Un nouveau stockage optique : le blu-ray

Bac S 2013 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Dans quel niveau d'énergie l'atome est-il le plus excité ?

Données utiles $E_1 = 4{,}49$ eV ; $E_2 = 7{,}56$ eV

Plus l'énergie de l'atome est élevée, plus il est excité. Or $E_2 > E_1$.

L'atome est le plus excité dans le niveau $E_2 = 7{,}56$ eV.

1.2 Quelle est la longueur d'onde de la radiation à envoyer sur l'atome pour provoquer une émission stimulée ?

Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

L'émission stimulée se produit si le photon incident a une énergie égale à l'écart entre les deux niveaux : $E = E_2 - E_1$.

Comme $E = h\,\nu$ et $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$: $\quad \lambda = \dfrac{h\,c}{E_2 - E_1}$

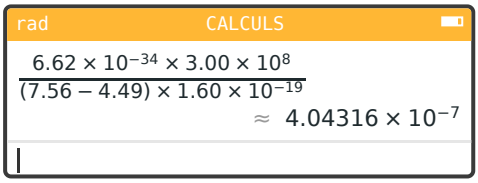
$$\lambda = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{(7{,}56 - 4{,}49) \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 4{,}04 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$\lambda = 4{,}04 \times 10^{-7}$ m $= 404$ nm

PIÈGE
Laisser l'écart d'énergie en électronvolts. La relation $E = h\,\nu$ exige des joules : $3{,}07\ \text{eV} = 4{,}91 \times 10^{-19}$ J.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme toutes les données. Le laser et l'émission stimulée ne figurent plus au programme actuel de spécialité ; la relation entre énergie du photon et longueur d'onde, elle, y est toujours.

À LA CALCULATRICE



1.3 Quelle est la longueur d'onde de la radiation émise par l'atome ?

Données utiles $\lambda = 404$ nm (1.2)

Lors d'une émission stimulée, l'atome redescend de E_2 à E_1 et émet un photon identique au photon incident : même énergie $E_2 - E_1$, donc même longueur d'onde.

La radiation émise a pour longueur d'onde $\lambda = 404$ nm.

COMPRENDRE
Le photon incident n'est pas absorbé : il en ressort deux, de même fréquence, même direction et même phase. C'est ce qui amplifie la lumière dans la cavité.

1.4 Donner deux caractéristiques de la lumière laser.

La lumière laser est **monochromatique** (une seule longueur d'onde) et **directive** (faisceau très peu divergent).

COMPRENDRE
Autres réponses acceptables : lumière cohérente, comme le dit le titre de la partie, ou énergie concentrée sur une très petite surface.

2.1 Pourquoi dit-on que l'information est stockée sur le disque sous forme binaire ?

Le capteur ne distingue que deux états : un passage plat-creux, codé 1, ou une absence de passage, codée 0.

L'information est une suite de 0 et de 1, c'est-à-dire de bits : elle est binaire.

2.2 La tension du document 2, issue du microphone, forme-t-elle un signal numérique ou analogique ? Justifier.

La tension varie de façon continue au cours du temps : entre $-2{,}5$ V et $+2{,}5$ V, elle peut prendre n'importe quelle valeur.

Le signal délivré par le microphone est **analogique**.

COMPRENDRE
Un signal numérique varie par paliers et ne prend qu'un nombre fini de valeurs, comme la tension en escalier du document 3.

2.3.1 Déterminer la fréquence d'échantillonnage du convertisseur numérique-analogique à partir du document 3.

Données utiles document 3 : graduation de l'axe des temps tous les 100 µs

La tension du document 3 est en escalier : chaque palier dure une période d'échantillonnage T_E.

On compte 5 paliers entre deux graduations, soit $5\,T_E = 100$ µs, donc $T_E = 20$ µs $= 20 \times 10^{-6}$ s.

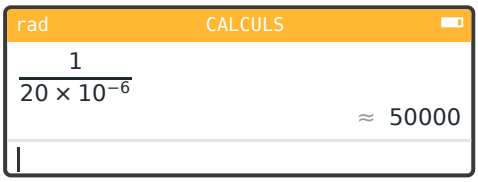
$$f_E = \frac{1}{T_E} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 5{,}0 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$f_E = 5{,}0 \times 10^4$ Hz $= 50$ kHz

PIÈGE
Compter les marches en hauteur. La période d'échantillonnage se lit sur l'axe des temps : c'est la largeur d'un palier.

