Autor: Roberto A. Salmeron

1: Ímãs

Há muito tempo se observou que certos corpos tem a propriedade de atrair o ferro. Esses corpos foram chamados ímãs. Essa propriedade dos ímãs foi observada pela primeira vez com o tetróxido de triferro (Fe_3O_4), numa região da Ásia, chamada Magnésia. Por causa desse fato esse minério de ferro é chamado magnetita, e os ímãs também são chamados magnetos.

2: Ímãs naturais e artificiais

A magnetita é o ímã que se encontra na natureza: é o ímã natural. Mas, podemos fazer com que os corpos que normalmente não são ímãs se tornem ímãs. Os ímãs obtidos desse modo são chamados ímãs artificiais. Chamamos corpo neutro àquele que não tem propriedade magnética: corpo imantado àquele que se tornou ímã. Chamamos imantação ao processo pelo qual um corpo neutro se torna imantada. Teoricamente, qualquer corpo pode se tornar um ímã. Mas a maioria dos corpos oferece uma resistência muito grande à imantação. Os corpos que se imantam com grande facilidade são o ferro e certas ligas de ferro usadas na fabricação de ímãs permanentes. Uma dessas ligas é o ALNICO, composta de ferro, alumínio, níquel, cobre e cobalto.

Os principais processos de imantação são:

a. Por indução magnética

É o fenômeno pelo qual uma barra de ferro se imanta quando fica próxima de um ímã.

b. Por atrito

Quando uma barra de ferro neutra é atritada com um ímã, ela se imanta. É necessário que sejam atritados sempre no mesmo sentido, porque o atrito num sentido desfaz a ímantação obtida no outro.

c. Por corrente elétrica

Suponhamos que um condutor seja enrolado em uma barra de ferro e percorrido por uma corrente elétrica; a barra de ferro se torna um ímã. Como a imantação foi obtida por meio de uma corrente elétrica, esse ímã é chamado eletroímã (fig. 223). Os eletroímãs são bastante cômodos por dois motivos: 1^{o}) conseguimos obter eletroímãs muito mais possantes do que os ímãs naturais;

2º) podemos fazer um verdadeiro controle do eletroímã, controlando a corrente que passa por ele; assim, aumentando a intensidade da corrente, o eletroímã se torna mais possante; suprimindo-se a corrente, ele deixa de funcionar, etc..

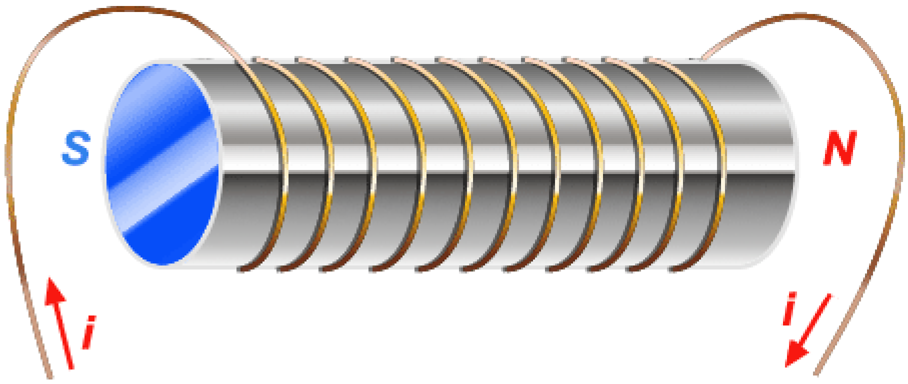


Figura 223

3: Ímãs permanentes e temporais

De acordo com a constituição química do ímã artificial, ele pode manter a propriedade magnética por muito tempo, até por muitos anos, ou perdê-la logo depois que cesse a causa da imantação. No primeiro caso o ímã é chamado permanente; no segundo, ímã temporal, ou transitório. Os eletroímãs são sempre ímãs temporais. Os ímãs naturais são permanentes.

4: Regiões polares

Um ímã não apresenta propriedades magnéticas em toda a sua extensão, mas só em certas regiões, chamadas regiões polares. Quando o ímã tem forma de barra as regiões polares são as extremidades da barra. Entre as regiões polares há uma região que não possui propriedades magnéticas: é chamada região neutra.

Quando um ímã é suspenso pelo seu centro de gravidade, entra em oscilação e depois fica em equilíbrio numa posição tal que suas regiões polares ficam voltadas para os polos geográficos da Terra. Chamamos região polar norte do ímã àquela que é voltada para o polo norte geográfico, quando o ímã é suspenso pelo centro de gravidade; região polar sul àquela que é voltada para o polo sul geográfico, quando o ímã é suspenso pelo centro de gravidade (fig. 224).

