

Dispositif interférentiel

On se propose, dans ce problème, d'étudier un gaz réel à l'aide d'un dispositif interférentiel particulier.

I. Étude du dispositif

A. Déviation d'un faisceau parallèle par un prisme

Un faisceau parallèle tombe sous incidence normale sur toute la face d'entrée d'un prisme de petit angle au sommet A , de hauteur H , de longueur d'arête a et d'indice N (*Figure 1*).

Données numériques : $H=1\text{ cm}$; $a=1\text{ cm}$; $A=2,90 \cdot 10^{-3}\text{ rad}$; $N=1,500$.

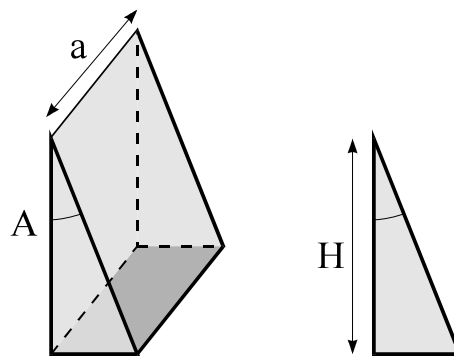


Figure 1

1. Tracer sur un schéma la marche d'un rayon traversant le prisme en indiquant, au niveau de la face de sortie du prisme, l'angle d'incidence, l'angle de réfraction, l'angle de déviation . Représenter sur le schéma le faisceau émergent du prisme, dans un plan de section principale.
2. Exprimer l'angle de déviation D en fonction des paramètres A et N du prisme en tenant compte de la faible valeur de l'angle A . Vérifier que l'angle du prisme étant « petit », la déviation est proportionnelle à l'angle du prisme A et à $(N-1)$.
3. Application numérique: calculer l'angle de déviation D en radians puis en minutes d'angle (un degré = 60 minutes).

B. Dispositif interférentiel

Un dispositif interférentiel comprend (*Figure 2*) :

- une source de lumière quasi-ponctuelle S émettant une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda=644\text{ nm}$ dans le vide ;
- une lentille mince, convergente, de centre C , au foyer de laquelle est placée la source ;
- deux prismes identiques à celui décrit précédemment, accolés par leurs bases et placés symétriquement de part et d'autre de l'axe optique Sx .

Le faisceau émergent de la lentille couvre entièrement les deux prismes. La lentille est utilisée dans les conditions de Gauss.

L'espace est rapporté au trièdre trirectangle $Cxy'z'$, de vecteurs unitaires $\vec{u}_x$, $\vec{u}_y$, $\vec{u}_z$; l'axe Cz' est parallèle à l'arête d'un prisme.

