CD et autres supports de l'information

Bac S 2014 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Montrer que la surface « utile » S du CD (surface grisée du document 1) s'exprime par $S = \pi\,(R_2^2 - R_1^2)$.

La zone grisée est une couronne : le disque de rayon R_2 privé du disque central de rayon R_1.

L'aire d'un disque de rayon R vaut πR^2, donc $S = \pi R_2^2 - \pi R_1^2$.

$$\boxed{S = \pi\,(R_2^2 - R_1^2)}$$

PIÈGE
Écrire $\pi\,(R_2 - R_1)^2$: on soustrait deux aires, pas deux rayons.

1.2 La longueur de la piste s'estime par $L \approx \dfrac{S}{a}$, où a est le pas de la spirale. Évaluer la longueur de la piste de ce CD.

Données utiles $R_1 = 2{,}5$ cm ; $R_2 = 6{,}0$ cm ; $a = 1{,}6\ \mu$m

$L \approx \dfrac{S}{a} = \dfrac{\pi\,(R_2^2 - R_1^2)}{a}$, avec toutes les longueurs en mètres :

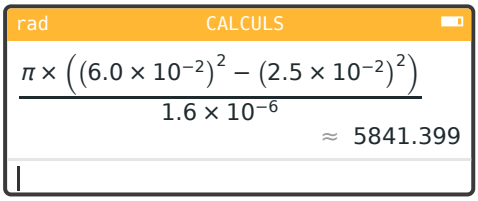
$$L \approx \frac{\pi \times \left[(6{,}0 \times 10^{-2})^2 - (2{,}5 \times 10^{-2})^2\right]}{1{,}6 \times 10^{-6}} = 5{,}8 \times 10^{3}\ \text{m}$$

$$\boxed{L \approx 5{,}8 \times 10^{3}\ \text{m, soit } 5{,}8\ \text{km}}$$

PIÈGE
Laisser les rayons en centimètres alors que le pas est en micromètres : convertir en mètres, $1\ \text{cm} = 10^{-2}$ m et $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}$ m.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs : le résultat aussi. On garde la valeur non arrondie, $5\,841$ m, pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE



1.3 En déduire la durée théorique totale de lecture du CD, en minutes.

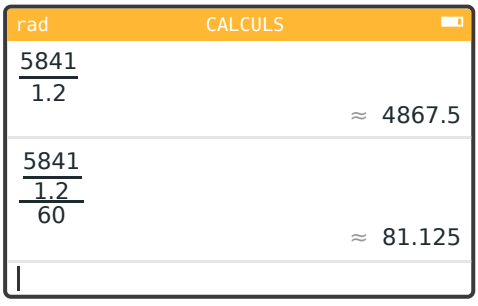
Données utiles $V = 1{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $L = 5{,}84 \times 10^{3}$ m (1.2)

La piste défile à vitesse linéaire constante : $V = \dfrac{L}{\Delta t}$, donc $\Delta t = \dfrac{L}{V}$.

$\Delta t = \dfrac{5{,}84 \times 10^{3}}{1{,}2} = 4{,}9 \times 10^{3}$ s, soit $\dfrac{4{,}9 \times 10^{3}}{60} = 81$ min.

$$\boxed{\Delta t \approx 81\ \text{min}}$$

À LA CALCULATRICE



1.4.1 Déterminer la différence de parcours entre l'onde qui se réfléchit sur un creux et celle qui se réfléchit sur un plat.

Données utiles $h_c = 0{,}12\ \mu\text{m}$

Le faisceau arrive par le dessous (document 2) : le fond d'une alvéole est plus éloigné du laser que le plat, d'une distance h_c. L'onde réfléchie sur un creux parcourt h_c en plus à l'aller, puis h_c en plus au retour.

$\delta = 2\,h_c = 2 \times 0{,}12 = 0{,}24\ \mu\text{m}$

$\delta = 2\,h_c = 2{,}4 \times 10^{-7}$ m

PIÈGE
Répondre $\delta = h_c$ en oubliant le retour : la lumière fait un aller-retour dans l'alvéole.

1.4.2 Ce parcours ayant lieu dans le polycarbonate, déterminer le retard de l'onde réfléchie dans un creux par rapport à l'onde réfléchie sur un plat, au niveau du capteur.

Données utiles $v = 1{,}93 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\delta = 2{,}4 \times 10^{-7}$ m (1.4.1)

Le retard τ est la durée mise par la lumière pour parcourir la distance supplémentaire δ à la célérité v dans le polycarbonate :

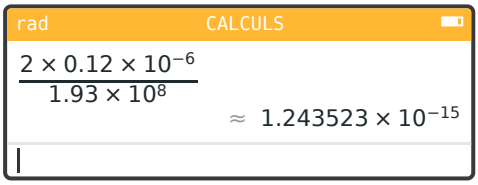
$$\tau = \frac{\delta}{v} = \frac{2\,h_c}{v} = \frac{2{,}4 \times 10^{-7}}{1{,}93 \times 10^8} = 1{,}2 \times 10^{-15}\ \text{s}$$

$\tau = 1{,}2 \times 10^{-15}$ s

PIÈGE
Utiliser $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: le trajet supplémentaire se fait dans le polycarbonate, où la lumière est plus lente que dans l'air.

