BCPST 1C : DS n°2 – PHYSIQUE – 16/10/24 – 1h30 – CORRECTION

EXERCICE 1 : LE REFRACTOMETRE

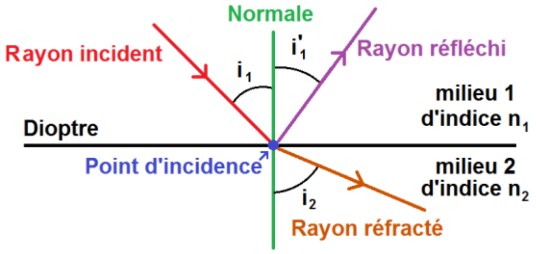
1. **Avec des angles non orientés :** *Notations définies sur le schéma ci-dessous (obligatoire)*

Lois relatives à la réflexion :

- Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale au dioptre au point d'incidence.
- $i_1' = i_1$.

Lois relatives à la réfraction

- Le rayon réfracté appartient au plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale au dioptre au point d'incidence.
- $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$



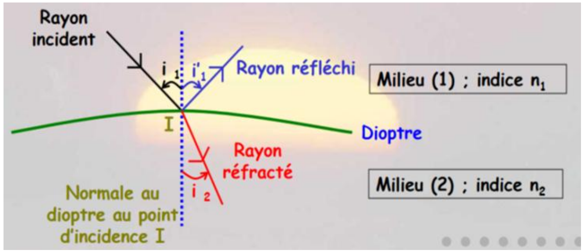
Pour rappel : **Avec des angles orientés :** *Notations définies sur le schéma ci-dessous (obligatoire)*

Lois relatives à la réflexion :

- Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale au dioptre au point d'incidence.
- $i_1' = -i_1$.

Lois relatives à la réfraction

- Le rayon réfracté appartient au plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale au dioptre au point d'incidence.
- $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$



---

2. Pour observer le phénomène de réflexion totale, il faut que le milieu dans lequel évoluerait le rayon réfracté soit moins réfringent que le milieu dans lequel évolue le rayon incident, soit ici $\boxed{n_1 > n_2}$.

Rappel : en effet, au passage d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent, le rayon lumineux s'éloigne de la normale au dioptre. L'angle de réfraction atteint donc plus vite la valeur de 90° que l'angle incident, et il existe donc un angle limite $i_{1\,\text{lim}}$ au-delà duquel le rayon réfracté n'existe plus.

L'angle limite $i_\ell = i_{1\,\text{lim}}$ correspond au cas où le rayon réfracté est tangent au dioptre donc tel que l'angle de réfraction est $i_{2\max} = 90°$.

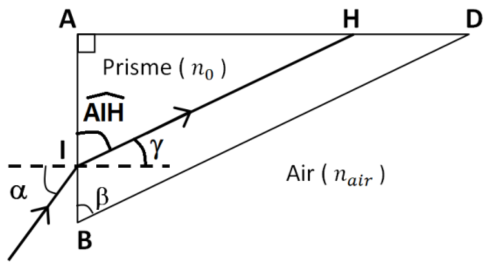
D'après la 2ème loi de Snell-Descartes de la réfraction appliquée à ce dioptre dans cette situation :

$$n_1 \sin i_\ell = n_2 \sin(90°) \;\Rightarrow\; \boxed{\boldsymbol{i_\ell = arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}}$$

---

3. La droite (IH) étant parallèle à la droite (BD) et ces deux droites coupant la droite (AB), on en déduit que les deux angles $\widehat{AIH}$ et β sont des angles alternes-internes. Ils sont donc égaux.

Or, la normale au point I étant perpendiculaire au dioptre AB, on en déduit que $\widehat{AIH}$ + γ = 90 °, soit γ = 90 ° – $\widehat{AIH}$, ce qui conduit à **γ = 30,0 °**.



