

Capítulo 7

Campos Magnéticos

Neste capítulo abordaremos os seguintes tópicos:

Definição de campo magnético

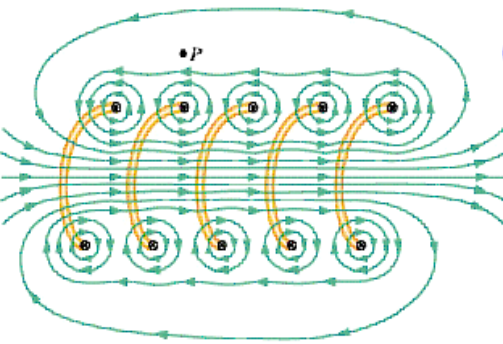
Linhas de campo magnético

Campos cruzados: a descoberta do elétron

Partícula carregada em movimento circular

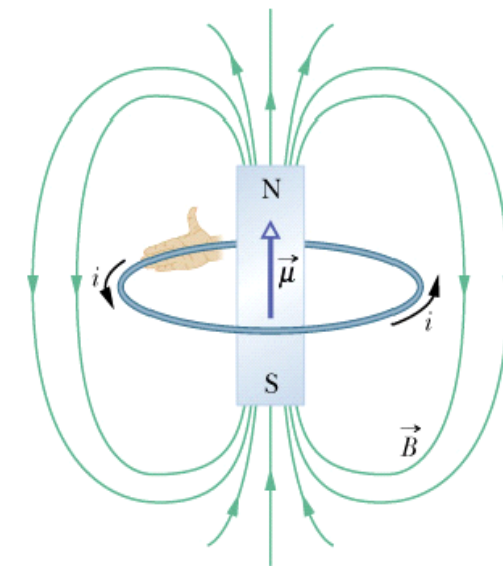
O que produz um campo magnético?

O campo magnético pode ser obtido pelos seguintes métodos:



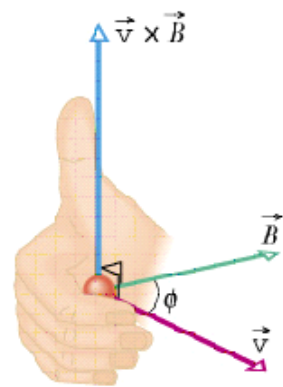
Passar uma corrente através de um fio, formando o que conhecemos como “eletromagneto” (eletroímã),

Usar um ímã “permanente”.

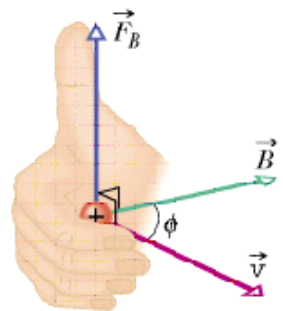


Empiricamente sabemos que ambos os tipos de magnetos atraem pequenos pedaços de ferro. Também se estão suspensos, eles podem rodar livremente, até ficarem alinhados com a direção norte-sul. Então podemos dizer que estes magnetos criam nas vizinhanças um “campo magnético” \vec{B} que se manifesta exercendo uma força magnética \vec{F}_B

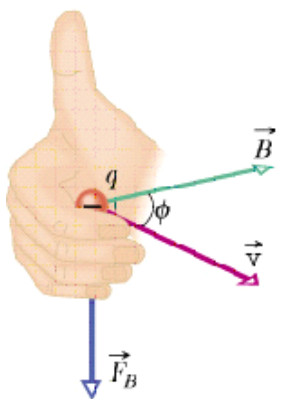
Nós usaremos a força magnética para definir precisamente O vetor campo magnético.



(a)



(b)



(c)

Definição de \vec{B}

O vetor campo magnético é definido em termos da força \vec{F}_B exercida sobre uma carga q que se move com velocidade \vec{v} .

Inserimos a carga q em uma região na qual desejamos determinar \vec{B} em uma direção randômica, pondo a prova todas as possíveis direções.

Existe uma direção para a qual a força magnética sobre a carga q é igual a zero. Esta direção é paralela ao vetor \vec{B} .

