

---

Série 1  
Traitement Quantique de l'Information

---

**Exercice 1** *Expérience de Young (1803)*

Le but de cet exercice est de calculer la forme de l'intensité des franges d'interférence dans l'expérience de Young. Rappelons le schéma expérimental. Une onde (lumineuse) monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  et de fréquence  $\nu$  est envoyée à travers une première fente (de dimension beaucoup plus petite que la longueur d'onde) ce qui produit une source ponctuelle de lumière cohérente. Cette étape sert à préparer une source de lumière cohérente et peut à partir de maintenant être "oubliée".

Ensuite l'onde passe à travers deux fentes séparées d'une distance  $d$  (et de dimensions beaucoup plus petite que la longueur d'onde). On supposera que chacune de ces deux fentes produit des ondes sphériques. Si  $\vec{r}_1$  et  $\vec{r}_2$  sont les positions des fentes les amplitudes des ondes sphériques au point  $\vec{r}$  sont

$$\phi_1(\vec{r}) = A \frac{e^{i(k|\vec{r}-\vec{r}_1|-\omega t)}}{|\vec{r}-\vec{r}_1|}, \quad A \frac{e^{i(k|\vec{r}-\vec{r}_2|-\omega t)}}{|\vec{r}-\vec{r}_2|}$$

Ici  $k = 2\pi/\lambda$  et  $\omega = 2\pi\nu$ .

On place un écran plan et parallèle aux deux fentes de Young, à distance  $D \gg d$  et on mesure sur l'écran l'intensité lumineuse. On rappelle que celle-ci est égale au module au carré de son amplitude.

1. On vous demande de calculer l'intensité lumineuse reçue sur un point  $P$  de l'écran. Montrez qu'elle est approximativement égale à

$$\frac{4A^2}{D^2} \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)$$

ou  $\theta$  est l'angle entre l'axe perpendiculaire aux fentes et à l'écran et les vecteurs  $\vec{r}_P - \vec{r}_1$  ou  $\vec{r}_P - \vec{r}_2$ . On pourra considérer que  $\vec{r}_P - \vec{r}_1$  et  $\vec{r}_P - \vec{r}_2$  sont quasiment parallèles quand  $D \gg d$ .

2. Discutez la condition sur  $\theta$  qui donne les maxima et les minima de l'intensité. Quelle est la forme des franges d'interférences observées sur l'écran ?
3. Introduire une variable radiale  $\rho$  qui mesure la distance au centre de l'écran. calculez la distance entre deux maxima successifs observés sur l'écran. Application : soit  $d = 0.250$  mm,  $D = 10$  m et longueur d'onde  $\lambda = 652$  nm (lumière rouge). Quelle est la fréquence correspondante (en Hz) ? Quelle est la distance entre deux maxima des franges de Young ?

## Exercice 2 *Expérience de Young modernes*

L'expérience de Young a été réalisée avec des molécules de Carbone 60, le C60 en 1999. Étonnamment celles-ci se comportent comme des ondes à condition qu'elle soit relativement bien isolées de leur environnement. Notez que des expériences très récentes mettent en évidence un comportement ondulatoire pour des molécules contenant jusqu'à 400 à 1000 atomes.

Ces molécules contiennent 60 atomes de carbone arrangés de manière sphérique sur les sommets de 12 pentagones et 20 hexagones (voir ballon de football). Elles font partie d'une large classe de molécules constituées de Carbone et découvertes en 1985 (prix nobel de chimie 1996). Le diamètre de la molécule de C60 est d'environ 0.7 nm, leur masse molaire 12 g/mol pour une mole contenant  $N_A = 6.022 \times 10^{23}$  atomes.

1. Calculez la longueur d'onde de De Broglie des molécules sortant d'un four avec une vitesse moyenne d'environ 220 m/s. Comparez avec la taille de la molécule!
2. On effectue une expérience de Young avec des fentes séparées par une distance  $d = 100 \text{ nm}$  et un écran situé à une distance  $D = 1.25 \text{ m}$ . En supposant que le comportement des molécules est ondulatoire, que devrait-on observer sur l'écran?
3. Un ballon de foot pèse environ 450 g et la vitesse initiale lors d'un tir professionnel peut atteindre 100 km/h. Calculez la longueur d'onde de De Broglie. Connaissez-vous un système physique aussi petit?

## Exercice 3 *Effet photoélectrique*

La longueur d'onde maximum pour éjecter un photoélectron du tungstène est de 230 nm (ultraviolets). Quelle est la longueur d'onde de la lumière qu'il faut utiliser pour éjecter des électrons d'énergie cinétique d'environ 1.5 eV? Quelle est la vitesse de ces électrons?

### Quelques constantes utiles.

$c = 2.997 \times 10^8 \text{ m/s}$  (vitesse de la lumière)

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  (constante de Planck divisée par  $2\pi$ )

$m = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$  (masse de l'électron)