

BCPST 1 : Devoir Surveillé n°2 - PHYSIQUE

Mercredi 16 Octobre 2024 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée.

On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique.

Tout résultat final doit être mis en valeur.

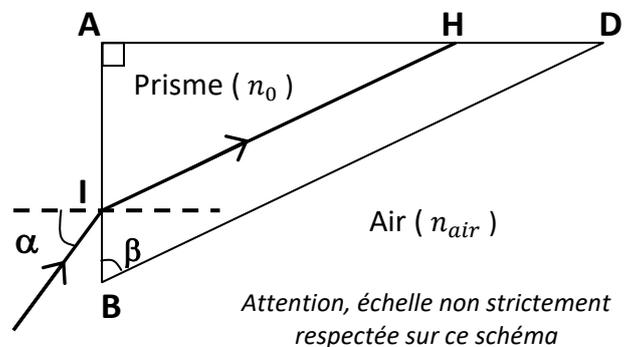
Seule l'Annexe est à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 : LE REFRACTOMETRE

(≈ 45 minutes)

1. Énoncer les lois de Snell-Descartes relatives à la réfraction et à la réflexion au passage de la lumière par un dioptre (on pourra travailler avec des angles non orientés).
2. À quelle condition sur les indices des deux milieux n_1 et n_2 peut-il y avoir réflexion totale pour un rayon lumineux provenant du milieu d'indice n_1 et arrivant sur le dioptre avec le milieu d'indice n_2 ? Si la condition précédente est remplie, déterminer l'angle d'incidence i_ℓ à partir duquel le phénomène de réflexion totale est observé.

On considère un prisme BAD transparent, d'indice n_0 , à base en forme de triangle rectangle, représenté ci-contre en vue de profil. L'angle au sommet β vaut $60,0^\circ$. Afin de déterminer la valeur de n_0 , on éclaire la face AB par un rayon d'angle d'incidence $\alpha = 60,0^\circ$. Le rayon lumineux frappe la face AB en un point I puis traverse le prisme pour venir frapper la face AD en un point H, le rayon (IH) étant parallèle à (BD).



3. Par des considérations géométriques, déterminer la valeur de l'angle γ de réfraction au point I.
4. En déduire la valeur de l'indice optique du prisme n_0 . On prendra l'indice optique de l'air : $n_{air} = 1,00$.

Le réfractomètre d'Abbe est un appareil servant à mesurer des indices optiques n de liquides, très utilisé notamment à des fins de caractérisation rapide d'échantillons liquides. Ce réfractomètre est composé de deux prismes identiques à celui étudié précédemment, d'indice n_0 , à base en forme de triangle rectangle.

Entre ces prismes est intercalé un film de liquide d'indice n que l'on cherche à déterminer. Pour ce faire, le réfractomètre est éclairé à travers la face AB par un rayon d'angle d'incidence i réglable.

On supposera dans toute la suite que $n < n_0$.

Dans le **cas 1** (voir *Figure I*, aussi en ANNEXE à rendre avec la copie), on se place dans une configuration où il n'y a pas réflexion totale au point E.

