

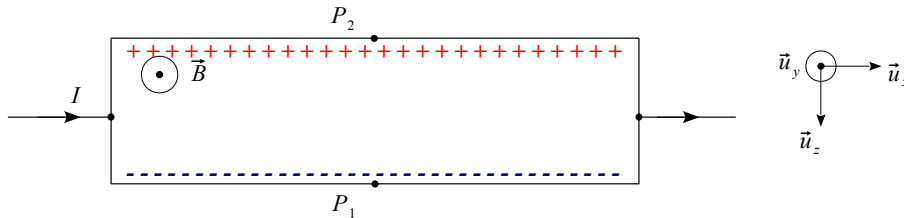
CORRIGE PROBLEME I IPhO 2016

I. Principe de l'effet Hall

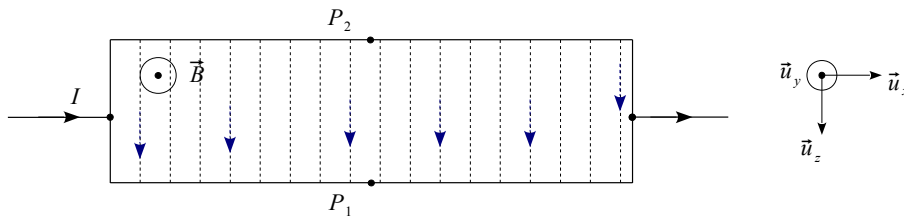
- 1) $\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B}$.
- 2) Le débit de charges électriques à travers la section $S = a \times b$ est la charge δq qui va traverser S par unité de temps : $I = \frac{\delta q}{dt}$. Les porteurs de charge qui traversent S pendant dt sont situés dans un parallélépipède de section S et de longueur $v dt$ si bien que $\delta q = nqv dt S$. On en déduit que $I = n \times q \times a \times b \times v$.

Étude du régime transitoire

- 3) Avec $\vec{v} = v\vec{u}_x$ ($v < 0$) et $\vec{B} = B\vec{u}_y$, on a $\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B} = qvB\vec{u}_z$. Cette force a pour effet de dévier la trajectoire des porteurs de charge. Quelque soit le signe de q , la force magnétique est selon $+\vec{u}_z$ donc vers la face P_1 .
- 4) a) D'après la question précédente, il y a accumulation d'électrons sur la face P_1 et donc défaut d'électrons sur la face P_2 .



- b) Comme $U_H = V_{P_1} - V_{P_2}$ et, d'après la question précédente, on a $U_H \leq 0$ dans le cas d'un conducteur métallique.
- 5) a) Le champ électrique est orienté dans le sens des potentiels décroissants ($\vec{E}_H = -\text{grad} V_H$) (il diverge des charges positives et converge vers les charges négatives) si bien que les lignes de champ sont orientées selon $+\vec{u}_z$.



- b) L'allure des lignes de champ nous permet de dire que le champ de Hall est uniforme dans la plaque et qu'il est de la forme : $\vec{E}_H = E_H\vec{u}_z$.
- Ainsi, $U_H = \int_1^2 \vec{E}_H \cdot d\vec{l} = \int_1^2 E_H\vec{u}_z \cdot (-dz)\vec{u}_z = -\int_1^2 E_H dz$ soit $U_H = -E_H a$.
- Si $q < 0$, $U_H < 0$ et $E_H > 0$ et si $q > 0$, $U_H > 0$ et $E_H < 0$.

- 6) La force électrique est $\vec{F}_e = q\vec{E}_H = qE_H\vec{u}_z$. Cette force électrique est dirigée selon $-\vec{u}_z$ quelque soit le signe de q et s'oppose donc à la force magnétique de Lorentz (cf question 3)). En effet :
- si $q < 0$, $E_H > 0 \rightarrow$ la force est selon $-\vec{u}_z$
 - si $q > 0$, $E_H < 0 \rightarrow$ la force est selon $-\vec{u}_z$

Étude du régime permanent

- 7) Les électrons libres sont soumis aux forces $\vec{F}_e = q\vec{E}_H$ et $\vec{F}_L = qvB\vec{u}_z$ qui, en régime permanent, se compensent puisque leur mouvement est rectiligne uniforme selon Ox .
Le principe fondamental de la dynamique appliqué à un électron libre dans le référentiel terrestre supposé

galiléen s'écrit : $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_e + \vec{F}_L = \vec{0}$. On en déduit que $\vec{F}_e + \vec{F}_L = \vec{0}$, soit finalement : $\vec{E}_H = -v B \vec{u}_z \rightarrow$
 $E_H = -v B$.

8) D'après la question 5b), $U_H = -E_H a$ et d'après la question 2), $I = n \times q \times a \times b \times v$ d'où l'on tire
 $U_H = \frac{C_H \times I \times B}{b}$ où $C_H = \frac{1}{n q}$. La constante C_H est du signe de q .

9) Application numérique :

a) $n = \frac{\rho N_A}{M} = 8,4 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$.

b) $|U_H| = 0,74 \mu\text{V}$. Cette valeur est très faible donc très délicate à mesurer. D'autant plus que cela correspond à la valeur obtenue pour une intensité électrique de 1 ampère, ce qui est relativement important. On peut donc s'attendre à des valeurs de tension de Hall bien plus faible si le capteur est constitué d'un métal conducteur.

c) Pour une valeur d'intensité électrique et de champ magnétique fixée, si la densité volumique de porteurs de charge diminue, la tension de Hall augmente. Dans le tableau, on voit que la densité volumique de porteurs de charge libres dans un semi-conducteur est 10^6 fois plus faible que dans un métal, ce qui explique les tensions de Hall plus élevées. Les capteurs sont donc fabriqués avec des semi-conducteurs.

d) La variation relative de la constante de Hall s'obtient en prenant la dérivée logarithmique de la relation fournie. On obtient : $\frac{\Delta C_H}{C_H} = \theta \frac{\Delta T}{T^2}$.

AN : $\frac{\Delta C_H}{C_H} = 0,22 = 22\%$. Cette variation relative est importante : c'est l'inconvénient des capteurs à effet Hall, ils sont très sensibles aux variations de température.

10) Avec de tel capteur, la mesure d'une tension permet de remonter à la mesure d'un champ magnétique.

II. Un exemple d'application

11) Influence de la direction du champ magnétique

a) Si le champ magnétique est selon Oz, les porteurs de charge libres seront déviés dans la direction Oy si bien que la tension de Hall sera nulle si la mesure est toujours faite entre les points P_1 et P_2 .

b) Le capteur plan est sensible au champ magnétique qui est perpendiculaire à son plan.

12) Pour pouvoir détecter la direction du champ magnétique terrestre et ce, quelle que soit la position du téléphone portable, il faut trois capteurs à effet Hall plans placés perpendiculairement aux trois axes d'un trièdre orthonormé, chacun mesurant la valeur du champ magnétique correspondant à la direction perpendiculaire à son plan via la mesure d'une tension. La mesure des 3 tensions de Hall doit être simultanée. Les lignes de champ magnétiques terrestre pointant vers le Sud magnétique, qui est le Nord géographique, la direction du champ magnétique terrestre permet de repérer celle du Nord géographique.