BCPST 1 – Devoir Surveillé n°2 – PHYSIQUE
Mercredi 15 Octobre 2025 – *CORRIGE*

EXERCICE 1 : EFFET PHOTOELECTRIQUE

1. **Le domaine du visible** s'étend (dans le vide) du 400 à 800 nm, ainsi, les ondes électromagnétiques émises par le laser de $\boldsymbol{\lambda = 544\ nm}$ appartiennent à ce domaine.

---

2. Par définition, ***le travail d'extraction est l'énergie minimale à fournir pour extraire un électron à la cathode*** (plaque de césium). Il vient alors : $\boldsymbol{E_{seuil} = W}$

Cette énergie $\boldsymbol{E_{seuil}}$ ***est apportée par un photon*** dont l'énergie s'écrit d'après la relation de Planck-Einstein : $\boldsymbol{E_{photon} = h \cdot \nu_s}$ soit $\boldsymbol{E_{photon} = h \cdot \frac{c}{\lambda_s}}$ (d'après la définition de la fréquence)

On a donc : $\boldsymbol{h \cdot \frac{c}{\lambda_s} = W}$ soit $\boxed{\lambda_S = h \cdot \frac{c}{W}}$

A.N : $\lambda_S = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \times 3{,}00 \cdot 10^{8}}{2{,}00 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19}}$ soit **$\lambda_S = 6{,}22.10^{-7}$ m = 622 nm**

---

3. **L'effet photoélectrique est observé** à condition que le rayonnement électromagnétique incident apporte une énergie supérieure à l'énergie seuil, c'est-à-dire **si la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique est inférieure ou égale à la longueur d'onde seuil** déterminée à la question précédente.

Le laser hélium-néon émet un rayonnement de longueur d'onde **λ = 544 nm < λ_S = 622 nm**, ce qui permet l'extraction d'électrons lorsqu'on éclaire la plaque de césium avec le laser.

---

4. Le bilan de conservation de l'énergie de l'effet photoélectrique s'écrit : $\boldsymbol{E_{photon} = W + E_c}$ avec :

$\boldsymbol{E_{photon} = \frac{h \cdot c}{\lambda}}$ désigne l'énergie apportée par le photon ;

$\boldsymbol{E_c = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2}$ désigne l'énergie cinétique de l'électron arraché, avec m_e la masse de l'électron et v sa vitesse juste après l'arrachement, vitesse qui est la grandeur recherchée.

Le bilan devient : $\boldsymbol{\frac{h \cdot c}{\lambda} = W + \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 \Leftrightarrow \frac{h \cdot c}{\lambda} - W = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 \Leftrightarrow} \boxed{\boldsymbol{v = \sqrt{\frac{2}{m_e} \cdot \left(\frac{h \cdot c}{\lambda} - W\right)}}}$

A.N **:** $\boldsymbol{v} = \sqrt{\frac{2}{9{,}11 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(\frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \times 3{,}00 \cdot 10^{8}}{544 \cdot 10^{-9}} - 2{,}00 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19}\right)}$ soit **$v = 3{,}18.10^{5}\ m.s^{-1}$**

---

5. Lorsque $\boldsymbol{U = -U_0}$, le courant mesuré par l'ampèremètre est nul, donc **la vitesse des électrons au niveau de l'anode est nulle**, et en conséquence l'énergie cinétique $\boldsymbol{E_{c,anode} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot {v_{anode}}^2}$ est nulle également :

$$\boldsymbol{E_{c,anode} = 0}$$

Les électrons sont émis à la cathode avec $\boldsymbol{E_{c,cathode} = E_c}$ avec E_c l'énergie cinétique donnée dans la loi de conservation de l'énergie à la question **4-**.

La variation d'énergie cinétique donnée dans l'énoncé : $\boldsymbol{E_{c,anode} - E_{c,cathode} = e \cdot U}$

devient : $\boldsymbol{0 - E_c = -\, eU_0}$ soit : $\boldsymbol{E_c = eU_0}$

D'après le bilan de conservation de l'énergie de l'effet photoélectrique : $\boldsymbol{E_{photon} = W + eU_0}$

D'après la relation de Planck-Einstein : $\boldsymbol{E_{photon} = h\nu}$

On retrouve l'expression proposée dans l'énoncé : $\boxed{\boldsymbol{h\nu = eU_0 + W}}$

