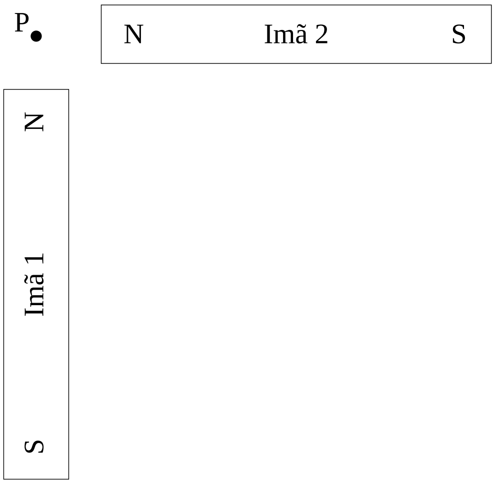
ELETROMAGNETISMO - LISTA 4

Campos magnéticos

Data para entrega: 24 de maio (quinta-feira)

1. Imãs e campo magnético

Considere os dois imãs da figura abaixo, dispostos perpendicularmente um ao outro.



(a) Suponha que os imãs são idênticos. Se uma pequena agulha de bússola for colocada no ponto P, para qual direção o lado norte da agulha irá apontar?

(b) Se, por outro lado, você observar que a agulha aponta adicionais 15^o no sentido horário, em comparação com a posição que você obteve no item (a), calcule a razão B_1/B_2 entre os campos gerados pelo imã 1 e 2 no ponto P.

2. Propriedades do campo magnético

Para obter nota nas perguntas abaixo, você *deve* explicar seu raciocínio e mostrar os seus cálculos.

(a) Um campo magnético constante é capaz de por em movimento um elétron inicialmente em repouso?

(b) É possível que um campo magnético constante altere a energia cinética de uma partícula carregada?

(c) Se uma partícula está se movendo em linha reta em uma certa região do espaço, é possível concluir que o campo magnético nesta região é nulo?

3. Fio levitando

Um fio de cobre de diâmetro d, que carrega uma densidade de corrente $\boldsymbol{J}$, está disposto no equador onde o campo magnético da terra é horizontal, aponta para o norte e tem magnitude $|\boldsymbol{B}_T| = 0.5$ G. O fio está em um plano paralelo à superfície da terra, disposto na direção leste-oeste. A densidade do cobre é $\rho_{\text{massa}} = 8,9 \times 10^3$ kg/m^3 e a resistividade é $\rho_R = 1,7 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot$ m (desculpe-me pelo duplo uso da letra ρ, mas faltam letras no alfabeto!).

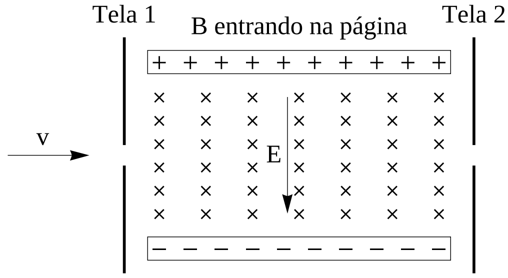
(a) Qual deverá ser o sentido de $\boldsymbol{J}$ para que o fio possa levitar?

(b) Calcule a magnitude de $\boldsymbol{J}$; use $g = 9,8$ m/s^2.

(c) Quando o fio estiver flutuando, qual será a potência dissipada por m^3? Expresse sua resposta também em kW/cm^3.

4. Força de Lorentz

(Para receber crédito você deve explicar o seu raciocínio e mostrar os seus cálculos) Uma partícula com carga q e velocidade $\boldsymbol{v}$ entra em uma região com campos elétrico e magnético cruzados (vide figura). Se $q < 0$ e $E > vB$, então a força na partícula:



(a) É nula e a partícula se moverá em uma linha reta.

(b) É constante e a partícula atingirá a segunda tela acima da abertura.

