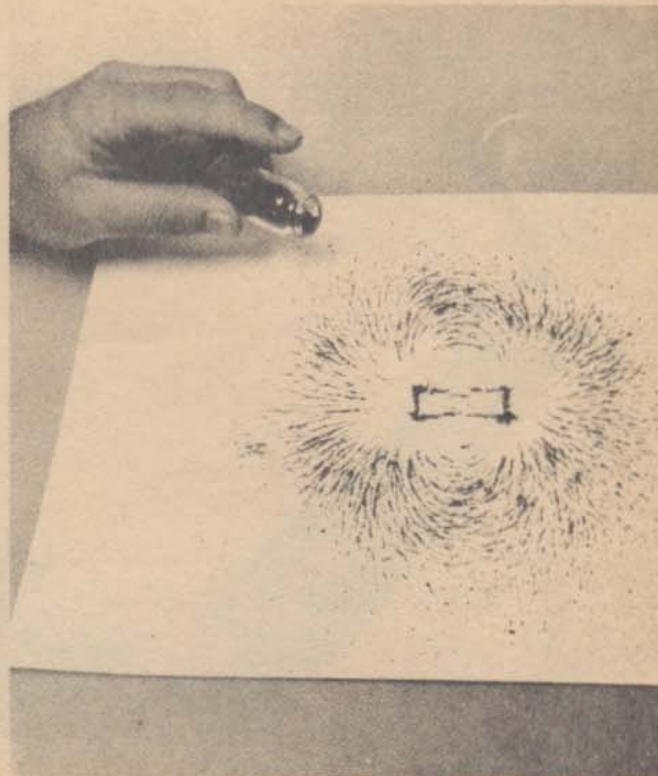


figura 2

Um estudo das características e propriedades dos campos magnéticos é importante, para podermos compreender as interações magnéticas.

No seu trabalho com bússola e ímãs, você deve ter observado que a bússola indica direções diferentes, quando colocada em vários pontos ao redor do ímã. Você vai agora montar experiências para atribuir, a cada um desses pontos, características que determinam o efeito magnético. Mas leia com atenção o que vai ser pedido e não comece a experiência sem concluir a leitura da sua descrição.

Fixe sobre sua carteira uma folha de papel e sobre ela um ímã de barra. Desenhe no papel o contorno do ímã e mantenha-o nessa posição durante toda esta experiência (figura 1). Evite a proximidade de objetos de ferro. Você deve sempre lembrar-se de que qualquer material ferromagnético na sua mesa de trabalho poderá prejudicar as medidas.

Aproxime a bússola do ímã até que a ação deste se faça sentir (cerca de 10 cm); marque no papel a posição do centro da agulha da bússola e sua direção naquele ponto. Repita este procedimento em cerca de 10 pontos di-

ferentes, procurando abranger a maior região possível; não tome pontos muito próximos uns dos outros (figura 1) nem distâncias menores do que 5 cm. Em todas as suas tentativas, procure sempre manter o centro da bússola a uma distância do ímã maior que o tamanho da bússola, caso contrário, a orientação será alterada.

Q1 — É possível, para cada ponto que você tomou, traçar mais de uma direção?

Marque no papel mais um ponto. Com base nas medidas que você já fez, tente prever que direção tomaria a bússola nesse ponto.

Q2 — Marque no papel a direção prevista.

Coloque a bússola sobre esse ponto e verifique se sua previsão foi correta.

As medidas que você fez podem servir para prever efeitos magnéticos do ímã nas suas proximidades. Quanto mais direções tiverem sido determinadas previamente, mais precisa será a previsão.

A cada ponto nas proximidades do ímã podemos associar uma direção característica, que seria tomada por uma bússola aí colocada.

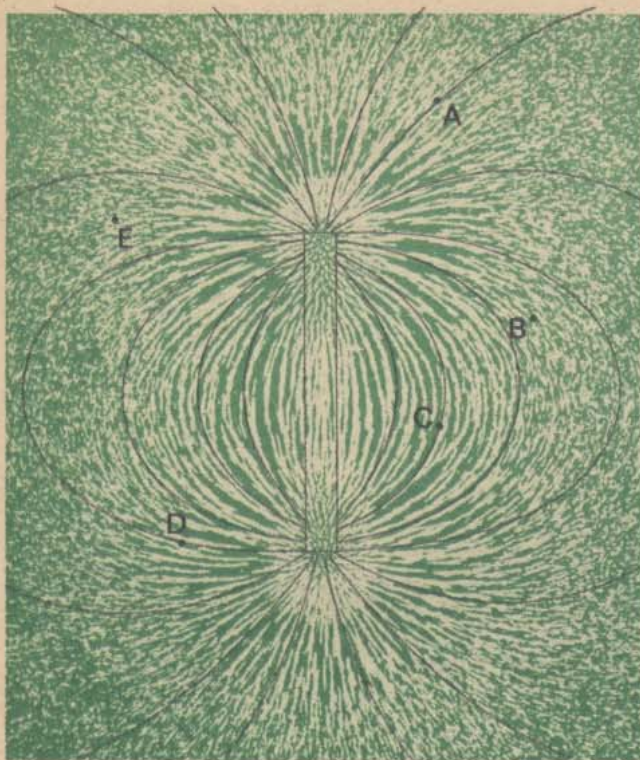


figura 3

2. Linhas de campo

Se você tivesse várias pequenas bússolas, poderia colocá-las todas sobre a mesa, e verificaria simultaneamente a direção assumida por elas em cada ponto do campo magnético. Mas, na realidade, você não precisa de muitas bússolas para obter essa mesma informação. Vejamos como isso pode ser obtido de uma forma simples.

Um alfinete colocado no campo magnético de um ímã também se orienta. A orientação tomada pelo alfinete é a mesma que tomaria a agulha da bússola, se colocada nesse ponto.

Então, você pode utilizar alfinetes, em vez de bússolas, para estudar o campo magnético. Mas aqui vamos empregar, para esse fim, limalha de ferro. Cada pedacinho de limalha se comportará como um alfinete.

Q3 — Poder-se-ia usar limalha de qualquer material para substituir as bússolas? Por quê?

RESPOSTAS

R₁ -

R₃ -

R₄ -

Vamos agora estudar o campo magnético, utilizando limalha de ferro.

Coloque sobre sua carteira um ímã de barra. Cubra o ímã com uma folha de papel e espalhe sobre ele um pouco de limalha de ferro. Tome cuidado para não perder a limalha, recolocando-a no frasco ao fim da experiência. A limalha deve cobrir uniformemente quase todo o papel e dispor-se de tal forma que você possa visualizar nitidamente a formação de linhas. A figura 2 mostra uma fotografia de experiência deste tipo.

Transponha para outra folha de papel as direções traçadas na experiência representada na figura 1. Nessa mesma folha, esquematize as linhas obtidas com a limalha.

Q4 — Que relação existe entre as direções que você traçou com a bússola e estas linhas obtidas com a limalha?

Q5 — Trace as direções que a agulha da bússola assumiria, se fosse colocada nos pontos A, B, C e E indicados na figura 3. Essa figura representa algumas linhas obtidas por processo análogo ao que você usou.

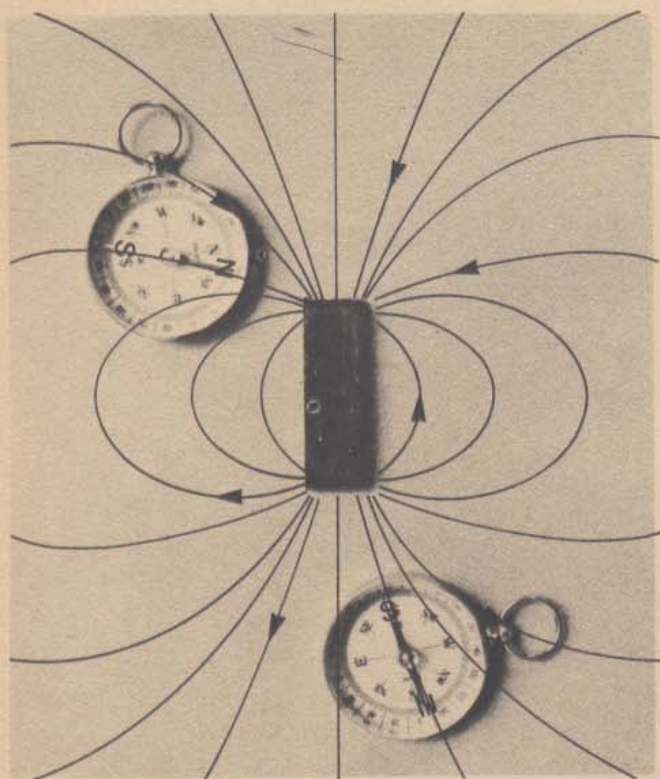


figura 4

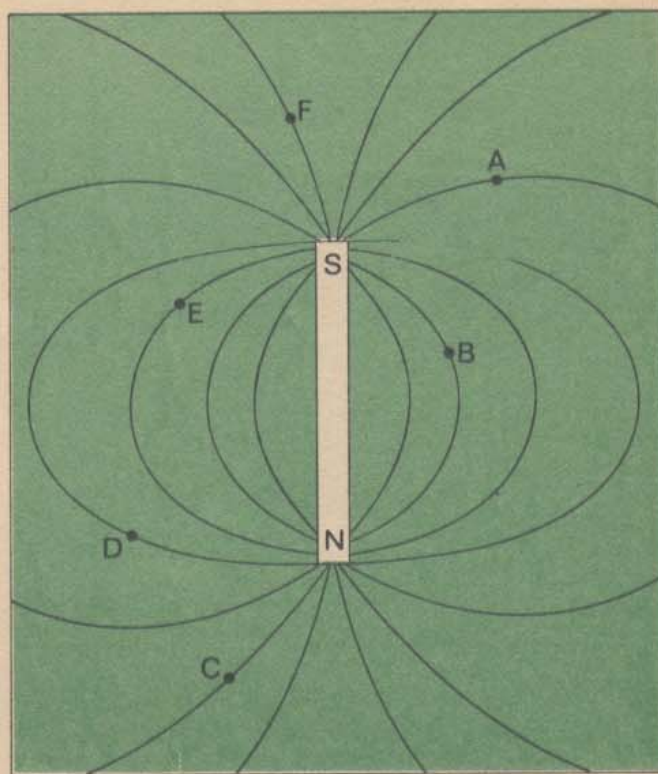


figura 5

As linhas curvas que você obteve com a limalha e as representadas na figura 3 são chamadas **linhas de campo**, e são muito úteis para indicar a direção que tomaria a agulha de uma bússola, quando colocada em certo ponto de um campo magnético.

Como você pode concluir, comparando as figuras 1 e 3, a esquematização por linhas de campo é mais sugestiva do que a representação por direções da figura 1.

Conhecidas as linhas de campo, será possível sabermos qual o sentido que tomaria a agulha da bússola? (Onde estariam o norte e o sul?)

Para que a linha de campo forneça também esta informação, atribui-se às linhas um sentido.

O sentido escolhido por convenção para as linhas de campo coincide com o sentido do sul para o norte da agulha da bússola, quando colocada num ponto qualquer dessa linha (figura 4).