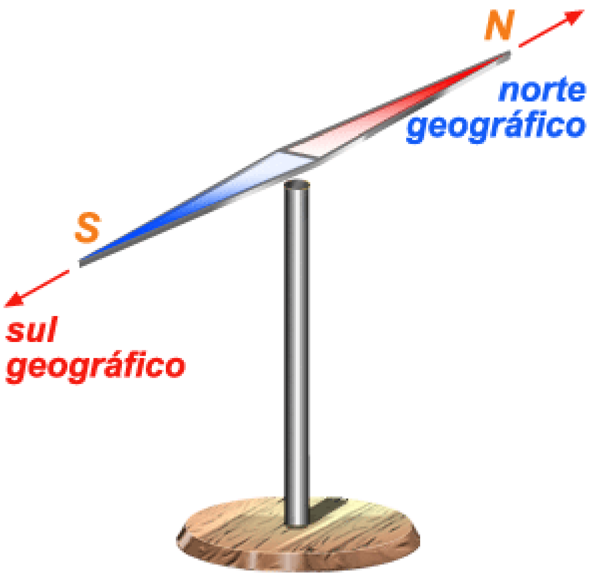


Figura 224

5: Atração e repulsão

Consideremos dois ímãs suspensos pelos centros de gravidade. Aproximando as suas regiões polares de todas as maneiras possíveis, concluímos o seguinte princípio, demonstrado exclusivamente pela experiência: “duas regiões polares de mesmo nome se repelem, e de nomes contrários se atraem” (fig.225).

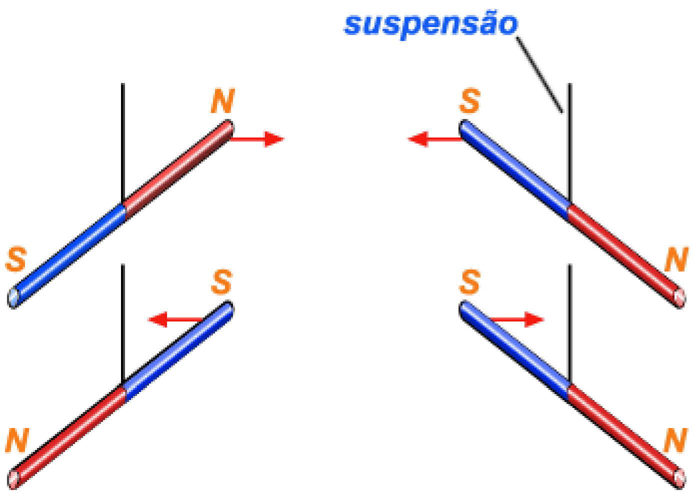


Figura 225

De acordo com o critério adotado para dar os nomes às regiões polares, concluímos que o polo norte geográfico da Terra é uma região polar sul magnética; e que o polo sul geográfico é uma região polar norte magnética.

Essa propriedade dos ímãs de se orientarem sempre para os polos terrestres é que permite que os ímãs sejam usados como bússolas. A lâmina magnética é um ímã artificial obtido com uma lâmina de aço de forma de losângulo (fig. 224). A bússola já era conhecida pelos chineses, parece que pelo ano 120 D.C.. No século XI começou a ser usada em navegação. A bússola é uma lâmina magnética adaptada a uma “rosa dos ventos”.

6: Massa magnética

Assim como em Eletrostática introduzimos o conceito de carga elétrica para podermos medir a força entre corpos eletrizados, em magnetismo introduzimos o conceito de massa magnética para que possamos medir a força entre corpos imantados. E, analogamente ao que acontece com carga elétrica, não temos elementos para dar uma definição de massa magnética. Consideramo-la um conceito primitivo e fixamos uma convenção que nos permite dizer quando duas massas magnéticas são iguais, ou uma é múltipla da outra. Do mesmo modo que no caso da carga elétrica, para fixarmos o critério de igualdade

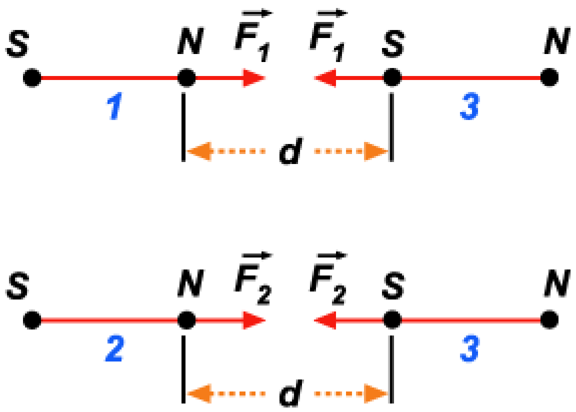


Figura 266

e multiplicidade de duas massas magnéticas precisamos considerar massas magnéticas ideais, chamadas massas magnéticas puntiformes. Massa magnética puntiforme é aquela contida em uma região polar cujas dimensões possam ser desprezadas relativamente ao problema em que está sendo considerada; em outras palavras, a região polar fica reduzida a um ponto (fig. 226).