(c) É constante e a partícula atingirá a segunda tela abaixo da abertura.

(d) É constante em módulo mas não em direção, fazendo com que a partícula se mova em uma trajetória circular, atingido a segunda tela acima da abertura.

(e) É constante em módulo mas não em direção, fazendo com que a partícula se mova em uma trajetória circular, atingido a segunda tela abaixo da abertura.

(f) Muda tanto em magnitude quanto em direção, e a partícula atinge a tela acima da abertura.

(g) Muda tanto em magnitude quanto em direção, e a partícula atinge a tela abaixo da abertura.

5. Espectrômetro de massa: enriquecimento de urânio

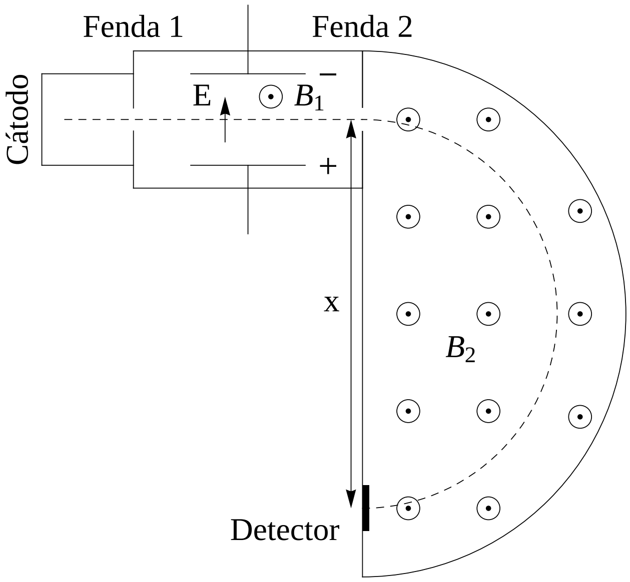
Na natureza, 99,3% do urânio encontrado é U-238 (ou seja, 92 prótons e 146 nêutrons) e apenas 0,7% é do tipo U-235 (143 nêutrons). Ocorre, no entanto, que o U-235 é o tipo necessário para aplicações envolvendo energia nuclear (pacíficas ou não). Precisamos, portanto, separar os isótopos. É isso que as pessoas usualmente denominam de "enriquecimento de urânio". Obviamente, não estamos enriquecendo nada, mas simplesmente "jogando fora" o U-238. No entanto, por serem isótopos, suas propriedades químicas são absolutamente idênticas forçando-nos a recorrer para métodos físicos. É por isso que esse processo é tão complexo (e caro). Uma das formas de separar os isótopos de urânio é através de um espectrômetro de massa. Essa, obviamente, é apenas uma das inúmeras aplicações deste instrumento. Outra aplicação, muito mais usual, é na determinação da composição química de uma amostra gasosa. Neste problema você estudará em detalhe o espectrômetro de massa.

A figura abaixo ilustra um desenho esquemático de um espectrômetro de massa. Considere um íon de massa m, carregado com uma carga $q = +e$ (ou seja, o átomo perdeu um elétron). Este íon é produzido no cátodo através de uma descarga elétrica que resulta num "vapor" de íons. Entre o cátodo e a primeira fenda aplicamos uma diferença de potencial ΔV, que acelera o íon para a direita. Entre a primeira e a segunda fenda há um seletor de velocidades: um sistema com campos elétrico e magnético cruzados. Suponha que o campo E é fixo ao passo que o campo B_1 é variável. Ajustando-o, podemos forçar que apenas partículas com uma certa velocidade, v, passem pela segunda fenda. Estas partículas então adentram uma outra região com um campo B_2 apontando para fora da página. Com isso, a partícula se move em um semi-círculo e atinge um detector à uma distância x da fenda 2 (vide figura). Suas respostas devem ser expressas em termos de E, e, x, m, ΔV e B_2.

(a) Calcule a velocidade, v, que o íon atinge após ser acelerado na região entre o cátodo a primeira fenda.

