SESSION 2007

BANQUE D'EPREUVES G2E

PHYSIQUE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

---

1. ETUDE DE DIFFERENTS SYSTEMES OPTIQUES

A. OPTIQUE

1.1. Un **dioptre plan** sépare deux milieux d'indices respectifs n et n' tel que n'< n (figure 1). Des rayons lumineux sont émis d'un point A, source ponctuelle.

1.1.1. Déterminer l'image A' de A à travers le dioptre.

1.1.2. Exprimer $\overline{A'H}$ en fonction des angles d'incidence i, de réfraction i' et de $\overline{AH}$.

1.1.3. Enoncer les conditions de Gauss. Quelles en sont les conséquences ?

1.1.4. En déduire, dans ces conditions, l'invariant du dioptre plan : $\dfrac{n}{\overline{AH}} = \text{cte}$.

On se place désormais dans les conditions de Gauss.

1.2. Un **appareil photographique** est constitué d'un objectif que l'on assimilera à une lentille mince, convergente, de distance focale f ' = 10,5 cm et d'une plaque photographique située à une distance réglable derrière la lentille.

1.2.1. On se propose de photographier un petit objet ponctuel situé à 4,5 m du centre optique O de la lentille. A quelle distance doit-on placer la pellicule ?

1.2.2. L'objet est maintenant un poisson de même longueur que l'objet précédent, situé à la même distance, mais recouvert par 1,6 m d'eau, d'indice n = 1,33. L'appareil et le poisson sont situés sensiblement sur la même verticale.

1.2.2.1. Faire un schéma légendé, indiquant la position des divers éléments.

1.2.2.2. Faut-il modifier la position de la pellicule ? Si oui, dans quel sens ? Justifier.

1.3. Un objet ponctuel A, éclaire une **lame à faces parallèles** d'indice n et d'épaisseur e, plongée dans l'air d'indice égal à 1 (figure 2).

Montrer que le déplacement $\overline{AA'}$ où A' est l'image de A à travers la lame s'écrit :

$\overline{AA'} = e\left(1 - \dfrac{1}{n}\right)$.

1.4. On considère une **lentille mince**, convergente, de distance focale inconnue f'.
Pour la déterminer on utilise la méthode de Bessel.
Sur un banc optique on place, dans l'ordre, un objet lumineux AB, la lentille et un écran (E).
L'objet et l'écran sont fixes et distants de D.

1.4.1. Montrer que si D > 4 f', il existe deux positions de la lentille, distantes de d, pour lesquelles il y a une image nette sur l'écran.

1.4.2. En déduire l'expression de f' en fonction de D et d.

1.4.3. Déterminer la valeur de la distance focale f', pour les valeurs mesurées expérimentalement suivantes : D = 1,5 m et d = 86 cm.

1.5. On place une **cuve de verre parallélépipédique** entre un point objet P et la lentille précédente (figure 3). Les caractéristiques du système sont :
- épaisseur de la cuve : BC = 20 cm ;
- épaisseurs des deux faces AB et CD négligeables ;
- distance entre DC et le centre optique O de la lentille : 5 cm ;
- distance du point P au centre optique O : OP = 50 cm ;
- distance focale de la lentille : f' = 25 cm.

1.5.1. La cuve étant initialement « vide », déterminer la position P' de l'image du point lumineux P donnée par le système optique (cuve, lentille).

1.5.2. La cuve est remplie d'un liquide transparent. On constate que l'image P'' du point P occupe désormais une position telle que P'P'' = 6,25 cm. En déduire la valeur de l'indice du liquide.

B. OPTIQUE PHYSIQUE

1.6. On considère le montage classique des **trous d'Young** (figure 4).
La source principale (S) émet une radiation supposée monochromatique, de longueur d'onde λ = 0,6 µm. Données : a = S_1S_2 = 3 mm et D = 1 m.

1.6.1. Décrire la figure d'interférences obtenue sur l'écran (E).

1.6.2. Soit un point M de l'écran repéré par son abscisse x. Montrer que l'éclairement en M dépend de x.

1.6.3. En déduire la valeur i de l'interfrange.

1.6.4. On remplace les trous par des fentes fines, perpendiculaires au plan de la figure et passant par les points S_1 et S_2. Décrire la nouvelle figure d'interférences obtenue sur l'écran.