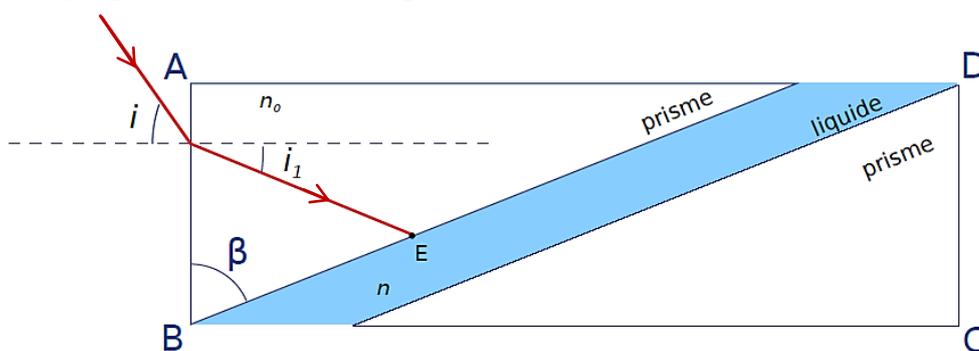


Figure I : Cas 1 sans réflexion totale en E

5. Compléter la *Figure I* de l'ANNEXE en traçant la suite de la marche du rayon réfléchi en E et du rayon réfracté en E. Ce dernier ressort par la face BC ou CD. (On ne fera pas les calculs pour les angles, mais on justifiera les tracés réalisés, notamment en faisant attention au fait que le rayon se rapproche ou s'éloigne de la normale à chaque réfraction).

Dans le **cas 2** (voir *Figure II*, aussi en ANNEXE à rendre avec la copie), on admet qu'il y a réflexion totale au point E.

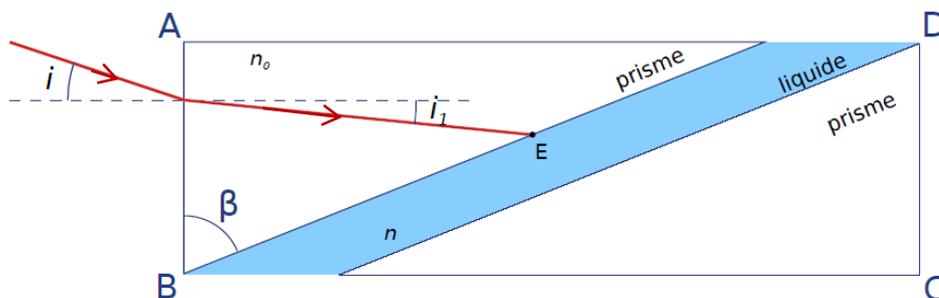


Figure II : Cas 2 avec réflexion totale en E

6. Compléter la *Figure II* de l'ANNEXE avec la suite de la marche du rayon jusqu'à ce qu'il ressorte par la face AD.

On note i_2 l'angle d'incidence au point E.

7. Par des considérations géométriques sur un triangle bien choisi, exprimer l'angle i_1 en fonction des angles i_2 et β .
8. Etablir une relation entre i , i_1 , n_0 et l'indice optique de l'air noté n_{air} .

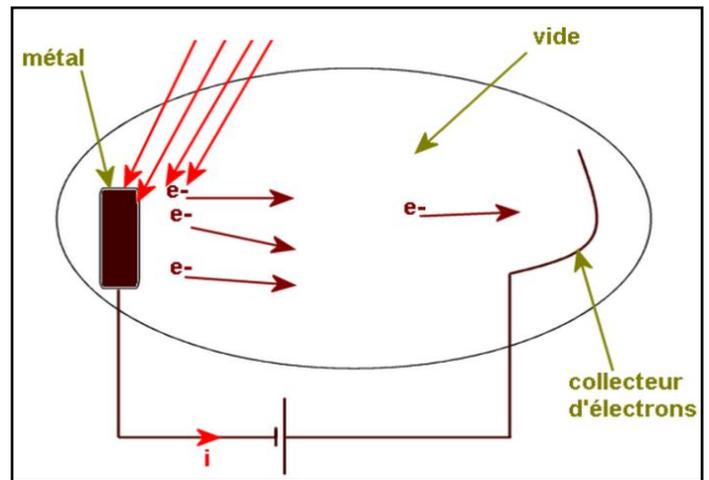
Le principe de fonctionnement de cet appareil est de choisir l'angle d'incidence i pour que l'on soit tout juste dans le cas de la réflexion totale. Ce réglage se repère facilement, puisque le rayon cesse de sortir de la face CD ou BC pour ne sortir que de la face AD. La mesure de i dans cette configuration limite permet de déterminer la valeur de n .

