

BCPST 1 - Devoir Surveillé n°2 - PHYSIQUE

Mercredi 15 Octobre 2025 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée. Tout résultat final doit être mis en valeur.

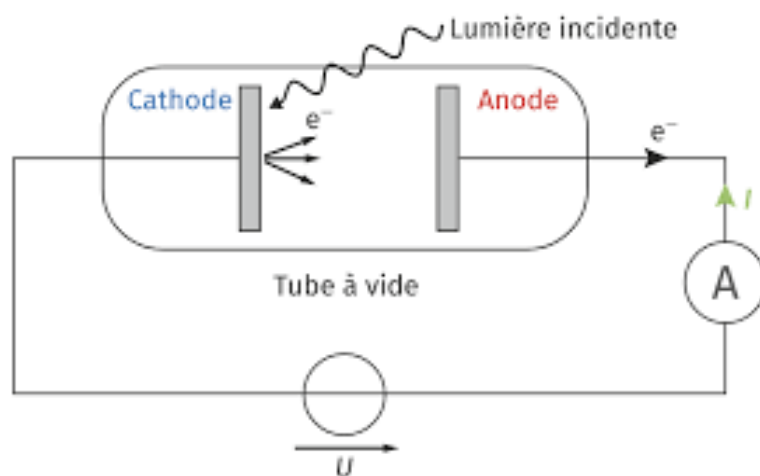
On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique, ainsi que des réponses concises mais précises.

EXERCICE 1 : EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

(30 MINUTES)

Une cellule photoélectrique est une ampoule dans laquelle règne un vide poussé, et à l'intérieur de laquelle sont disposées une cathode et une anode métalliques.

La cathode en césium est éclairée par un laser hélium-néon émettant un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde dans le vide vaut $\lambda = 544 \text{ nm}$. Par effet photoélectrique, on observe que des électrons sont éjectés de la cathode. Ces électrons sont alors réceptionnés par l'anode qui les injecte dans un circuit électrique. Une différence de potentiel U est imposée aux bornes de la cellule. Un ampèremètre placé en série permet de mesurer l'intensité I du courant résultant de cette circulation d'électrons dans le circuit.



Une différence de potentiel U est imposée aux bornes de la cellule. Un ampèremètre placé en série permet de mesurer l'intensité I du courant résultant de cette circulation d'électrons dans le circuit.

Le travail d'extraction, pour la cathode en césium, vaut $W = 2,00 \text{ eV}$.

Données :

- Charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- Masse de l'électron : $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

1. A quel domaine du spectre électromagnétique appartiennent les ondes électromagnétiques émises par le laser ?
2. Déterminer la longueur d'onde seuil λ_s d'un rayonnement électromagnétique permettant d'extraire un électron de la cathode en césium.
3. Expliquer pourquoi l'extraction d'électrons est observée lorsqu'on éclaire la cathode avec le laser hélium-néon.
4. Déterminer la vitesse des électrons juste après l'arrachement au niveau de la cathode.

Pour une fréquence ν donnée du rayonnement électromagnétique éclairant la cathode, il existe une valeur $-U_0$ de la tension U pour laquelle le courant I mesuré s'annule, et ce quelle que soit l'intensité du rayonnement électromagnétique.

5. Sachant que, sous l'effet de la tension U , la variation d'énergie cinétique des électrons entre la cathode et l'anode est $\Delta E_c = E_{c,anode} - E_{c,cathode} = e \cdot U$, établir la relation d'Einstein suivante :

$$h \cdot \nu = e \cdot U_0 + W$$

Pour une fréquence du rayonnement $\nu = 8,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, on mesure $U_0 = 1,35 \text{ V}$.