COMPRENDRE
Avec la relation $2\,h_c = \frac{\lambda}{2}$ du document 2, on trouve $\tau = \frac{\lambda}{2v} = 1{,}30 \times 10^{-15}$ s. L'écart vient de h_c, arrondi à deux chiffres dans le sujet.

À LA CALCULATRICE



1.4.3 Comparer ce retard à la période de l'onde émise par le laser.

Données utiles $\lambda = 503$ nm dans le polycarbonate ; $v = 1{,}93 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\tau = 1{,}2 \times 10^{-15}$ s (1.4.2)

Dans le polycarbonate, $\lambda = v\,T$, donc $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{503 \times 10^{-9}}{1{,}93 \times 10^8} = 2{,}61 \times 10^{-15}$ s.

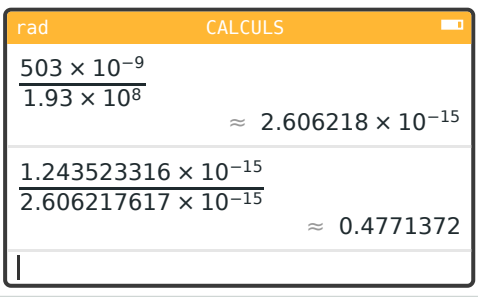
Numériquement : $\frac{\tau}{T} = \frac{1{,}2 \times 10^{-15}}{2{,}61 \times 10^{-15}} \approx 0{,}5$.

Littéralement, comme $2\,h_c = \frac{\lambda}{2}$ (document 2) : $\tau = \frac{2\,h_c}{v} = \frac{\lambda}{2\,v} = \frac{T}{2}$.

$\tau = \frac{T}{2}$: le retard vaut une demi-période.

COMPRENDRE
La période ne dépend pas du milieu traversé : seules la célérité et la longueur d'onde changent. Il faut donc associer λ et v du même milieu, ici le polycarbonate.

À LA CALCULATRICE



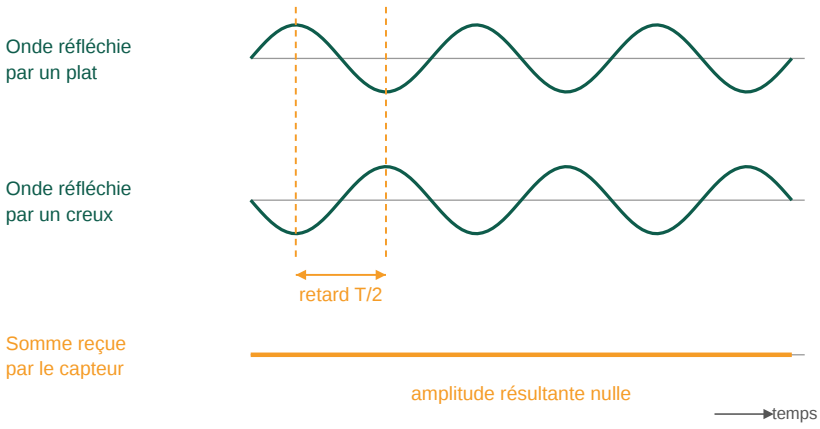
1.4.4 En déduire le type d'interférences (constructives ou destructives) entre l'onde réfléchie par un creux et celle réfléchie par un plat au niveau du capteur, en s'appuyant sur un schéma.

Les interférences sont destructives lorsque le retard vaut $\tau = \left(k + \frac{1}{2}\right) T$, avec k entier.

Ici $\tau = \frac{T}{2}$: c'est le cas $k = 0$. Les deux ondes arrivent en opposition de phase sur le capteur : quand l'une est maximale, l'autre est minimale, et leur somme est nulle (schéma).

Les interférences sont **destructives**.

MÉTHODE
Retard multiple entier de T ($\tau = k\,T$) : interférences constructives. Retard multiple impair de la demi-période : destructives. Même critère avec la différence de marche δ et λ.



1.4.4 · Deux ondes de même amplitude décalées d'une demi-période : elles s'annulent

1.4.5 Dans ce cas, le signal reçu par le capteur est-il maximal ou minimal ? Commenter.

Les deux ondes se compensent : l'intensité lumineuse reçue par la cellule photoélectrique est très faible.

Loin d'un bord d'alvéole, tout le spot se réfléchit sur une même surface (plat ou creux) : il n'y a pas de décalage et le signal est fort. Une chute du signal repère donc un passage plat-creux ou creux-plat, c'est-à-dire un bit « 1 » (document 4).

Le signal reçu est **minimal** : il marque le bord d'une alvéole.

COMPRENDRE
La profondeur $h_c = \frac{\lambda}{4}$ est choisie exprès : elle donne le contraste le plus fort entre signal fort et signal faible, donc une lecture fiable.

