



## Eletrromagnetismo II Lista de Problemas 2.1

Departamento de Física de Ji-Paraná  
Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Marco Polo



### Questão 01

Na mecânica quântica, uma partícula livre de massa  $m$  viajando na direção de  $x$  é descrita pela função de onda

$$\Psi(x, t) = Ae^{i(px-Et)/\hbar},$$

onde  $p$  é o momento e  $E = p^2/2m$  é a energia cinética. Calcule a velocidade de grupo e a velocidade de fase. Qual corresponde à velocidade clássica da partícula? Observe que a velocidade de fase é *metade* da velocidade de grupo?

### Questão 02

Assumindo um amortecimento desprezível ( $\gamma = 0$ ), calcule a velocidade de grupo das ondas descritas pelas equações

$$\tilde{\mathbf{E}}(z, t) = \tilde{\mathbf{E}}_0 e^{-\alpha z} e^{i(kz - \omega t)}$$

e

$$\tilde{k} = \frac{\omega}{c} \sqrt{1 + \frac{Nq^2}{m\epsilon_0} \sum_k \frac{f_k}{\omega_k^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}}.$$

Mostre que  $v_g < c$  mesmo quando  $v > c$ . Assuma que o segundo termo do radicando da equação acima é muito menor do que 1.

### Questão 03

Considere um guia de ondas retangular com as dimensões  $2,28 \text{ cm} \times 1,01 \text{ cm}$ . Que modos TE se propagariam nesse guia se a frequência é  $1,7 \times 10^{10} \text{ Hz}$ ? Suponha que você queira excitar apenas um modo TE; que faixa de frequências você poderia usar? Quais os comprimentos de onda correspondentes (no espaço aberto)? *Dica:* para responder a primeira pergunta, use um sistema algébrico computacional para plotar

o gráfico da elipse e, então, verificar quais pares ordenados de números inteiros caem dentro do quadrante positivo da elipse.

---

### Questão 04

Mostre que o modo  $TE_{00}$  não pode ocorrer em um guia de onda retangular. *Dica:* primeiro mostre que  $v = v_g = \omega/c$ . Assim, as equações 9.180 no Griffiths se tornam indeterminadas. Em seguida, mostre que  $B_z$  deve ser uma constante. Por fim, a partir de  $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  e das equações 9.179 do Griffiths, mostre que  $B_z = 0$ , de forma que temos então um modo  $TEM_{00}$ .

### Respostas

#### Questão 1

$$v_g = p/m, v = p/2m$$

#### Questão 2

$$v_g = \frac{c}{1 + \frac{Nq^2}{2m\epsilon_0} \sum_k \frac{f_k}{\omega_k^2 - \omega^2} + \frac{2\omega^2 Nq^2}{2m\epsilon_0} \sum_k \frac{f_k}{(\omega_k^2 - \omega^2)^2}}$$

#### Questão 3

$TE_{10}$ ,  $TE_{01}$ ,  $TE_{11}$ ,  $TE_{20}$ . Faixa de frequências entre 6,6 e 13 GHz. Faixa de comprimento de onda: entre 22,8 e 45,6 mm.