Q6 — Imagine bússolas colocadas nos pontos A, B, C, D, E e F da figura 5. Esquematize as posições assumidas pela agulha e dê o sentido de orientação das linhas de campo.

A direção da agulha da bússola em cada ponto é a direção do campo magnético nesse ponto.

Você pode perceber então que, de acordo com a convenção adotada, as linhas de campo de um ímã saem de seu pólo norte e entram em seu pólo sul.

Q7 — Marque na figura 4 o norte e o sul do ímã representado.

Nas experiências feitas neste capítulo, você traçou somente algumas linhas de campo para cada caso. Entretanto, por qualquer ponto do campo magnético, sempre passa uma linha de campo. Mesmo para pontos que não estão nas linhas que você traçou, existe uma direção bem determinada para o campo magnético. Se quiser, pode traçar linhas de campo para esses pontos.

As linhas de campo que você traçou estão todas no plano do papel; no entanto, poderá verificar experimentalmente a existência de campo fora do plano da mesa. Para isso, desloque a bússola num outro plano que contém o ímã, como indicado na figura 6.

As linhas de campo podem ser imaginadas em volta do ímã, em todo o espaço, aci-

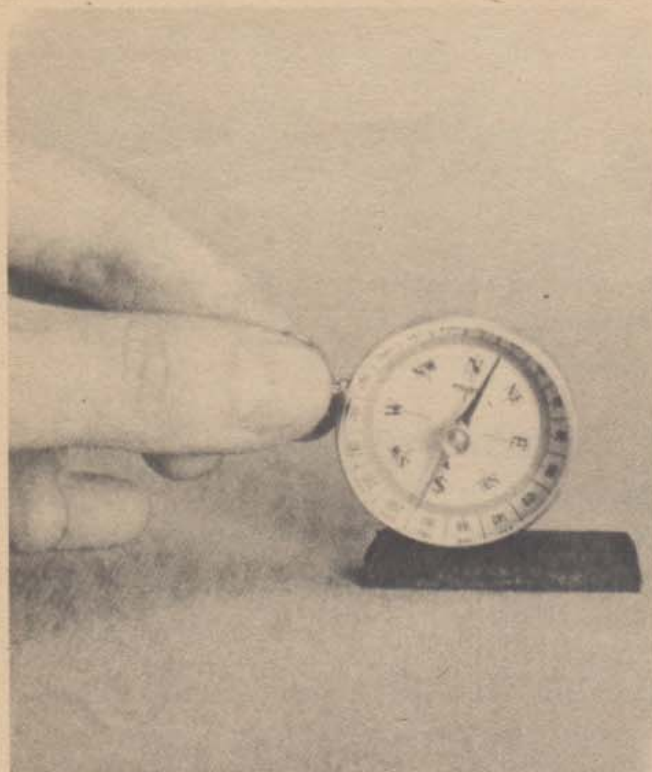


figura 6

ma e abaixo do papel. Veja a representação de linhas de campo na figura 7.

As experiências realizadas mostraram então que, para representar o campo magnético, devemos utilizar uma grandeza física que especifique uma direção determinada para cada ponto da região ao redor do ímã.

3. Superposição de campos

Pela descrição da estrutura dos ímãs (capítulo 2), sabemos que o campo de um ímã resulta da ação de grande número de pequenos domínios magnéticos.

A ação do solenóide sobre a bússola, que você viu no capítulo 1, também é devida à ação simultânea de muitas espiras. E você pode imaginar que o próprio campo de uma espira é produzido por grande número de pequenos segmentos que a compõem; o mesmo sucede com o campo de um fio retilíneo.

Para conhecer melhor a natureza da grandeza que representa o campo magnético, vamos investigar como se somam campos magnéticos. Vamos estudar o campo criado pelo conjunto de dois ímãs.



Linhas de campo em torno de um ímã formadas por limalha de ferro. A placa de acrílico representa um plano de simetria; é como se fosse um espelho refletindo as linhas de campo.

figura 7

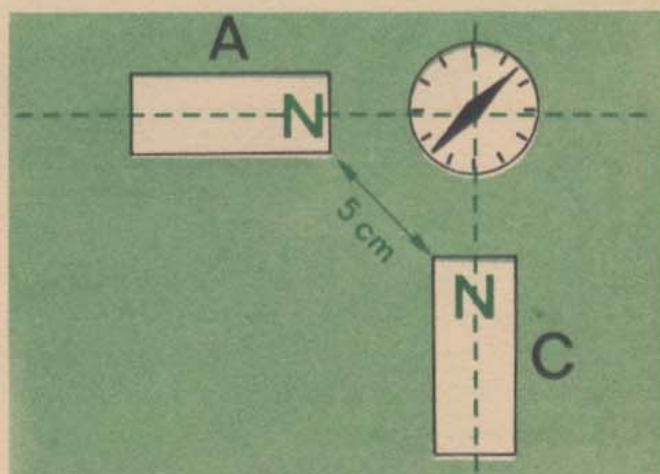


figura 8

Tome dois ímãs de barra iguais, determine o norte e o sul de cada um; marque um deles com a letra A e o outro com a letra C.

Trace numa folha de papel duas linhas perpendiculares e fixe sobre elas os dois ímãs de barra, como mostra a figura 8.

Os dois ímãs possuem as mesmas características; cada um deles, se estivesse sozinho, tenderia a alinhar a agulha da bússola na direção do seu eixo.

Coloque a bússola na interseção das duas linhas e determine, nesse ponto, a direção do campo magnético do conjunto.

NIKOLA TESLA (1875-1943) nasceu na Iugoslávia. Em 1884 foi para os Estados Unidos, onde mais tarde fundou o Laboratório Tesla (Nova Iorque); dedicou-se à pesquisa e desenvolveu o motor de corrente alternada.



Q8 — Qual o ângulo formado pela direção do campo magnético e o eixo do ímã A na figura 8?

A direção do campo não seria a mesma se retirássemos um dos ímãs. Se, por exemplo, fosse retirado o ímã C, a agulha da bússola tomaria a direção do eixo do ímã A.

Q9 — Se o ímã C for afastado da bússola, na direção do eixo do ímã, que acontecerá com o ângulo formado com o eixo do ímã A e a agulha da bússola?

Já vimos que a ação de um ímã se reduz, à medida que nos afastamos dele.

Quando os ímãs distam igualmente da bússola, as intensidades do campo magnético de cada ímã são iguais. Mas, conforme o ímã C vai sendo afastado, o campo produzido por ele, no ponto onde está a bússola, vai diminuindo.

Leve o ímã C até à distância de 20 cm da bússola.

Q10 — Que acontece com a direção do campo magnético nesta nova situação?

Quando o ímã C é levado até essa distância, sua ação sobre a bússola é praticamente nula. A direção da agulha será, então, determinada pela ação do ímã A. Concluindo, podemos dizer que o efeito do conjunto representado na figura 8 determina para a agulha uma direção intermediária em relação às que teria se estivesse sob a ação dos dois ímãs separadamente.

Se os dois ímãs não estiverem a iguais distâncias da bússola, a direção tomada de-

penderá da intensidade dos efeitos de cada ímã.

Os efeitos magnéticos criados simultaneamente por dois ímãs dependem da posição relativa dos ímãs, de sua orientação e de sua distância do ponto considerado. Concluimos também que, apesar de não alterarmos a orientação dos ímãs, podemos alterar a direção do campo criado.

4. Vetor indução magnética

Você já viu que a forma do campo magnético pode ser representada por linhas de campo. Também já observou que, quanto mais próxima do ímã estiver a bússola, tanto maior será o efeito desse ímã sobre a agulha.

A grandeza física que caracteriza o campo magnético em certo ponto deve conter informações sobre a intensidade do campo e sobre a direção e o sentido da linha de campo nesse ponto.

Você já conhece algumas grandezas físicas caracterizadas por intensidade, direção e sentido, como, por exemplo, força, velocidade e aceleração, e sabe que seu comportamento permite representá-los por vetores. É possível também associar um vetor a cada ponto do campo magnético. O módulo desse vetor representa a intensidade do efeito magnético no ponto considerado. A direção e o sentido do vetor correspondem à direção e ao sentido da linha de campo naquele ponto.

Esse vetor, que caracteriza o campo magnético em cada ponto, chama-se **vetor indução magnética** e é indicado pelo símbolo \vec{B} .

Na figura 9 estão representados os vetores indução magnética para alguns pontos do campo magnético produzido por um ímã de barra.

Quanto mais próximo dos pólos do ímã está o ponto considerado, maior é o módulo do vetor indução magnética.

Você pode determinar o módulo dos vetores de indução magnética nesses pontos, medindo seus comprimentos e utilizando uma escala conveniente.

Q11 — Compare quanto ao módulo, direção e sentido os vetores dos seguintes pares de pontos, na figura 9:

- a) A e B
- b) B e E
- c) E e G
- d) C e D
- e) H e F
- f) A e I
- g) A e J

Para determinar experimentalmente o vetor indução magnética \vec{B} num ponto do espaço próximo a um ímã, devemos determinar seu módulo, sua direção e seu sentido.

Já vimos como é possível determinar a direção e o sentido de \vec{B} , utilizando uma bússola. Como se poderá determinar o módulo de \vec{B} ?

Você certamente já determinou o valor de algumas grandezas físicas, como comprimento, tempo, velocidade, aceleração, força etc. Uma medida de comprimento pode ser feita facilmente: basta comparar o comprimento que se quer medir com o padrão metro que foi recolhido arbitrariamente. Entretanto, outras grandezas, como velocidade e aceleração, por exemplo, apresentam uma dificuldade maior para uma medida direta e escolha de um padrão.

A unidade de campo magnético, da mesma forma que a unidade de velocidade e de aceleração, é definida por outras unidades dos sistemas usuais de medida.

Dessa maneira, para medir um campo magnético, não se faz uma comparação direta com um campo magnético unitário, mas se medem outras grandezas que permitem determinar indiretamente a intensidade de campo magnético num ponto do espaço; isso será visto no capítulo 4.

Aqui, diremos somente que o campo magnético é medido numa unidade chamada **Tesla (T)**, no Sistema Internacional de Unidades (S.I.). Nesse sistema, mede-se o comprimento em metro, o tempo em segundo e a massa em quilograma.

Q12 — Suponha que, na figura 9, o segmento u represente $1T$ e calcule a intensidade de \vec{B} nos pontos indicados.