Para todas as outras direções a força magnética não é zero:

$$F_B = |q|vB \sin \phi$$

Onde ϕ é o ângulo entre \vec{B} e \vec{v} . A força magnética é perpendicular ao plano definido pelos vetores \vec{B} e \vec{v} . O vetor força magnética é definido por:

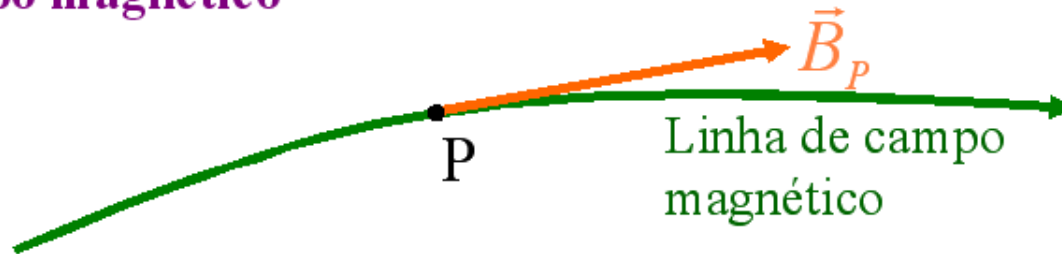
$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Unidades de B no SI: A definição de campo magnético é dada pela equação acima.

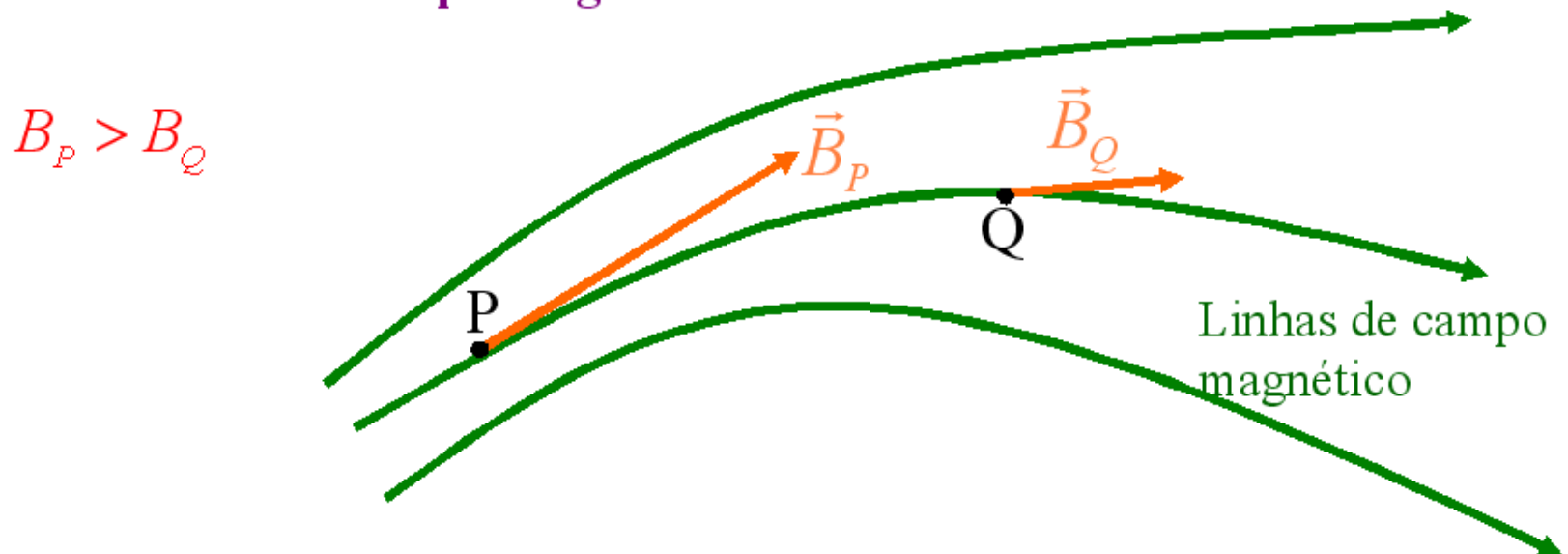
Se lançamos uma partícula com carga $q = 1\text{C}$, com um ângulo $\phi = 90^\circ$ com uma velocidade $v = 1\text{ m/s}$, e a força magnética é igual a 1 N , então $B = 1\text{ tesla (1T)}$

Linhas de Campo Magnético: Em analogia com as linhas do campo elétrico introduziremos o conceito de linhas de campo magnético, que ajudarão a visualizar o vetor campo magnético \vec{B} sem o uso de equações. As relações entre as linhas de campo magnético e o vetor \vec{B} são:

