

4300326 Introdução à Física de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada  
IF-USP  
2° Lista  
(para a 1° prova)

1) Considere um plasma cilíndrico, com elétrons e ions a uma temperatura  $KT=10$  eV e densidade  $n = 2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ , confinado num campo magnético (com uma componente uniforme na direção z)  $\mathbf{B} = B_r(r) \mathbf{e}_r + B_z \mathbf{e}_z$  e com um campo elétrico  $\mathbf{E} = E_r \mathbf{e}_r$ . Considere  $B_z \gg B_r$ . O gradiente da densidade do plasma na direção radial é  $dn/dr = 1,0 \times 10^{21} \text{ partículas/m}^2$ . Dados  $B_z = 1,0$  T,  $E_r = 500$  V/m, obtenha:

- O módulo e o sentido da velocidade de deriva devido aos campos elétrico e magnético,
- O módulo e o sentido da velocidade de deriva diamagnética.

2) Uma partícula de massa  $\mathbf{m}$  e carga  $\mathbf{q}$  se movimenta no campo magnético no interior de um solenóide toroidal. Nessa região, o campo magnético tem componente apenas na direção toroidal (ao longo do toróide) e sua intensidade é  $\mathbf{B} = a/R \mathbf{e}_\phi$ , onde  $a$  é uma constante conhecida e  $R$  é a distância de um ponto ao centro do toróide. Nesse campo, a partícula segue a linha de campo, com velocidade  $\mathbf{v} = v_0 \mathbf{e}_\phi$  gira em torno dele e sofre uma deriva devido à curvatura das linhas do campo magnético. Considere conhecidos  $\mathbf{m}$ ,  $\mathbf{q}$ ,  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{v}_0$ .

- Qual a **intensidade e o sentido** esperado para a força radial que atua sobre a partícula quando ela segue a linha de campo?
- Obtenha a **intensidade e o sentido** da velocidade da deriva devido à curvatura do campo.

3) Uma partícula se desloca no interior de um espelho magnético, com campo magnético  $\mathbf{B} = B_r(r) \mathbf{e}_r + B_z(z) \mathbf{k}$ , (sendo  $B_z \gg B_r$ ), muito próxima do eixo magnético do espelho, na direção z. Nessas condições, o momento magnético dessa partícula,  $\mu$ , permanece aproximadamente constante ao longo da sua trajetória. Essa partícula, com massa  $m$ , passa por uma posição inicial, no centro do espelho magnético, em que o campo é  $B_z = B_0$ , com uma velocidade  $\mathbf{v} = v_0 \mathbf{e}_\theta + V_0 \mathbf{e}_z$ . Na extremidade do espelho magnético, onde o campo magnético atinge o valor máximo  $B_{zm} = 4B_0$ , a partícula é refletida de volta para o interior do espelho magnético.

- a) Qual a velocidade total da partícula na posição de reflexão?
- b) Se a velocidade inicial da partícula fosse  $\mathbf{v} = v_0 \mathbf{e}_\theta + 2 V_0 \mathbf{e}_z$ , a intensidade máxima do campo,  $B_{zm} = 4B_0$ , seria suficiente para refletir essa partícula e mantê-la confinada no espelho magnético? Justifique a resposta.

4) Uma partícula se desloca no interior de um espelho magnético, com campo magnético  $\mathbf{B} = B_r(r) \mathbf{e}_r + B_z(z) \mathbf{k}$ , (sendo  $B_z \gg B_r$ ), muito próxima do eixo magnético do espelho, na direção z. Nessas condições, o momento magnético dessa partícula,  $\mu$ , permanece aproximadamente constante ao longo da sua trajetória. Essa partícula, com massa m, passa por uma posição inicial, no centro do espelho magnético, em que o campo é  $B_z = B_0$ , com uma velocidade  $\mathbf{v}_i = v_0 \mathbf{e}_\theta + V_0 \mathbf{e}_z$  e é refletida antes da extremidade do espelho magnético e volta para o seu interior. Determine:

- a) A velocidade  $\mathbf{v}_f$  (módulo e sentido) da partícula no instante da reflexão.
- a) O valor da componente do campo magnético,  $B_z^f$ , na posição de reflexão.

5) Na descrição do plasma como um fluido de íons e elétrons, é possível obter, de forma aproximada, as velocidades de deriva, lenta e de pequena amplitude, do fluido de íons e de elétrons na direção perpendicular ao campo magnético.

a) Obtenha, essa velocidade de deriva:  $\vec{v} = \vec{E} \times \vec{B} / B^2 - \frac{\nabla P \times \vec{B}}{qnB^2}$ .

b) Obtenha a densidade de corrente elétrica, devida a essas velocidades de deriva, para um plasma cilíndrico, com elétrons e íons a uma temperatura uniforme KT, densidade n, gradiente de densidade,  $dn/dr \mathbf{e}_r$ , confinado num campo magnético com uma componente uniforme na direção z,  $\mathbf{B} = B_z \mathbf{e}_z$ , e com um campo elétrico  $\mathbf{E} = E_r \mathbf{e}_r$ .

6) Mostre que a relação de Boltzmann,  $n = n_0 \exp\left(\frac{e\phi}{KT_e}\right)$ , válida para um plasma com elétrons a temperatura uniforme  $T_e$ , pode ser obtida, no limite de  $m_e \rightarrow 0$ , a partir da equação de movimento de um fluido de elétrons ao longo de um campo magnético  $\mathbf{B} = B_z \mathbf{e}_z$ , na presença de um campo elétrico  $\mathbf{E} = E_z \mathbf{e}_z = -\frac{d\phi}{dz} \mathbf{e}_z$ .