TD Physique 02 **BCPST 1C**

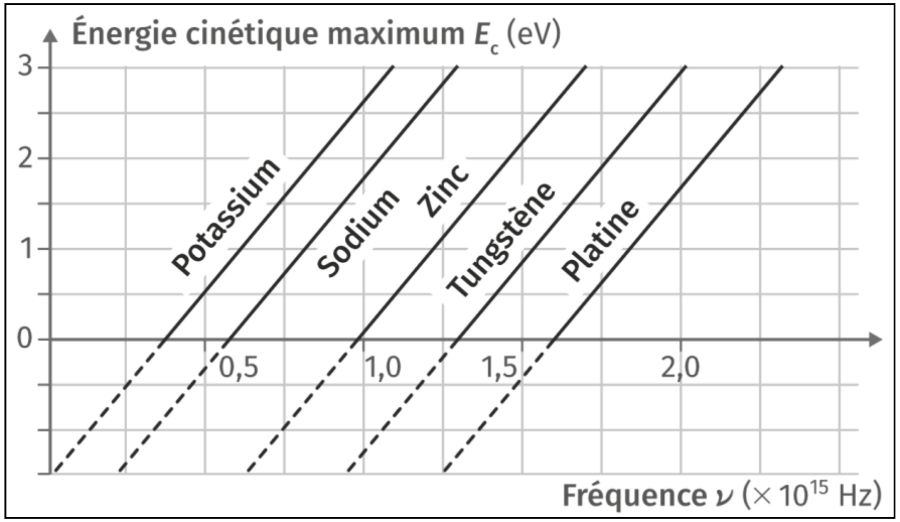
- La lumière : modèles et applications -

Données : Constante de Planck h = $6{,}63.10^{-34}$ J.s
$1\ eV = 1{,}6.10^{-19}$ J
Masse de l'électron $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg

▶ Exercice 01 :

1- L'énergie minimale nécessaire pour libérer un électron d'un atome de tungstène (ou travail d'extraction) vaut W_e = 5,39 eV. En déduire la fréquence seuil ν_{seuil} du tungstène pour en extraire un électron par effet photoélectrique. A quel type de rayonnement cette fréquence correspond-elle ?

2- Comment retrouver cette fréquence seuil sur le graphique ci-dessous, représentant pour différents métaux l'énergie cinétique maximale des électrons émis par effet photoélectrique en fonction de la fréquence du rayonnement électromagnétique incident ?



3- D'après ce graphique, quel(s) métal(aux) peu(ven)t subit l'effet photoélectrique avec de la lumière visible ?

4- Si un photon apporte plus que l'énergie nécessaire pour extraire l'électron du métal, le surplus d'énergie est transformé en énergie cinétique (E_C) pour l'électron. Exprimer alors E_C en fonction de la fréquence ν du photon et du travail d'extraction W_{ext}. En déduire ce que représentent l'ordonnée à l'origine et la pente des graphiques ci-dessus.

5- Revenons au cas du tungstène : à quelle vitesse sont éjectés les électrons si on utilise un rayonnement de longueur d'onde dans le vide égale à 200 nm ? à 400 nm ? Cette vitesse dépend-elle de l'intensité de la lumière ?

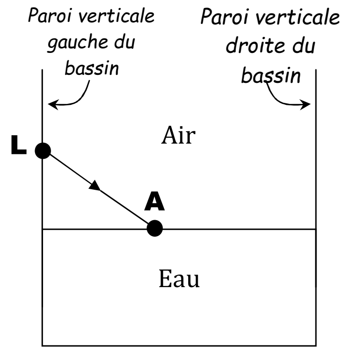
▶ Exercice 02 :

Pour cet exercice, on rappelle que le Watt est une unité de puissance et qu'elle représente l'énergie (en Joule) échangée chaque seconde.

1- Un émetteur radio émet un signal de fréquence 105,5 MHz et de puissance 100 kW. Evaluer le nombre de photons qu'il émet pendant une journée.