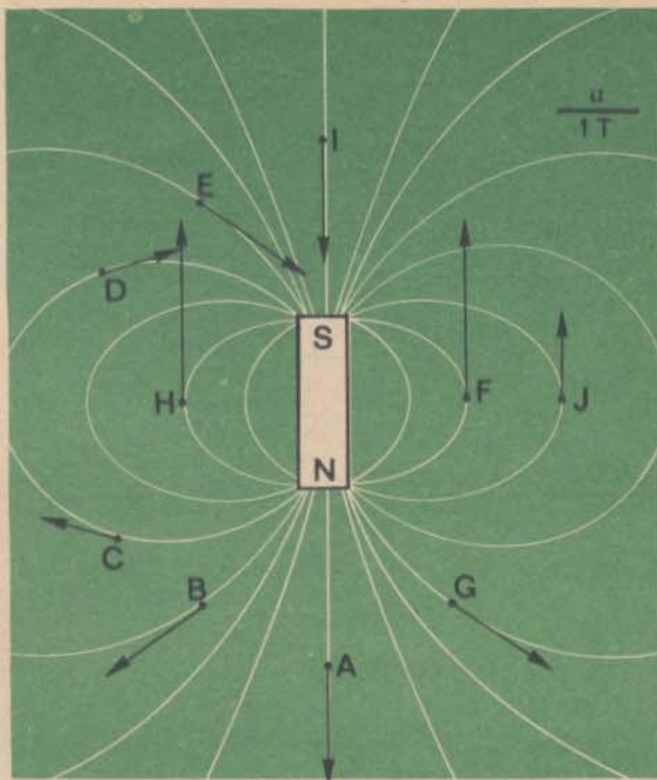


figura 9

RESPOSTAS

R_8 -

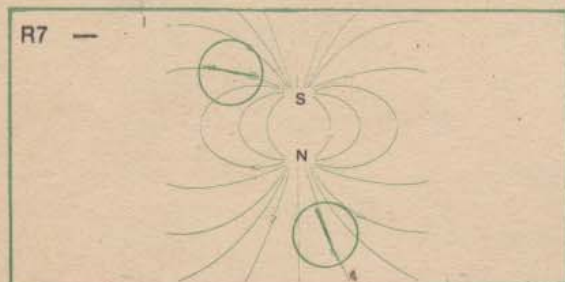
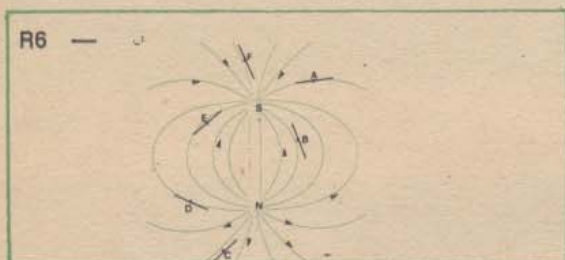
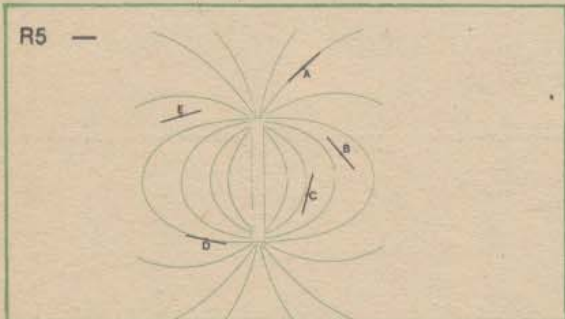
R_9 -

R_{10} -

R_{11} -

R_{12} -

- R1 — Não, a cada ponto desta região corresponde uma única direção.
- R2 — A direção traçada deve ser próxima das direções das linhas vizinhas.
- R3 — Não, porque só limalha de materiais ferromagnéticos pode ser orientada por um ímã.
- R4 — As direções traçadas são tangentes às linhas que passam em cada ponto.



- R8 — 45°. Comentário: Se os dois ímãs forem iguais.
- R9 — O ângulo diminui.
- R10 — A agulha da bússola assume uma direção que é praticamente a do eixo do ímã A.
- R11 — a) Mesmo módulo.
b) Mesmo módulo.
c) Mesmo módulo, mesma direção, mesmo sentido.
d) Mesmo módulo.
e) Mesmo módulo, mesma direção, mesmo sentido.
f) Mesmo módulo, mesma direção, mesmo sentido.
g) Módulos diferentes, mesma direção e sentidos opostos.
- R12 — $B_A = 1,5T$ $B_F = 2,2T$
 $B_B = 1,5T$ $B_G = 1,5T$
 $B_C = 1,0T$ $B_H = 2,2T$
 $B_D = 1,0T$ $B_I = 1,5T$
 $B_E = 1,5T$ $B_J = 1,1T$

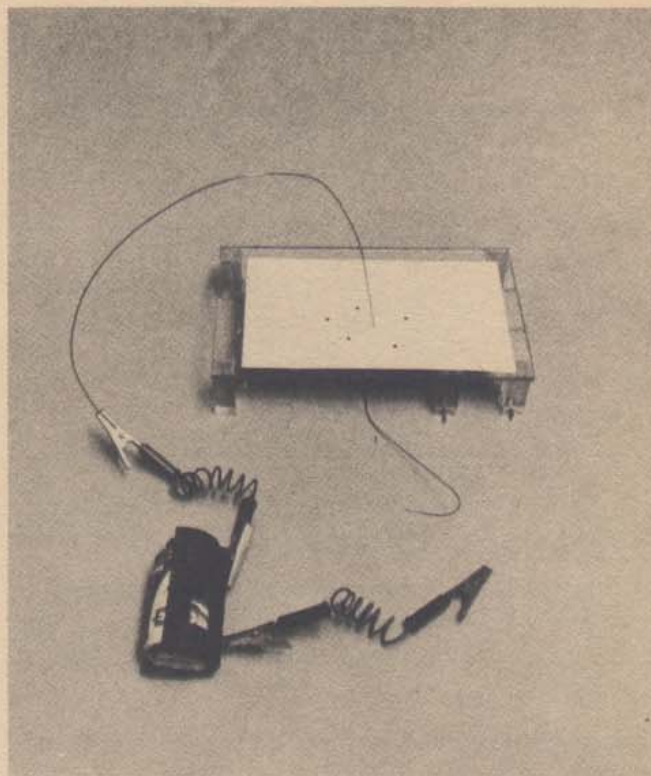


figura 10

5. Campos produzidos por correntes

Você já estudou que fios percorridos por corrente elétrica se comportam de maneira análoga a ímãs. Além disso, verificou que uma agulha imantada toma uma direção bem definida, quando está próxima de uma espira em que circula uma corrente elétrica. Ora, se fios percorridos por corrente elétricas agem sobre agulhas, poderemos dizer também, como no caso do ímã, que ao redor de tais fios se produz um campo magnético.

Você vai agora estudar experimentalmente o campo magnético produzido por uma corrente elétrica.

Prenda uma folha de papel com fita adesiva ao suporte. Passe um fio condutor por um furo, de modo que ele fique perpendicular ao plano do suporte. Veja a figura 10.

Marque, sobre o papel, alguns pontos próximos do fio (cerca de 2 ou 3cm), como está indicado na figura.

Coloque a bússola sobre um dos pontos e ligue, momentaneamente, os extremos do fio a uma pilha.

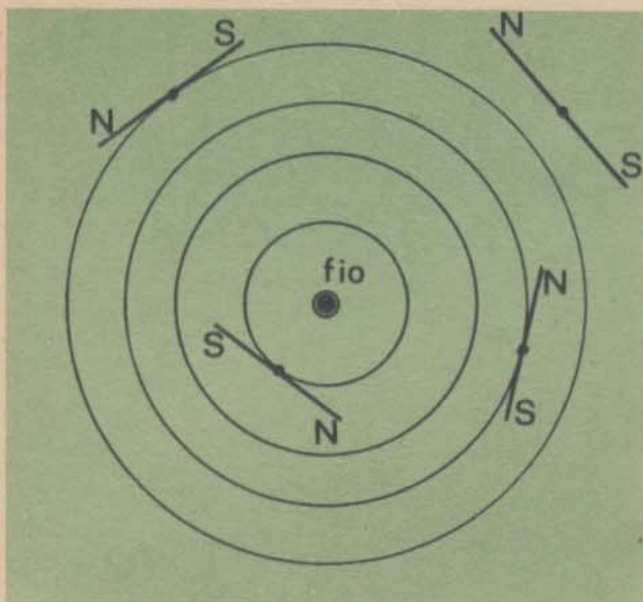


figura 11



figura 12

RESPOSTAS

R₁₃ -

R₁₄ -

Trace no papel a direção que a agulha da bússola tomou, com a respectiva orientação N-S, quando o fio foi ligado à pilha.

Repita o procedimento para os outros pontos marcados, tomando cuidado para que a corrente circule pelo fio sempre no mesmo sentido. Para isso, mantenha a pilha com a mesma polaridade em relação ao fio.

Inverta agora o sentido da corrente no fio, invertendo as ligações com a pilha, e observe o comportamento da bússola nos mesmos pontos.

Q13 — A direção assumida pela agulha da bússola continua a mesma?

Q14 — A orientação dessas direções continua a mesma?

Retire o papel do suporte e use um compasso ou outro dispositivo para traçar algumas circunferências com centro no furo por onde o fio passou. Você poderá verificar que as direções que traçou com a bússola são aproximadamente tangentes a circunferências como essas. Veja a figura 11.

Com os resultados dessas medidas e outras mais precisas, pode-se concluir que as

linhas de campo, nas proximidades de um fio retilíneo, são linhas em planos perpendiculares ao fio e concêntricas com ele. A orientação das linhas depende do sentido da corrente no fio.

Usaremos agora uma regra prática para prever a orientação das linhas de campo produzidas por uma corrente retilínea.

Imagine que você pega o fio com a mão direita, tendo o polegar apontando para o sentido da corrente; os outros dedos lhe darão a orientação das linhas de campo (veja a figura 12).

Utilizando essa regra, confirme as orientações que você determinou com a bússola

A intensidade do campo \vec{B} , criado por um fio retilíneo percorrido por corrente, depende, em cada ponto, do valor dessa corrente e da distância desse ponto ao fio.

Com base em experiências nas quais se mede \vec{B} para pontos a diferentes distâncias de um condutor retilíneo muito longo, pode-se concluir que \vec{B} diminui à medida que os pontos se afastam do condutor.



ANDRÉ MARIE AMPÈRE (1775-1836) nasceu em Lyon, na França, e foi professor titular de Matemática na Escola Politécnica de Paris. Estabeleceu a relação entre eletricidade e magnetismo; quando soube da experiência de Oersted sobre efeitos magnéticos da corrente elétrica, interessou-se pelo assunto e, uma semana mais tarde, publicou trabalho sobre o mesmo.

Medidas quantitativas mostram que o produto da intensidade de \vec{B} , num ponto P , pela distância d , de P ao condutor, é uma constante multiplicada pela corrente i , que percorre o condutor. Veja a figura 13.

$$B \cdot d = C_1 i$$

Assim, para um valor de corrente, determinado, quanto maior d , menor será o valor de \vec{B} ; para a mesma distância d , quanto maior for a corrente i , maior será o valor de \vec{B} .

Essa relação vale para pontos cuja distância d seja bem menor do que o comprimento da parte retilínea do condutor.

Suponha que um fio condutor, percorrido por uma corrente i , atravessa o plano α .

Q15 — Na figura 14 está representado esse fio condutor, perpendicular à folha de papel. A corrente i , que percorre o fio, produz em P_1 um campo magnético de 2T, como está indicado. Qual será o valor de \vec{B} em P_2 ? Indique na figura o vetor \vec{B}_2 em P_2 , utilizando a mesma escala.