---

6. D'après la relation donnée à la question précédente : $\boxed{\boldsymbol{h = \frac{eU_0 + W}{\nu}}}$

A.N **:** $\boldsymbol{h = \frac{1{,}60.10^{-19} \times 1{,}35 + 2{,}00 \times 1{,}60.10^{-19}}{8{,}00.10^{14}}}$ soit **$h = 6{,}70.10^{34}$ J.s**, valeur proche de la valeur tabulée

EXERCICE 2 : MODELISATION DU HALO SOLAIRE (D'après Agro-Véto 2023)

1. Par définition, l'indice optique du milieu s'écrit : $\boxed{n = \frac{c}{v}}$ avec les notations de l'énoncé.

---

2. <u>Lois de Snell-Descartes sur la réflexion</u> (avec les notations de l'énoncé) :

- le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence
- sans orientation : $\boxed{\theta_1 = \theta'_1}$

<u>Lois de Snell-Descartes sur la réfraction</u> (avec les notations de l'énoncé) :

- le rayon réfracté appartient au plan d'incidence
- $\boxed{n_1 \cdot sin(\theta_1) = n_2 \cdot sin(\theta_2)}$

---

3. Lorsque $n_2 < n_1$, au passage par le dioptre, <u>le rayon lumineux s'éloigne de la normale au dioptre</u> : il existe alors un angle limite θ_ℓ au-delà duquel le rayon réfracté n'existe plus, l'énergie véhiculée par le rayon incident est alors totalement réfléchie, on dit qu'il y a <u>**réflexion totale**</u>.

---

4. On peut déterminer cet angle limite θ_ℓ qui est ***l'angle tel que le rayon réfracté serait colinéaire au dioptre*** soit tel que $\boldsymbol{\theta_{2max} = 90\ °}$.

<u>D'après la 2nde loi de Snell-Descartes sur la réfraction</u> :

$$n_1 \cdot sin(\theta_\ell) = n_2 \cdot sin(\theta_{2max}) = n_2 \cdot sin(90\ °) = n_2$$

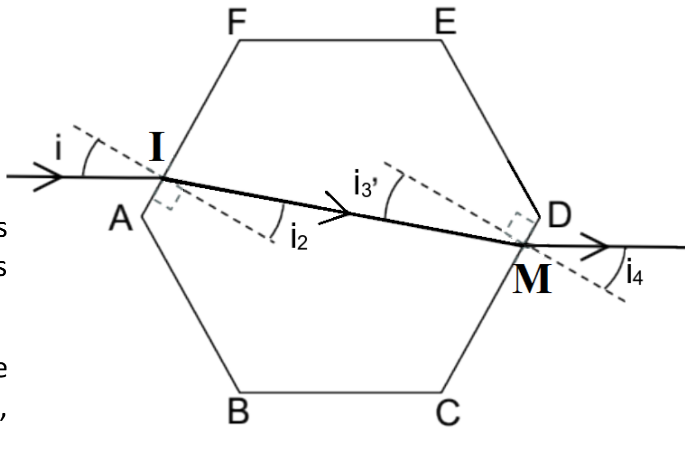
Alors : $sin(\theta_\ell) = \dfrac{n_2}{n_1}$ Et finalement, $\boxed{\theta_\ell = \arcsin\left(\dfrac{n_2}{n_1}\right)}$

---

5. Dans le cas d'un dioptre glace-air : $\theta_\ell = \arcsin\left(\dfrac{1{,}0}{1{,}3}\right)$ soit $\underline{\theta_\ell = 50°}$

---

6. On définit les notations sur la figure ci-contre :



D'après la <u>2nde loi de Snell-Descartes sur la réfraction</u> :
<u>appliquée au point I</u> : $n_a \cdot sin(i) = n_g \cdot sin(i_2)$
<u>appliquée au point M</u> : $n_g \cdot sin(i_3') = n_a \cdot sin(i_4)$

D'après les propriétés de l'hexagone régulier, les faces (AF) et (CD) sont parallèles et donc les deux normales à ces droites le sont également.

