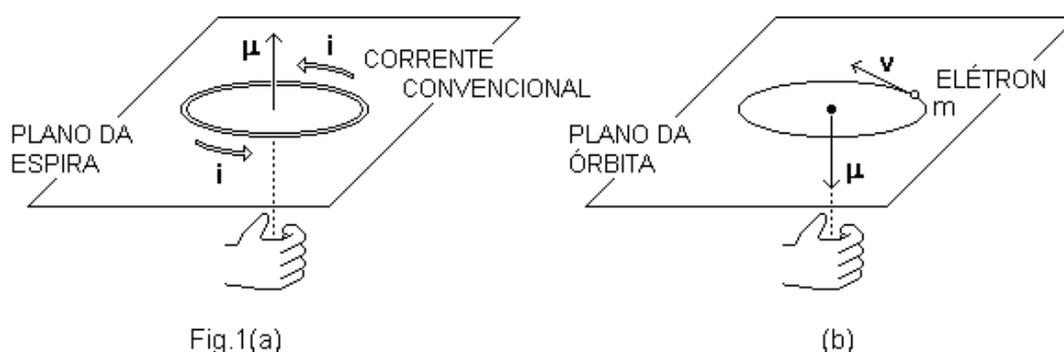


Propriedades Magnéticas da Matéria

Não existem monopólos magnéticos, isto é, partículas às quais possamos associar apenas um pólo magnético. Dessa forma, uma partícula com momento de dipolo magnético intrínseco é o objeto mais simples com efeitos magnéticos. Esse tipo de partícula se comporta como um pequeno ímã. Elétrons, prótons e nêutrons têm momentos de dipolo magnéticos intrínsecos.

Por outro lado, já vimos que uma espira com uma corrente elétrica (convencional) tem um momento de dipolo magnético com direção perpendicular ao plano da espira e sentido dado pela regra da mão direita (Fig.1(a)). Um elétron, numa órbita atômica, pode ser pensado como uma espira circular percorrida por uma corrente elétrica. Dessa forma, podemos associar ao elétron um momento de dipolo magnético orbital, perpendicular ao plano da órbita, mas com sentido contrário àquele dado pela regra da mão direita (Fig.1(b)).



O momento de dipolo magnético total de uma amostra de uma dada substância, por unidade de volume, é o que chamamos de magnetização dessa substância.

Podemos classificar as substâncias conforme o fenômeno que se estabelece quando elas são submetidas a um campo magnético externo. Aqui, vamos tratar apenas de três fenômenos básicos: o diamagnetismo, o paramagnetismo e o ferromagnetismo. Além disso, vamos discutir esses fenômenos numa visão semiclássica, que dá apenas uma idéia do que acontece. Os fenômenos que se estabelecem nas substâncias submetidas a um campo magnético externo só podem ser plenamente descritos e compreendidos no contexto da Mecânica Quântica.

Diamagnetismo

O diamagnetismo está associado aos momentos de dipolo magnéticos orbitais dos elétrons nos átomos ou moléculas que formam a substância em questão. Por isso, está presente, em maior ou menor grau, em todas as substâncias. Contudo, na maior parte delas, sua intensidade é muito baixa e sua presença é mascarada por outros fenômenos. Nos supercondutores, a intensidade do diamagnetismo é tão forte que o campo magnético resultante no interior da amostra é nulo.

Quando submetemos uma substância qualquer a um campo magnético, cada elétron que se move nos átomos ou moléculas da substância fica sujeito a uma força adicional. A perturbação no movimento de cada elétron é equivalente a uma velocidade adicional e, portanto, a uma mudança no seu momento de dipolo magnético orbital.

Um elétron de massa m , com velocidade de módulo v_0 num referencial fixo no núcleo atômico, numa órbita atômica circular de raio R (Fig.2(a)), está sob a ação de uma força centrípeta de origem elétrica, de módulo:

$$F_E = \frac{mv_0^2}{R}$$

Na situação representada na Fig.2(a), o momento de dipolo magnético orbital é um vetor perpendicular à página, que aponta para dentro dela.