6. En déduire une valeur expérimentale de la constante de Planck.

EXERCICE 2 : MODÉLISATION DU HALO SOLAIRE

| | |
|---|---|
| Données numériques utiles : Célérité de la lumière dans le vide : | $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Indice optique de l'air : | $n_a = 1,0$ |
| Indice optique de la glace : | $n_g = 1,3$ |

Partie I – La réfraction de la lumière

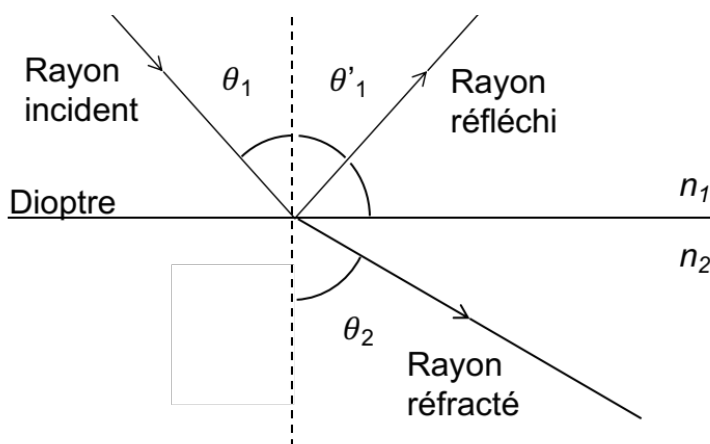
(20 MINUTES)

1. On considère un milieu homogène, isotrope et transparent à la lumière. Exprimer l'indice optique n de ce milieu en fonction de la célérité v de la lumière dans ce milieu et de la célérité c de la lumière dans le vide.

On étudie la situation, représentée sur la FIGURE 1 suivante, de la réfraction et de la réflexion de la lumière.

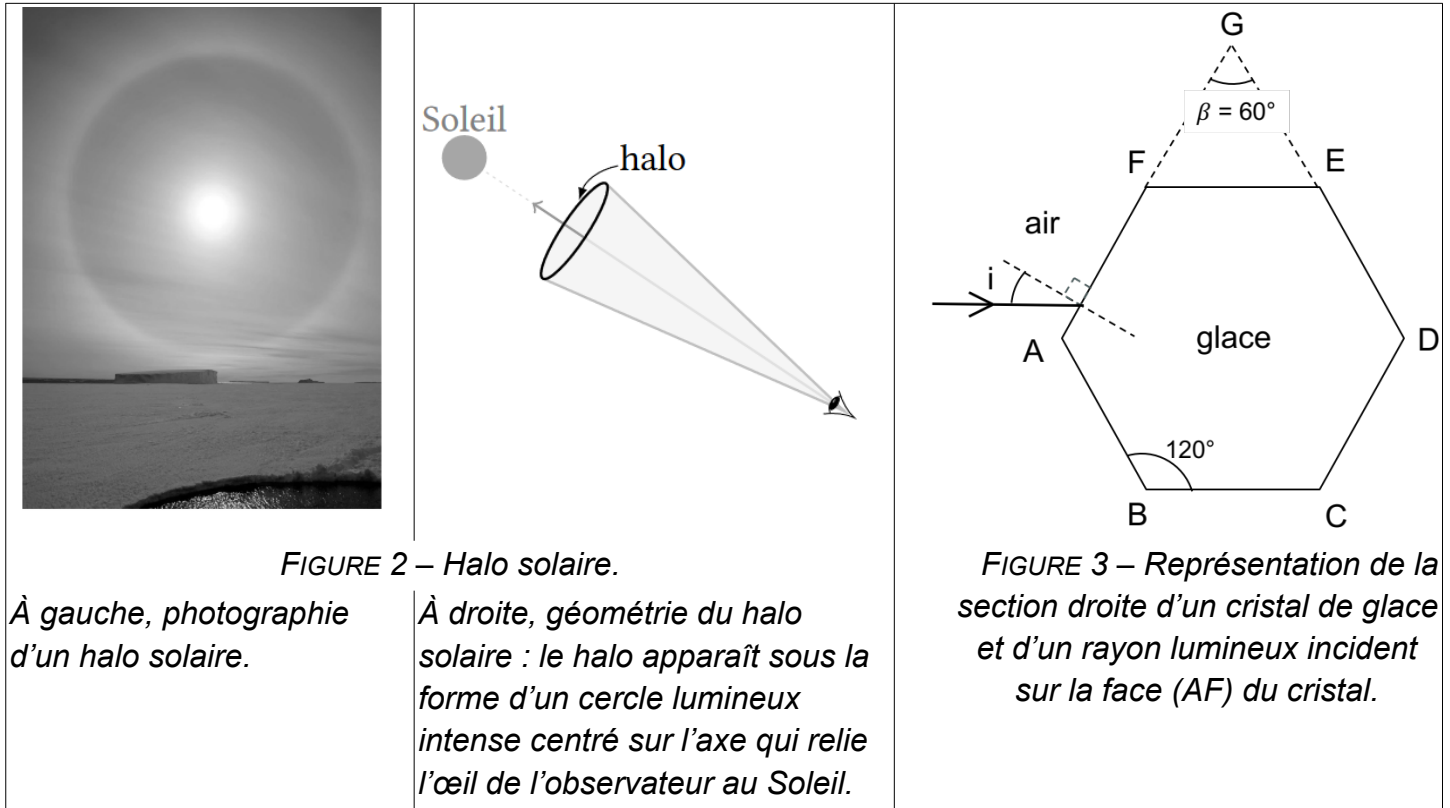
Un rayon lumineux incident arrive sur un dioptre qui sépare deux milieux d'indices optiques n_1 et n_2 . On note θ_1 l'angle d'incidence du rayon incident, θ'_1 l'angle que le rayon réfléchi fait avec la normale au dioptre, et θ_2 l'angle que le rayon réfracté fait avec cette même normale.

