TS2 Génie Optique   DOUBLAGE DE FREQUENCE

BTS 2000
C) LE DOUBLAGE DE FREQUENCE

L'interaction d'un faisceau lumineux avec un matériau peut produire des effets optiques non linéaires. Ces effets ne sont observables que pour des densités de puissance de l'ordre de $10^9 Wm^{-2}$.
Seules les sources laser de forte puissance permettent d'atteindre de telles valeurs.

Dans un cristal non linéaire de BBO , où se propage une onde plane de fréquence ν et de vecteur d'onde $\mathbf{k_1}$ suivant la direction Oz, une onde de fréquence double 2ν et de vecteur d'onde $\mathbf{k_2}$ de même direction et sens que $\mathbf{k_1}$ (second harmonique) peut être générée.
On notera qu'en général $\mathbf{k_2}$ est légèrement différent de $2\mathbf{k_1}$ car les vitesses de propagation de l'onde de fréquence ν et de l'onde de fréquence 2ν dans le cristal sont légèrement différentes.(le milieu est dispersif).
Chaque élément du cristal contribue à la génération du second harmonique.
Soit l'élément de cristal de largeur dz placé en S tel que OS = z.(voir figure 7 annexe 3).
L'onde incidente s'écrit en S $e_1 = e_0 \exp[j(\omega t - k_1 z)]$ avec $\omega = 2\pi\nu$.
La contribution à la génération du second harmonique de l'élément en S est de la forme
$de_{2S} = K_2.e_1^2.dz$ K_2 est un coefficient caractéristique du cristal

C1) Ecrire de_{2S} au point S.

C2) Ecrire l'expression de l'onde de_{2P} ,générée en S, et qui s'est propagée au point P à la sortie du cristal de largeur L. (la différence de phase de l'onde entre P et S est donnée par le produit scalaire $\varphi = -\mathbf{k_2}.\mathbf{SP}$)

C3) Le second harmonique e_2 est la somme, au point P, de toutes les contributions à travers le cristal. Donner l'expression de e_2.
Montrer que l'intensité du second harmonique est

$$I_2 = K_2^2.e_0^4.\ \sin^2[(k_1-k_2/2)L]/(k_1-k_2/2)^2$$

C4) L'expression précédente montre que l'intensité du second harmonique I_2 varie périodiquement selon l'épaisseur L du cristal. Elle passe pour la première fois par un maximum pour une épaisseur l_C appelée "longueur de cohérence".
Exprimer l_C en fonction de k_1 et de de k_2.
Pour le cristal de BBO et pour une certaine direction de propagation, les valeurs des indices pour l'onde de fréquence ν et pour l'onde de fréquence double 2ν sont $n_1 = 1.68$ et $n_2 = 1.63$.
La longueur d'onde dans le vide du faisceau laser, $\lambda_1 = c/\nu$, est égale à 488nm.
Exprimer l_C en fonction de λ_1 , de n_1 et de n_2.(On rappelle que le vecteur d'onde d'une onde de fréquence n dans un milieu d'indice n est $k = 2\pi\nu n/c$)
Calculer l_C.

C5) Au-dela de l_C , I_2 diminue jusqu'à s'annuler (pour $L=2l_C$); c'est alors le second harmonique qui cède de l'énergie au fondamental. Les deux ondes échangent ensuite périodiquement de l'énergie et le rendement de conversion est très faible.
Il est souhaitable, pour obtenir des faisceaux doublés en fréquence intenses, que la longueur de cohérence l_C soit la plus grande possible. Cela est obtenu lorsque les deux ondes ont la même vitesse de propagation dans le cristal, c'est à dire lorsque $\mathbf{k_2} = 2\mathbf{k_1}$.Cette condition peut être réalisée dans un cristal biréfringent par la procédure dite d'**adaptation de phase**. (**phase matching** en anglais).
Le BBO est un cristal biréfringent uniaxe négatif.
En un point O du milieu soit Oy la direction de l'axe optique.
L'onde e_1 passant par O est polarisée linéairement de telle manière qu'elle soit onde ordinaire.
Lorsqu'elle se propage dans un plan d'orientation particulière (Ox,Oy), le second harmonique généré e_2, de vecteur d'onde $\mathbf{k_2}$ de même direction que $\mathbf{k_1}$,est alors onde extraordinaire, polarisée linéairement dans le plan Oxy.

C5a) Quelle est la direction de la polarisation de e_1?

C5b) On donne les indices du BBO:

- pour le fondamental à λ=488nm $n_{O1} = 1.6800$ $n_{E1} = 1.5592$
- pour le second harmonique à λ=244nm $n_{O2} = 1.7777$ $n_{E2} = 1.6294$

Sur la figure 8 annexe 3, on a représenté, dans le plan Oxy, en trait plein la surface d'onde ordinaire pour e_1 , en pointillé la surface d'onde extraordinaire pour e_2 , à l'instant t =1unité . (surfaces des vitesses). Les proportions ne sont pas respectées pour une meilleure lisibilité du schéma.
Indiquer les vitesses correspondant aux points A,B,C,D sur les axes Ox et Oy.