MÉTHODE
Mesurer la durée de plusieurs paliers consécutifs puis diviser : la lecture est plus précise que sur un seul palier. Convertir en secondes avant de prendre l'inverse.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Comment modifier cette fréquence d'échantillonnage pour que le signal envoyé au haut-parleur se rapproche de celui du microphone ?

Avec des paliers plus courts, donc plus nombreux, la tension en escalier suit de plus près la courbe du document 2. Il faut pour cela diminuer T_E.

Il faut **augmenter** la fréquence d'échantillonnage.

3.1 Donner la condition que doit vérifier ΔL pour que les interférences soient destructives.

Les deux parties du faisceau doivent se superposer en opposition de phase : la différence de parcours vaut un nombre impair de demi-longueurs d'onde.

$\Delta L = (2k+1)\,\dfrac{\lambda}{2}$, avec k entier

PIÈGE
Écrire $\Delta L = k\,\lambda$: c'est la condition d'interférences constructives.

COMPRENDRE
La longueur d'onde à utiliser est λ, celle dans le polycarbonate, car c'est dans ce milieu que les deux parties du faisceau parcourent des trajets différents.

3.2 Montrer que la profondeur minimale du creux s'écrit $d = \frac{\lambda}{4}$.

Données utiles condition d'interférences destructives (3.1)

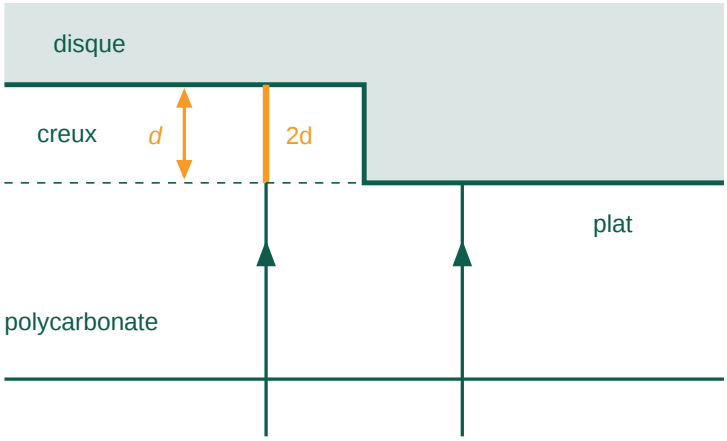
Le rayon réfléchi au fond du creux parcourt la profondeur d à l'aller et au retour, en plus du trajet du rayon réfléchi par le plat : $\Delta L = 2d$.

Pour un 1, les interférences doivent être destructives : $2d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

La profondeur est minimale pour $k = 0$: $2d = \frac{\lambda}{2}$.

$d = \frac{\lambda}{4}$, ce qui est la relation attendue.

PIÈGE
Oublier l'aller-retour et écrire $\Delta L = d$: on trouverait $d = \frac{\lambda}{2}$.



3.2 · Figure 2 du sujet : le rayon réfléchi au fond du creux parcourt 2d de plus

3.3 Calculer d pour un CD lu par un faisceau laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 780$ nm.

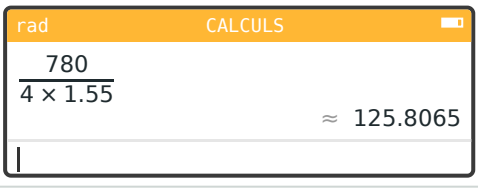
Données utiles $n = 1{,}55$; $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$; $d = \frac{\lambda}{4}$ (3.2)

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4\,n} = \frac{780}{4 \times 1{,}55} = 126 \text{ nm}$$

$d = 126 \text{ nm} = 1{,}26 \times 10^{-7} \text{ m}$

PIÈGE
Utiliser λ_0 à la place de λ : on obtiendrait 195 nm. Le creux est rempli de polycarbonate, où la longueur d'onde est plus courte que dans le vide.

À LA CALCULATRICE



3.4 Dans quel cas (figure 1 ou figure 2) le capteur reçoit-il le plus de lumière ? Justifier.

Figure 1 : tous les rayons parcourent le même trajet, $\Delta L = 0$. Ils arrivent en phase sur le capteur, les interférences sont constructives et l'intensité lumineuse est maximale.