---

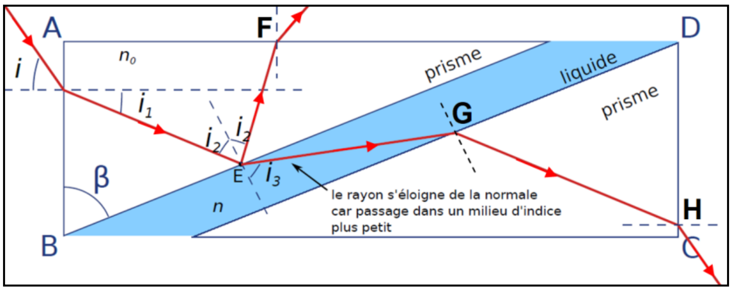
4. On applique la 2ème loi de Snell-Descartes sur la réfraction en I :

$$n_{air} \sin \alpha = n_0 \sin \gamma \quad \Rightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{n_0 = n_{air} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}}}$$

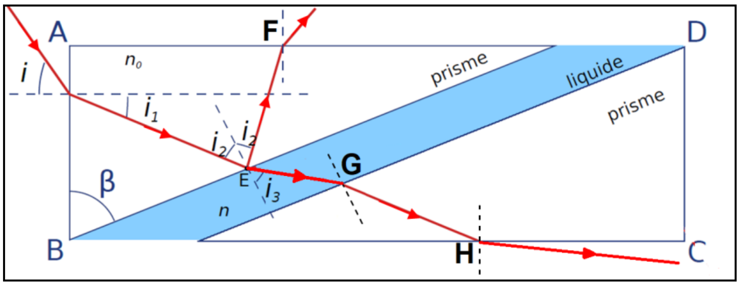
AN → $n_0 = 1{,}00 \times \dfrac{\sin 60{,}0}{\sin(30{,}0)}$ soit $\boldsymbol{n_0 = 1{,}73}$.

5. • En E, une partie du rayon lumineux (RL) incident est réfléchie dans le milieu d'indice n_0, <u>symétriquement par rapport à la normale en E</u>; puis au passage par le dioptre (AD), le RL passe d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent (l'air a en effet l'indice optique le plus faible), il <u>s'éloigne donc de la normale en F</u>.

• En E, l'autre partie de la lumière incidente est réfractée dans un milieu liquide moins réfringent que celui du prisme (d'après l'énoncé), donc <u>le RL s'éloigne de la normale en E</u> ; puis au passage par le nouveau dioptre liquide/prisme, le RL <u>se rapproche à nouveau de la normale en G</u> (il se propage d'ailleurs dans le prisme parallèlement au RL s'étant propagé dans le 1er prisme). Enfin, le RL sort du prisme à travers le dioptre (CD) (ou BC selon la valeur d'angle i3 choisie) <u>en s'éloignant de la normale en H</u> (passage d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent).



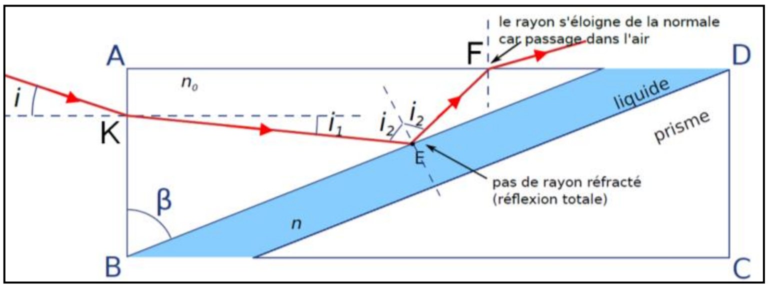
ou



---

6. Comme il y a réflexion totale en E, alors **<u>il n'y a pas de rayon réfracté</u>**.

Ainsi, le RL incident est totalement réfléchi dans le milieu d'indice n_0, symétriquement par rapport à la normale en E ; puis au passage par le dioptre (AD), il s'éloigne de la normale en F pour les mêmes raisons qu'à la question **5.**.



