

P2 — Eletromagnetismo 1 — 2021

Q1 – Um circuito fechado pelo qual flui uma corrente I é composto de dois trechos semi-circulares de raios a e b , conectados por dois trechos radiais, separados por um ângulo α , como mostrado na Figura 1.

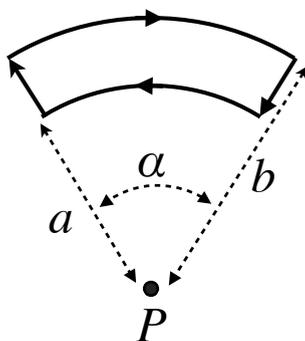


Figure 1: Circuito no plano $z = 0$.

- (a) [1.5] Calcule o campo magnético *exato* no ponto P (a origem).
- (b) [1.0] Calcule o campo magnético ao longo do eixo z usando a aproximação de dipolo magnético. Compare a resposta do item (a) com a sua resposta aproximada deste item na posição $z = 0$.

Q2 – Uma bobina de Helmholtz é constituída por duas espiras circulares, de raios iguais (R), que são posicionadas paralelamente um ao outro, com os eixos alinhados, e afastadas uma da outra por uma distância $2L$ – veja a Figura 2.

Normalmente, numa bobina de Helmholtz os dois circuitos carregam correntes que giram na mesma direção, mas na configuração deste problema o fio de baixo carrega uma corrente I no sentido anti-horário, enquanto o fio de cima carrega uma corrente I no sentido horário.

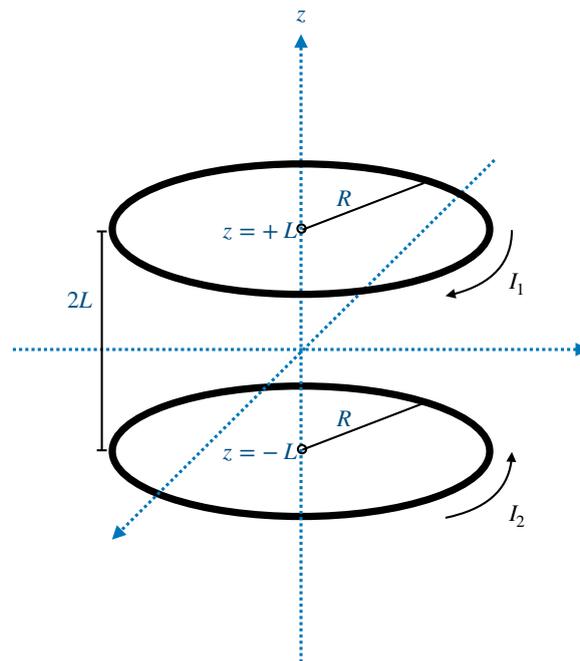


Figure 2: Bobina de Helmholtz invertida. Note o sentido oposto das correntes dos dois fios.

- [1.0] Encontre o campo magnético *exato* ao longo do eixo z .
- [1.0] Usando a aproximação do dipolo magnético para *cada uma* das espiras circulares, encontre uma expressão para o campo magnético desse sistema. Em que limite a solução do item (a) se torna idêntica à solução aproximada deste item ao longo do eixo z ?
- [0.5] Ainda na aproximação de dipolo para cada um das espiras circulares, encontre uma expressão aproximada para o campo magnético no plano $z = 0$. (Note bem: eu estou pedindo o campo em *todo* o plano, não apenas na origem!)

Q3 – Um solenoide toroidal de seção retangular, de raios a e b ($b > a$), e altura h , tem um fio enrolado com N voltas pelo qual passa uma corrente I , como mostrado na Figura 3. Esse solenoide é composto de um material magnético linear de susceptibilidade magnética χ_m . Para responder os itens a seguir utilize coordenadas cilíndricas e despreze efeitos de borda.

