

Curso: Tópicos de Óptica e Fotônica II

2ª. Lista de exercícios – 13 de abril de 2018

Devolução: 18 de maio de 2018

(1) - Para complementar as aulas leia as seções 1.3 e 1.4 (Boyd-Nonlinear Optics) e **reproduza as etapas** para obter as equações abaixo.

$$(1.3.16): P_i(\omega_3) = 2\epsilon_0\chi_{ixx}^{(2)}(\omega_3, \omega_1, \omega_2)E_x(\omega_1)E_x(\omega_2)$$

$$(1.3.19): P_i(\omega_n + \omega_m) = \epsilon_0 D \sum_{jk} \chi_{ijk}^{(2)}(\omega_n + \omega_m, \omega_n, \omega_m)E_j(\omega_n)E_k(\omega_m)$$

$$(1.4.27): \chi^{(2)}(0, \omega_1, -\omega_1) = \frac{\epsilon_0^2 m a}{N^2 e^3} \chi^{(1)}(0)\chi^{(1)}(\omega_1)\chi^{(1)}(-\omega_1)$$

$$(1.4.53): \chi_{ijkl}^{(3)}(\omega_q, \omega_m, \omega_n, \omega_p) = \frac{b m \epsilon_0^3}{3 N^3 e^4} [\chi^{(1)}(\omega_q)\chi^{(1)}(\omega_m)\chi^{(1)}(\omega_n)\chi^{(1)}(\omega_p)] \times [\delta_{ij}\delta_{kl} + \delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk}]$$

(2) - Veja nas notas da 6ª. Aula que a intensidade gerada no processo de soma de frequências devido a $\chi^{(2)}(\omega_3 = \omega_1 + \omega_2)$ é descrita por $I(\omega_1 + \omega_2, z) = I_0 \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k z}{2}\right)$ onde I_0 está identificado nas notas de aula.

A geração da soma de frequências é eficiente apenas quando $|\Delta k z| < 2\pi$. O valor de Δk define o *comprimento de coerência* ($l_{coh} = \frac{2\pi}{\Delta k}$). **Mostre que: (a)** se o comprimento do cristal for menor que l_{coh} o campo de frequência $(\omega_1 + \omega_2)$ cresce com o quadrado da espessura do cristal; **(b)** se a espessura for maior que l_{coh} o campo em $(\omega_1 + \omega_2)$ tende a saturar e pode até decrescer quando a espessura cresce; **(c)** discuta a origem física deste comportamento.

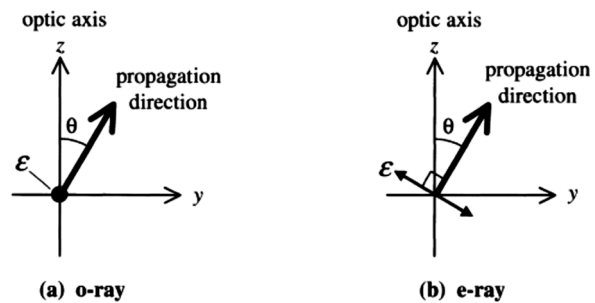
(3) - Nas aulas analisamos a geração de soma de frequências supondo uma baixa eficiência de geração de modo que os campos incidentes não sofrem variação de amplitude. Entretanto quando usamos lasers de femtossegundos a eficiência de geração é bastante alta e é necessário considerar a variação da amplitude dos campos incidentes. Para complementar as aulas leia a seção 16.6 (YARIV – Quantum Electronics) – *Second harmonic Generation with depleted input* e **deduza a equação** (16.6.8): $\frac{P(2\omega)}{P(\omega)} = \tanh^2[KA_1(0)z]$.

(4) – KDP é um cristal uniaxial com simetria tetragonal (veja no livro do Boyd os elementos tensoriais não-nulos). Determine a direção da polarização não linear induzida por um laser propagando ao longo do eixo óptico

(5) – Os índices de refração ordinário e extra-ordinário de um cristal uniaxial são respectivamente n_o e n_e . Considere um laser propagando ao longo da direção que forma o ângulo θ com o eixo óptico como mostrado na figura.

O laser é linearmente polarizado ao longo do eixo x . **(a)** Mostre que existe um ângulo θ para o qual a condição de casamento de fase (*phase-matching*) pode ser encontrada para o segundo harmônico polarizado como raio extraordinário. **(b)** Calcule o ângulo de *phase-matching* para um cristal de KDP no comprimento de onda do laser de Nd:YAG (1064 nm). Os índices de refração relevantes para o KDP são: $n_o(1064\text{ nm}) = 1.494$; $n_o(532\text{ nm}) = 1.512$; $n_e(532\text{ nm}) = 1.471$. **(c)** Desenhe o cristal indicando o eixo óptico e a direção de propagação do laser.

Fig. 2.12 Electric field vector of ray propagating in a uniaxial crystal with its optic axis along the z direction. The ray makes an angle of θ with respect to the optic axis. The x and y axes are chosen so that the beam is propagating in the y, z plane. The polarization can be resolved into: (a) a component along the x axis and (b) a component at an angle of $90^\circ - \theta$ to the optic axis. (a) is the o-ray and (b) is the e-ray.



(6) – Mostre que a polarização não linear de terceira ordem induzida por um laser linearmente polarizado propagando num meio isotrópico é sempre paralela ao campo elétrico do laser.

(7) – Prob. 2 – Cap. 1 (BOYD)

(8) – Prob. 5 – Cap. 1 (BOYD)

(9) – Um teste experimental da simetria de Kleinman está apresentado em Lynch et al. Phys. Lett. 50A, 61 (1974). **Deduza** as equações (2) e (3) do artigo e **analise** os resultados para explicar a violação da simetria.