Figure 2 : $\Delta L = 2d = \frac{\lambda}{2}$. Les interférences sont destructives et l'intensité reçue est minimale.

Le capteur reçoit le plus de lumière dans le cas de la **figure 1**.

4.1 Justifier l'appellation « Blu-ray » en faisant référence à la longueur d'onde du faisceau laser.

Données utiles document 6 : $\lambda_0 = 405$ nm pour le Blu-ray ; violet de 400 à 420 nm, bleu de 420 à 500 nm

Le laser d'un lecteur Blu-ray émet à $\lambda_0 = 405$ nm. Sur le spectre du document 6, cette radiation se situe à l'extrémité violette du visible, tout près du domaine du bleu.

Le faisceau est violet-bleu, d'où le nom « Blu-ray » (rayon bleu), par opposition aux lasers rouge (650 nm) du DVD et infrarouge (780 nm) du CD.

COMPRENDRE
Avec l'échelle du document, 405 nm tombe strictement dans le violet. L'appellation commerciale retient le bleu : la réponse doit citer la valeur et la situer sur le spectre.

4.2 Quel phénomène empêche d'obtenir, dans chaque cas, une largeur de faisceau plus faible ?

Le faisceau traverse une ouverture circulaire de petite dimension (la lentille de focalisation). Il s'étale au lieu de converger en un point : le spot a un diamètre minimal D proportionnel à λ_0.

Le phénomène limitant est la **diffraction**.

COMPRENDRE
La formule $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$ en porte la marque : le spot est d'autant plus large que la longueur d'onde est grande.

4.3 Vérifier que le diamètre D du spot du Blu-ray est compatible avec la distance 2ℓ qui sépare trois lignes de données.

Données utiles Blu-ray : $\lambda_0 = 405$ nm ; $NA = 0{,}85$; $\ell = 0{,}30$ µm ; $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$

$$D = 1{,}22 \times \frac{\lambda_0}{NA} = 1{,}22 \times \frac{405}{0{,}85} = 581 \text{ nm} = 0{,}58 \text{ µm}$$

Distance entre trois lignes : $2\ell = 2 \times 0{,}30 = 0{,}60$ µm.

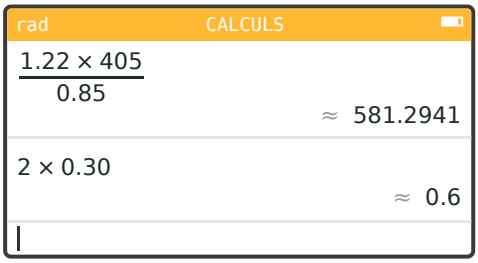
Le spot, centré sur une ligne, ne doit pas déborder sur les deux lignes voisines situées à la distance ℓ de part et d'autre : il faut $D < 2\ell$.

$D = 0{,}58$ µm $< 2\ell = 0{,}60$ µm : le spot n'éclaire qu'une seule ligne, son diamètre est compatible.

PIÈGE
Comparer des nanomètres à des micromètres. Convertir avant de conclure : $581 \text{ nm} = 0{,}581$ µm.

COMPRENDRE
NA et ℓ n'ont que deux chiffres significatifs : $D = 0{,}58$ µm. La marge est faible, la distance entre lignes est choisie au plus juste.

À LA CALCULATRICE



4.4 Expliquer, en argumentant, comment améliorer la capacité de stockage du disque sans modifier sa surface.

Données utiles document 6 ; $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$

À surface égale, il faut y loger davantage de données : rapprocher les lignes (diminuer ℓ) et raccourcir les cavités.

Le spot doit alors rester plus petit que 2ℓ : il faut diminuer $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$.

Le document 6 le confirme : du CD au Blu-ray, λ_0 passe de 780 à 405 nm, NA de 0,45 à 0,85 et ℓ de 1,6 à 0,30 µm.

On augmente la capacité en diminuant la longueur d'onde λ_0 du laser et en augmentant l'ouverture numérique NA, ce qui réduit le spot et permet de resserrer les données.

MÉTHODE
Pour « argumenter », enchaîner : l'objectif (plus de données par unité de surface), la contrainte (taille du spot), la formule, puis les valeurs du document qui illustrent la conclusion.