2- Le flux solaire au niveau du sol terrestre vaut environ ϕ_S = 1000 $W.m^{-2}$ par beau temps. En prenant pour les photons solaires une longueur d'onde moyenne de 0,5 µm, trouver l'ordre de grandeur du nombre de photons reçus pendant une heure de beau temps par le toit d'une résidence disposant d'une surface de 25 m² de capteurs solaires.

▶ Exercice 03 :



Un bassin contient de l'eau sur une profondeur H = 4,00 m. *Il est éclairé par un laser* L *situé sur la surface verticale de gauche du bassin à une hauteur* h = 2,00 m *par rapport au niveau de la surface de l'eau. Ce laser éclaire un point* A *situé sur l'eau à une distance* d = 3,00 m *par rapport à la paroi verticale de gauche du bassin. On constate alors que deux points lumineux se forment : un point* B *situé sur la paroi verticale de droite et un point* C *situé au fond du bassin.*

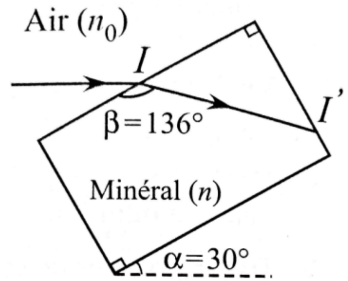
<u>*Données*</u> : - *Indice de réfraction de l'air :* n(air) = 1,00
- *Indice de réfraction de l'eau :* n(eau) = 1,33
- *Distance entre les deux parois verticales du bassin :* D' = 8,00 m

1- Déterminer la valeur de l'angle d'incidence du rayon parcourant le trajet LA.

2- Dessiner qualitativement le trajet du rayon lumineux justifiant l'apparition du point B. A quelle hauteur h' par rapport à la surface de l'eau se situe ce point B ?

3- Dessiner qualitativement le trajet du rayon lumineux justifiant l'apparition du point C. A quelle distance D par rapport à la paroi verticale de droite du bassin se situe ce point C ?

▶ Exercice 04 :



Un rayon lumineux voyageant dans l'air pénètre horizontalement dans un minéral rectangulaire supposé transparent et isotrope. La disposition du minéral par rapport à l'horizontale et le trajet du rayon lumineux à l'intérieur du minéral sont représentés ci-contre.

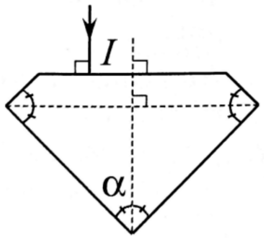
1- Déterminer l'indice de réfraction « n » du minéral.

2- Déterminer l'angle d'incidence limite pour le dioptre minéral-air.

3- Le rayon lumineux pourra-t-il ressortir du minéral au point I' ? Si oui, indiquer la valeur de son angle de réfraction. Sinon, déterminer la suite de son parcours au travers du minéral.

▶ Exercice 05 :

Le diamant a l'indice de réfraction le plus élevé parmi les pierres naturelles transparentes : sa valeur varie de 2,417 *pour une longueur d'onde dans le vide de* 400 nm *à* 2,419 *pour une longueur d'onde dans le vide de* 800 nm. *Un rayon de lumière blanche se propageant dans l'air arrive perpendiculairement à la surface supérieure d'un diamant représenté ci-contre avec* α = 45,0 °.



1- Peut-on considérer le diamant comme un milieu dispersif ?

2- En prenant n = 2,418 pour l'indice du diamant, déterminer la suite du trajet du rayon incident représenté jusqu'à sa sortie du diamant.

▶ Exercice 06 :

Les mirages sont des phénomènes optiques extrêmement courants et spectaculaires. Leur explication physique est très simple, puisqu'elle fait essentiellement intervenir les lois de la réfraction.