On se place donc dans le **cas 2**, mais en supposant que l'on est exactement à l'angle limite de réflexion totale au point E.

9. À l'aide de la question 2., exprimer l'angle limite i_{2lim} au-delà duquel est observé le phénomène de réflexion totale sur le dioptre BE en fonction de n et n_0 .
10. Dédurre des trois dernières questions l'expression de n en fonction de n_0 , n_{air} , β et i .
11. Application numérique : on mesure un début de réflexion totale en E pour un angle $i = 18,0^\circ$. Calculer l'indice optique n de l'échantillon liquide étudié.

Le dispositif expérimental ci-contre est constitué d'une ampoule à l'intérieur de laquelle règne un vide poussé et contenant deux électrodes :

- la première électrode est recouverte d'un métal : lorsqu'on l'éclaire par des rayonnements de longueur d'onde λ convenablement choisie, elle absorbe ces rayonnements et émet des électrons avec une certaine énergie cinétique ;
- la deuxième électrode réceptionne les électrons émis par la première électrode et les injecte dans le circuit électrique, de sorte qu'un courant électrique circule.



Ce phénomène est mis à profit pour la détermination des énergies des sous-couches d'un atome (ou d'une molécule). On distingue deux types de spectroscopies selon la nature du rayonnement électromagnétique venant frapper le métal constituant la 1^{ère} électrode :

- la spectroscopie XPS utilise des photons d'énergie comprise entre 200 et 2000 eV : dans ce cas, ce sont les électrons de cœur du métal qui sont arrachés ;
- la spectroscopie UPS utilise des photons d'énergie comprise entre 1 et 45 eV : dans ce cas, ce sont les électrons de valence du métal qui sont arrachés.

Un appareil permet de mesurer l'énergie cinétique des électrons expulsés et c'est grâce à elle qu'on peut déterminer l'énergie des sous-couches de départ des électrons expulsés.

Données :

- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Masse de l'électron : $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Conversion : $1,00 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

A- Etude du césium :

On étudie l'effet photoélectrique sur le césium dont la fréquence seuil vaut $\nu_{seuil} = 4,55 \cdot 10^8 \text{ MHz}$. Pour cela, on recouvre une cellule photoélectrique d'une surface $S = 0,50 \text{ cm}^2$ par du césium et on l'éclaire par une lumière de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 440 \text{ nm}$, avec un flux lumineux $\phi = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Un ampèremètre mesure une intensité du courant dans le circuit électrique $|I| = 5,0 \mu\text{A}$.

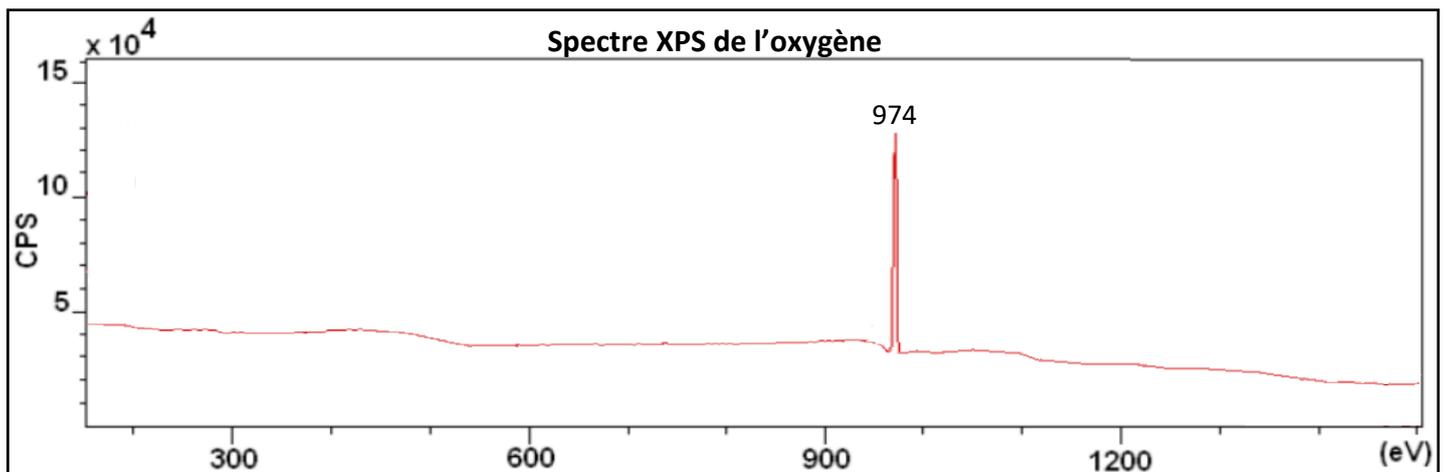
1. Qu'appelle-t-on « fréquence seuil » dans l'effet photoélectrique ?
2. Exprimer le bilan énergétique de l'effet photoélectrique faisant notamment apparaître la fréquence seuil et l'énergie cinétique de l'électron émis.
3. A l'aide des données, déterminer la vitesse v_e à laquelle les électrons sont arrachés quand le césium est éclairé par la lumière de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 440 \text{ nm}$.
4. Calculer le nombre N_1 de photons reçus par la cellule photoélectrique en une seconde.