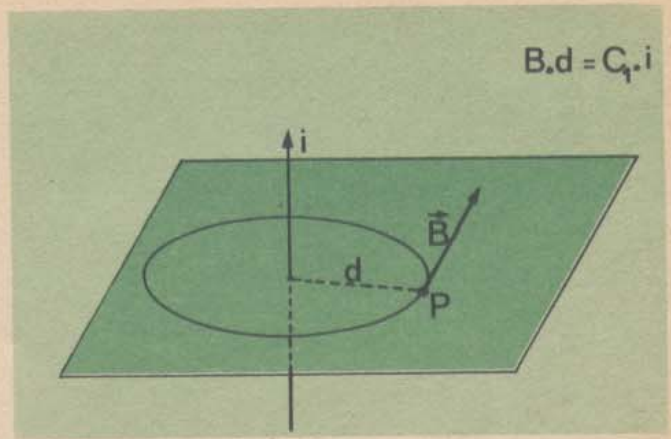


figura 13

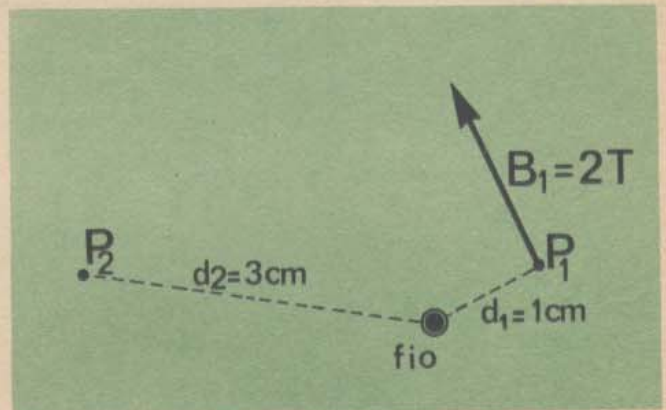


figura 14

Q16 — Qual a relação entre as intensidades de \vec{B} nos pontos P_1 e P_2 da figura 14?

Para interpretar a expressão $Bd = C_1 i$, vamos substituir a constante C_1 por $C/2\pi$.

$$Bd = C/2\pi \times i, \text{ ou}$$

$$B \cdot 2\pi d = Ci \quad (1)$$

O fator $2\pi d$ representa o comprimento da linha de campo que envolve o condutor a uma distância d ; \vec{B} é o valor do campo para todos os pontos nessa linha de campo (figura 15).

Então, podemos dizer que, num condutor retilíneo percorrido por uma corrente i , o produto da intensidade de \vec{B} ao longo de uma linha de campo, pelo comprimento dessa linha, é uma constante.

A relação (1) é um caso particular de uma lei muito importante na Física, conhecida por **Lei de Ampère**.

Faremos, aqui, algumas considerações para em seguida enunciarmos a Lei de Ampère de uma forma mais geral.

Lei de Ampère

(caso particular)

$$B \cdot 2\pi d = Ci$$

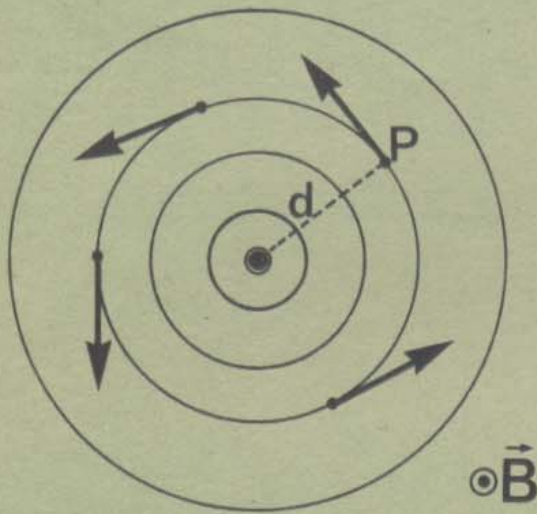


figura 15

Se chamarmos de ℓ o comprimento de uma linha de campo que envolve um condutor qualquer, percorrido por uma corrente i , a relação (1) será:

$$B\ell = Ci$$

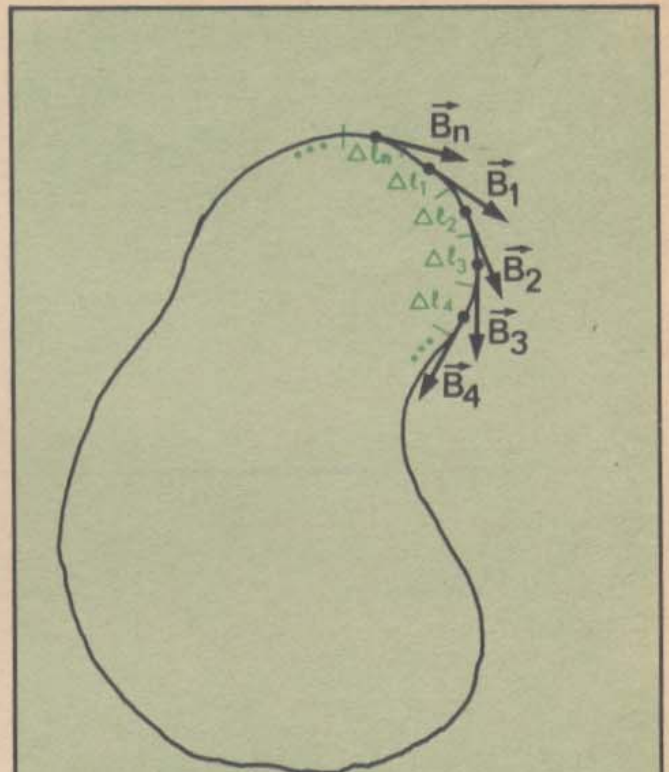
Essa expressão é equivalente a (1), mas vale para uma linha de campo, qualquer que seja sua forma, desde que ℓ seja o comprimento da linha de campo em que \vec{B} seja constante ao longo de toda a linha.

De um modo mais geral, \vec{B} pode não ser constante ao longo de uma linha de campo. Nesse caso subdividimos a linha em pequenos intervalos, $\Delta\ell$, dentro dos quais \vec{B} varia pouco, podendo ser considerado constante (figura 16). Somando todos os produtos $B \cdot \Delta\ell$ ao longo da linha, podemos escrever

$$B_1 \Delta\ell_1 + B_2 \Delta\ell_2 + \dots + B_n \Delta\ell_n = Ci$$

ou
$$\sum_{j=1}^n B_j \Delta\ell_j = Ci$$

O símbolo $\sum_{j=1}^n$ significa soma ao longo da linha de campo, e esta é a Lei de Ampère, numa forma mais geral do que a relação (1).



$$\sum_{j=1}^n B_j \Delta\ell_j = Ci$$

A letra grega Σ (sigma) indica a soma de várias parcelas. O índice j representa cada uma das parcelas; para n parcelas, j toma valores desde 1 até n .

figura 16

RESPOSTAS

R₁₅ -

R₁₆ -

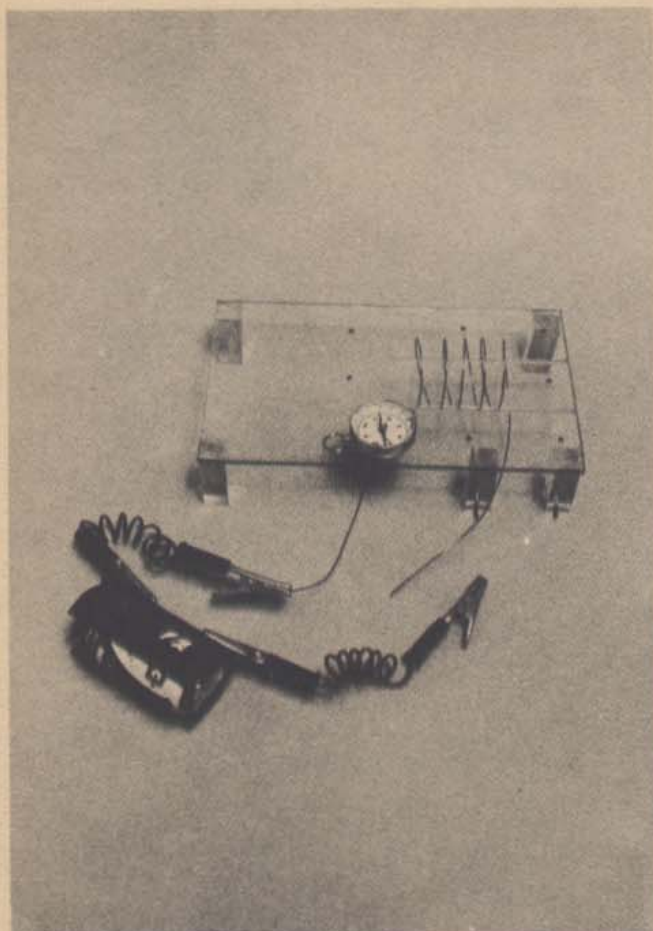


figura 17

Você vai determinar agora as linhas de campo produzidas por um solenóide percorrido por uma corrente elétrica.

Enrole o fio (cerca de 5 voltas em torno de uma pilha) para fazer um solenóide e coloque-o no suporte; corte numa folha de papel duas fendas iguais às do suporte e adapte-as ao conjunto.

Tome cuidado para que a ligação com a pilha não se mantenha por muito tempo.

Determine as direções das linhas de campo, colocando a bússola em vários pontos previamente marcados, dentro e fora do solenóide. Veja a figura 17.

Q17 — Faça na figura 18 um esboço das linhas de campo do solenóide. Não se esqueça de indicar as orientações.

Q18 — Se você tiver de substituir esse solenóide por um ímã que produza exatamente o mesmo efeito magnético, onde estarão os pólos norte e sul desse ímã? Para responder, leve em conta a orientação das linhas de campo.

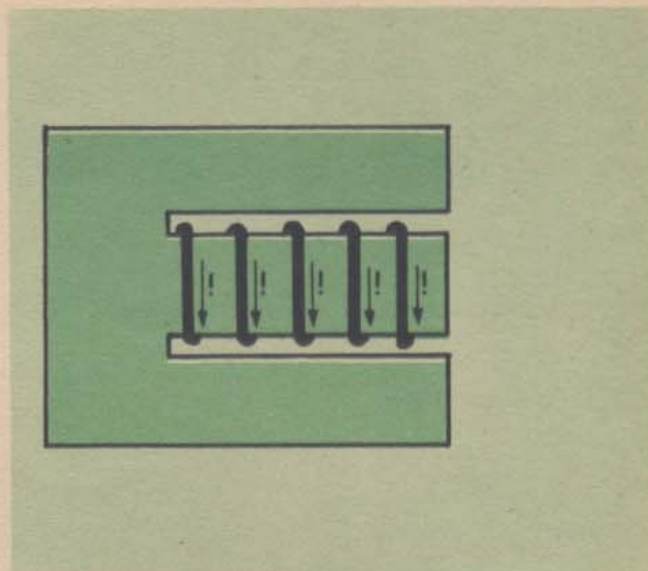


figura 18

Inverta o sentido de percurso da corrente pelo solenóide.

Q19 — Que modificação aparece nas linhas de campo?

Podemos concluir que as linhas de campo magnético de um solenóide são análogas às de um ímã; a orientação depende do sentido da corrente elétrica.

Também para o solenóide as linhas distribuem-se em todo o espaço em volta dele; uma representação esquemática pode ser vista na figura 19.