Les angles **i_2** et **i_3'**, définis respectivement entre une même droite et les deux normales parallèles entre elles, sont dits alternes-internes, et sont donc identiques : <u>$i_2 = i_3'$</u>

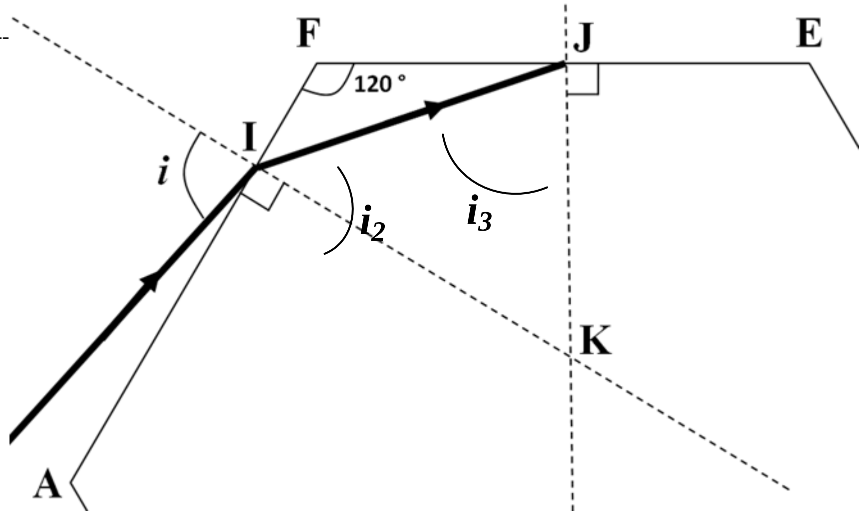
On en déduit donc : **$n_a \times sin(i) = n_g \times sin(i_2) = n_g \times sin(i_3) = n_a \times sin(i_4)$**

C'est-à-dire : **$sin(i) = sin(i_4)$** donc : <u>$i = i_4$</u> (car les angles sont compris entre 0° et 90°).

Autrement dit, <u>**les rayons incidents et émergents sont alors parallèles, ce qui correspond à une déviation nulle.**</u>

---

7. On définit les notations sur la figure ci-contre :



D'après la <u>2nde Loi de Snell-Descartes sur la réfraction, au point d'incidence, noté I</u>, sur la face (AF) :

$$n_a \cdot sin(i) = n_g \cdot sin(i_2)$$

(on note i_2 l'angle de réfraction sur cette face)

L'angle de réfraction maximal $i_{2,max}$ est obtenu lorsque l'angle d'incidence i est maximal sur (AF), soit lorsque : i = $i_{2,max}$ = **90 °**.

La 2nde Loi de Snell-Descartes s'écrit alors : $n_a \cdot sin(i_{max}) = n_g \cdot sin(i_{2,max})$

Soit : $n_a \cdot sin(90°) = n_g \cdot sin(i_{2,max})$

Soit : $n_a = n_g \cdot sin(i_{2,max})$

Soit : $\boxed{i_{2,max} = \arcsin\left(\frac{n_a}{n_g}\right)}$

A.N : $i_{2,max} = \arcsin\left(\frac{1,0}{1,3}\right)$ soit $i_{2,max} = 50°$

---

8. Soit J le point d'incidence du rayon lumineux sur la face (EF).

Le cristal de glace admet une section de la forme d'un hexagone régulier, donc telle que l'angle au sommet F est : $\widehat{F} = 120$ °.

Dans le triangle IFJ, la somme des angles est égales à 180° : $\widehat{FIJ} + \widehat{F} + \widehat{FJI} = 180$ ° **(1)**

Or, par définition de la normale : # au point I on a : $\widehat{FIJ} = 90° - i_2$ **(2)**

au point J on a : $\widehat{FJI} = 90° - i_3$ **(3)**

En réinjectant les relations **(2)** et **(3)** dans **(1)** : $90° - i_2 + \widehat{F} + 90° - i_3 = 180°$

Soit : $i_3 = -i_2 + \widehat{F}$

Or, $\widehat{F} = 120° = Constante$. Ainsi, lorsque $i_2 = i_{2,max}$, alors $i_3 = i_{3,min}$ soit $\boxed{i_{3,min} = -i_{2,max} + \widehat{F}}$

A.N : $i_{3,min} = -50° + 120°$ ⇒ $i_{3,min} = 70°$

➡ ***Autre raisonnement possible :***

Dans le quadrilatère IFJK, la somme des angles est égale à 360 °:

$\widehat{KIF} + \widehat{IFJ} + \widehat{FJK} + \widehat{JKI} = 360°$ ↔ $90° + 120° + 90° + \widehat{JKI} = 360°$ ↔ $\widehat{JKI} = 60°$

Dans le triangle IJK, la somme des angles est égale à 180° :

$\widehat{JKI} + \widehat{KIJ} + \widehat{IJK} = 180°$ ↔ $60° + i_2 + i_3 = 180°$ ↔ $i_3 = -i_2 + 120°$