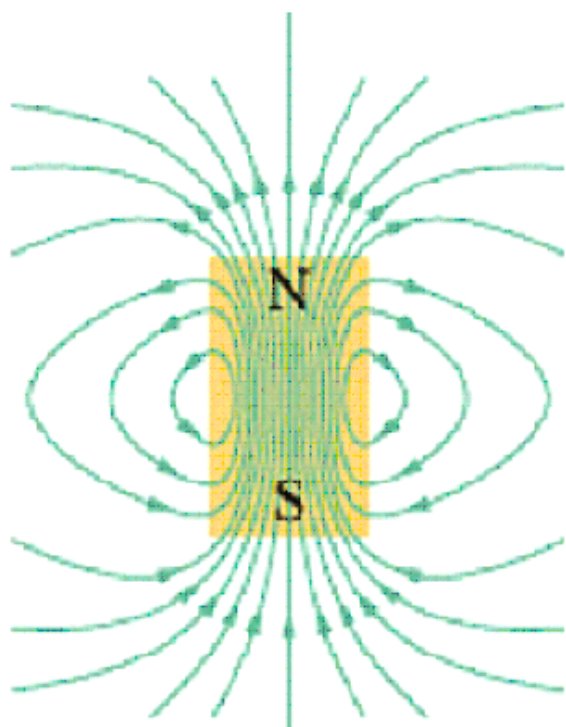
1. Em qualquer ponto P o vetor campo magnético \vec{B} é tangente às linhas de campo magnético



2. A magnitude do vetor campo magnético \vec{B} é proporcional a densidade das linhas de campo magnético



Linhas de Campo Magnético de um Ímã Permanente



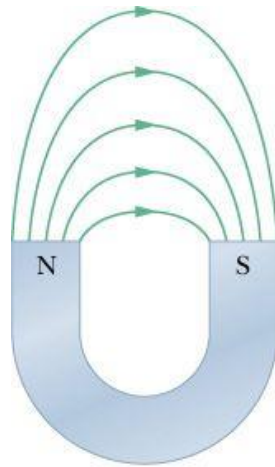
Na figura ao lado, as linhas passam através do corpo do ímã e formam curvas fechadas. Isto está em contraste com as linhas de campo elétrico, que se originam em cargas elétricas e convergem para cargas elétricas. As linhas fechadas de campo magnético entram em um ponto do magneto (ímã) e saem do ímã por outro ponto. A extremidade do ímã do qual as linhas emergem é chamado de *pólo norte magnético*. A outra extremidade, por onde as linhas entram no magneto é chamado de *pólo sul magnético*. Os dois pólos não podem ser separados. Juntos, esses pólos formam o que chamamos de “**dipolo magnético**”.

Regra Geral: Pólos magnéticos de mesmo nome se repelem e pólos magnéticos de nomes diferentes se atraem.

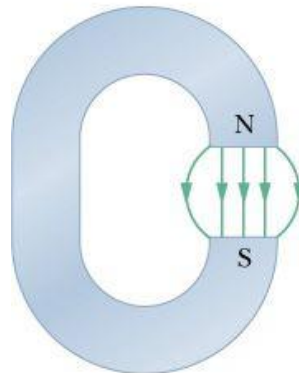
Exemplos de Linhas de Campo Magnético:



Eletroimã

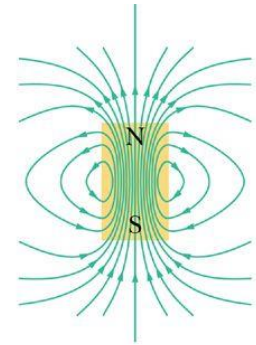


(a)

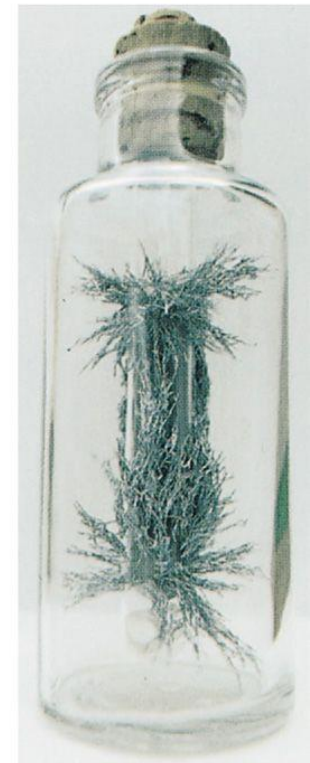


(b)

Imãs e linhas de campo magnético



(a)