As experiências que você fez com ímãs e limalha de ferro podem ser realizadas também com os fios percorridos por corrente. Entretanto, para obter resultados convincentes, é necessário dispor de correntes muito mais intensas do que as que se podem obter de uma pilha.

Agora você tem elementos para descrever um campo magnético — criado por um ímã ou por fios percorridos por correntes —, aplicando o conceito de linhas de campo. Inversamente, se você conhecer as linhas de cam-

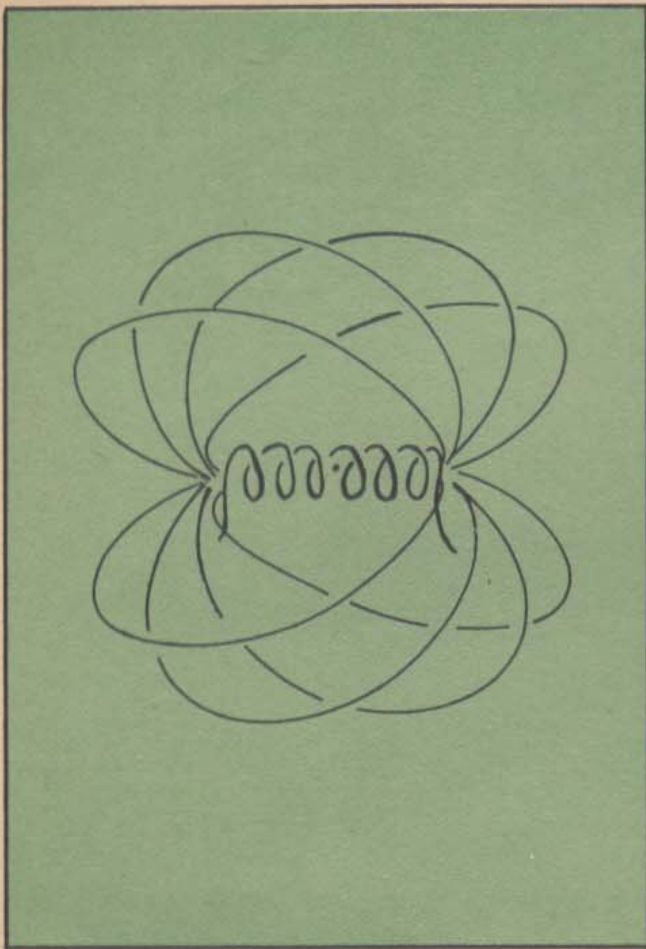


figura 19

po de um campo magnético, será capaz de prever alguns fenômenos que nele podem ocorrer, como, por exemplo, qual a orientação de uma bússola quando colocada em um ponto desse campo.

Os exemplos que usamos servem para ilustrar a utilidade do conceito de campo magnético e de sua representação por linhas de campo.

6. Exercícios de aplicação

- E1 — Determine as linhas do campo magnético criado por um ímã em forma de ferradura. Trace algumas linhas dessa configuração e o eixo de simetria dessas linhas na figura 20.
- E2 — Explique por que a limalha de ferro pode ser utilizada para indicar a direção do campo magnético.

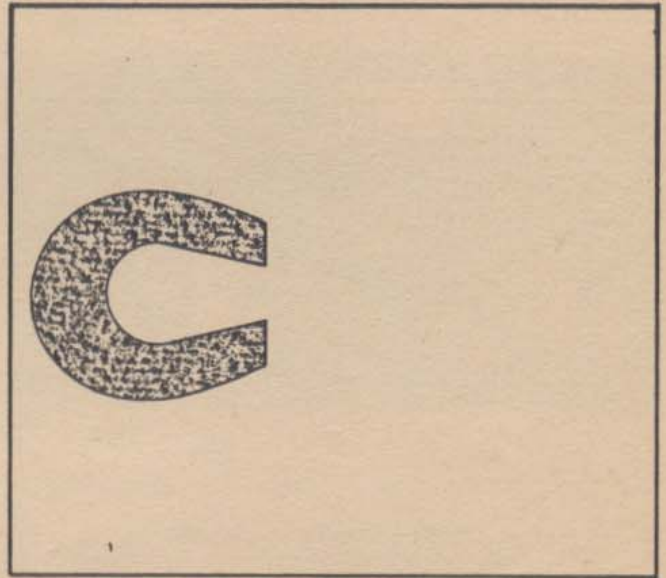


figura 20

RESPOSTAS

R₁₈ -

R₁₉ -

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₂ -

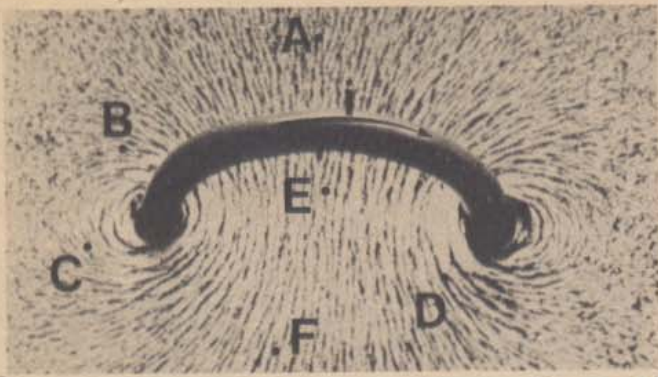


figura 21

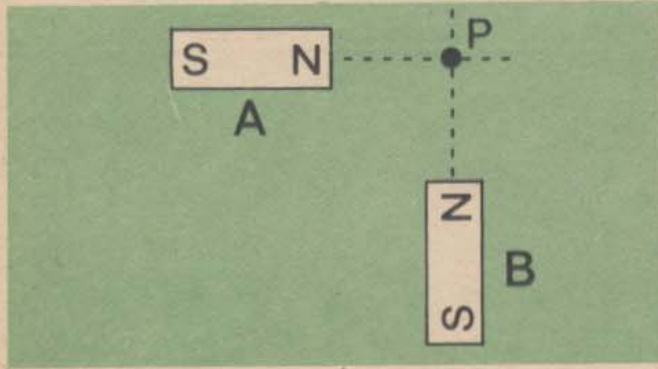


figura 22

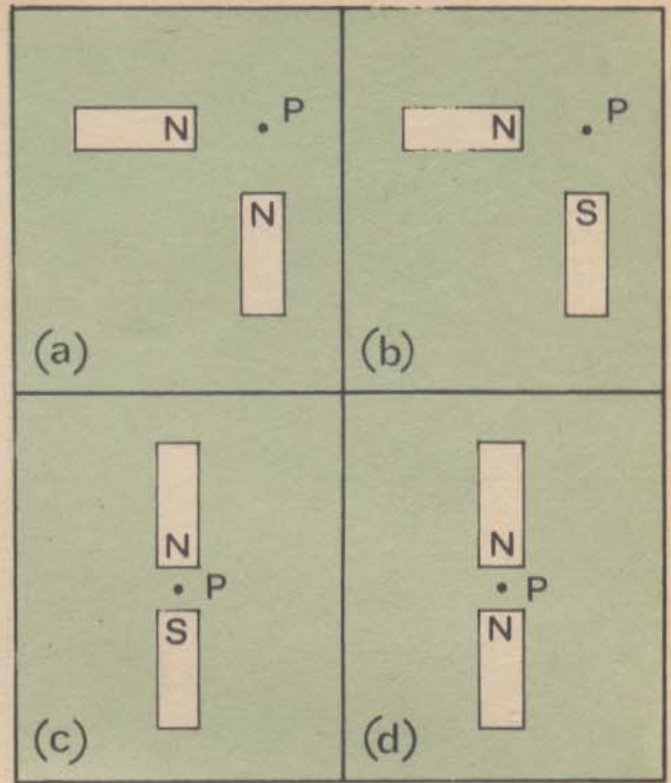
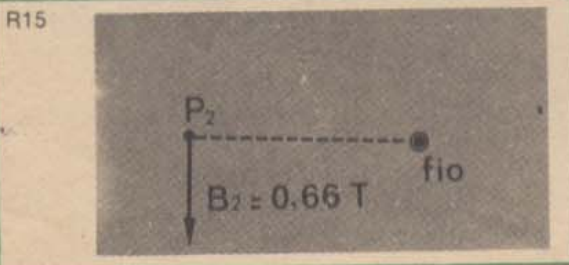


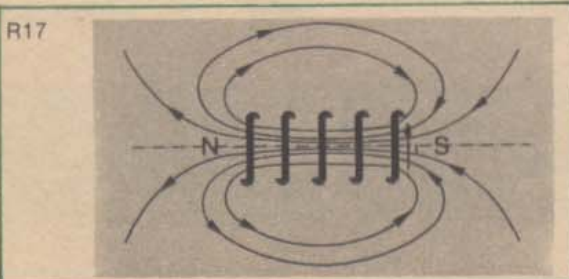
figura 23

R13 — A direção assumida pela agulha da bússola será aproximadamente a mesma para os dois sentidos da corrente. Comentário: Se não houvesse o campo da Terra, as direções seriam exatamente idênticas.

R14 — Não, as orientações dessas direções são opostas.



R16 — $B_1/B_2 = 3$.



R18 — O eixo do ímã deverá coincidir com o eixo do solenóide. Os pólos estarão nas posições indicadas na figura acima.

R19 — As direções das linhas de campo permanecem as mesmas. Os sentidos são invertidos.

E3 — Uma espira, percorrida por corrente, orienta a limalha de ferro, produzindo a configuração representada na figura 21. Determine a direção e o sentido do campo magnético nos pontos A, B, C, D, E e F. Determine onde estarão o norte e o sul de uma pequena bússola colocada no ponto C.

E4 — Em qual dos pontos C, F ou E, representados na figura 21, a intensidade do vetor indução magnética é maior? Em qual é menor? Por quê?

E5 — Dois ímãs de barra exatamente iguais estão dispostos como na figura 22. A intensidade dos campos magnéticos produzidos individualmente pelos ímãs A e B no ponto P vale 2T cada uma. Qual a intensidade do campo magnético total, produzido em P, pelo conjunto?

E6 — Dois ímãs de barra iguais estão dispostos como na figura 23. Supondo que cada um, separadamente, produz um campo magnético de intensidade 10T no ponto P, quanto vale a

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

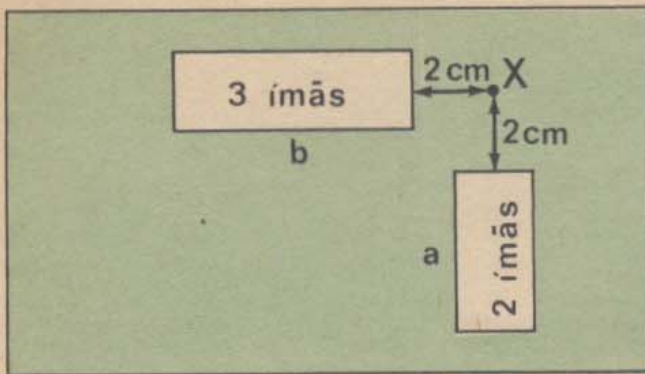


figura 24

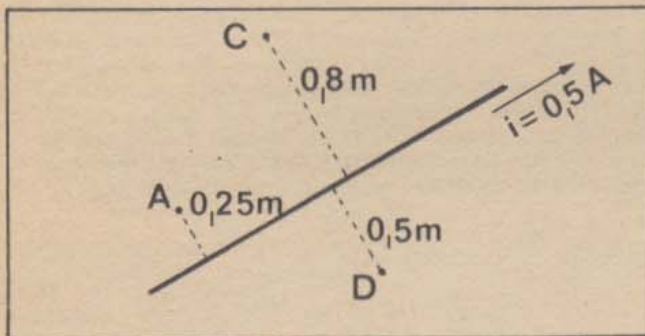


figura 25

intensidade do campo produzido pelo conjunto, em cada caso?