(b) Qual deve ser a magnitude do campo B_1 no seletor de velocidades para que o íon passe sem ser desviado?

(c) Encontre uma expressão para a massa da partícula após ela colidir com o detector. Este resultado é bastante geral e serve para outras aplicações do espectrômetro de massa. Por exemplo, se você está interessado em medir a composição química de um gás, então esta



fórmula lhe fornece uma relação direta entre a massa da molécula e a distância que ela irá percorrer no espectrômetro.

(d) Agora aplique o seu resultado ao problema do enriquecimento de urânio: calcule a razão x_{238}/x_{235} entre a distância percorrida por um íon de U-238 e um íon de U-235 (sua resposta deve ser um número).

As primeiras bombas nucleares foram desenvolvidas no famoso projeto Manhattam, que começou em 1939 e terminou com o lançamento das bombas sobre Hiroshima, no dia 06 de agosto de 1945, e Nagasaki, no dia 09 de agosto 1945. O projeto custou ∼\$2 bilhões (equivalente a ∼\$30 bilhões nos dias de hoje), dos quais assustadores 90% foram destinados às fábricas de separação de urânio. Para produzir uma bomba são necessários alguns kg de U-235. Inicialmente, a produção era de alguns µg/dia mas, combinando ao espectrômetro de massa diversas outras técnicas, essa taxa eventualmente atingiu a escala de mg/dia.

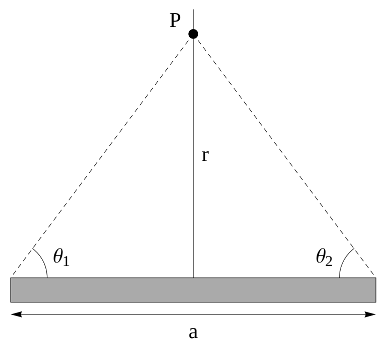
Problemas semelhantes ocorrem na mineração de outros elementos, como as terras raras por exemplo. Devido à sua configuração eletrônica, as propriedades químicas das terras raras são muito semelhantes às dos metais de transição; é daí que elas recebem esse nome — de raras elas na verdade não tem nada. Por essa razão, métodos químicos são menos eficazes e torna-se necessário o uso de técnicas físicas para separá-las dos outros minérios.

6. Espira quadrada

Considere um fio de comprimento a, por onde passa uma corrente I (vide figura). O campo magnético gerado no ponto P é

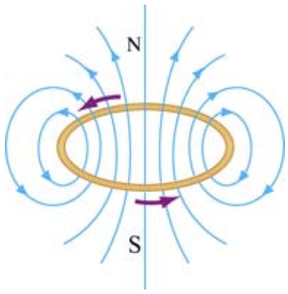
$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi r}(\cos\theta_2 + \cos\theta_1)$$

onde θ_1 and θ_2 são os ângulos indicados na figura. Calcule o campo magnético no centro de uma espira quadrada de aresta a. Dica: neste caso, $\theta_1 = \theta_2 = 45°$.



7. **Bobina de Helmholtz**

A figura abaixo ilustra o campo magnético gerado por uma espira com N voltas, raio R e por onde passa uma corrente I no sentido anti-horário.

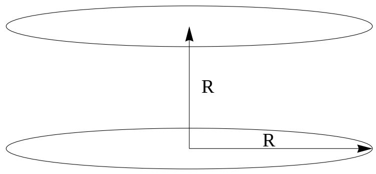


Ao longo do seu eixo o campo magnético é dado pela expressão:

$$B_E = \frac{N\mu_0 I R^2}{2}\frac{1}{(z^2+R^2)^{3/2}}$$

onde z é a distância ao centro da espira. Escreva o campo magnético no centro da espira e guarde este resultado; você vai precisar dele depois.