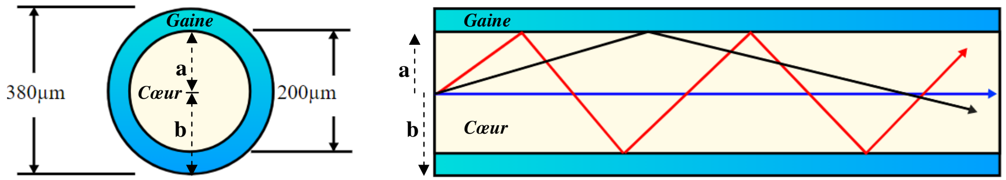
Prenons le cas le plus classique : une route surchauffée en été. La route, sombre, absorbe le rayonnement solaire et devient rapidement très chaude. L'air situé à proximité du bitume chauffe également et sa température décroît lorsqu'on s'éloigne du sol. L'indice de réfraction dépend de la température de l'air : plus l'air est chaud, plus son indice est faible. Par conséquent, au-dessus de la route, on observe un gradient d'indice avec des indices faibles près du sol et des indices de plus en plus élevés lorsqu'on monte et que la température diminue. Suivons maintenant un rayon lumineux provenant d'un nuage (ou d'un bout du ciel) et se dirigeant vers la route. Au fur et à mesure que ce rayon se rapproche du sol, il rencontre des indices de plus en plus faibles. Or on sait (lois de Descartes) que lors du passage d'un milieu à fort indice vers un milieu à faible indice, un rayon lumineux à tendance à s'éloigner de la normale à ces deux milieux. Si on imagine l'air découpé en tranches très fines parallèles au sol dans lesquelles l'indice de réfraction est constant, il est alors facile de se rendre compte que le rayon va se redresser au fur et à mesure qu'il descend vers le sol jusqu'à être quasiment parallèle au sol. A ce moment là, le rayon va finalement repartir vers le haut (sans avoir touché le sol) pour finalement venir taper l'œil de l'observateur.

A l'aide de ces informations, réaliser un schéma illustrant le chemin d'un rayon lumineux afin d'expliquer l'effet mirage. Justifier alors l'observation faite sur la route (voir photo) en considérant que le cerveau humain analyse les informations suivant le principe de propagation rectiligne de la lumière.

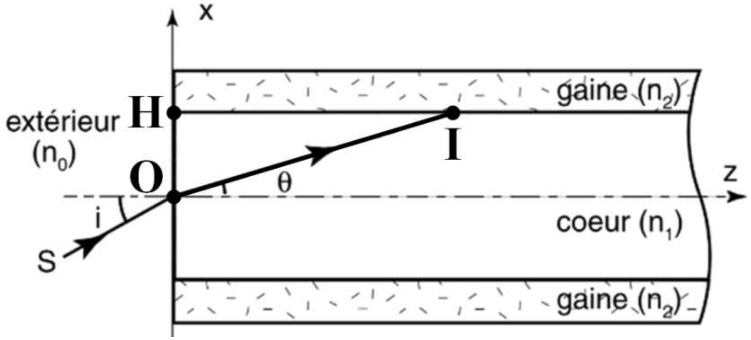
▶ Exercice 07 :

La fibre optique offre un accès ultrarapide à internet, à la télévision en HD et permet de nouveaux usages. Le support de l'information est une onde lumineuse qui traverse un cylindre constitué de 2 parties : le cœur cylindrique de rayon **a** *et d'indice* $\mathbf{n_1}$, *entouré d'une gaine d'indice* $\mathbf{n_2}$ *et de rayon extérieur* **b**.

Le choix des indices $\mathbf{n_1}$ *et* $\mathbf{n_2}$ *est important : pour ne pas perdre d'information, il faut en effet que l'onde lumineuse reste dans le cœur sans jamais passer dans la gaine (voir figure de droite ci-dessous). On dit que l'onde est guidée par réflexion totale.*



L'onde lumineuse, initialement dans l'air pour lequel $\mathbf{n_0}$ **= 1,000**, *rentre dans le cœur de la fibre optique selon le rayon incident* **SO**, *formant un angle d'incidence* **i** *sur la surface du dioptre air-cœur et un angle de réfraction* θ.