---

7. Soit K le point d'incidence du RL sur le dioptre (AB).

Dans le triangle KEB, la somme des angles est égale à 180° donc : $\widehat{BKE} + \widehat{KEB} + \beta = 180°$

Or, par définition de la normale au dioptre (AB) en K : $\widehat{BKE} + i_1 = 90°$

Et, par définition de la normale au dioptre (BE) en E : $\widehat{KEB} + i_2 = 90°$

Alors : $(90° - i_1) + (90° - i_2) + \beta = 180° \quad \Rightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{i_1 = \beta - i_2}}$

---

8. On applique la 2ème loi de Snell-Descartes sur la réfraction en K : $\boxed{\boldsymbol{n_{air} \sin i = n_0 \sin i_1}}$

---

9. Par analogie avec le résultat établi à la question **2.** : $\boxed{\boldsymbol{i_{2\ \text{lim}} = \arcsin\left(\frac{n}{n_0}\right)}}$

---

10. D'après la question **9.** : $n = n_0 \sin i_{2\ \text{lim}}$

D'après la question **7.** : $i_2 = \beta - i_1$ donc $i_{2\ \text{lim}} = \beta - i_{1\ \text{lim}}$

D'après la question **8.** : $i_{1\ \text{lim}} = arcsin\left(\frac{n_{air} \cdot sin\, i}{n_0}\right)$

On en déduit que : $\boxed{\boldsymbol{n = n_0 \sin\left(\beta - arcsin\left(\frac{n_{air} \cdot \sin i}{n_0}\right)\right)}}$

---

11. ***<u>AN</u>*** → $\underline{n} = 1{,}73 \times sin\left(60{,}0° - \arcsin\left(\frac{1{,}0 \times \sin 18{,}0°}{1{,}73}\right)\right)$ soit **<u>n = 1,32</u>**.

EXERCICE 2 : EFFET PHOTOELECTRIQUE

A- Etude du césium :

1. On appelle fréquence seuil la fréquence minimale du rayonnement incident permettant l'arrachage d'un électron du métal par effet photoélectrique, cet électron étant alors arraché avec une vitesse nulle.

---

2. Le bilan énergétique de l'effet photoélectrique s'écrit : $E_{photon} = W_m + E_{ce}$
avec :

- E_{photon} est l'énergie apportée par le photon telle que $E_{photon} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ d'après la relation de Planck-Einstein pour un photon de longueur d'onde λ ;
- W_m est le travail d'extraction du métal, c'est-à-dire l'énergie minimale à fournir au métal pour lui arracher un électron, par définition de la fréquence seuil et d'après la relation de Planck Einstein, on peut écrire : $W_m = h \cdot \nu_s$;
- E_{ce} est l'énergie cinétique emportée par l'électron arrachée ;

On peut écrire le bilan énergétique : $\boxed{\boldsymbol{\frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot \nu_s + E_{ce}}}$

---

3. L'énergie cinétique est telle que : $E_{ce} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_e^2$, avec m la masse de l'électron et v_e sa vitesse. Alors :

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot \nu_s + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_e^2 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_e^2 = \frac{h \cdot c}{\lambda} - h \cdot \nu_s$$

$$\Leftrightarrow \quad v_e^2 = 2 \cdot \frac{h}{m} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \nu_s\right) \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{v_e = \sqrt{2 \cdot \frac{h}{m} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \nu_s\right)}}}$$

AN → $v_e = \sqrt{2 \cdot \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(\frac{3{,}00 \cdot 10^{8}}{440 \cdot 10^{-9}} - 4{,}55 \cdot 10^{14}\right)}$ Soit : $\boldsymbol{v_e = 5{,}73 \cdot 10^{5}\ m \cdot s^{-1}}$

---

4. Le nombre N_1 de photons reçus par la cellule en une seconde se déduit du flux lumineux.

L'énergie E_{lum} apportée par la lumière de flux ϕ, à la cellule de surface S pendant $\Delta t = 1s$ est :

$$E_{lum} = \phi \cdot S \cdot \Delta t$$

Or, cette énergie est apportée par les N_1 photons qui apportent chacun une énergie E_{photon}. On a donc :

$$E_{lum} = N_1 \cdot E_{photon}$$

De plus, d'après la relation de Planck-Einstein, l'énergie E_{photon} apportée par chaque photon est telle que :

$$E_{photon} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

D'où : $N_1 = \frac{E_{lum}}{E_{photon}}$ ⇔ $N_1 = \frac{\phi S \cdot \Delta t}{\frac{h \cdot c}{\lambda}}$ soit $\boxed{\boldsymbol{N_1 = \frac{\phi \cdot S \cdot \Delta t \cdot \lambda}{h \cdot c}}}$