Critérios de igualdade e multiplicidade

Suponhamos que desejamos comparar a massa magnética da região polar N do ímã 1 com a massa magnética da região polar N do ímã 2. Para isso usamos um terceiro ímã, o ímã 3 (fig. 226), e avaliamos a força que os polos norte de 1 e 2 exercem sobre o polo sul, por exemplo, do ímã 3. Quando o ímã 3 é colocado próximo do ímã 1, não vai haver ação só da região N de 1 sobre a região S de 3, mas sim, das duas regiões de 1 sobre as duas regiões de 3. Como nos interessa saber só a ação de N de 1 sobre S de 3, imaginamos os dois ímãs suficientemente compridos para que possamos desprezar os efeitos das regiões polares que não nos interessam, que são a S de 1 e N de 3.

A região N de 1, colocada à distância d da região S de 3, em certo ambiente dá origem à força $\vec{F}_1$. A região N de 2, colocada à mesma distância d da região S de 3, no mesmo ambiente, dá origem à força $\vec{F}_2$. Relativamente aos módulos de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ há dois casos:

1º caso: $\left|\vec{F}_2\right| = \left|\vec{F}_1\right|$

2º caso: $\left|\vec{F}_2\right| = n\left|\vec{F}_1\right|$

Autor: Roberto A. Salmeron

Convencionamos que, no 1º caso, a massa magnética da região N de 1 é igual à massa magnética da região N de 2. E que, no 2º caso, a massa magnética da

região N de 2 é igual a n vezes a massa magnética da região N de 1. Representando por m_{N1} e m_{N2} respectivamente, essas massas magnéticas, temos:

$$\text{no 1º caso: } m_{N2} = m_{N1}$$

$$\text{no 2º caso: } m_{N2} = n.m_{N1}$$

Escolhendo arbitrariamente a massa m_{N1} como unidade, e adotando esse critério, podemos medir a massa magnética m_{N2} . No primeiro caso, teríamos $m_{N2} = 1$; no segundo caso, $m_{N2} = n$ $m_{N2} = n$.

Notas

1ª) É importante notar que os critérios de igualdade e multiplicidade consistem em se medirem as massas magnéticas por números proporcionais às forças que essas massas magnéticas conseguem exercer. Pois, sendo $m_{N2} = n.m_{N1}$ ao mesmo tempo que $\left|\vec{F}_2\right| = n\left|\vec{F}_1\right|$, temos:

$$\frac{m_{N2}}{m_{N1}} = \frac{F_2}{F_1}$$

2ª) A região N de 1 exerce sobre a região S de 3 uma força $\vec{F}_1$ de atração, à distância d. Se colocarmos à mesma distância d a região S de 1 e a região S de 3, observaremos entre elas uma força de repulsão de mesmo módulo que $\vec{F}_1$. E, se as regiões polares N e S de um mesmo ímã nas mesmas condições exercem forças iguais, concluímos que elas tem igual massa magnética. Mas como uma exerce força de atração quando a outra exerce força de repulsão, convencionamos considerar positiva a massa magnética da região N e negativa a da região S. Para um mesmo ímã, temos, então:

$$m_n = -m_s$$

Assim como em Eletrostática introduzimos o conceito de carga elétrica para podermos medir a força entre corpos eletrizados, em magnetismo introduzimos o conceito de massa magnética para que possamos medir a força entre corpos imantados. E, analogamente ao que acontece com carga elétrica, não temos elementos para dar uma definição de massa magnética. Consideramo-la um conceito primitivo e fixamos uma convenção que nos permite dizer quando duas massas magnéticas são iguais, ou uma é múltipla da outra. Do mesmo modo que no caso da carga elétrica, para fixarmos o critério de igualdade e

multiplicidade de duas massas magnéticas precisamos considerar massas magnéticas ideais, chamadas massas magnéticas puntiformes. Massa magnética puntiforme é aquela contida em uma região polar cujas dimensões possam ser desprezadas relativamente ao problema em que está sendo considerada; em outras palavras, a região polar fica reduzida a um ponto (fig. 226).

