

Ailes de papillon

En se promenant, le randonneur peut observer des oiseaux, des insectes et les belles couleurs de leurs ailes (papillons), carapaces (coléoptères, mouches) ou plumes. Il constate que, souvent, la couleur observée est changeante selon l'angle de vue : on parle d'irisation.

La simple présence d'un pigment coloré ne peut pas expliquer ces variations de couleurs. Il s'agit en effet d'une couleur liée à la structure microscopique de l'aile, la carapace ou la plume : certaines sont constituées d'un empilement régulier de couches de deux matériaux d'indices optiques différents. Le nombre de couches va de deux à plus de cent selon les cas.

On souhaite expliquer le phénomène optique responsable des irisations. On s'intéresse à une unique couche d'épaisseur e d'un matériau noté c_1 , délimitée par deux couches d'épaisseur négligeable d'un autre matériau noté c_2 . Ces trois couches sont plongées dans l'air comme illustré sur la figure. On note n_0 l'indice optique de l'air et n l'indice optique du matériau c_1 , n et n_0 étant différents.

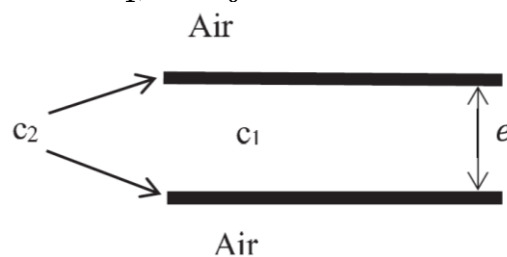


Figure 5 - Multicouche

On considère un rayon lumineux incident supposé monochromatique ; on note λ sa longueur d'onde dans le vide. Le rayon lumineux se divise en un rayon transmis et un rayon (a) réfléchi dans l'air. Le matériau c_2 constitue l'interface sur laquelle le rayon lumineux se divise. Le rayon transmis est lui-même réfléchi puis en partie transmis dans l'air. Le rayon qui ressort est noté (b). Les rayons (a) et (b) sont parallèles : voir la figure 6.

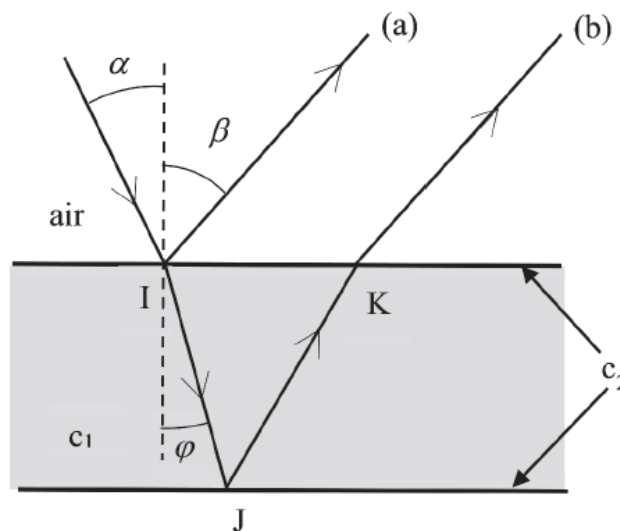


Figure 6 - Trajet des rayons lumineux

1. Déterminer l'angle β . Justifier
2. Pourquoi le rayon IJ change-t-il de direction par rapport au rayon incident ? Nommer le phénomène en jeu.
3. Les deux rayons (a) et (b) interfèrent. Expliquer en rappelant les conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse.

Les interférences ont lieu à l'infini, les rayons (a) et (b) étant parallèles.

4. Montrer que la différence de marche géométrique à l'infini entre les rayons (a) et (b) vaut :

$$\delta = 2 \cdot n \cdot e \cdot \cos(\varphi)$$

5. Donner sans démonstration l'expression de l'intensité lumineuse résultant de la superposition des rayons (a) et (b). On introduira et définira les notations utiles. On supposera l'intensité lumineuse du rayon (a) pris seul identique à celle du rayon (b) pris seul.

6. Montrer que $\delta = 2 e \sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}$

7. Démontrer que l'on voit de la lumière dans la direction β telle que $\delta = p\lambda$ où p est un entier. Comment qualifie-t-on les interférences dans ce cas ?

En réalité la lumière incidente est une lumière blanche : c'est la lumière du soleil. Elle contient toutes les longueurs d'onde du spectre visible.

8. Expliquer alors que selon l'angle d'observation β de la structure, la lumière réfléchie observée n'a pas la même couleur.

9. Supposons que la structure observée soit plongée dans l'eau : sur le schéma de la figure 5, l'air est remplacé par de l'eau. Quel paramètre est modifié ? Cela induit un changement de la couleur observée dans une direction donnée. Expliquer.

On suppose que l'on peut modéliser une aile de papillon par la structure multicouche étudiée précédemment.

10. On observe cette aile sous un angle de 30° . Dans l'air d'indice optique 1,0, l'aile a une couleur bleue. Plongée dans l'acétone d'indice 1,4, l'aile a une couleur verte. Montrer que cette observation permet d'estimer e , connaissant l'indice optique de la couche c_1 . On ne demande pas de réaliser cette estimation.

11. Si l'épaisseur e est grande, il arrive que la structure devienne transparente : le phénomène d'interférences n'a pas lieu. Expliquer.