Ainsi, lorsque $i_2 = i_{2,max}$, alors $i_3 = i_{3,min}$ soit $\boxed{i_{3,min} = -i_{2,max} + 120°}$

A.N : $i_{3,min} = -50° + 120°$ ⇒ $i_{3,min} = 70°$

---

9. D'après la question **7-**, quel que soit l'angle d'incidence i du rayon incident sur la face (AF), **le rayon lumineux arrive sur la face (EF) avec un angle i_3 supérieur ou égal à l'angle maximal** $i_{3,min} = 70°$

Or, on a montré à la question **4-** qu'au delà d'un angle d'incidence $\theta_\ell = 50°$ sur le dioptre glace/air, il y a réflexion totale.

Comme $i_3 > i_{3,min} > \theta_\ell$, **tout rayon lumineux arrivant sur (EF) y subit une réflexion totale**, et ne peut donc pas sortir du cristal par cette face.

---

10. D'après la 2nde Loi de Snell-Descartes sur la réfraction appliquée :

Au point I, au niveau du dioptre (AG) : $\boxed{n_a \cdot sin(i) = n_g \cdot sin(r)}$

Au point K, au niveau du dioptre (GD) : $\boxed{n_g \cdot sin(r') = n_a \cdot sin(i')}$

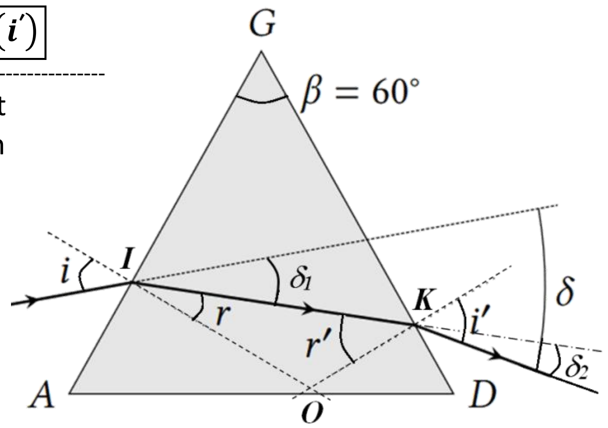
---

11. ▪ Dans le triangle GIK, la somme des angles est égale à 180°, et d'autre part les normales au dioptre (en pointillés) forment un angle de 90° avec le dioptre dans chaque cas :

$$\widehat{GIK} + \widehat{IGK} + \widehat{GKI} = 180°$$

$$(90° - r) + \beta + (90° - r') = 180°$$

donc $\boxed{\beta = r + r'}$



▪ D'autre part, pour déterminer l'angle de déviation δ, on introduit la <u>déviation δ_1 au point I</u> et la <u>déviation δ_2 au point K</u> (voir schéma ci-contre) : $\boldsymbol{\delta = \delta_1 + \delta_2}$

avec $\boldsymbol{\delta_1 = i - r}$ et $\boldsymbol{= i' - r'}$ Soit : $\boxed{\boldsymbol{\delta = i - r + i' - r'}}$

---

12. <u>On reprend les expressions précédentes avec la condition : $\boldsymbol{i = i'}$ (*)</u>

Les lois de Snell-Descartes de la question **10-** s'écrivent alors :

\# <u>Sur *(AG)*</u> : $\boldsymbol{n_a \cdot sin(i) = n_g \cdot sin(r)}$ **(1)**

\# <u>Sur *(DG)*</u> : $\boldsymbol{n_g \cdot sin(r') = n_a \cdot sin(i')} \overset{\boldsymbol{i = i'}}{\Longleftrightarrow} \boldsymbol{n_g \cdot sin(r') = n_a \cdot sin(i)}$ **(2)**

En identifiant **(1)** et **(2)**, on obtient : $\boldsymbol{sin(r') = sin(r)}$

$\Rightarrow$ $\boldsymbol{r}$ et $\boldsymbol{r'}$ appartenant tous les deux à $[-90°, 90°]$ alors : $\boxed{\boldsymbol{r' = r}}$

Dès lors, d'après la question précédente : $\boldsymbol{\beta = r + r' = 2r}$ et on retrouve bien : $\boxed{\boldsymbol{r = \frac{\beta}{2}}}$

D'après la relation de Snell-Descartes sur (AG), on a finalement : $\boxed{\boldsymbol{n_a \cdot sin(i) = n_g \cdot sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}}$