Rappel : Dans cette situation, l'intensité du courant est telle que $|I| = \frac{|Q|}{\Delta t}$ où Q désigne la charge en coulomb circulant à travers une section du fil pendant la durée Δt exprimée en seconde.

5. Calculer le nombre N_2 d'électrons émis par le césium en une seconde.
6. En déduire le rendement quantique r , défini comme le rapport du nombre d'électrons émis par unité de temps au nombre de photons arrivant sur le césium par unité de temps. Proposer une explication au faible rendement observé.
7. On veut augmenter l'intensité du courant électrique circulant dans le circuit. Tout autre paramètre restant inchangé :
 - a- Peut-on y arriver en augmentant ou en diminuant la surface de l'électrode recouverte de césium ?
 - b- Peut-on y arriver en augmentant ou en diminuant le flux du faisceau de lumière ?

B- Etude de l'oxygène :

On réalise le spectre XPS de l'oxygène avec un rayonnement incident de longueur d'onde dans le vide $\lambda_2 = 830 \text{ pm}$. On obtient le spectre simplifié ci-après sur lequel l'ordonnée correspond à l'intensité du signal reçu et l'abscisse à l'énergie cinétique des électrons arrachés (l'abscisse des pics est mentionnée au-dessus de chaque pic).



On montre que $E_{SC} = E_C - E_{\text{photon}}$ avec :

- E_{SC} l'énergie de la sous-couche initialement occupée par l'électron arraché ;
 - E_{photon} l'énergie apportée par les photons incidents ;
 - E_C l'énergie cinétique acquise par l'électron une fois arraché.
8. Exploiter le spectre pour déterminer l'énergie en eV de la sous-couche de l'oxygène initialement occupée par l'électron.
 9. On rappelle que le numéro atomique de l'oxygène vaut 8 : préciser la sous-couche dont l'énergie a été déterminée à la question précédente.

NOM :