- E7** — Dispõem-se 5 ímãs de barra iguais, como na figura 24. Eles estão amarrados em dois conjuntos **a** e **b**, um com dois ímãs e outro com três ímãs, com as extremidades de mesmo nome coincidindo. Cada um deles produz um campo magnético de intensidade igual a B_0 a uma distância de 2 cm de sua extremidade. Qual a intensidade do campo magnético no ponto X?
- E8** — Represente, na figura 24, segmentos proporcionais às intensidades dos campos magnéticos produzidos por **a** e **b** e pelo conjunto todo.
- E9** — Uma corrente de 0,5A percorre um condutor retilíneo (veja a figura 25) e produz no ponto A um campo magnético de intensidade igual a 4×10^{-7} T. Calcule a intensidade do campo magnético nos pontos C e D da figura.
- E10** — Qual a direção e o sentido do vetor indução magnética nos pontos A, C e D da figura anterior?

R₄ -

R₅ -

R₆ - a)

b)

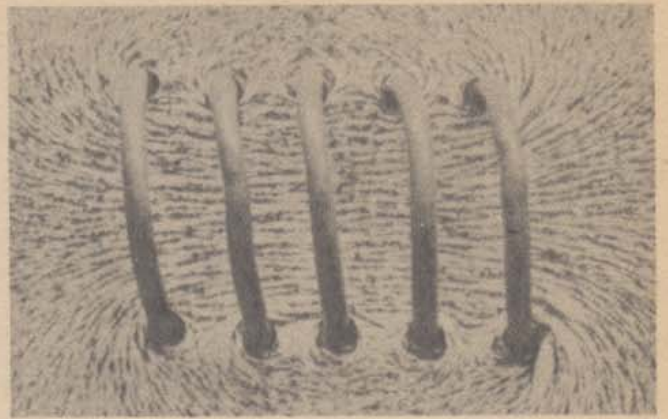
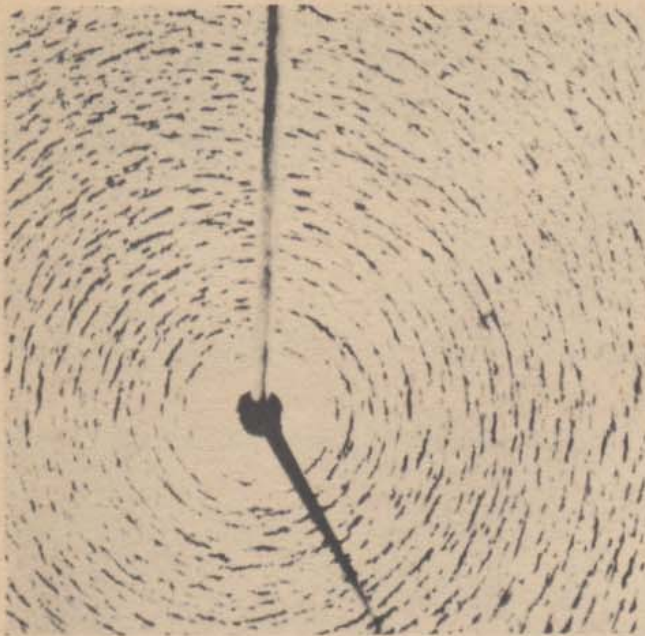
c)

d)

R₇ -

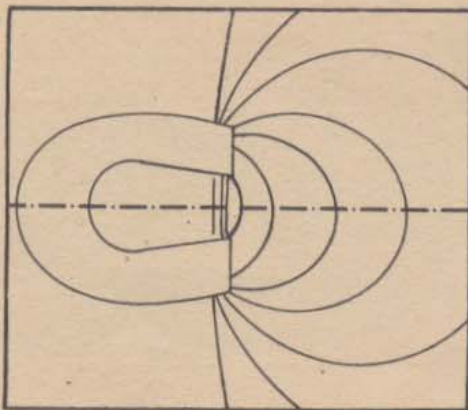
R₉ -

R₁₀ -

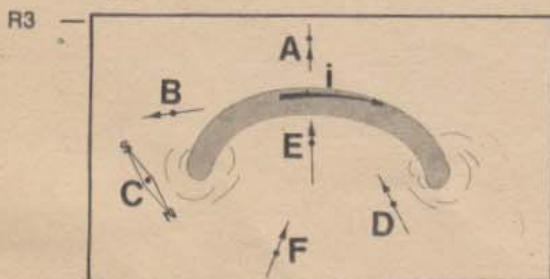


Para obter a orientação da limalha de ferro em campos magnéticos produzidos por correntes elétricas é necessário que a corrente seja intensa. As fotografias mostram a configuração desses campos no caso de um condutor reto e de um solenóide. Observe que, dentro do solenóide, também existem linhas de campo, e que, nos pontos em que as espiras furam o plano, a configuração é semelhante à do condutor reto mostrado ao lado.

R1 — A determinação das linhas de campo pode ser feita com uma bússola colocada em vários pontos em volta do ímã ou com limalha de ferro espalhada sobre um papel que cobre o ímã. Com limalha, a visualização das linhas é melhor e permite o traçado indicado na figura.



R2 — A limalha de ferro magnetiza-se quando colocada no campo magnético do ímã e orienta-se de acordo com este campo, indicando a sua direção em cada ponto.



R4 — A intensidade do vetor indução magnética é maior no ponto C. É menor no ponto F. Sobre o eixo da espira, a intensidade é tanto menor quanto mais afastada do centro.

$$R5 — B_x = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} \text{ T}$$

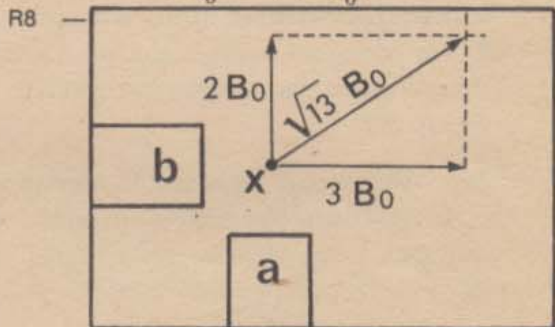
$$R6 — a) B_x = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ T}$$

$$b) B_x = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ T}$$

$$c) B_x = 10 + 10 = 20 \text{ T}$$

$$d) B_x = 10 - 10 = 0$$

$$R7 — B_x = \sqrt{(3B_0)^2 + (2B_0)^2} = \sqrt{9B_0^2 + 4B_0^2} = \sqrt{13B_0^2} = \sqrt{13} B_0$$



R9 — Utilizando a Lei de Ampère:

$$B \cdot d = C_1 i$$

$$4 \cdot 10^{-7} \cdot 0,25 = C_1 \cdot 0,5 \therefore$$

$$C_1 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

Para o ponto C ($d = 0,8 \text{ m}$)

$$B \cdot 0,8 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5 \therefore B = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

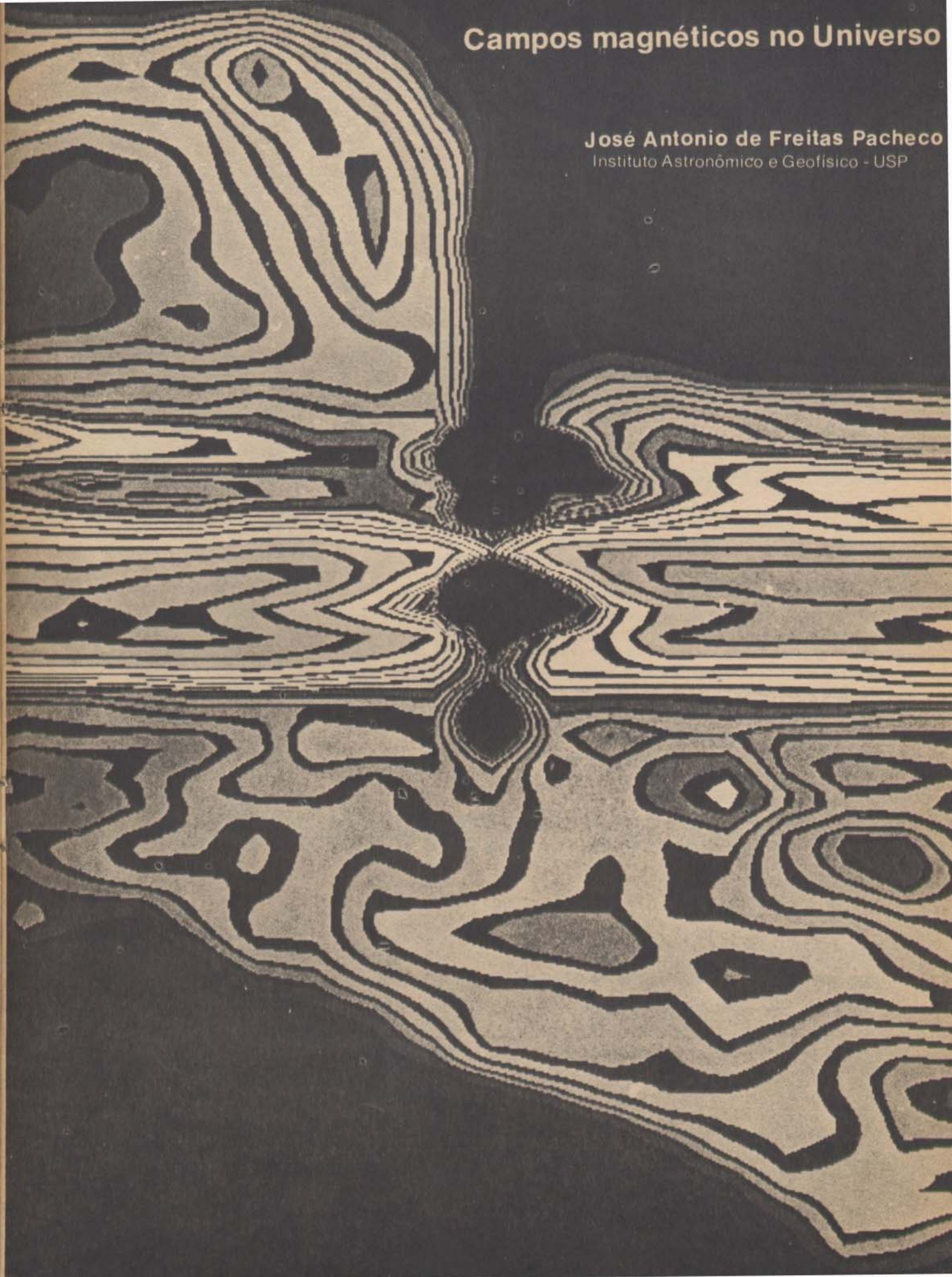
Para o ponto D ($d = 0,5 \text{ m}$)