FIGURE 1 – Réflexion et réfraction de la lumière par un dioptre ($n_2 < n_1$).



2. Rappeler les lois de la réflexion et de la réfraction de Snell-Descartes.
3. Montrer que, dans le cas où $n_2 < n_1$, si θ_1 est supérieur à une valeur θ_ℓ , l'énergie véhiculée par le rayon incident est totalement réfléchi par le dioptre. Nommer cette situation.
4. Exprimer θ_ℓ en fonction de n_1 et n_2 .
5. Dans le cas d'un dioptre séparant la glace (milieu 1) de l'air (milieu 2), calculer la valeur de θ_ℓ en degrés.

Le halo solaire, ou anthélie, est un phénomène optique atmosphérique qui ressemble à un arc-en-ciel circulaire (voir FIGURE 2 à gauche). Il apparaît sous la forme d'un cercle coloré dont le soleil occupe le centre. L'objectif de cette sous-partie est la détermination du rayon angulaire du halo (qui représente l'angle au sommet du cône représenté sur la FIGURE 2 à droite).



Le halo est dû à la réfraction de la lumière issue du soleil par de petits cristaux de glace en forme de bâtonnets. Les plus petits de ces cristaux ont un mouvement erratique provoqué par le choc des molécules qui constituent l'air ; ils ont donc toutes les orientations possibles dans l'espace. On admettra qu'on peut modéliser la réfraction de la lumière issue du soleil par ces cristaux par la réfraction de la lumière par un seul cristal en considérant un angle d'incidence variable.

La FIGURE 3 ci-dessus donne la représentation de la section droite d'un cristal de glace. Cette section présente la géométrie d'un hexagone régulier ($ABCDEF$). Un rayon lumineux incident, contenu dans le plan de cette section, atteint la face (AF) avec un angle d'incidence variable i . On étudie la déviation (angle formé par les rayons à l'entrée et à la sortie du cristal) de ce rayon lumineux par le cristal.

Premier cas : le rayon réfracté arrive sur la face (CD)

6. Justifier qu'un rayon lumineux qui atteint directement la face (CD) émerge par cette face parallèlement au rayon lumineux incident et n'est donc pas dévié par le cristal de glace.

Deuxième cas : le rayon réfracté arrive sur la face (EF)

7. Déterminer la valeur maximale de l'angle de réfraction du rayon lumineux dans le cristal, au passage par la face (AF), on le notera $i_{2,max}$.
8. En déduire la valeur minimale de l'angle d'incidence de ce rayon lumineux sur la face (EF), que l'on notera $i_{3,min}$.
9. Justifier que le rayon lumineux ne peut pas sortir du cristal par cette face (EF).

Troisième cas : le rayon réfracté arrive sur la face (DE)

On considère le rayon émergent par la face (DE). Les faces (AF) et (DE) sont analogues aux faces d'un prisme de sommet G, d'angle au sommet β égal à 60° et d'indice optique égal à celui de la glace, à savoir n_g (voir FIGURE 4).