Critérios de igualdade e multiplicidade

Suponhamos que desejamos comparar a massa magnética da região polar N do ímã 1 com a massa magnética da região polar N do ímã 2. Para isso usamos um terceiro ímã, o ímã 3 (fig. 226), e avaliamos a força que os polos norte de 1 e 2 exercem sobre o polo sul, por exemplo, do ímã 3. Quando o ímã 3 é colocado próximo do ímã 1, não vai haver ação só da região N de 1 sobre a região S de 3, mas sim, das duas regiões de 1 sobre as duas regiões de 3. Como nos interessa saber só a ação de N de 1 sobre S de 3, imaginamos os dois ímãs suficientemente compridos para que possamos desprezar os efeitos das regiões polares que não nos interessam, que são a S de 1 e N de 3.

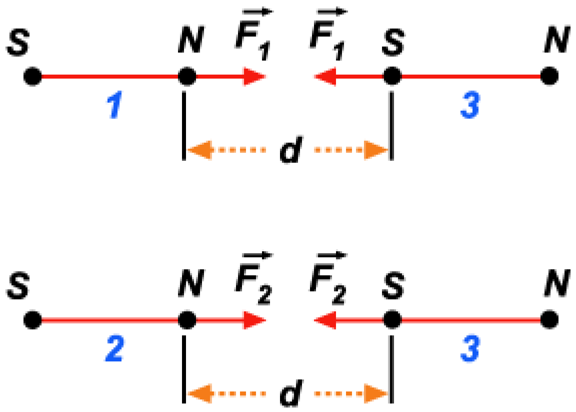


Figura 266

A região N de 1, colocada à distância d da região S de 3, em certo ambiente dá origem à força $\vec{F}_1$. A região N de 2, colocada à mesma distância d da região S de 3, no mesmo ambiente, dá origem à força $\vec{F}_2$. Relativamente aos módulos de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ há dois casos:

1º caso: $\left|\vec{F}_2\right| = \left|\vec{F}_1\right|$

2º caso: $\left|\vec{F}_2\right| = n\left|\vec{F}_1\right|$

Convencionamos que, no 1º caso, a massa magnética da região N de 1 é igual à massa magnética da região N de 2. E que, no 2º caso, a massa magnética da região N de 2 é igual a n vezes a massa magnética da região N de 1. Representando por $m_{N1}\, e\, m_{N2}$ respectivamente, essas massas magnéticas, temos:

no 1º caso: $m_{N2} = m_{N1}$

no 2º caso: $m_{N2} = n.m_{N1}$

Escolhendo arbitrariamente a massa m_{N1} como unidade, e adotando esse critério, podemos medir a massa magnética m_{N2} . No primeiro caso, teríamos $m_{N2} = 1$; no segundo caso, $m_{N2} = n$.

Notas

1ª) É importante notar que os critérios de igualdade e multiplicidade consistem em se medirem as massas magnéticas por números proporcionais às forças que essas massas magnéticas conseguem exercer. Pois, sendo $m_{N2} = n.m_{N1}$ ao mesmo tempo que $\left|\vec{F}_2\right| = n\left|\vec{F}_1\right|$, temos:

$$\frac{m_{N2}}{m_{N1}} = \frac{F_2}{F_1}$$

2ª) A região N de 1 exerce sobre a região S de 3 uma força $\vec{F}_1$ de atração, à distância d. Se colocarmos à mesma distância d a região S de 1 e a região S de 3, observaremos entre elas uma força de repulsão de mesmo módulo que $\vec{F}_1$. E, se as regiões polares N e S de um mesmo ímã nas mesmas condições exercem forças iguais, concluímos que elas tem igual massa magnética. Mas como uma exerce força de atração quando a outra exerce força de repulsão, convencionamos considerar positiva a massa magnética da região N e negativa a da região S. Para um mesmo ímã, temos, então:

$$m_n = -m_s$$

7: Leis de atração e repulsão entre massas magnéticas puntiformes

Suponhamos duas massas magnéticas puntiformes, m_1 e m_2 , separadas pela distância d (fig. 227). As forças $\vec{F}$ e $-F$ que atuam nelas obedecem a duas leis, análogas àquelas leis relativas a cargas elétricas puntiformes (veja o tópico "Leis de Atração e Repulsão").

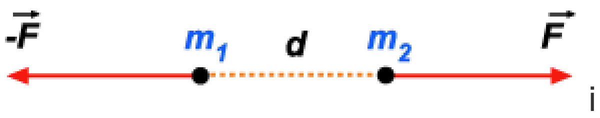


Figura 227

1ª - Lei

> "A intensidade da força de atração ou repulsão entre duas massas magnéticas puntiformes é proporcional ao produto das massas magnéticas."