Uma **bobina de Helmholtz** corresponde a duas espiras de raio R separadas por uma distância R, assim como na figura abaixo. A corrente que passa por ambas as espiras é I e cada uma tem N voltas.

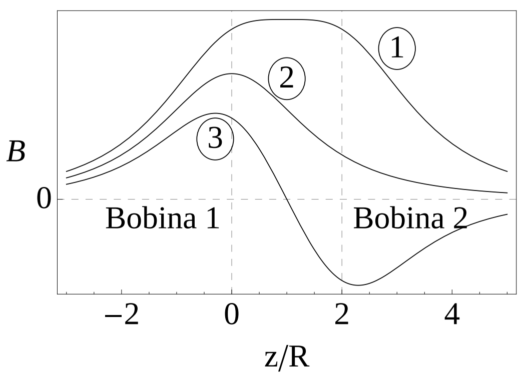


(a) Quando as duas correntes são paralelas dizemos que o sistema está na configuração *Helmholtz*. Tomando a direção da corrente como no sentido anti-horário, calcule o campo magnético (B_H) no centro do aparato; ou seja, na distância intermediária entre as duas bobinas. Não se esqueça de indicar a direção e o sentido do campo.

(b) Calcule a razão B_H/B_E entre o campo gerado pela bobina de Helmholtz e o campo gerado por uma única espira.

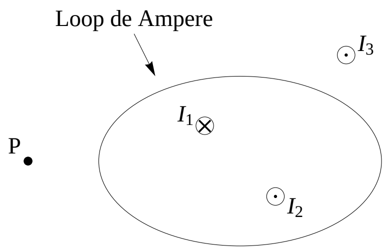
(c) Se as correntes estão anti-paralelas, dizemos que o sistema está na configuração *anti-Helmholtz*. Calcule o campo magnético no centro do aparato nesta situação.

(d) Considere agora as curvas 1 a 3 no gráfico abaixo. Descreva qual curva corresponde a cada uma das situações acima (Helmholtz, anti-Helmholtz e espira simples). Explique brevemente o seu raciocínio.



8. Lei de Ampere

Considere três fios carregando com correntes I_1, I_2 e I_3 e um loop de Ampere que engloba as correntes I_1 e I_2, assim como na figura abaixo. Quais correntes são responsáveis pelo campo



campo magnético no ponto P desenhado na figura? Explique.

(a) Apenas I_3.

(b) I_1 e I_2.

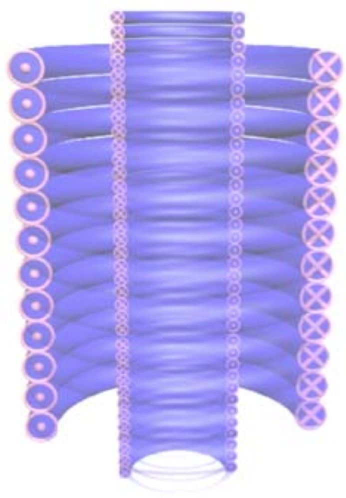
(c) I_1, I_2 e I_3.

(d) Nenhuma das três

(e) Irá depender do tamanho e da forma do loop.

9. Solenóides

Considere dois solenóides concêntricos de raios R_1 e R_2, com $R_1 < R_2$. O primeiro tem n_1 espiras por unidade de comprimento e o segundo, n_2. A corrente que passa por ambos é a mesma, I, mas flui em direções opostas assim como ilustrado na figura abaixo.



Usando a lei de Ampere, encontre a direção e a magnitude do campo magnético nas regiões abaixo. Não se esqueça de deixar claro qual o loop de Ampere que você escolheu. Resolva também o problema do ponto de vista do princípio da superposição; ou seja, como você sabe o campo produzido por um solenóide, aplique o princípio da superposição em cada uma das regiões. Obviamente, sua resposta deve ser a mesma em ambos os casos.

(a) $0 < r < R_1$

(b) $R_1 < r < R_2$

(c) $r > R_2$.