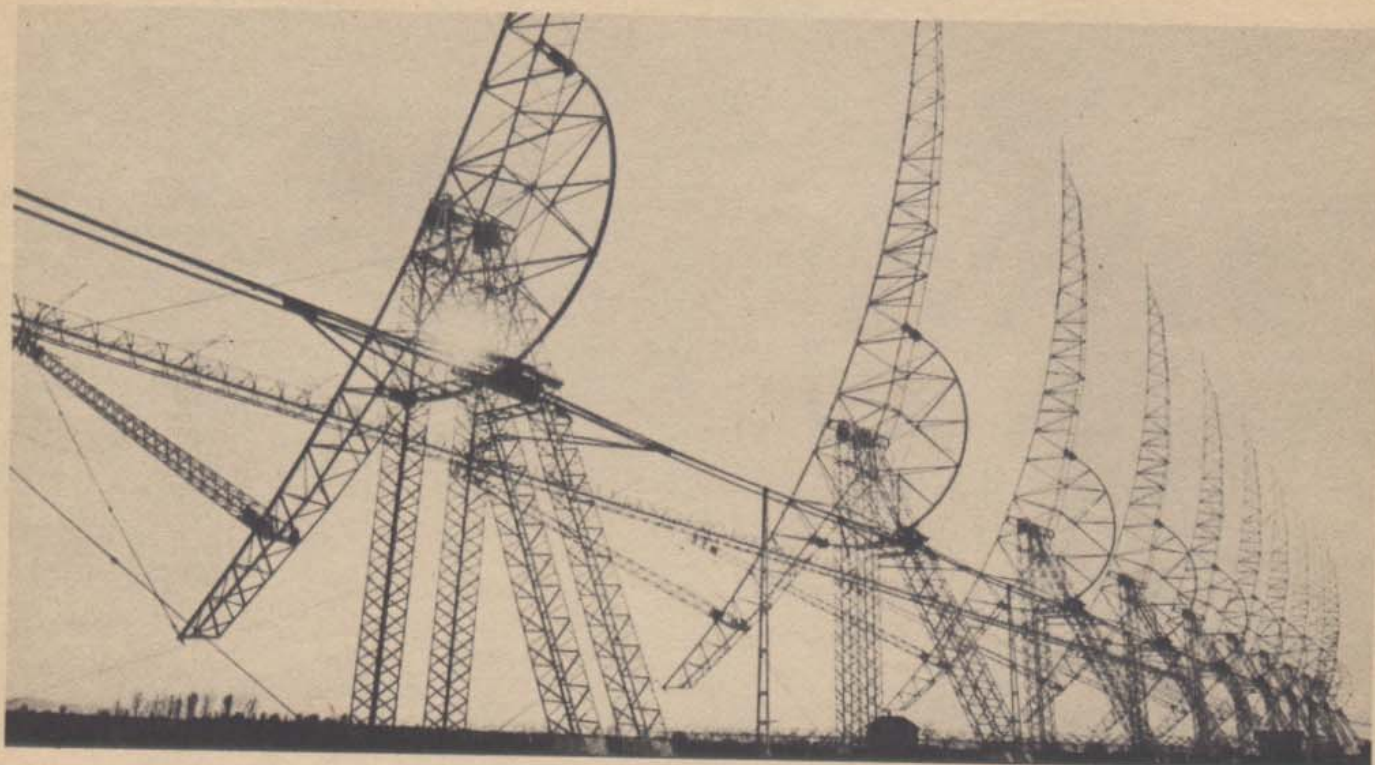
$$B \cdot 0,5 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5 \therefore B = 2 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

R10 — A direção nos pontos A, C e D é perpendicular ao plano da figura. Em A e C, saindo do papel, e em D, entrando.

Campos magnéticos no Universo

José Antonio de Freitas Pacheco
Instituto Astronômico e Geofísico - USP





Os radiointerferômetros e os radiotelescópios são utilizados para captar ondas eletromagnéticas provenientes do espaço, emitidas por galáxias, restos de supernovas, quasares etc. A análise dessas ondas emitidas pelas galáxias mostra a existência de hidrogênio — a intensidade das ondas corresponde à quantidade de hidrogênio; fazendo-se um mapeamento da intensidade dessas ondas, pode-se ter uma idéia da distribuição de hidrogênio nas galáxias. Nossa galáxia, como muitas outras, possui uma estrutura espiralada com um núcleo no centro; esse núcleo pode ser observado através de raios X e ondas de rádio que ele emite, e sabe-se que, às vezes, ocorrem explosões gigantescas cuja natureza ainda é desconhecida. Baseando-se em observações feitas com o radiotelescópio do Observatório Radioastronômico de Green Bank e utilizando-se computadores, construiu-se o mapa da distribuição de hidrogênio nas proximidades do núcleo galáctico, que aparece na página anterior.

Leitura Suplementar

Campos magnéticos no Universo

Sabemos que, se uma agulha imantada for suspensa fora da influência de materiais ferromagnéticos, ela tomará uma orientação bem determinada em relação à Terra.

Desse fato podemos concluir que há nessa região um campo de forças, que é o campo magnético terrestre. Sua intensidade varia de ponto para ponto na superfície da Terra, tendo valores entre 0,1 e 0,01 gauss.

3-18

A origem desse campo não está ainda bem estabelecida, mas é provável que esteja relacionada com o movimento de matéria no magna terrestre.

Com relação aos demais corpos celestes, podemos fazer a seguinte pergunta: possuem esses corpos campos magnéticos análogos ao terrestre?

É óbvio que, com exceção da Lua e planetas próximos, não podemos levar uma agulha imantada para verificar a existência ou ausência de campo magnético na superfície de um dado objeto astronômico. No caso da Lua, as expedições espaciais mostraram que ela possui um campo

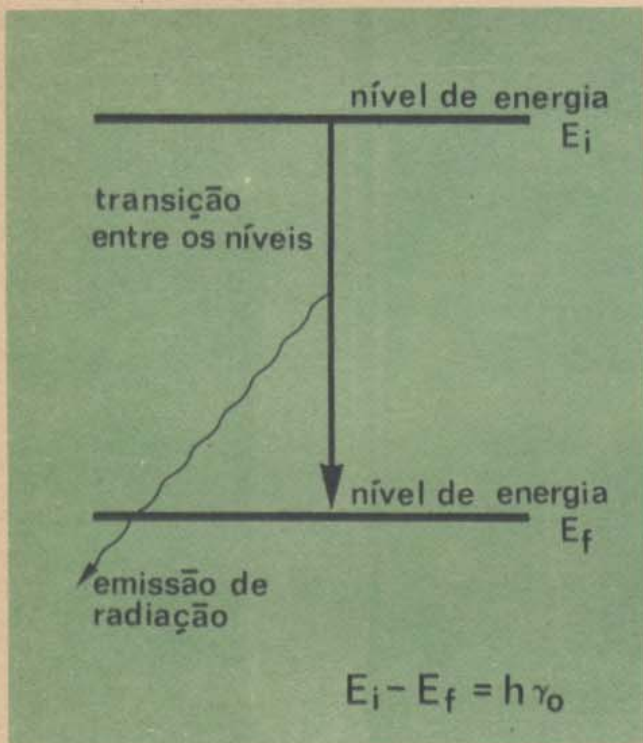


figura 26

magnético, se bem que mais fraco que o terrestre. Assim sendo, como devemos proceder para responder à questão antes formulada?

A única maneira de obtermos informações sobre os objetos fora do nosso sistema solar é examinar as ondas eletromagnéticas (por exemplo, a luz) que eles emitem. A informação a respeito do campo magnético de um objeto astronômico poderá, portanto, ser obtida indiretamente, a partir da luz que ele emite.

Para isso, vamos entender primeiramente como um átomo emite luz.

Os átomos são constituídos de um núcleo, carregado positivamente, e uma coroa de elétrons, de carga negativa. Os elétrons estão distribuídos de tal forma, na coroa, que uma dada distribuição corresponde a um estado de energia bem definido do átomo (nível de energia). Os movimentos dos elétrons não se fazem ao acaso, mas existem regras bem definidas para determiná-los, na Mecânica Quântica.

Quando o átomo passa de um nível de energia E_i para outro nível mais baixo E_f , há emissão de radiação com energia igual à diferença de energia entre os níveis (ver figura 26).

A energia da radiação emitida é proporcional à sua frequência ν_0 . A constante de proporcionalidade é uma constante universal, chamada **constante de Planck** e representada pela letra h .

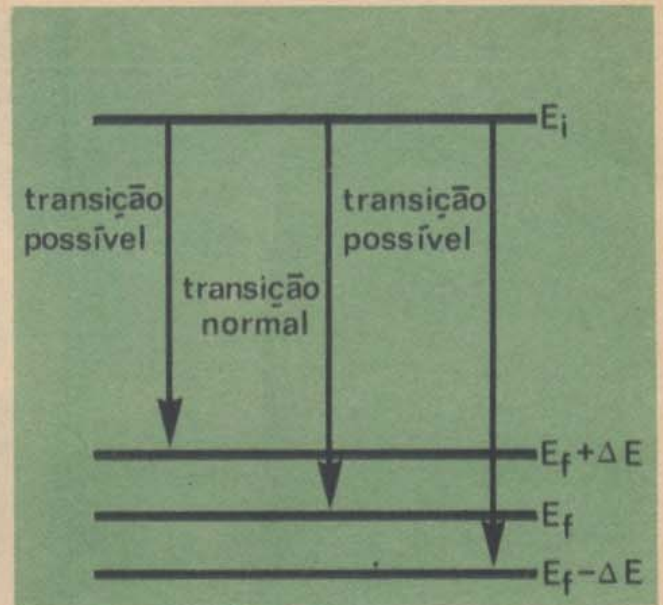


figura 27 — Com a existência de campo magnético, o nível de energia E_f se desdobra em três níveis possíveis. Assim, a transição do nível E_i pode ser para qualquer um dos níveis finais possíveis.

Assim, $E_i - E_f = h\nu_0$ e a frequência da radiação emitida é dada por:

$$\nu_0 = \frac{E_i - E_f}{h}$$

No entanto, se o átomo estiver imerso num campo magnético \vec{B} , há um desdobramento dos estados de energia, devido à interação das cargas existentes com o campo magnético em questão. Nesse caso, o esquema de passagem de um estado energético a outro é o representado na figura 27.

