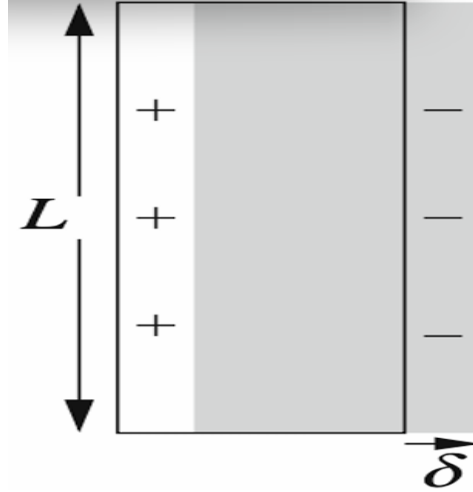


**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA**  
**Centro de Ciências Exatas e da Natureza**  
**Departamento de Física**  
**Programa de Pós-Graduação em Física**

Eletrodinâmica Clássica (2023.2) - Exame Geral de Qualificação

**Primeira Questão:** (2,5 pontos) (Oscilações Plasmônicas) Uma placa metálica quadrada de lado  $L$  tem espessura  $h$ , com  $h \ll L$ , conforme a figura seguinte



As densidades de elétrons de condução e de íons na placa são, respectivamente,  $n_e$  e  $n_i = n_e/Z$ , sendo  $Z$  a carga iônica. Um campo elétrico externo desloca todos os elétrons de condução pela mesma quantidade  $\delta$ , tal que  $|\delta| \ll h$ , perpendicularmente à base da placa. Assuma que ambos  $n_e$  e  $n_i$  são constantes, que as constantes de rede sólida iônica não sejam perturbadas pelo campo externo, e que os efeitos de borda sejam negligenciáveis.

- (i) Calcule o campo eletrostático gerado pelo deslocamento eletrônico.
- (ii) Calcule a energia eletrostática do sistema.
- (iii) Suponha que o campo elétrico seja desligado e que os elétrons da placa iniciam oscilações centradas na posição de equilíbrio. Encontre a frequência de oscilação no limite de baixas amplitudes (deslocamentos),  $\delta \ll h$ .

**Segunda Questão:** (2,5 pontos) Um dipolo elétrico  $\mathbf{p}$  está localizado a uma distância  $d$  do centro de uma esfera condutora de raio  $a$ . Calcule o potencial eletrostático  $\Phi$  em todo o espaço assumindo que

- (i)  $\mathbf{p}$  é perpendicular à direção de  $\mathbf{p}$  ao centro da esfera;
- (ii)  $\mathbf{p}$  está direcionado ao longo da direção ao centro da esfera;
- (iii)  $\mathbf{p}$  forma um ângulo  $\theta$  arbitrário com respeito à linha que liga  $\mathbf{p}$  ao centro da esfera

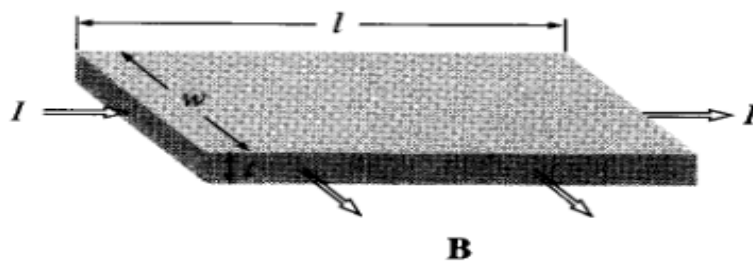
Nos três casos, considere duas possibilidades (i) a esfera está aterrada e (ii) uma esfera sem carga total e isolada.

**Terceira Questão:** (2,5 pontos) A ferroeletricidade é a propriedade de algumas materiais como o sal de Rochelle, cera de carnauba, etc, que possuem uma polarização elétrica espontânea mesmo na ausência de campos externos.

- (i) Considere uma esfera ferroelétrica de raio  $a$  e polarização uniforme  $\mathbf{P}$ , na ausência de campos externos, e calcule o campo elétrico em todo o espaço.
- (ii) Agora considere uma esfera ferroelétrica de raio  $a$  e polarização uniforme  $\mathbf{P}$ , mas com um buraco esférico concêntrico. Calcule o campo elétrico e o campo de deslocamento em todo o espaço.

**Quarta Questão:** (2,5 pontos) Uma corrente  $I$  flui para a direita através de uma barra retangular de um material condutor, na presença de um campo magnético  $\mathbf{B}$  apontando para fora da página, conforme a figura seguinte (i) Se as cargas móveis são positivas, haverá deflexão pelo campo magnético em qual direção? Tal deflexão resulta na acumulação de carga nas superfícies superiores e inferiores da barra, a qual produz força elétrica para compensar a força magnética. O equilíbrio ocorre quando as duas se cancelam exatamente. Este fenômeno é conhecido como efeito Hall de carga.

- (ii) Obtenha a diferença de potencial resultante (a voltagem de Hall) entre a parte superior e a



inferior da barra em termos de  $B$ ,  $v$  (a velocidade das cargas), e as dimensões relevantes da barra.

(iii) Como a sua análise seria modificada se as cargas móveis fossem negativas?