1.6.5. On place devant la fente S_1, du côté de l'écran, une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur e et d'indice n. Le système des franges d'interférence se déplace de 6,45 mm. On considère que les rayons issus de la source S traversent la lame sous une incidence normale.

1.6.5.1. Expliquer le déplacement observé et indiquer son sens.

1.6.5.2. En déduire la valeur de l'indice du verre constituant la lame d'épaisseur e = 40 µm.

2. ETUDE D'UNE CLEPSYDRE

La clepsydre est une horloge à eau. Elle était utilisée par les Anciens, en particulier par les Grecs pour limiter le temps de parole des orateurs. Il s'agit d'un vase dont le fond est percé d'un trou qui permet à l'eau de couler. Des graduations situées à l'intérieur permettent de mesurer des durées.

On se place dans un référentiel galiléen ; soit Oz, l'axe vertical d'un repère lié à ce référentiel (figure 5).

Un récipient cylindrique de hauteur H est rempli d'eau, liquide parfait et incompressible, jusqu'à une hauteur h. Le sommet du récipient de section S est ouvert à l'air libre. La pression atmosphérique régnant pendant l'expérience est P_0.

A l'instant initial, on ouvre l'orifice circulaire (B), de section s, au fond du réservoir ; cette section est considérée comme petite devant S, la section du sommet de la clepsydre. On admet que les veines liquides ont, à la sortie de (B), la même section s que celle de l'orifice.

On note v_A la vitesse de descente de la surface libre et v_B la vitesse de sortie de l'eau.

Données : H = 50 cm, h = 40 cm, S = 2830 cm², s = 1 cm² et g = 10 m/s².

2.1. Quelles sont les conditions d'application de la relation de Bernoulli ?

2.2. Exprimer la vitesse $v_B(t)$ en fonction de g et z(t), cote de la surface libre.

2.3. Exprimer l'équation différentielle à laquelle obéit z(t).

2.4. En déduire l'expression traduisant les variations de z(t). On posera a = $\frac{s}{S}\sqrt{\frac{g}{2}}$.

2.5. Déterminer la durée T de vidange du réservoir.

2.6. On souhaite réaliser, à l'aide de ce dispositif, une horloge qui permette de mesurer des intervalles de temps de durée τ = 1 min.

2.6.1. Calculer z_1, cote de la surface libre à la date τ et z_2, cote de la surface de l'eau à la date 2τ.

2.6.2. Quel est l'inconvénient d'un tel dispositif pour la mesure du temps ?

2.7. On souhaite que la cote z(t) décroisse proportionnellement à la durée de l'écoulement.
Montrer que la forme du réservoir doit être choisie de façon que la section de la surface libre du liquide vérifie la loi S(z) = $\alpha \sqrt{z}$ où α est une constante que l'on déterminera.

3. CHAUFFAGE DU BOIS PAR PERTES DIELECTRIQUES DANS UN CONDENSATEUR

Un condensateur plan est constitué de deux plans (armatures), d'aire S, parallèles distants d'une épaisseur h et séparés par un milieu isolant (diélectrique) (figure 6).
La permittivité absolue de l'isolant est ε, celle de l'air est ε_0 = 8,85 pF/m. On pose $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$.
L'armature (A), de charge Q, est portée au potentiel V_A .
L'armature (B), de charge - Q, est portée au potentiel V_B.

3.1. On admet que lorsqu'une tension U est appliquée aux bornes des armatures du condensateur plan, il règne au sein du diélectrique un champ électrique, noté $\vec{E}$, uniforme, normal aux armatures, dirigé de l'armature positive vers l'armature négative et de norme

3.2. E = $\frac{Q}{S\varepsilon}$.

3.2.1. Rappeler la relation entre le champ électrique et le potentiel.

3.2.2. La tension U aux bornes du condensateur est U = $V_A - V_B$. Montrer que U = Eh.

3.3. La capacité du condensateur est définie par : C = $\frac{Q}{U}$.

3.3.1. Déduire des résultats précédents que C = $\frac{\varepsilon S}{h}$.

3.3.2. Un condensateur plan a les caractéristiques géométriques suivantes :
h = 1 mm et S = 25 cm².

3.2.2.1. Si l'isolant est de l'air, on note C_0 la capacité du condensateur.
Calculer la valeur de la capacité C_0.

3.2.2.2. Si le diélectrique est du titanate de baryum $BaTiO_3$ pour lequel ε_r = 1200, on note C la capacité du condensateur.
Montrer que la capacité C du condensateur est telle que C = $\varepsilon_r C_0$.
Calculer la valeur de C. Commenter le résultat.