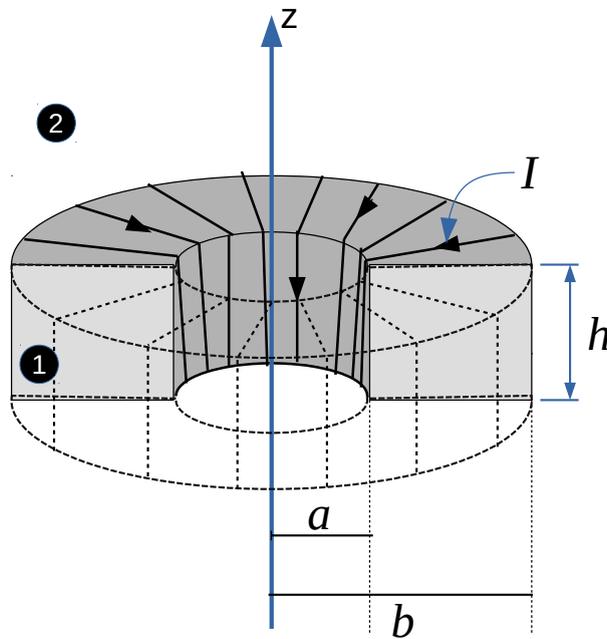


Figure 3: Solenóide retangular do Problema 4.

- [1.0] Encontre \vec{H} em regiões 1 (dentro) e 2 (fora do solenoide, onde temos o vácuo). Agora, encontre \vec{M} e \vec{B} . Mas atenção: a densidade de espiras na região em que $r \rightarrow a$ não é a mesma da região em que $r \rightarrow b$. Portanto, o campo magnético no interior desse solenoide não será uniforme. Contudo, o problema tem simetria azimutal e, portanto, basta traçar uma simples espira circular em cada um das regiões marcadas para encontrar \vec{H} .
- [1.0] Calcule as correntes de magnetização superficial e volumétrica, indicando o sentido no qual elas fluem.
- [0.5] Certifique-se dos resultados mostrando que os campos \vec{H} e \vec{B} satisfazem as condições de contorno nas superfícies do material magnético, isto é, nas interfaces dos meios 1 e 2.
- [0.5] Calcule a densidade de energia magnética e a energia magnética total nas regiões 1 e 2.

Q4 – Vamos considerar três circuitos que são colocados ao lado de um fio reto e muito longo pelo qual flui uma corrente I . Os planos dos circuitos ficam paralelos à direção do fio, como indicado na Figura 4. Em todos os casos, considere que $\rho_1 < \rho_2$.

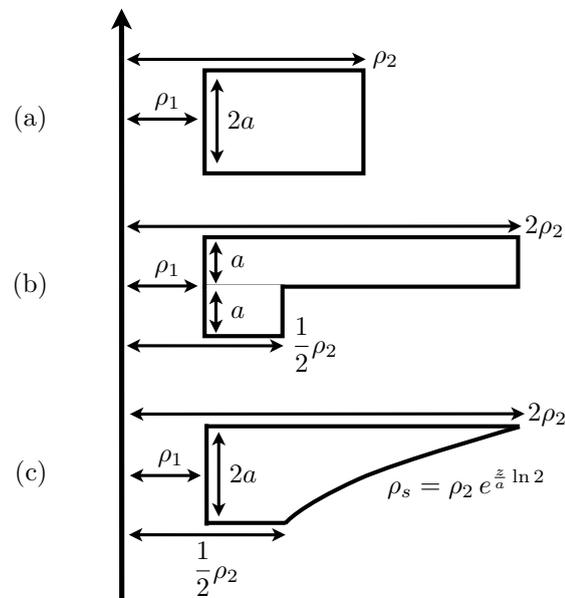


Figure 4: Circuitos que sofrem indutância pelo fio reto (à esquerda).

- (a) **[0.5]** Calcule a indutância do fio reto no circuito (a).
- (b) **[0.5]** Calcule a indutância do fio reto no circuito (b).
- (c) **[1.0]** Calcule a indutância do fio reto no circuito (c). Nesse caso, considere que o lado superior está em $z = a$, o lado inferior está em $z = -a$, e o lado mais afastado do circuito pode ser descrito pela curva $\rho = \rho_2 e^{(z/a) \ln 2}$ (olhe com cuidado a figura desse problema).

Obs.: Há duas maneiras de resolver os problemas acima – uma é muito difícil; a outra, muito mais fácil!