Esta lei é uma consequência do critério adotado para comparar duas massas magnéticas. Repita aqui o raciocínio feito no tópico "Leis de Atração e Repulsão".

2ª - Lei de Coulumb

> "A intensidade da força de atração ou repulsão entre duas massas magnéticas puntiformes é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas."

Esta lei é demonstrada experimentalmente.

8: Fórmula de Coulomb

As duas leis podem ser expressas por uma fórmula única. Pela primeira lei, $\left|\vec{F}\right|$ é proporcional ao produto m_1, m_2 . Pela segunda lei, $\left|\vec{F}\right|$ é inversamente proporcional a d^2 , isto é, diretamente proporcional a $\frac{1}{d^2}$. Logo, $\left|\vec{F}\right|$ é proporcional ao produto $m_1 m_2 . \frac{1}{d^2} = m_1 . \frac{m_2}{d^2}$.

$$\frac{\frac{|m_1|.|m_2|}{d^2}}{\left|\vec{F}\right|} = \mu(\text{constante})$$

Significa que:

ou

$$\left|\vec{F}\right| = \frac{1}{\mu} . \frac{|m_1|.|m_2|}{d^2}$$

A constante μ depende das unidades escolhidas e do meio em que estão colocadas as massas magnéticas. É chamada permeabilidade magnética do meio. A força entre cargas elétricas é inversamente proporcional à constante dielétrica; e a força entre massas magnéticas é inversamente proporcional à permeabilidade magnética.

Levando em consideração os sinais de m_1 e m_2 , a fórmula de Coulomb passa a ser escrita, como no caso da Eletrostática:

$$\left|\vec{F}\right| = \frac{1}{\mu} . \frac{|m_1|.|m_2|}{d^2}$$

9: Pólo de um ímã

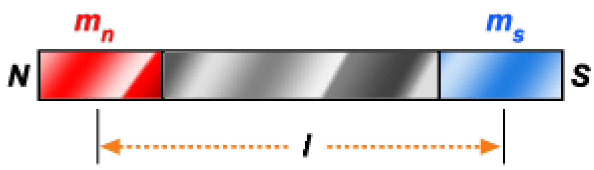
Já vimos que um ímã só possui propriedades magnéticas em certas regiões, que chamamos regiões polares norte e sul, que elas possuem massas magnéticas de iguais valores absolutos. Essas regiões polares de um ímã não são pontos, mas são superfícies. As leis que estudamos relativas à atração e repulsão, e a fórmula de Coulomb, só valem para massas magnéticas puntiformes. Entretanto, no caso de um ímã cujas massas magnéticas não são puntiformes também podemos aplicar essas leis, pelo seguinte motivo: a

massa magnética norte está distribuída pela região polar norte. Mas, nessa região existe um ponto N tal que, se a massa magnética estivesse concentrada nele, exerceria o mesmo efeito que exerce quando está distribuída. Esse ponto N é chamado polo norte. Do mesmo modo, polo sul é um ponto da região polar sul tal que, se toda a massa magnética sul estivesse concentrada nele, exerceria o mesmo efeito que quando está distribuída.

Desse modo, trabalhando com polos, podemos aplicar a fórmula de Coulomb e todas as consequências que resultarão dela. Por isso, daqui por diante nos referiremos aos polos e não mais às regiões polares.

Definição

Chama-se comprimento de um ímã à distância entre seus polos; representaremos por ℓ (fig. 228).



Figuras 228

10: Inseparabilidade dos pólos

Os polos de um ímã são inseparáveis. Se cortamos um ímã, os polos norte e sul não ficam isolados. Na parte correspondente ao polo norte aparece um novo polo sul; e na parte correspondente ao polo sul primitivo aparece um novo polo norte (fig. 229). Na natureza não existe um único polo magnético norte ou sul isolado: eles sempre existem aos pares, formando um ímã. Mas, muitas vezes temos necessidade de estudar a influência de um único polo magnético, norte ou sul. Nesse caso, supomos um ímã muito comprido, de tal modo que possamos desprezar a influência do polo norte sobre o polo sul, e reciprocamente.