C5c) Indiquer aussi sur la figure la direction de la propagation de l'onde e_1 pour que soit satisfaite la condition d'adaptation de phase, c'est à dire pour que les ondes e_1 et e_2 aient même vitesse.

C5d) Sachant que l'équation d'un cercle de centre O et de rayon R ,dans le repère Oxy, est:

$$x^2/R^2 + y^2/R^2 = 1$$

et que l'équation d'une ellipse de grand axe A et de petit axe B, de même direction que Ox et Oy est

$$x^2/A^2 + y^2/B^2 = 1$$

Montrer que la valeur de l'angle β que fait la direction correspondant à l'adaptation de phase avec l'axe optique Oy est telle que $\tan\beta = [(n_{O2}^2 - n_{O1}^2)/(n_{O1}^2 - n_{E2}^2)]^{1/2}$
(On donnera d'abord $\tan\beta$ en fonction de A, B et R, puis en fonction de n_{O2},n_{O2} et n_{E2})
Calculer β.

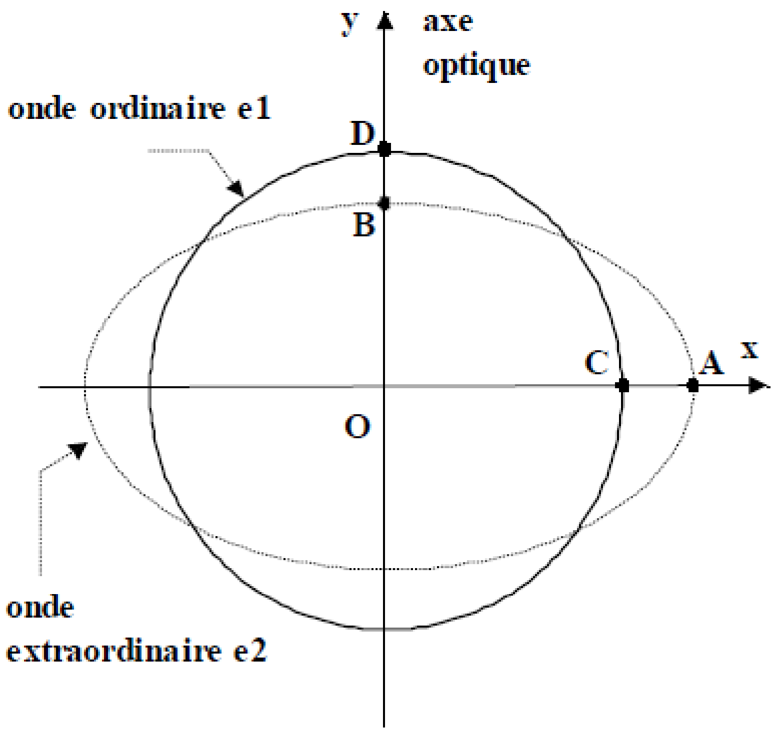

Figure 8

BTS 2011

2. Génération d'harmoniques et accord de phase

Pour obtenir la radiation à 266 nm, le laser est quadruplé en fréquence. On utilise pour cela un cristal uniaxe biréfringent de BBO (Beta Barium Borate).

Pour obtenir un rendement de conversion maximal il faut que le dispositif vérifie les conditions d'accord de phase. Ici, il faut que la deuxième harmonique (λ_2 = 532 nm) et la quatrième harmonique (λ_4 = 266 nm) aient des vitesses de propagation dans le cristal de BBO identiques (accord de type I).

Données :

- Indices ordinaires et extraordinaires du BBO pour les différentes harmoniques :

λ_2 = 532 nm n_o^{532} = 1,6749 n_e^{532} = 1,5555
λ_4 = 266 nm n_o^{266} = 1,7571 n_e^{266} = 1,6146

- Vitesse de l'onde ordinaire : $V_o = \dfrac{c}{n_o}$ avec $c = 3{,}00.10^8$ m.s^{-1}

- Vitesse de l'onde extraordinaire dépendant de la direction de propagation θ :

$$V_e = c\sqrt{\frac{\sin^2\theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2\theta}{n_o^2}}$$

- Direction de propagation utilisée : $\theta_a = 47{,}7°$

2.1. Expliquer le terme « quadrupler en fréquence ».

2.2. Quelle est la longueur d'onde d'émission du laser Nd-YAG utilisée initialement pour obtenir λ_4 = 266 nm ?

2.3. La longueur d'onde λ_2 = 532 nm se propage comme l'onde ordinaire. Déterminer sa vitesse de propagation dans le cristal de BBO.

2.4. La longueur d'onde λ_4 = 266 nm se propage comme l'onde extraordinaire dans la direction θ_a par rapport à l'axe optique du cristal. Déterminer sa vitesse de propagation dans le cristal de BBO.

2.5. Montrer que l'accord de phase est réalisé dans la direction θ_a.