AN → $N_1 = \frac{10 \times 0{,}50 \cdot 10^{-4} \times 1 \times 440 \cdot 10^{-9}}{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}$ $\boldsymbol{N_1 = 1{,}1 \cdot 10^{15}\ photons}$

---

5. Le nombre N_2 d'électrons émis par le césium pendant cette même durée Δt se déduit de l'intensité du courant mesurée par l'ampèremètre.

D'après l'énoncé, l'intensité du courant est telle que : $|I| = \frac{|Q|}{\Delta t}$

Or chaque électron apporte une charge : $q_e = -e$

Donc les N_2 électrons apportent une charge : $Q = N_2 \times (-e)$

Finalement : $|I| = \frac{N_2 \times e}{\Delta t}$ soit $\boxed{\mathbf{N_2} = \frac{|I| \times \Delta t}{e}}$

AN → $N_2 = \frac{5{,}0 \cdot 10^{-6} \times 1{,}0}{1{,}60 \cdot 10^{-19}}$ soit $\boldsymbol{N_2 = 3{,}1 \cdot 10^{13}\ photons}$

---

6. On en déduit le rendement quantique : $\boxed{\mathbf{r} = \frac{N_2}{N_1}}$.

AN → $r = \frac{3{,}1 \cdot 10^{13}}{1{,}1 \cdot 10^{15}}$ soit **r = 0,028 = 2,8 %**

Ce rendement est faible car **la probabilité qu'un photon interagisse avec un électron est faible**.

---

7. Si on veut augmenter l'intensité du courant électrique circulant dans le circuit, cela signifie qu'on veut arracher davantage d'électrons au césium. On peut y arriver en :

a- Augmentant la surface de l'électrode recouverte de césium car cela augmente le nombre d'atomes de césium susceptibles de libérer un électron ;

b- Augmentant le flux du faisceau de lumière car cela implique que pendant une même durée, on fait interagir davantage de photons avec les atomes de césium, multipliant ainsi le nombre d'électrons potentiellement arrachables.

B- Etude de l'oxygène :

8. Sur le spectre XPS, l'énergie cinétique des électrons émis est lue à l'abscisse du pic, soit $\boldsymbol{E_c = 974\ eV}$.

Dans les conditions de l'expérience, et d'après la relation de Planck-Einstein, l'énergie apportée par un photon est : $E_{photon} = \frac{h \cdot c}{\lambda_2}$.

D'après l'énoncé enfin, on peut exprimer l'énergie de la sous-couche de l'oxygène initialement occupée par l'électron :

$$E_{SC} = E_c - E_{photon} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{E_{SC} = E_c - \frac{h \cdot c}{\lambda_2}}}$$

AN → $E_{SC} = 974 - \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{830 \cdot 10^{-12} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}}$ soit $\boldsymbol{E_{SC} = -521\ \mathrm{eV}}$

---

9. L'oxygène ayant un numéro atomique égal à 8, son noyau contient 8 protons, Or l'atome étant électriquement neutre, son nuage électronique contient également 8 électrons. Ces électrons se répartissent dans les sous-couches par ordre croissant de leur énergie, à raison de 2 électrons maximum par sous-couche s et 6 électrons maximum par sous-couche p.

On peut ainsi établir la configuration électronique de l'oxygène : [O] = $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$.

D'après l'énoncé, avec la technologie XPS, ce sont les électrons de cœur qui sont arrachés. Or, par définition, les électrons de cœur sont ceux qui ne sont pas de valence, donc qui n'appartiennent ni à la couche électronique la plus externe, ni à une sous-couche de niveau inférieur incomplète.

L'oxygène admet donc deux électrons de cœur, dans la sous couche $1s$.

La sous-couche dont on vient de déterminer l'énergie est donc la sous-couche $1s$.