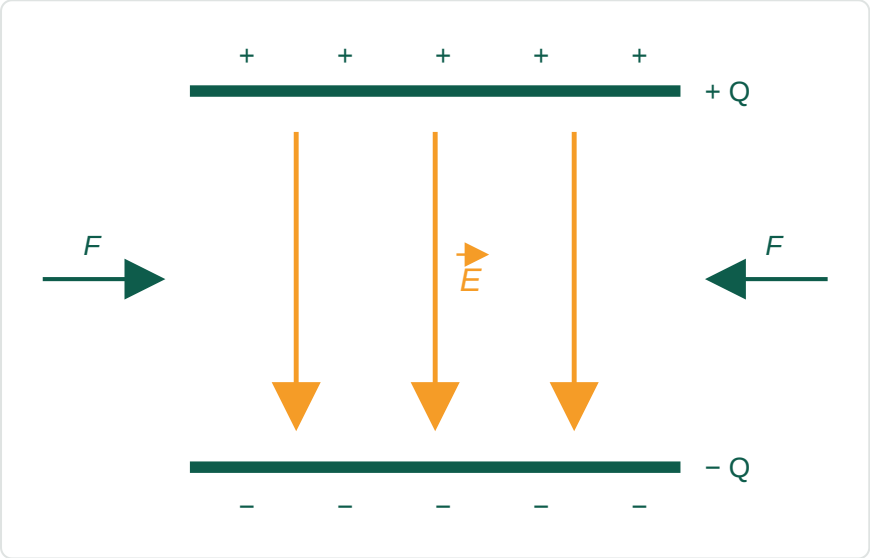
Spécialité : Effet piézoélectrique

Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Représenter le champ électrique macroscopique créé par les charges apparues sur les faces extérieures du cristal de la figure 2.

La face supérieure porte la charge $+Q$ et la face inférieure la charge $-Q$. Entre ces deux faces planes et parallèles, le champ électrique $\vec{E}$ est uniforme : il est perpendiculaire aux faces et orienté de la face chargée positivement vers la face chargée négativement.

$\vec{E}$ est vertical, dirigé vers le bas, de la face $+Q$ vers la face $-Q$ (flèches orange sur le schéma).



1 · Figure 2 simplifiée : champ électrique entre les deux faces métallisées

PIÈGE
Orienter le champ comme la flèche de la tension U du schéma. Cette flèche pointe vers la face $+Q$ (potentiel le plus élevé), alors que $\vec{E}$ pointe vers la face $-Q$.

MÉTHODE
Pour trouver le sens de $\vec{E}$, imaginer une charge positive placée entre les faces : elle est repoussée par la face $+Q$ et attirée par la face $-Q$. La force qu'elle subit donne le sens du champ.

2 Montrer que le niveau d'intensité sonore L et la pression acoustique p sont reliés par $L = 20 \log \frac{p}{p_0}$.

Données utiles $I = \frac{p^2}{2\rho c}$; p_0 est l'amplitude de la pression acoustique associée à I_0

Définition du niveau d'intensité sonore : $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$.

L'intensité de référence s'écrit de la même façon que I, dans le même milieu : $I_0 = \frac{p_0^2}{2\rho c}$. Le facteur $2\rho c$ se simplifie :

$$\frac{I}{I_0} = \frac{p^2}{2\rho c} \times \frac{2\rho c}{p_0^2} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^2$$

Comme $\log(a^2) = 2 \log a$:

$$L = 10 \log \left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 2 \times 10 \log \frac{p}{p_0}$$

$L = 20 \log \frac{p}{p_0}$, avec L en dB : c'est la relation attendue.

PIÈGE
Oublier d'écrire que I_0 correspond à p_0 par la même relation. Sans cette phrase, la simplification par $2\rho c$ n'est pas justifiée.

COMPRENDRE
Le facteur 20 vient du carré : l'intensité varie comme p^2. Multiplier la pression par 10 multiplie l'intensité par 100 et ajoute 20 dB au niveau sonore.

3 Évaluer l'ordre de grandeur de la tension U affichée par le voltmètre quand le capteur reçoit un son de niveau $L = 50$ dB. Peut-on prévoir d'utiliser ce capteur pour réaliser un sonomètre ?

Données utiles $\beta = 5 \times 10^{-5}$ C · N^{-1} ; $C = 125 \times 10^{-12}$ F ; $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa ; $L = 20 \log \dfrac{p}{p_0}$ (Q2) ; figure 3 : photographie du capteur à côté d'une pointe de crayon

Démarche. Niveau sonore L → pression p → force F sur le capteur → charge Q → tension U.

Pression acoustique. $L = 20 \log \dfrac{p}{p_0}$ donne $p = p_0 \times 10^{L/20}$:

$p = 2 \times 10^{-5} \times 10^{50/20} = 6 \times 10^{-3}$ Pa

Surface du capteur. Sur la figure 3, le disque est à peine plus large que la pointe taillée du crayon : son diamètre est estimé à $d \approx 1$ cm.

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times (0{,}5 \times 10^{-2})^2 = 8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Force pressante. $F = p \times S = 6 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-7}$ N

Charge. β est en C · N^{-1}, donc $Q = \beta F$.

Tension. $Q = C\,U$, d'où :

$$U = \frac{\beta F}{C} = \frac{\beta\, p_0 \times 10^{L/20} \times \pi d^2}{4\,C} = \frac{5 \times 10^{-5} \times 5 \times 10^{-7}}{125 \times 10^{-12}} = 0{,}2 \text{ V}$$

L'ordre de grandeur est 10^{-1} V : un voltmètre courant mesure cette tension sans difficulté.

Sonomètre. U est proportionnelle à p : elle est multipliée par 10 chaque fois que L augmente de 20 dB. Sur l'étendue du tableau :

- $L = 30$ dB : $U \approx 0{,}02$ V ;
- $L = 130$ dB : $U \approx 2 \times 10^{3}$ V.

Les faibles tensions restent mesurables, mais les sons forts donneraient plusieurs centaines à plusieurs milliers de volts, hors des calibres d'un voltmètre usuel et dangereux. De plus, U n'est pas proportionnelle à L : il faudrait encore calculer $L = 20 \log \dfrac{p}{p_0}$ à partir de la mesure.

$U \approx 0{,}2$ V, soit un ordre de grandeur de 10^{-1} V. Branché directement sur un voltmètre, ce capteur ne convient pas pour un sonomètre couvrant de 30 à 130 dB.

PIÈGE
Écrire $F = \beta Q$. L'unité de β tranche : des C · N^{-1} multipliés par des newtons donnent des coulombs, donc $Q = \beta F$. Penser aussi à convertir le diamètre en mètre.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif : β et p_0 n'en ont qu'un et le diamètre est estimé à l'œil. Seul l'ordre de grandeur a un sens. La distance de 50 cm ne sert pas : le niveau sonore au capteur est donné.

MÉTHODE
Résolution de problème : écrire la chaîne des grandeurs avant tout calcul, annoncer chaque estimation (ici le diamètre, lu sur la photographie), garder l'expression littérale jusqu'au bout, puis juger le résultat sur toute l'étendue de mesure.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{50}{20}}$

≈ 0.006324555

$\pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2$

$\approx 7.853982 \times 10^{-5}$

$$\frac{5 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{50}{20}} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{125 \times 10^{-12}}$$

≈ 0.1986918

$$\frac{5 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{30}{20}} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{125 \times 10^{-12}}$$

≈ 0.01986918

$$\frac{5 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{130}{20}} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{125 \times 10^{-12}}$$

≈ 1986.918