Pode-se verificar nessa figura que são possíveis três transições, dando origem a radiações com três frequências diferentes, que são:

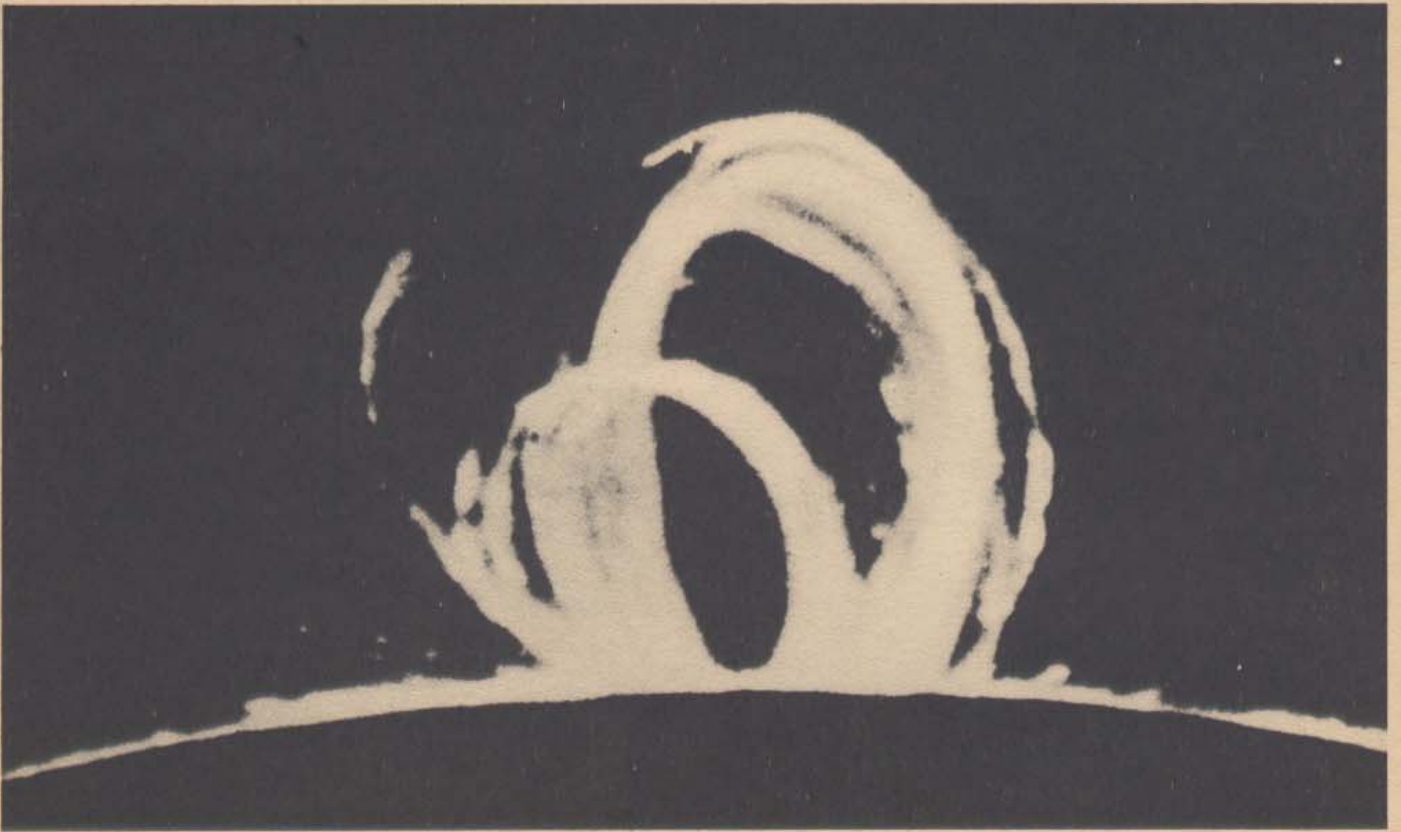
$$\nu_1 = \nu_0$$

$$\nu_2 = \nu_0 + \frac{eB}{2\pi m_e}$$

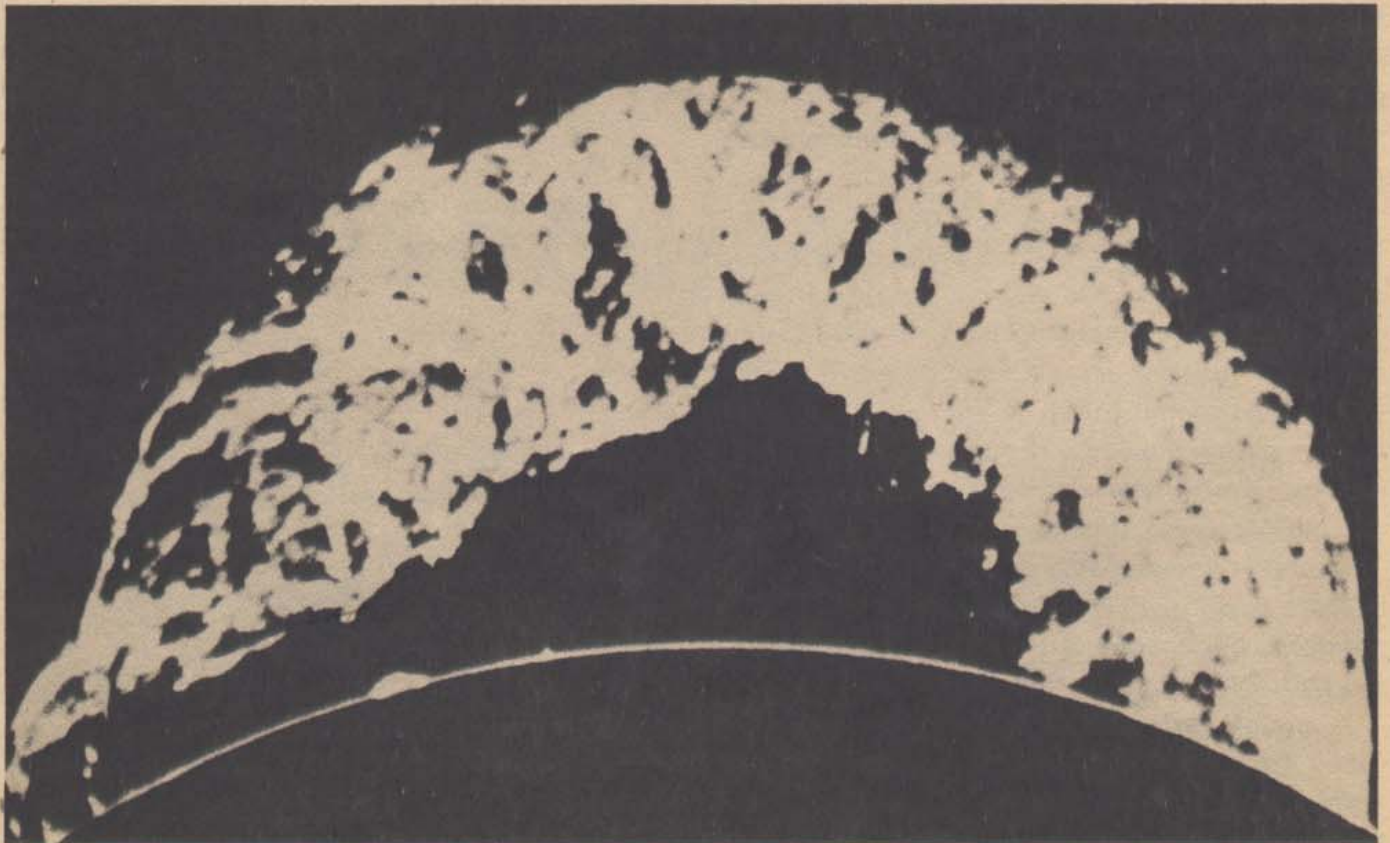
$$\nu_3 = \nu_0 - \frac{eB}{2\pi m_e}$$

onde $\frac{eB}{2\pi m_e}$ é a chamada frequência de giro de um elétron num campo magnético \vec{B} .

Nessas relações, e é a carga do elétron e m_e a massa do elétron.



Também ao redor do Sol existe campo magnético. Por ocasião das grandes explosões solares, esse campo pode ser visualizado; a matéria que explode, composta principalmente de prótons e elétrons, segue as linhas de campo, como se vê nas duas fotografias.



Para investigações sobre o sistema solar, mais recentemente são utilizadas sondas espaciais que tiveram grande desenvolvimento a partir do lançamento do Sputnik, em 1957. Os dados enviados por essas sondas são analisados e servem para elaboração de modelos e teorias científicas; por exemplo, o geólogo Bruce Murray formulou hipóteses sobre a existência de campo magnético em Mercúrio através da análise de fotografias enviadas pela sonda Mariner 10. Notícias das mais recentes investigações são freqüentemente publicadas nos jornais, que constituem constante fonte de informações novas.

O efeito que acabamos de descrever é chamado **efeito Zeeman**.

O efeito Zeeman permite-nos medir campos magnéticos em objetos distantes, graças ao estudo de sua radiação, já que a medida de ν_2 e ν_3 nos dá o cálculo da freqüência, uma vez que todas as outras grandezas são constantes universais bem determinadas.

Assim, por meio do efeito Zeeman, sabemos que a superfície do Sol possui um campo magnético médio da ordem de 1 gauss, mas que, nas chamadas **manchas solares**, os campos são da ordem de 2 000 a 4 000 gauss.

Por outro lado, existem estrelas que possuem campos magnéticos médios da ordem de **dez mil vezes** o campo médio do Sol. Tais estrelas são chamadas de **estrelas magnéticas**.

No entanto, esses não são os campos magnéticos celestes mais elevados que se conhecem. Em 1968, os astrônomos descobriram estranhos pulsos de radiação vindos do espaço, que só poderiam ser explicados se os objetos que os emitem possuíssem campos magnéticos da ordem de 1 000 000 000 000 G (um trilhão de gauss). Tais objetos celestes são chamados de **pulsares**.

No outro extremo da escala, ainda graças ao efeito Zeeman, os astrônomos conseguiram medir o campo magnético da nossa galáxia, vista como um todo. Tal campo é da ordem de 10^{-8} G (milionésimo de gauss).

Embora tenhamos realizado um imenso progresso em relação ao conhecimento de campos magnéticos no cosmo, o mecanismo que os origina permanece ainda praticamente desconhecido, oferecendo aos físicos e astrônomos um campo completamente aberto à pesquisa.

Nesse campo surgirão, certamente, muitas idéias novas e originais, antes que se encontrem explicações para os fenômenos observados.



rodi
da r

Espaço

Ferro sob o solo de Mercúrio

O geólogo Bruce C. Murray, chefe da equipe de cientistas que analisou as fotos enviadas pela sonda espacial norte-americana Mariner-10, revelou, ontem, em Washington, que as fotografias enviadas à terra sugerem que o planeta Mercúrio possui uma espessa camada de ferro, oculta sob uma superfície vulcânica semelhante à da lua.

Durante uma sessão da Sociedade Geofísica Norte-Americana, reunida na capital norte-americana, o professor Murray (que pertence ao Instituto Tecnológico da Califórnia) disse que ao analisar as fotos, enviadas pela Mariner-10 no dia 29 de março passado, chegou à conclusão de que Mercúrio "assemelha-se à lua no exterior, mas internamente se parece com a terra. Devido a essa característica, é um planeta único no sistema solar".

Segundo Murray, os traços mais surpreendentes nas fotografias são as crateras cheias de lava como as observadas na lua. Essas aparentes erupções vulcânicas levam a crer que o planeta possui um solo rico em ferro. Ele também informou que ainda não foi verificado se o córtex de Mercúrio está fundido como o da Terra, mas que existe a hipótese de um campo magnético rodeando o planeta, além da ação dinâmica de um córtex fundido que pode gerar magnetismo.

Esta obra foi impressa por
M & J Impressores Associados Ind. Com. Ltda.
Rua Cordovil, 175, Parada de Lucas - 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