3.4. On met aux bornes du condensateur plan un générateur alternatif, supposé idéal, de force électromotrice efficace U et de fréquence f.

Le condensateur n'étant pas parfait, il est équivalent à un condensateur de capacité C branché en parallèle avec un résistor de résistance R (résistance de fuite du diélectrique).

3.4.1. Exprimer l'admittance complexe du condensateur réel. On rappelle que l'admittance est l'inverse de l'impédance.

3.4.2. Soit φ le déphasage de l'intensité du courant par rapport à la tension aux bornes du condensateur. On pose $\delta = \frac{\pi}{2} - \varphi$, δ angle de pertes du diélectrique.

Evaluer tanφ et tanδ en fonction de R, C et f.

3.4.3. Donner l'expression de la puissance électrique moyenne dissipée dans le diélectrique en fonction de U, f, C et tanδ.

3.4.4. En déduire la puissance volumique dissipée dans le diélectrique en fonction de U, f, h, ε et tanδ.

3.5. Un tel condensateur est utilisé pour sécher une planche de bois humide, celle-ci est disposée entre les armatures d'un condensateur plan et joue le rôle de diélectrique.
La température ambiante étant t_0 = 18°C, la puissance dissipée dans le diélectrique porte le bois à la température t = 40°C > t_0.
La température de l'eau présente dans le bois est aussi élevée jusqu'à la température t et se vaporise à cette température.

Données :
- capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4{,}18\ J.g^{-1}.K^{-1}$;
- chaleur massique de vaporisation de l'eau : $L_v(t) = 2495 - 2{,}3\ t$ en $J.g^{-1}$;
- capacité thermique massique du bois : $c_{bois} = 1{,}76\ J.g^{-1}.K^{-1}$.

3.5.1. Calculer la valeur de la tension U aux bornes du condensateur nécessaire pour obtenir une puissance volumique égale à 500 kW/m^3, si f = 13,56 MHz, h = 10 cm et ε_r tanδ = 0,1.

3.5.2. Déterminer l'énergie nécessaire pour vaporiser, à la température t, 1 kg d'eau présente dans le bois à la température t_0, en fonction de c_{eau}, t, t_0 et $L_v(t)$. Calculer sa valeur.

3.5.3. Déterminer l'énergie à fournir à 1 kg de bois humide à t_0 pour obtenir un bois sec à t.
On considère que le volume du bois reste constant au cours du séchage.
La masse volumique du bois humide est de 630 kg/m^3, celle du bois sec de 600 kg/m^3.

3.5.4. Un dispositif permet le déplacement des planches entre les armatures du condensateur.
Quelle est la durée minimale de passage des planches pour que le bois sorte sec ?