---

13. <u>On utilise les relations précédentes, valables au minimum de déviation</u> : $\boldsymbol{r = r' = \frac{\beta}{2}}$

Alors : $\boldsymbol{\delta = i - r + i' - r'} \quad \leftrightarrow \quad \boldsymbol{\delta = 2i + 2r} \quad \leftrightarrow \quad \boldsymbol{\delta = 2i + \beta}$

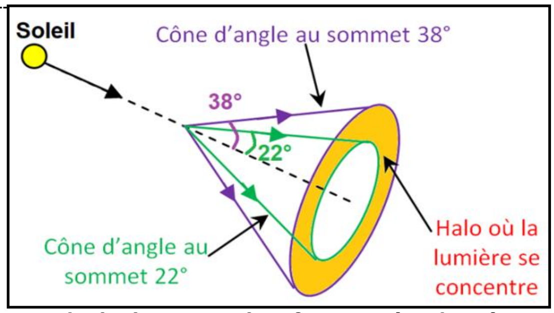
Or, d'après la <u>2^nde^ Loi de Snell-Descartes appliquée au dioptre (AG)</u>, $\boldsymbol{i}$ **= arcsin** $\boldsymbol{\left(\frac{n_g}{n_a}\right)}$

$$\boldsymbol{i = arcsin\left(\frac{n_g}{n_a} \cdot sin(r)\right)} \qquad \text{soit} \qquad \boxed{\boldsymbol{\delta = 2 \cdot arcsin\left(\frac{n_g}{n_a} \cdot sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\right) + \beta}}$$

<u>***AN***</u> : $\boldsymbol{\delta = 2 \cdot arcsin\left(\frac{1{,}3}{1{,}0} \times \sin(30)\right) + 60}$ *soit* $\boxed{\boldsymbol{\delta = 22°}}$

---

14. La Figure 5 montre que, selon la valeur de l'angle d'incidence, ***la déviation subie par les rayons lumineux est comprise entre 22° et 38°***. On peut donc considérer que <u>**la lumière arrivant au niveau du nuage de cristaux émerge de celui-ci entre deux cônes d'angles au sommet 22° et 38°**</u> (voir figure).



D'autre part, la Figure 5 montre que ***beaucoup de rayons incidents ont une déviation autour de 22° alors que très peu ont une déviation autour de 38°*** : cela ce qui justifie que <u>**l'intensité lumineuse du halo sera plus forte près du cône d'angle au sommet 22°**</u> que de celui d'angle au sommet 38°.

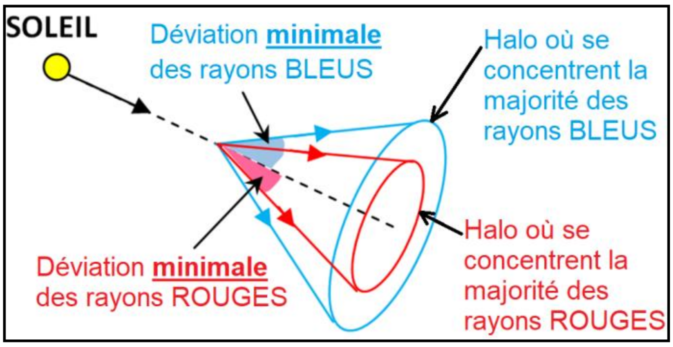
---

15. D'après l'énoncé, l'indice optique de la glace est une fonction décroissante de la longueur d'onde, on connaît $\lambda_B = 400\ nm < \lambda_R = 800\ nm$ donc ***l'indice optique n_g de la glace pour le bleu est plus grand que pour le rouge***.

Or, $\boldsymbol{\delta = 2 \cdot arcsin\left(\frac{n_g}{n_a} \cdot sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\right) + \beta}$

La fonction arcsin étant croissante sur [0° ; 90°], ***une augmentation de la valeur de n_g fera donc augmenter la valeur de $\boldsymbol{arcsin\left(\frac{n_g}{n_a} \cdot sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\right)}$ et donc celle de δ***.

On en déduit donc que <u>**les rayons bleus subissent une déviation minimale plus grande que les rayons rouges**</u>.



Or, d'après la question **14.**, c'est autour de cette déviation minimale que la lumière est concentrée. Par conséquent, <u>**les rayons rouges seront concentrés sur un cercle de diamètre plus petit que les rayons bleus**</u> (voir figure ci-contre) : cela revient à dire qu'en observant le halo de l'intérieur vers l'extérieur, on apercevra les couleurs du rouge au bleu.