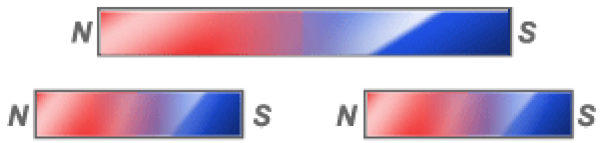


Figura 229

11: Sistemas de unidades em magnetismo e eletromagnetismo

Vimos, no tópico "Unidades de Carga Elétrica" , que o sistema MKS contém unidades em toda a Eletricidade, isto é, em Eletrostática, Eletrodinâmica, Magnetismo e Eletromagnetismo. E que o sistema CGSES contém unidades só em Eletrostática e Eletrodinâmica.

Além do CGSES, existe um outro sistema de unidades elétricas derivado do CGS mecânico: é chamado CGS eletromagnético (abreviadamente, CGSEM). Este sistema se inicia em Magnetismo, e é por isso que somente agora vamos estudá-lo. Embora se chame CGS eletromagnético, ele possui unidades também em Eletrostática e Eletrodinâmica, mas nessas partes suas unidades não são usadas.

Sistema CGSEM - a. Unidades fundamentais

Recorde o tópico "Unidades de Carga Elétrica". Já dissemos que não é possível construir-se um sistema de unidades elétricas partindo-se exclusivamente das três unidades fundamentais da Mecânica, mas, é necessário adotar-se uma quarta unidade fundamental, tipicamente elétrica. Esta quarta unidade do sistema CGSEM é a de permeabilidade magnética.

O sistema CGSEM adota arbitrariamente o valor 1 para a permeabilidade magnética do vácuo. A unidade de permeabilidade magnética deste sistema se indica por $uemCGS\mu$, ou $uCGSEM\mu$; também é chamada gauss/oersted, por razões que veremos mais tarde. (Tópico "Indução Magnética ou Densidade de Fluxo Magnético")

As unidades fundamentais do sistema CGSEM são, portanto:

1) unidade de comprimento – centímetro
2) unidade de massa – grama

3) unidade de tempo – segundo
4) unidade de permeabilidade magnética – gauss/oersted, ou $uemCGS\mu$.

Sistema CGSEM - b. Unidade de massa magnética

É deduzida a partir da fórmula de Coulomb:

$$\left|\vec{F}\right| = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{|m_1| \cdot |m_2|}{d^2}$$

Considerando-se:

$$\left.\begin{aligned} m_1 &= m_2 \\ d &= 1cm \\ \mu &= 1(vácuo) \\ F &= 1d \end{aligned}\right\} \text{Resulta: } Q_1 = 1 \text{ e } Q_2 = 1$$

Portanto: a unidade de massa magnética do sistema CGSEM é a massa magnética puntiforme, que, colocada no vácuo a um centímetro de outra massa magnética puntiforme igual, exerce sobre ela a repulsão de um dine.

Nota: A permeabilidade magnética do ar é muito próxima da do vácuo. Na prática a consideramos também igual a 1 gauss/oersted.

Sistema MKS - a. Unidades fundamentais

Já vimos que as unidades fundamentais deste sistema são: o metro, o quilograma, o segundo e o ampère. Agora que já sabemos o que é permeabilidade magnética, podemos nos deter mais na definição do ampère, já dada no tópico "A Formação do Sistema MKS em Eletricidade". No estudaremos o seguinte fenômeno: quando dois condutores, com corrente, são colocados próximos, cada um deles exerce força sobre o outro.Veremos que se os condutores são retilíneos e paralelos, as forças que atuam nos dois tem igual módulo que vale:

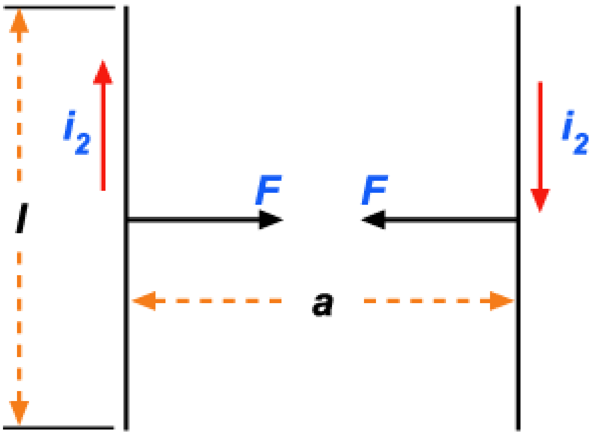


Figura 230

$$F = \mu \frac{2 i_1 i_2 l}{a}$$

onde: i_1 e i_2 são as intensidades das correntes; l é o comprimento dos condutores; a é a distância entre os condutores; μ é a permeabilidade magnética do meio.

Vimos que o ampère é definido do seguinte modo: ampère é a intensidade de uma corrente invariável que, passando em dois condutores paralelos e de comprimento infinito e distantes entre si de um metro, no vácuo, faz aparecer em cada condutor a força de 2.10^{-7} newtons por cada metro de condutor.