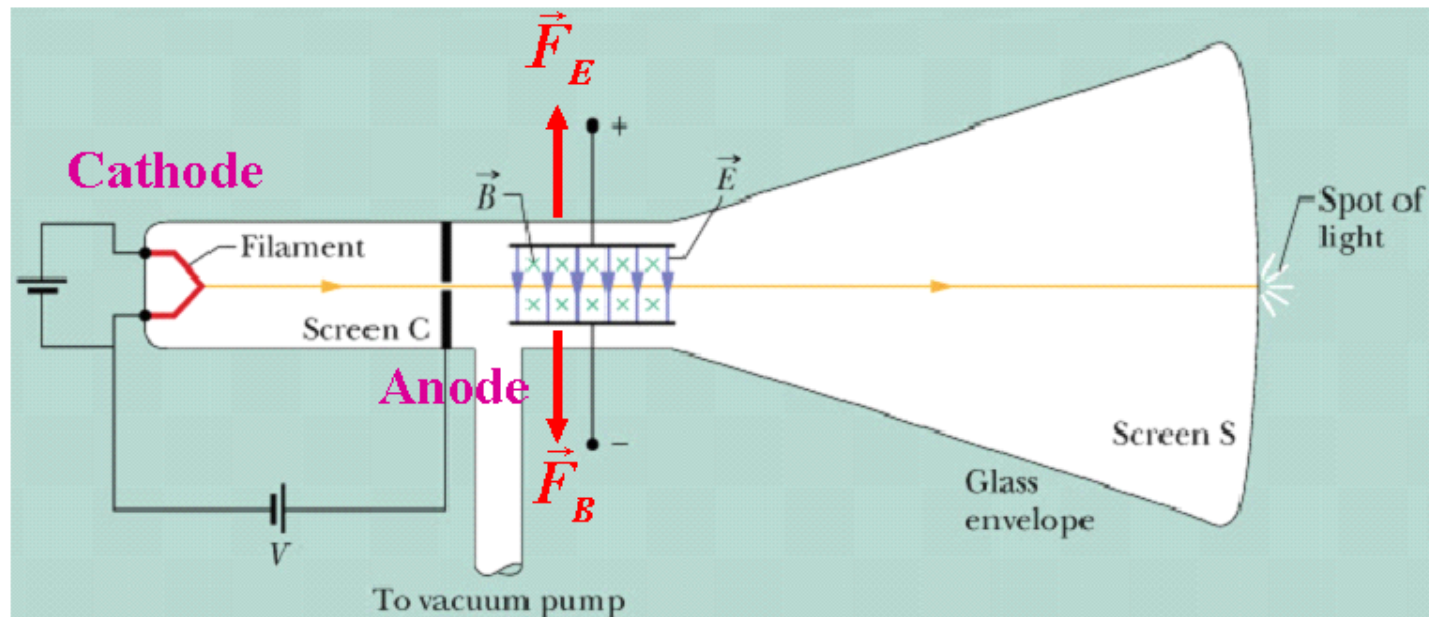


(b)

Imã em forma de barra e limalha de ferro (linhas B)

Campos Cruzados: A Descoberta do Elétron

Um tubo de raios catódicos é mostrado na figura a seguir. Elétrons são emitidos a partir do filamento conhecido como “catodo”. Os elétrons são acelerados por uma diferença de potencial V aplicada entre o catodo e um segundo eletrodo conhecido como “anodo”. Os elétrons passam através de um orifício no anodo e assim formam um feixe estreito. Este feixe atinge uma película fluorescente na extremidade direita do tubo de raios catódicos, onde produzem um ponto de luz.