Les différents angles sont définis sur la FIGURE 4.

On note δ l'angle qui mesure la déviation du rayon incident après sa traversée du prisme.

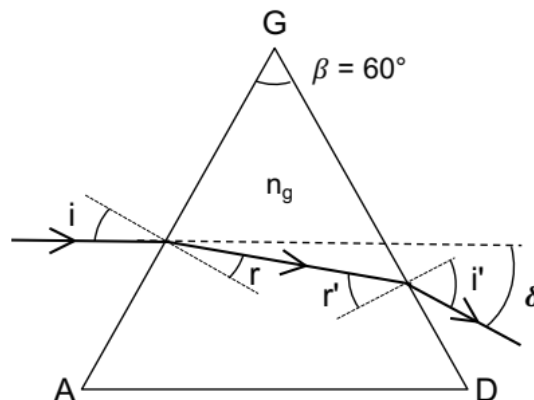


FIGURE 4 – Déviation du rayon lumineux incident par le prisme (ADG) d'indice optique n_g .

10. Donner les relations qui lient i, r, n_a et n_g d'une part ; i', r', n_a et n_g d'autre part.
11. Établir que $\beta = r + r'$ et que $\delta = i - r + i' - r'$.
12. La FIGURE 5 montre les variations de la valeur absolue de la déviation $|\delta|$ en fonction de l'angle d'incidence. On constate l'existence d'une valeur minimale dont on admet qu'elle est obtenue lorsque $i = i'$. En déduire que dans cette configuration :

$$r = \beta/2 \quad \text{et} \quad \sin i = \frac{n_g}{n_a} \cdot \sin(\beta/2).$$

13. La FIGURE 5 montre que la valeur minimale de $|\delta|$ est approximativement égale à 22° . Retrouver ce résultat par le calcul.

14. Expliquer pourquoi l'observateur observe une accumulation de lumière (le halo solaire) dans la direction qui correspond à une ouverture angulaire de 22° autour de l'axe dirigé de son œil vers le Soleil.

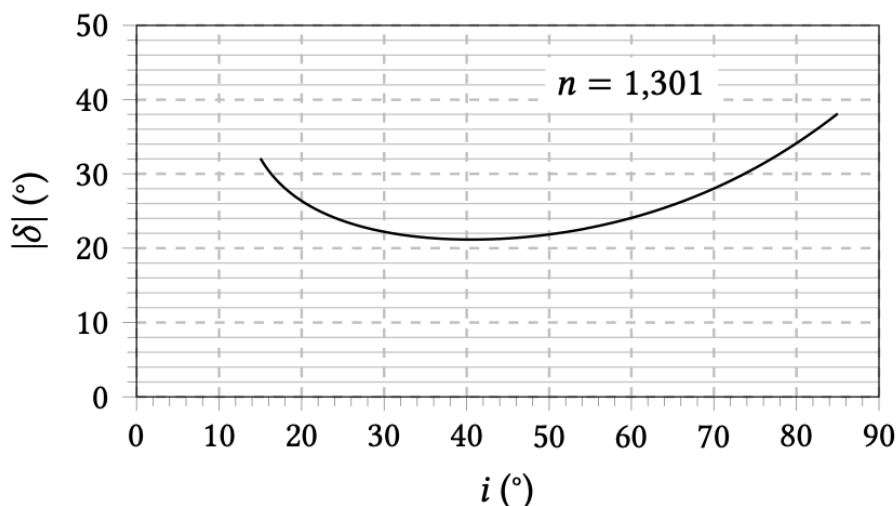


FIGURE 5 – Valeur absolue de la déviation du rayon lumineux en fonction de l'angle d'incidence.

15. L'indice optique de la glace est une fonction décroissante de la longueur d'onde. On observe que le halo solaire est irisé (l'irisation est la production des couleurs de l'arc-en-ciel par décomposition de la lumière du soleil) : de l'intérieur vers l'extérieur du halo, les couleurs observées varient du rouge au bleu. Préciser si les résultats établis précédemment sont en accord avec cette observation.