Sistema MKS - b. Unidade de permeabilidade magnética

É deduzida a partir da fórmula $F = \mu \frac{2 i_1 i_2 l}{a}$. Tiramos:

$$\mu = \frac{Fa}{2 i_1 i_2 l}$$

Se fizermos:

$$\left.\begin{array}{l} F=2N \\ a=1m \\ i_1=i_2=1A \\ l=1m \end{array}\right\} \text{Resulta}: \mu=\frac{2N.1m}{2.1A.1A.1m}$$

Ou

$$\mu=1\frac{N}{A^2}$$

que é a unidade de permeabilidade deste sistema.

Sistema MKS - c. Permeabilidade magnética do vácuo

É calculada pela fórmula $\mu=\dfrac{Fa}{2i_1i_2l}$, bastando para isso colocar nessa fórmula os valores das grandezas que entram na definição de ampère. Isto é, se considerarmos:

$$i_1=i_2=1A$$
$$l=1m$$
$$a=1m$$
$$F=2.10^{-7}N$$

então o μ será o do vácuo. Representaremos por μ_0 a permeabilidade do vácuo. Então:

$$\mu_0=\frac{Fa}{2i_1i_2l}=\frac{2.10^{-7}N.1m}{2.1A.1A.1m}$$

ou

$$\mu_0=10^{-7}\frac{N}{A^2}$$

Nota: A permeabilidade magnética do ar é muito próxima da permeabilidade do vácuo. Na prática as consideramos iguais.

Sistema MKS - d. Unidade de massa magnética

É deduzida a partir da fórmula de Coulomb, considerando-se:

$m_1 = m_2$

$d = 1cm$

$F = 10^7 N$

$\mu_0 = 10^{-7} \frac{N}{A^2}$ (Isto é, massas magnéticas no vácuo)

Resulta:

$$m_1 = m_2 = \sqrt{F \mu_0 a^2} = \sqrt{10^7 N.10^{-7} \frac{N}{A^2}.1m^2} =$$

$$= \sqrt{1\frac{N^2.m^2}{A^2}} = 1\frac{N.m}{A}$$

A unidade de massa magnética do sistema MKS é a massa magnética puntiforme que, colocada no vácuo a um metro de outra massa magnética puntiforme igual exerce a repulsão de $10^7 N$. É chamada $N\frac{m}{A}$, e por razões que veremos mais adiante também é chamada weber (tópico "Fluxo Magnético num Campo Uniforme").

12: Momento magnético de um imã

Consideremos um vetor cujo módulo seja o comprimento de ímã l, cuja direção seja a direção norte-sul do ímã, e cujo sentido seja do polo sul para o polo norte. Representaremos esse vetor por $\vec{l}$. Chama-se momento magnético do ímã ao produto do vetor l pelo valor absoluto da massa magnética de um dos polos. Pela própria definição vemos que é uma grandeza vetorial. Representando por $\vec{M}$ o momento magnético e por $|m|$ o valor absoluto da massa magnética de um dos polos, temos:

$\vec{M} = |m|\vec{l}$

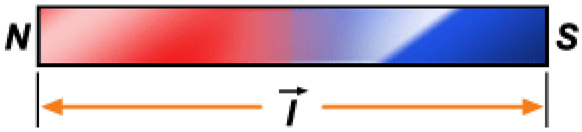


Figura 231

O módulo do momento magnético é:

$$\vec{M} = |m||\vec{l}\,|$$

Unidades - 1. Sistema CGSEM

A unidade de $|\vec{M}|$ é obtida considerando-se:

$$|m| = 1uem\ CGSm \text{ e } |\vec{l}\,| = 1cm$$

Resulta:

$$|\vec{M}| = 1uem\ CGSm.1cm == 1uem\ \mathrm{CGS}|\vec{M}|$$

A unidade CGSEM de $|\vec{M}|$ é o momento magnético de um ímã de um centímetro de comprimento que tenha em cada polo uma $uem\ CGSm$. É também chamada $gauss.cm^3$, como veremos no § seguinte.

Unidades - 2. Sistema MKS

É necessário considerar-se:

$m = 1weber$

$l = 1m$

Resulta:

$$|\vec{M}| = 1weber.1m = 1(weber.m)\ .$$

$\mathrm{Weber} \cdot \mathrm{metro}$ é o momento magnético de um ímã de um metro de comprimento que tenha em cada polo a massa magnética de um weber.