1.5 Déterminer la capacité totale théorique d'information (en Mo) que l'on peut enregistrer sur ce CD.

Données utiles durée d'un bit $t_b = 231{,}4$ ns ; 17 bits gravés par octet ; $V = 1{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $L = 5{,}84 \times 10^3$ m (1.2)

Longueur d'un bit sur la piste : $\ell = V\,t_b = 1{,}2 \times 231{,}4 \times 10^{-9} = 2{,}8 \times 10^{-7}$ m.

Longueur occupée par un octet : $17\,\ell = 17\,V\,t_b = 4{,}7 \times 10^{-6}$ m.

Nombre d'octets sur la piste :

$$N = \frac{L}{17\,V\,t_b} = \frac{5{,}84 \times 10^3}{17 \times 1{,}2 \times 231{,}4 \times 10^{-9}} = 1{,}2 \times 10^9 \text{ octets}$$

Avec $1\ \text{Mo} = 10^6$ octets :

$N \approx 1{,}2 \times 10^3$ Mo

PIÈGE
Diviser par 8 au lieu de 17 : sur le disque, un octet d'information occupe 17 bits gravés (14 de codage et 3 de synchronisation).

COMPRENDRE
La capacité réelle est de 700 Mo (document 3) : une partie de la piste sert à la correction d'erreurs et au repérage, pas aux données.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.2 \times 231.4 \times 10^{-9} \approx 2.7768 \times 10^{-7}$

$17 \times 1.2 \times 231.4 \times 10^{-9} \approx 4.72056 \times 10^{-6}$

$\dfrac{5841}{17 \times 1.2 \times 231.4 \times 10^{-9}} \approx 1.237353 \times 10^{9}$

2.1 Quelle doit être la profondeur d'un creux sur un disque Blu-ray ?

Données utiles Blu-ray : $\lambda = 261$ nm dans le polycarbonate

Le principe est le même que pour le CD : le retard doit valoir une demi-période, donc $2\,h_c = \dfrac{\lambda}{2}$ avec la longueur d'onde du laser Blu-ray dans le polycarbonate.

$h_c = \dfrac{\lambda}{4} = \dfrac{261}{4} = 65{,}3$ nm

$h_c = 65{,}3$ nm, soit environ $0{,}065\ \mu$m

PIÈGE

Prendre 405 nm : c'est la longueur d'onde dans l'air. L'aller-retour dans l'alvéole se fait dans le polycarbonate.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{261}{4} \approx 65.25$

2.2 Pourquoi ne peut-on pas lire un disque Blu-ray avec un lecteur de CD ?

Données utiles CD : $\lambda = 503$ nm, faisceau large de $2{,}1\ \mu$m ; Blu-ray : creux de 65,3 nm (2.1), pistes distantes de $0{,}3\ \mu$m

Deux raisons, tirées du document 3 :

- le faisceau d'un lecteur de CD est large de $2{,}1\ \mu$m, alors que les pistes du Blu-ray ne sont espacées que de $0{,}3\ \mu$m : le spot éclairerait environ sept pistes à la fois ;
- pour le laser du CD, un creux de Blu-ray donne un retard $\tau = \dfrac{2\,h_c}{v}$ avec $\dfrac{\tau}{T} = \dfrac{2\,h_c}{\lambda} = \dfrac{2 \times 65{,}3}{503} \approx 0{,}26$: environ un quart de période au lieu d'une demi-période, les interférences ne sont plus destructives.

Spot trop large et longueur d'onde inadaptée à la profondeur des creux : le signal ne distingue plus les creux des plats.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.1}{0.3} \approx 7$

$\dfrac{2 \times 65.25}{503} \approx 0.2594433$

2.3 En supposant le codage de l'information et la lecture d'un disque Blu-ray identiques à ceux d'un CD, déterminer la capacité de stockage qu'aurait un disque Blu-ray. Que peut-on en conclure ?

Données utiles Blu-ray : $L' = 27$ km, capacité réelle 25 Go ; longueur d'un octet $17\,V\,t_b = 4{,}72 \times 10^{-6}$ m (1.5)

Avec le même codage et la même lecture, un octet occupe la même longueur de piste : la capacité est proportionnelle à la longueur de la piste.

$$N' = \frac{L'}{17\,V\,t_b} = \frac{27 \times 10^3}{4{,}72 \times 10^{-6}} = 5{,}7 \times 10^9 \text{ octets}$$

Soit $5{,}7 \times 10^3$ Mo, c'est-à-dire $5{,}7$ Go : environ quatre fois moins que les 25 Go réels.

Conclusion : l'hypothèse est fausse. Sur un Blu-ray, les bits sont plus courts (alvéoles plus petites, lues par un spot plus fin) et le codage est différent de celui du CD.

$N' \approx 5{,}7$ Go, très inférieur à 25 Go : codage et lecture ne sont pas ceux d'un CD.

COMPRENDRE

Le stockage optique (lecture par laser, codage binaire) ne figure plus au programme de spécialité. Les interférences et le lien entre retard et période, eux, y sont toujours.

À LA CALCULATRICE