1- Les deux parties de la fibre optique sont de la silice et du silicone, d'indices de réfraction respectifs 1,456 et 1,410. Identifier lequel de ces matériaux constitue le cœur et la gaine de la fibre optique pour que l'onde lumineuse puisse être guidée sans perte.

2- Exprimer en fonction de $\mathbf{n_0}$, $\mathbf{n_1}$ et $\mathbf{n_2}$ la valeur maximale que peut prendre l'angle **i** (on notera cette valeur $\mathbf{i_{max}}$) pour que le rayon réfracté ait une propagation guidée dans le cœur. En déduire alors que i_{max} = 21,29 °.

3- On considère une fibre optique de longueur L = 1,00 km dans laquelle l'onde lumineuse est introduite avec un angle d'incidence i = 0°. Quelle durée Δt_1 sera nécessaire à l'onde lumineuse pour parcourir la longueur L ?

4- On considère désormais que l'onde lumineuse est introduite dans la même fibre optique que précédemment avec un angle d'incidence i = i_{max}.

a) Déterminer qualitativement si la durée Δt_2 nécessaire à l'onde lumineuse pour parcourir la longueur L sera plus petite, plus grande ou égale à Δt_1.

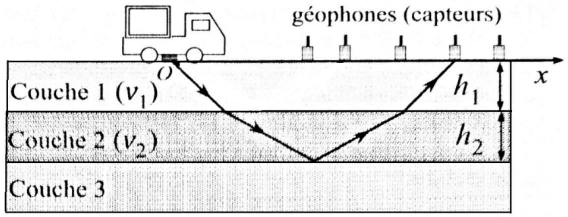
b) Montrer que OI = 401 µm et que HI = 388 µm.

c) En déduire la durée nécessaire Δt_{OI} pour parcourir le trajet OI puis la durée Δt_2.

▶ Exercice 08 :

Un camion vibreur à l'arrêt émet une salve d'ondes à l'aide d'un marteau venant frapper périodiquement le sol. Les capteurs enregistrent en surface les échos liés aux réflexions des ondes sur les dioptres séparant les différentes couches, ce qui permet ainsi de déterminer les durées de parcours de chaque signal. L'instant initial est défini par le départ de la salve au point O.

Le schéma ci-contre représente le trajet d'un rayon ayant subi une réfraction sur le 1er dioptre, puis une réflexion sur le 2ème, puis à nouveau une réfraction sur le 1er et enfin détecté par un géophone.



1- Compléter le schéma pour y indiquer le trajet d'un autre rayon issu du point O ne subissant qu'une réflexion sur le 1er dioptre et détecté par le même géophone que précédemment.

2- On note respectivement v_1 et v_2 la vitesse des ondes dans la couche 1 et dans la couche 2. D'après le schéma, comparer v_1 et v_2.

3- On appelle Δt_1 la durée nécessaire à l'onde réfléchie par le 1er dioptre pour atteindre un géophone situé à la distance x du camion et h_1 la profondeur de la couche 1.

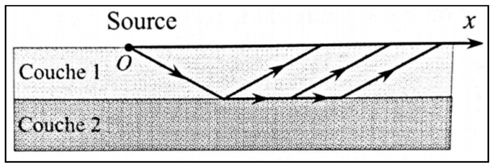
a) Montrer que Δt_1 est donnée par la relation : $\Delta t_1 = \sqrt{\dfrac{4\,{h_1}^2 + x^2}{{v_1}^2}}$

b) On relève les valeurs Δt_1 mesurées par des géophones placés à différentes abscisses x puis on trace le graphique ${\Delta t_1}^2 = f(x^2)$. On modélise le nuage de points obtenu par une droite de coefficient directeur $a = 2{,}5.10^{-7}$ SI et d'ordonnée à l'origine $b = 4{,}0.10^{-3}$ SI. Après avoir déterminé les unités SI de ces coefficients a et b, les exploiter pour déterminer les valeurs de v_1 et de h_1.