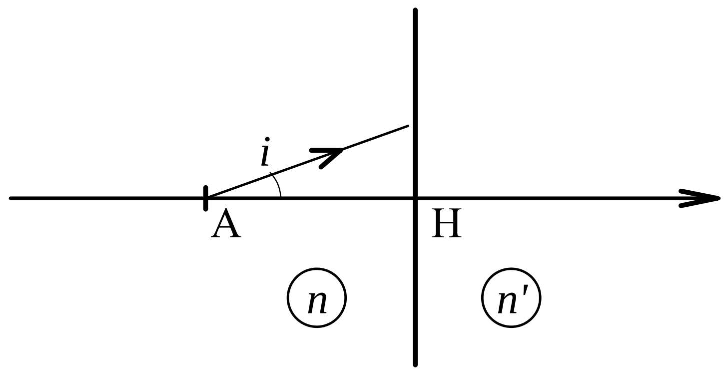

Figure n°1

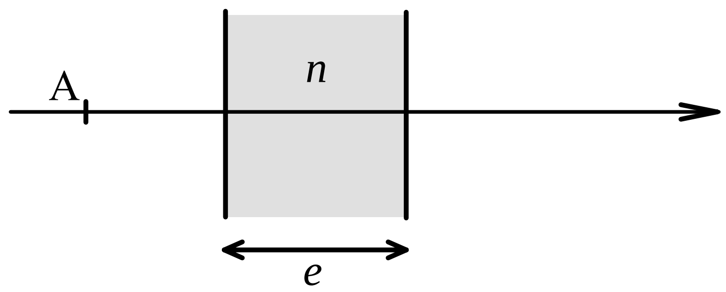

Figure n°2

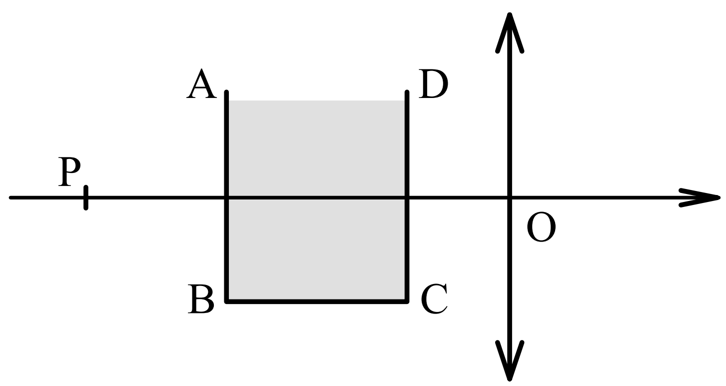

Figure n°3

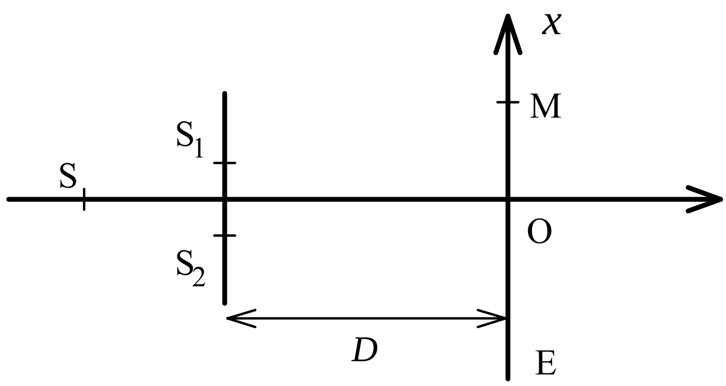

Figure n°4

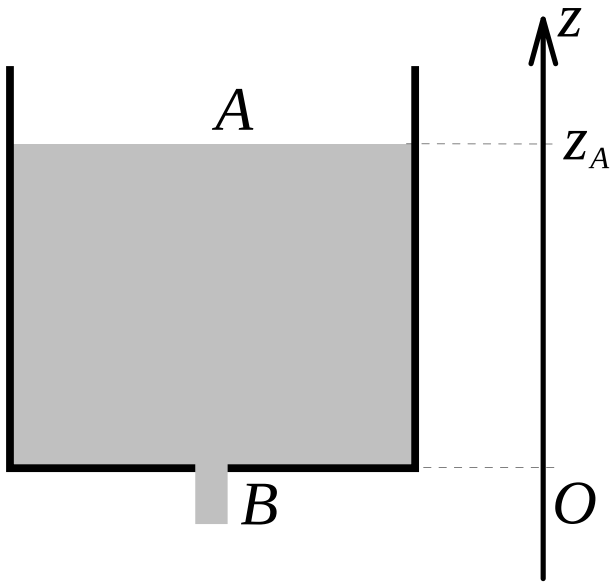

Figure n°5

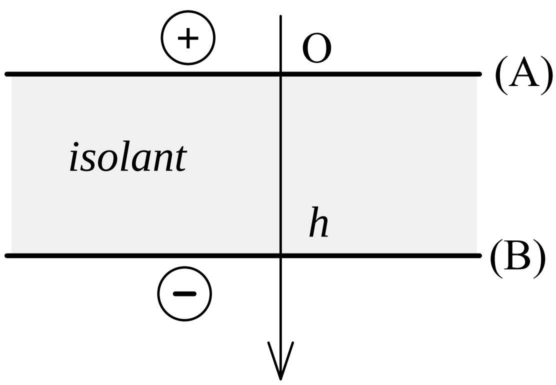

Figure n°6