13: Imantação ou intensidade de imantação ou intensidade de magnetização

Chama-se imantação, ou intensidade de imantação ou intensidade de magnetização do ímã à grandeza vetorial obtida pelo quociente do momento magnético pelo volume do ímã. Representaremos por $\vec{I}$.

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{V}$$

$\vec{I}$ é então uma grandeza vetorial que tem o sentido do polo sul para o norte.

O módulo da imantação é:

$$\left|\vec{I}\right| = \frac{\left|\vec{M}\right|}{V}$$

Unidades - 1. Sistema CGSEM

A unidade $\vec{I}$ é obtida considerando-se:

$$\left|\vec{M}\right| = 1uemCGS\left|\vec{M}\right| \text{ e } V = 1cm^3$$

Resulta:

$$\left|\vec{I}\right| = \frac{1uemCGS\left|\vec{M}\right|}{1cm^3} = 1gauss$$

Um gauss é a intensidade de imantação de um ímã cujo volume é $1cm^3$ e cujo momento magnético é $1uemCGS\left|\vec{M}\right|$.

Pelo fato de a unidade de imantação se chamar gauss é que a unidade de momento magnético também se pode chamar $gauss\ cm^3$, pois, $\left|\vec{M}\right| = I.V$.

Unidades - 2. Sistema MKS

A unidade de $\left|\vec{I}\right|$ é obtida considerando-se:

$$\left|\vec{M}\right| = 1 weber.m \text{ e } V = 1m^3$$

Resulta:

$$\left|\vec{I}\right| = \frac{1 weber.m}{1m^3} = 1\frac{weber}{m^2}$$

$\frac{weber}{m^2}$ é a imantação de um ímã que tem momento magnético de $1weber.m$ por metro cúbico.

14: Densidade magnética

Chama-se densidade magnética de uma região polar ao quociente da massa magnética, pela área da região. Sendo m a massa magnética, S a área da região polar, a densidade magnética será:

$$\sigma = \frac{m}{S}$$

A densidade magnética tem o sinal da massa magnética: é positiva quando se trata de polo norte, negativa, quando de polo sul.

Facilmente se conclui que a intensidade de imantação é grandeza física da mesma espécie que a densidade magnética. Temos

$$\text{ntensida de imantação} = \frac{\text{momento magnético}}{volume} = \frac{\text{massa magnético} \times \text{comprimento}}{volume} =$$

$$= \frac{\text{momento magnético}}{área} = densidade\ magnética$$

Por serem grandezas da mesma espécie, σ e $\left|\vec{I}\right|$ tem as mesmas unidades, isto é, gauss no CGSEM, e $\frac{weber}{m^2}$ no MKS.

15: Relação entre |I| e |σ| em um imã de forma de prisma reto

A forma mais simples de um ímã é a de um prisma reto (fig. 232). Nesse ímã as regiões polares são as bases do prisma. Sendo s a área da base, ℓ o comprimento do ímã (que se confunde com a altura do prisma), temos:

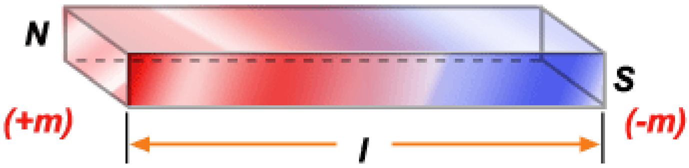


Figura 232

$$\left|\vec{I}\right| = \frac{\left|\vec{M}\right|}{V} = \frac{|m|}{s}\frac{\left|\vec{l}\right|}{l} = \frac{|m|}{s} = |\sigma|$$

Isto é,

$$\left|\vec{I}\right| = |\sigma|$$

Chegamos a uma conclusão importante: o módulo da imantação é igual ao valor absoluto da densidade magnética dos polos.

Resumo das unidades estudadas nesse capítulo

Grandeza	**Símbolo**	**Unidade CGSEM**	**Unidade MKS**
Permeabilidade magnética	μ	$\frac{gauss}{oersted}$	$\frac{N}{A^2}$
Massa magnética	m	$uem\ CGSm$	$weber$
Momento magnético	$\vec{M}$	$gauss.cm^3$	$weber.m$
Intensidade de imantação	$\vec{I}$	$gauss$	$\frac{weber}{m^2}$
Densidade magnética	σ	$gauss$	$\frac{weber}{m^2}$

Permeabilidade magnética do vácuo:

Sistema CGSEM:

$$\mu_0 = 1 \frac{gauss}{oersted}$$

Sistema MKS:

$$\mu_0 = 10^7 \frac{N}{A^2}$$

Esses valores também podem ser usados como a permeabilidade do ar.