ANNEXE DS n°2 PHYSIQUE : DOCUMENT REPOSE

A restituer avec la copie

EXERCICE 1 : LE REFRACTOMETRE

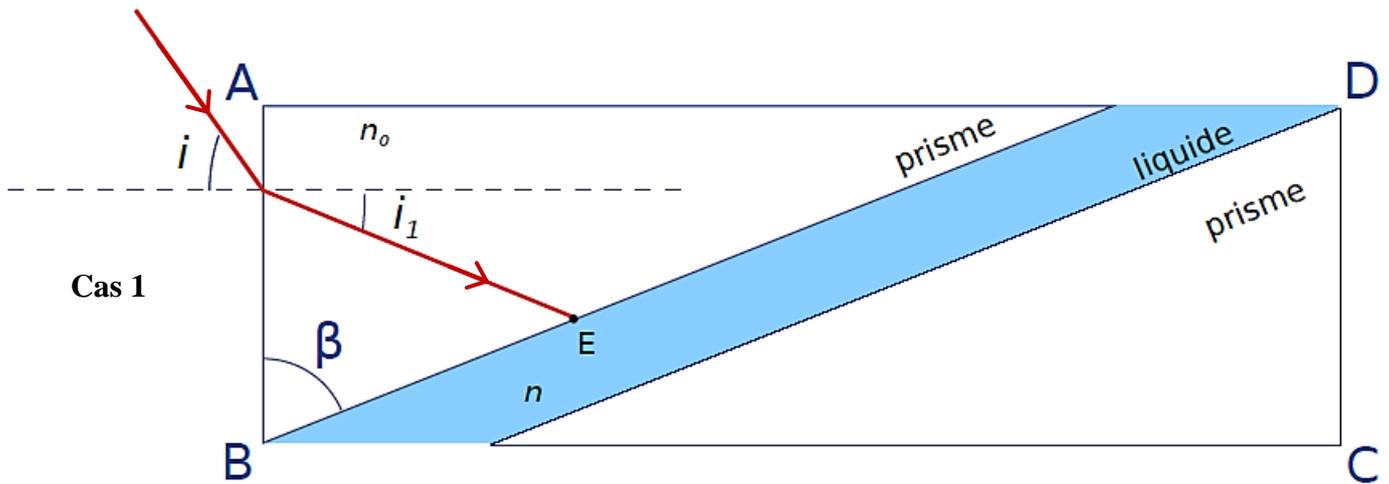


Figure I : cas 1 sans réflexion totale

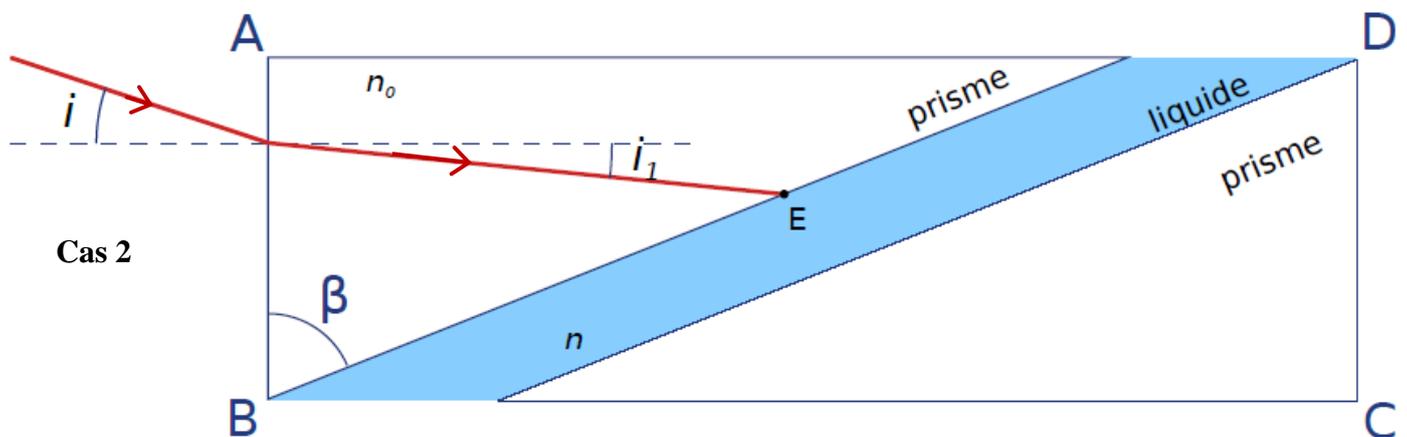


Figure II : cas 2 avec réflexion totale