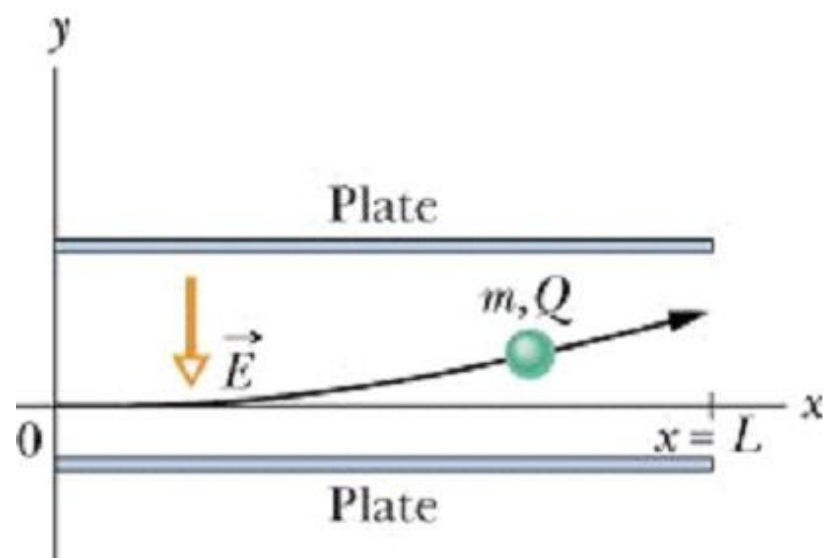


J. J. Thomson, em 1897, usou um tubo deste tipo para investigar a natureza do feixe de partículas que causaram o ponto de luz no tubo. Ele aplicou campos elétricos e magnéticos na região do tubo à direita do anodo. Com os campos orientados como mostra a figura, as forças elétrica \vec{F}_E e magnética \vec{F}_B tem direções opostas.

Ajustando os valores dos campos elétrico E e magnético B , Thomson conseguiu controlar a posição do ponto luminoso na tela:

1. Fazendo $E = B = 0$, encontra-se a direção do feixe sem nenhum desvio;
2. Aplicando-se o campo E o feixe é desviado para uma nova direção;
3. Mantendo o campo E constante, aplicando B e ajustando o seu valor de forma conveniente, o feixe voltará à posição original (as forças elétrica e magnética se anulam).

Razão carga-massa do elétron

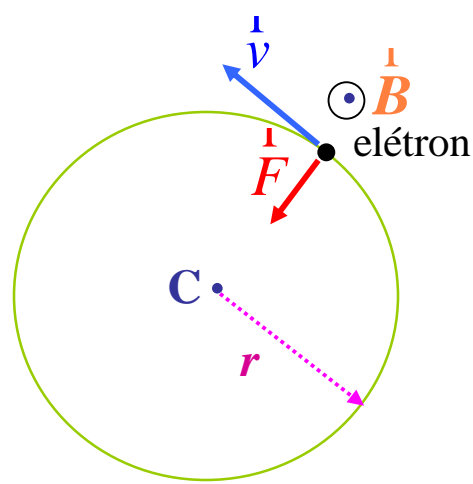


$$y = \frac{qEL^2}{2mv^2}$$

$$qE = qvB$$

$$\frac{m}{q} = \frac{B^2 L^2}{2yE}$$

Os campos cruzados permitem medir a razão carga/massa de partículas investigadas.



Partícula carregada em Movimento Circular

Uma partícula de massa m e carga q quando injetada com uma velocidade v no interior de um campo magnético uniforme \vec{B} segue uma trajetória circular (órbita circular), com velocidade uniforme.

A força centrípeta necessária para esse movimento é fornecida pela força magnética

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$r = \frac{mv}{ q B}$	$\omega = \frac{ q B}{m}$
-----------------------	---------------------------

A órbita circular de raio r para um elétron é mostrada na figura. A força magnética é igual à força centrípeta:

$$F_B = |q|vB = ma = m\frac{v^2}{r} \rightarrow r = \frac{mv}{|q|B}.$$

O período do movimento é dado por:

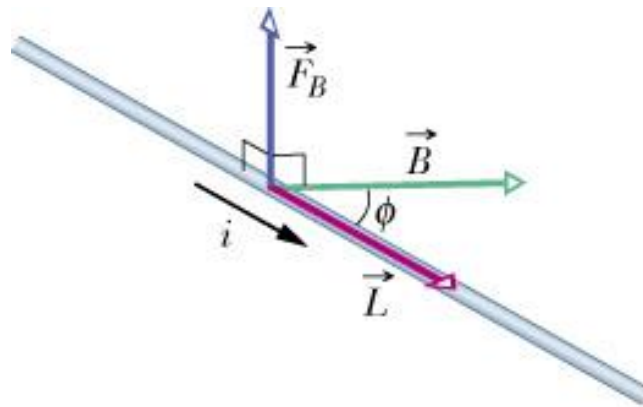
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi mv}{|q|Bv} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

Onde a frequência correspondente será:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

Força magnética sobre um fio reto em uma campo magnético uniforme

Se assumimos o caso mais geral, para o qual o campo magnético \vec{B} forma o ângulo ϕ com o fio, a equação da força magnética pode ser escrita vetorialmente como:



$$\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$$

\vec{L} é um vetor cuja magnitude é igual ao comprimento do fio e cuja direção coincide com a da corrente.

A força magnética tem intensidade dada por:

$$F_B = iLB \sin \phi$$