4.5 Calculer, en Mibit/s, le débit binaire lors de la lecture d'une vidéo HD (46 Gio pour environ 4 heures).

Données utiles $1\text{ Gio} = 2^{30}$ octets ; 1 octet = 8 bits ; $1\text{ Mibit} = 2^{20}$ bits

Le débit binaire est le nombre de bits transmis par seconde : $D_b = \dfrac{N}{\Delta t}$.

Nombre de bits : $N = 46 \times 2^{30} \times 8$ bits, soit $\dfrac{46 \times 2^{30} \times 8}{2^{20}} = 3{,}8 \times 10^5$ Mibit.

Durée : $\Delta t = 4 \times 3600 = 14\,400$ s.

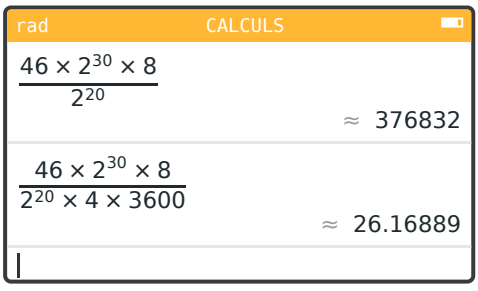
$$D_b = \frac{46 \times 2^{30} \times 8}{2^{20} \times 4 \times 3600} = 26\ \text{Mibit} \cdot \text{s}^{-1}$$

$D_b \approx 26$ Mibit/s

PIÈGE
Oublier le facteur 8 (la capacité est donnée en octets, le débit demandé en bits) ou laisser la durée en heures.

COMPRENDRE
Le débit binaire ne figure plus au programme actuel de spécialité. Le calcul reste une simple division d'une quantité de données par une durée.

À LA CALCULATRICE



4.6.1 Montrer que la taille numérique d'une image non compressée est d'environ 15 Mibit.

Données utiles image de 720×900 pixels ; 24 bits par pixel ; $1\text{ Mibit} = 2^{20}$ bits

Taille = nombre de pixels × nombre de bits par pixel.

$\text{taille} = 720 \times 900 \times 24 = 1{,}56 \times 10^7$ bits

En mébibits : $\dfrac{1{,}56 \times 10^7}{2^{20}} = 14{,}8$ Mibit

La taille d'une image est de 14,8 Mibit, soit environ 15 Mibit.

PIÈGE
Diviser par 10^6 : on trouverait 15,6. Le mébibit vaut $2^{20} = 1\,048\,576$ bits, pas un million.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$720 \times 900 \times 24$

$= 15\,552\,000$

$\dfrac{720 \times 900 \times 24}{2^{20}}$

≈ 14.83154

4.6.2 Combien d'images par seconde peut-on obtenir avec le débit binaire calculé à la question 4.5 ?

Données utiles $D_b = 26$ Mibit/s (4.5) ; taille d'une image : 15 Mibit (4.6.1)

$$\text{Nombre d'images par seconde} = \frac{\text{débit binaire}}{\text{taille d'une image}} = \frac{26}{15} = 1{,}7$$

Ce débit ne permet d'afficher qu'environ 1,7 image par seconde, soit moins de 2 images par seconde.

COMPRENDRE
Avec les valeurs non arrondies (26,17 et 14,83), on obtient 1,8 image par seconde. Les deux résultats sont acceptables et mènent à la même conclusion.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{26}{15}$

≈ 1.733333

$\dfrac{26.17}{14.83}$

≈ 1.764666

4.6.3 Il faut au moins 25 images par seconde pour éviter le clignotement. Pourquoi faut-il réduire la taille des images par un protocole de compression ?

Données utiles débit : 26 Mibit/s (4.5) ; moins de 2 images non compressées par seconde (4.6.2)

Sans compression, le débit ne fournit que moins de 2 images par seconde, très en dessous des 25 nécessaires.

Le débit étant fixé, il faut que 25 images tiennent dans 26 Mibit : chaque image doit occuper au plus $\dfrac{26}{25} \approx 1{,}0$ Mibit au lieu de 15 Mibit.

La compression doit diviser la taille de chaque image par 15 environ pour atteindre 25 images par seconde avec le débit disponible.

COMPRENDRE
Autre lecture : 25 images non compressées par seconde exigeraient $25 \times 15 = 375$ Mibit/s, et le disque de 46 Gio ne contiendrait qu'un quart d'heure de vidéo environ.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{26}{25}$

≈ 1.04

$\dfrac{15}{1.04}$

≈ 14.42308