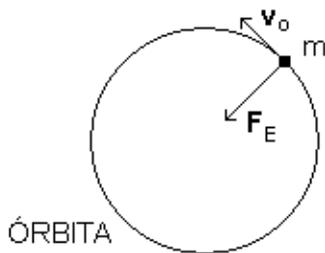
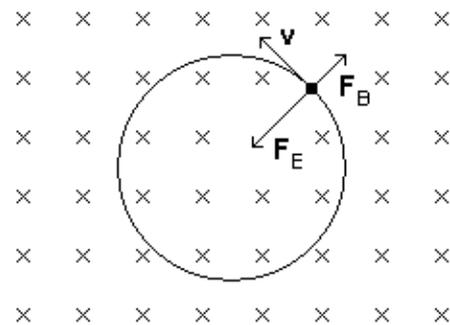


Fig.2(a)



(b)

Com um campo magnético externo (Fig.2(b)), o raio da órbita do elétron não muda, apesar de atuar sobre ele uma força magnética de módulo:

$$F_B = evB$$

sempre perpendicular à sua velocidade. O elétron se move, agora, sob a ação de uma força centrípeta de módulo:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{mv_0^2}{R} \mp evB$$

Nesta expressão, o sinal superior entre os dois termos do lado direito da igualdade vale no caso representado (Fig.2(b)) e o sinal inferior vale no caso em que o elétron se movimenta em sentido contrário.

Mesmo um campo magnético externo muito intenso perturba muito pouco a órbita de um elétron. Então, v difere muito pouco de v_0 e podemos escrever:

$$v = v_0 + \Delta v$$

com $\Delta v \ll v_0$. Substituindo esta expressão na anterior e desprezando os termos em $(\Delta v)^2$ e $B\Delta v$, temos:

$$\Delta v = \mp \frac{eRB}{2m}$$

Portanto, em primeira aproximação:

$$v = v_0 \mp \frac{eRB}{2m}$$

Esta expressão mostra que o módulo da velocidade e o módulo do momento de dipolo magnético diminuem para um elétron que se move conforme a Fig.2(b) e aumentam para um elétron que se move em sentido contrário. Além disso, como, no primeiro caso, o momento de dipolo magnético é paralelo ao campo magnético externo e, no segundo caso, antiparalelo, a aplicação desse campo numa substância com momento de dipolo magnético resultante nulo induz, na substância, um momento de dipolo magnético de sentido contrário ao do campo. Sendo assim, a substância e o ímã que cria o campo repelem-se mutuamente.

Paramagnetismo e Ferromagnetismo

Átomos ou moléculas com camadas atômicas incompletas, como no caso dos elementos de transição, das terras raras e dos actinídeos, têm momentos de dipolo magnéticos permanentes. Isso se deve aos momentos de dipolo magnéticos intrínsecos dos elétrons dessas camadas. As substâncias compostas desses átomos ou moléculas são paramagnéticas. A presença de um campo magnético externo produz um torque que tende a alinhar os momentos de dipolo magnéticos na mesma direção do campo. Dessa forma, aparece certa magnetização na amostra.

Nos metais, o paramagnetismo é devido a um alinhamento dos momentos de dipolo magnéticos intrínsecos dos elétrons de condução. O alinhamento não é perfeito devido às colisões entre os átomos ou moléculas, se a substância está na fase gasosa, e devido às vibrações microscópicas associadas à energia interna, se a substância está na fase sólida. Quando colocada num campo magnético externo, a substância adquire uma magnetização muito menor do que a máxima possível. Portanto, a substância e o ímã que cria o campo atraem-se mutuamente, com forças de pequena intensidade.



Fig.3

As substâncias ferromagnéticas têm uma magnetização permanente, fruto da tendência natural de alinhamento dos momentos de dipolo magnéticos permanentes de seus átomos ou moléculas. O alinhamento é perfeito em regiões chamadas de domínios, cujas dimensões vão de 10 a 0,001 milímetros cúbicos.

Como a direção de alinhamento é diferente de um domínio para outro (Fig.3), a magnetização da amostra pode ser nula ou muito pequena. Isso acontece, por exemplo, com um pedaço de ferro não magnetizado. Por efeito da aplicação de um campo magnético externo, ocorre um aumento no tamanho dos domínios favoravelmente orientados e uma diminuição correspondente no tamanho dos outros domínios. Além disso, diminuem os desvios angulares dos momentos de dipolo magnéticos de todos os domínios, tendendo a um melhor alinhamento com o campo

externo. O resultado final é uma grande magnetização e a amostra da substância transforma-se num ímã.

Por outro lado, devido ao efeito desalinador das vibrações microscópicas associadas à energia interna, para cada substância ferromagnética existe uma temperatura, chamada de temperatura de Curie, acima da qual a substância se torna paramagnética. Na temperatura ambiente, são ferromagnéticos o ferro, o níquel, o cobalto e o gadolínio, com temperaturas de Curie de 770 °C, 365 °C, 1075 °C e 15 °C, respectivamente.

Exercício 1

Considere uma substância ferromagnética. Discuta a curva de magnetização e o fenômeno da histerese.

Exercício 2

Descreva os seguintes fenômenos: o ferrimagnetismo e o antiferromagnetismo.