4- Donner l'expression de la durée Δt_2 nécessaire aux ondes traversant la couche 2 pour atteindre le géophone situé à l'abscisse x en fonction des vitesses v_1 et v_2 de propagation des ondes dans les couches 1 et 2, des épaisseurs h_1 et h_2 de chaque couche et des angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 sur le 1er dioptre (commencer par faire un GRAND schéma de la situation).

Une étude similaire à la question **3-** *aboutit à* $v_2 = 2{,}8.10^3\ \text{m.s}^{-1}$ *et* $h_2 = 100$ m.

5- Une troisième onde peut être détectée par les géophones : ce sont des ondes qui atteignent le 1er dioptre mais ne le traversent pas. Ces ondes se déplacent le long du dioptre à la vitesse v_2 et produisent en continu des ondes réfractées qui remontent à la surface.

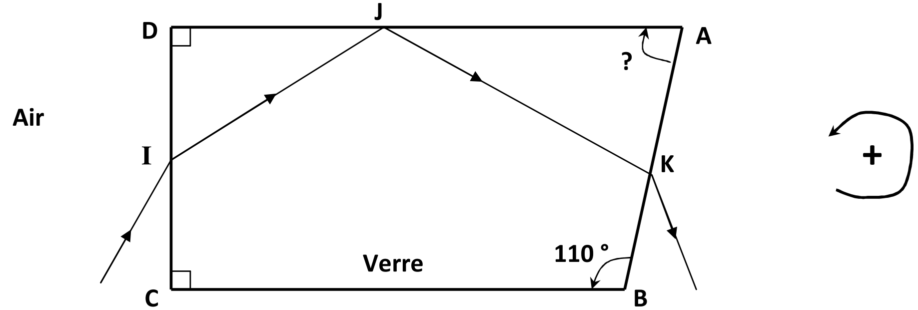


a) A partir de quelle valeur d'angle d'incidence sur le dioptre Couche1/Couche2 observe-t-on ce phénomène ?

b) En déduire à partir de quelle abscisse « x » ce phénomène peut être enregistré par un géophone ?

▶ Exercice 09 :

Un rayon lumineux initialement dans l'air pénètre au point I *dans un morceau de verre de forme trapézoïdale. Ce rayon suite alors le chemin représenté ci-contre :*



- *Sur cette figure, les angles sont orientés, l'orientation positive des angles étant celle du sens trigonométrique ;*
- *La valeur absolue de l'angle d'incidence au point* I *vaut* $|i_1| = 75{,}0$ °,
- *On prendra* $n_{air} = 1{,}00$ *pour l'indice de réfraction de l'air et* $n_V = 1{,}50$ *l'indice de réfraction du verre.*
- *Les angles* BCD *et* CDA *du trapèze sont des angles droits et l'angle orienté* CBA *du trapèze vaut* 110 °.

1) Que vaut l'angle orienté BAD ?

2) Sur le schéma, représenter les angles ci-dessous et préciser leur signe :
\# les angles d'incidence orientés i_1, i_3 et i_5 aux points I, J et K ;
\# les angles de réfraction orientés i_2 et i_6 aux points I et K ;
\# l'angle de réflexion orienté i_4 au point J.

3) Déterminer successivement la valeur des angles orientés i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 et i_6.

4) Justifier pourquoi le rayon ne ressort pas du trapèze en verre au niveau du point J alors qu'il en ressort au point K.

5) Déterminer l'angle total « D » dont est dévié le rayon depuis le point I jusqu'au point K. On pourra s'aider du schéma ci-dessous dans lequel on constate que le rayon est d'abord dévié d'un angle α, puis d'un angle β puis d'un angle γ, à exprimer en fonction de i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 et i_6.