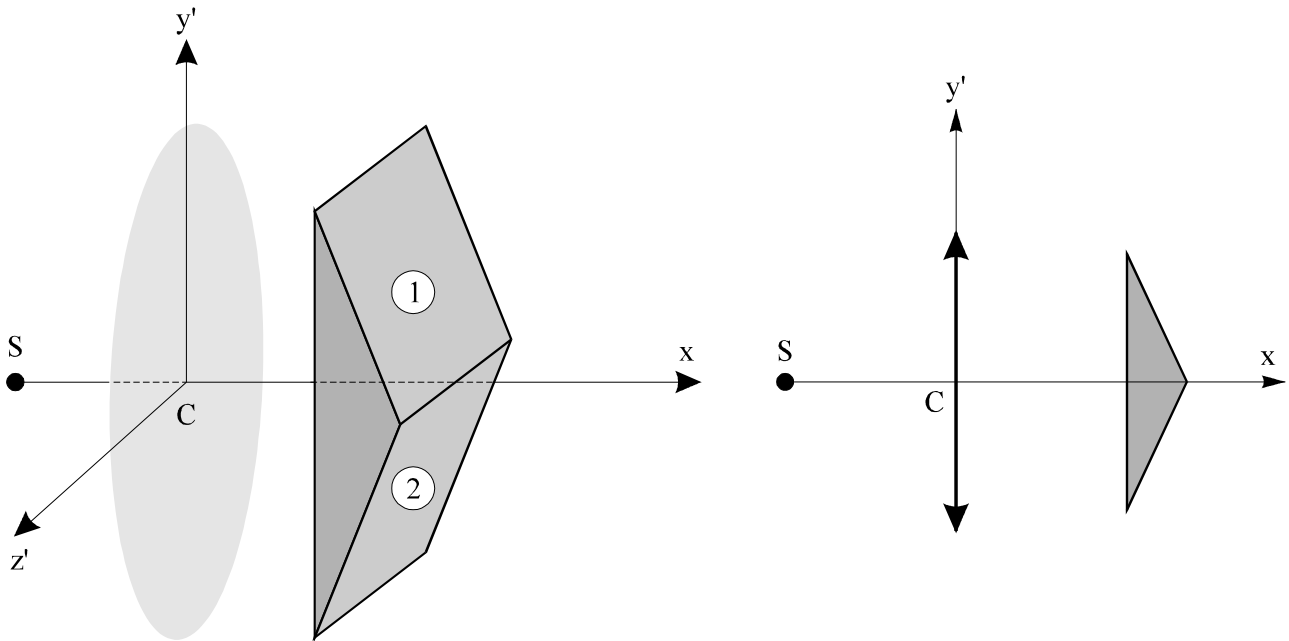


Figure 2

4. Dessiner, avec soin, le champ d'interférences dans le plan de section principale Cxy' .
5. Calculer la hauteur h maximale (parallèlement à l'axe Cy') et la largeur l (parallèlement à l'axe Cx) du champ, en tenant compte de la faible valeur de l'angle A (ce qui permet de négliger l'épaisseur à la base des prismes).

Soit $Oxyz$ le système d'axes tel que O soit au centre du champ d'interférences (c'est à dire au centre du domaine dans lequel on peut observer des interférences), Oy parallèle à l'axe Cy' et Oz parallèle à l'axe Cz' .

On rappelle que l'amplitude complexe $\Psi(M)$ associée à une onde plane progressive monochromatique de direction $\vec{u}$ est de la forme : $\Psi(M) = \Psi_0 \exp(j\vec{k} \cdot \vec{OM})$ avec $\vec{k} = k\vec{u}$ et $\Psi_0 = \Psi(0)$. L'onde est notée $\Psi(M, t) = \Psi(M) \exp(-j\omega t)$.

6. Rappeler l'expression de k dans le vide.
7. Exprimer les composantes des vecteurs d'onde $\vec{k}_1$ et $\vec{k}_2$ des faisceaux émergent respectivement des prismes notés ① et ②.
8. On pose : $\beta = \frac{4\pi}{\lambda}(N-1)A$. Montrer que le déphasage φ entre les deux ondes qui interfèrent en un point $M(x, y, z)$ du champ d'interférences s'exprime simplement en fonction de β et de la coordonnée y du point. On précisera la convention adoptée pour ce φ .
9. Exprimer l'intensité I au point M en fonction de y . On démontrera la formule utilisée. On notera I_0 l'intensité maximale.
10. Décrire la figure d'interférences ; en particulier préciser la nature des surfaces d'intensité

constante.

11. On place un écran dans le plan yOz qui correspond à la hauteur maximale du champ d'interférences : exprimer, puis calculer, l'interfrange i et le nombre n_f de franges brillantes observables.

C. Fente de réception de la lumière

On place une fente rectangulaire fine, de largeur e , dans le plan yOz , les bords étant de cotes respectives $y_0 - \frac{e}{2}$ et $y_0 + \frac{e}{2}$ (*Figure 3*).

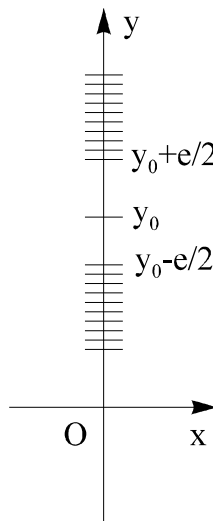


Figure 3

L'intensité lumineuse élémentaire dI_r reçue par un élément de fente de largeur dy et de cote y s'écrit : $dI_r = I \frac{dy}{e}$ où I représente l'intensité calculée précédemment.

12. Exprimer l'intensité totale I_r reçue par la fente. Montrer que : $I_r = \frac{I_0}{2} (1 + \Gamma \cos \beta y_0)$.
13. Quand on déplace la fente dans le plan yOz parallèlement à elle-même, l'intensité lumineuse varie. Soient $(I)_{max}$ et $(I)_{min}$ les intensités maximale et minimale reçues. Exprimer le contraste C défini par la relation : $C = \frac{(I)_{max} - (I)_{min}}{(I)_{max} + (I)_{min}}$.
14. Tracer l'allure de la courbe représentant C en fonction de e . Préciser quelques valeurs intéressantes.
15. On désire que le contraste soit au minimum égal à 0,4 ; quelle largeur maximale e_{max} de la fente faut-il choisir ?
16. On remarque que Γ s'annule pour une certaine largeur de fente. On remarque que Γ peut devenir négatif. Quels commentaires peut-on faire pour expliquer le sens physique de ces deux observations.