

## Apêndice C

# Mudança de Fase na Reflexão: Incidência Oblíqua

Lembre que para reflexão em incidência oblíqua, obtemos a relação entre campo refletido e incidente:

$$E_{r\parallel} = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} E_{i\parallel} \quad \text{e} \quad E_{r\perp} = \frac{1 - \alpha\beta}{1 + \alpha\beta} E_{i\perp} \quad (\text{C.1})$$

onde  $\alpha = \cos \theta_t / \cos \theta_i$  e  $\beta = n_2/n_1 = \sin \theta_i / \sin \theta_t$ . Vamos considerar  $n_2 > n_1$ , i.e. incidência do meio menos para o mais refringente. Neste caso,  $\theta_t < \theta_i$  e temos

$$\alpha - \beta = \frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_i} - \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{\sin \theta_t \cos \theta_t - \sin \theta_i \cos \theta_i}{\cos \theta_i \sin \theta_t} = \frac{\sin(2\theta_t) - \sin(2\theta_i)}{\cos \theta_i \sin \theta_t} < 0 \quad (\text{C.2})$$

Além disso

$$\theta_t < \theta_i \rightarrow \cos \theta_t > \cos \theta_i \rightarrow \alpha > 1 \quad (\text{C.3})$$

$$\theta_t < \theta_i \rightarrow \sin \theta_t < \sin \theta_i \rightarrow \beta > 1 \quad (\text{C.4})$$

e portanto

$$1 - \alpha\beta < 0 \quad (\text{C.5})$$

Desta forma,  $E_r$  terá sinal *oposto* a  $E_i$  tanto para a componente  $\parallel$  quanto para a  $\perp$ . Mas como

$$e^{i\pi} = \cos \pi + i \sin \pi = -1, \quad (\text{C.6})$$

esse sinal negativo implica uma mudança de fase de onda de  $\pi$  na onda refletida. Isso ocorre sempre que a reflexão ocorre com incidência do meio menos para o mais refrativo.

Para uma mudança de fase de  $\pi$ , usando  $k = 2\pi/\lambda$  temos:

$$E(x, t) = E_0 e^{i(kx - \omega t)} \rightarrow E_0 e^{i\pi} e^{i(kx - \omega t)} = E_0 e^{i[k(x + \pi/k) - \omega t]} = E_0 e^{i[k(x + \lambda/2) - \omega t]} = E(x + \lambda/2, t)$$

ou seja, a mudança de fase de  $\pi$  implica uma defasagem espacial de  $\lambda/2$ :  $x \rightarrow x + \lambda/2$ .

No caso contrário em que  $n_2 < n_1$ , não há mudança de fase. Já nos raios refratados:

$$E_{t\parallel} = \frac{2}{\alpha + \beta} E_{i\parallel} \quad \text{e} \quad E_{t\perp} = \frac{2}{1 + \alpha\beta} E_{i\perp}, \quad (\text{C.7})$$

os coeficientes são sempre positivos, e também não há mudança de fase.

