

Problème 1 : Effet Hall (16 points)

Dans ce problème nous allons nous intéresser au fonctionnement d'une sonde à effet Hall et à ses potentielles applications.

Partie A. On fait de la résistance ... (3 points)

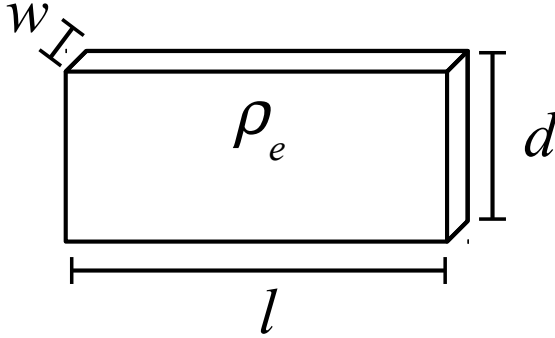


Fig. 1 – Morceau de conducteur

Nous allons utiliser un morceau d'un conducteur (de résistivité électrique ρ_e) de longueur l et de largeur d . Ce dernier est coupé dans une mince plaque d'épaisseur w (cf figure 1).

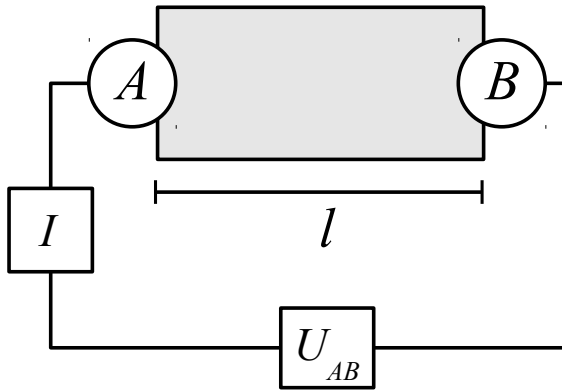


Fig. 2 – Montage du circuit, les carrés représentent l'ampèremètre (I) et la source de tension (U_{AB}).

On connecte les deux extrémités A et B du sens de la longueur à une source de tension U_{AB} et on mesure le courant I qui passe dans le morceau de conducteur (cf figure 2). On répète la mesure plusieurs fois. Les résultats sont consignés dans la table 1.

#	$U_{AB}(\mu V)$	$I(A)$
1	-10	-0.252
2	-2	-0.05
3	5	0.126
4	15	0.378

Tab. 1 – Mesures de courant effectuées sur le morceau de conducteur

i. (2 pts) À l'aide des mesures de la table 1 déterminez la résistance du morceau de conducteur. On considère que la résistance dans le reste du circuit est négligeable.

Answer : taking the slope of the graph U_{AB} versus I one should get $R = 3.969 \Omega$, alternatively one could perform the average. There is - 0.5 pts if the result is within 5% and -1pts if it is within 10%. If the student didn't compute the slope or didn't take the average there is also - 0.5 pts

ii. (1 pt) Déterminez l'épaisseur w en fonction des autres variables surmentionnées.

Answer : $R = \frac{\rho_e l}{wd}$ so $w = \frac{\rho_e l}{Rd} = 1 \text{ mm}$

Partie B. ... au courant (3 points)

Nous aimerions exprimer le courant allant de A à B en fonction de la vitesse moyenne des électrons dans ce matériel v_d , la densité moyenne de ces derniers par unité de volume n_e , leur charge et des dimensions géométriques pertinentes du morceau de conducteur.

i. (2 pts) Trouvez les valeurs de exposants qui aient un sens cette expression du courant : $I = n_e^\alpha e^\beta v_d^\gamma w^\delta d^\epsilon l^\kappa$

Answer : $I = n_e e v_d w d$, so all exponent are equal to 1 except $\kappa = 0$ 0.3 pt per correct exponent and 0.2 pt bonus for finding them all correct.

ii. (0.5 pts) Dans quel sens vont les électrons ?

Answer : in the opposite direction of the current from B to A

iii. (0.5 pts) Quels sont les paramètres dépendant du matériau (et non de sa géométrie) ?

Answer : the charge carrier density n_e (0.25pt) and the drift speed v_d (0.25pt)

Partie C. Dans les champs (5 points)

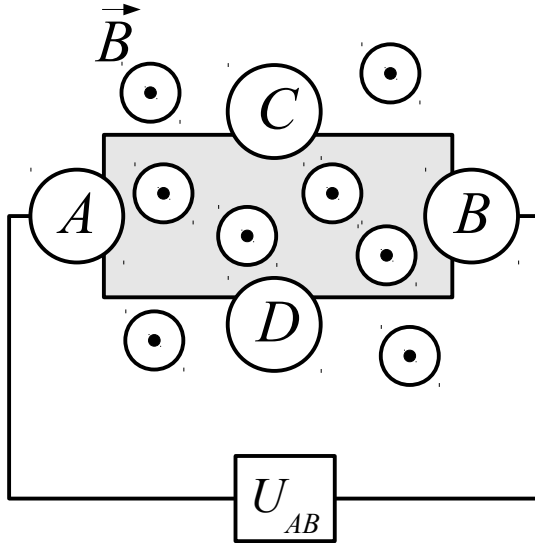


Fig. 3 – Morceau de conducteur

Maintenant on positionne le morceau dans un champ magnétique homogène qui pointe perpendiculairement à l et d comme sur la figure 3

i. (0.5 pts) Quelle est la direction de la force de Lorentz qui agit sur les électrons se déplaçant à l'intérieur du morceau de conducteur? (*Une réponse sans explications ou schéma ne compte pas*)

Answer : towards the D side ($\vec{F}_L = q\vec{v}_d \times \vec{B}$)

ii. (0.5 pts) Quelle est l'intensité de cette force?
Answer : $\vec{F}_L = q\vec{v}_d \times \vec{B}$ so the intensity is equal to $F_L = qv_d B$

Si l'on branche un voltmètre entre les points C et D on mesure une tension U_{CD} stable après un certain temps.

iii. (2.5 pts) Pouvez-vous expliquer pourquoi? (*Détaillez votre réponse*)

Answer : They should say that the electrons accumulate in D pushed by the Lorentz force, creating an excess of negative charges there (0.5 pt). This then creates an electric field pointing towards these charges (0.5 pt), ie from C towards D , the field exerce a force on the incoming electrons (0.5pt) towards C , therefore less and less electrons are accumulating in D as this electric force counters the Lorentz one (0.5pt), however the charge accumulation doesn't disappear. The voltage is linked through the electrical field by $U_{CD} = \int_D^C \vec{E} d\vec{l} = Ed$.

Note : If they read further than here there are some elements of answer to this question, it doesn't bother me as long as they can use them

nicely to present a coherent explanation :)

iv. (0.5 pts) Dans quelle direction le champ électrique entre C et D pointe-t-il?

Answer : from C towards D . The electric field points towards negative charges and they are accumulated in D due to Lorentz force

v. (0.5 pts) Quelle est la direction de la force électrique qui agit sur les électrons se déplaçant à l'intérieur du morceau de conducteur? (*Une réponse sans explications ou schéma ne compte pas*)

Answer : $\vec{F}_E = q\vec{E}$ so it points towards C as electrons charges are negative

vi. (0.5 pts) Quelle est l'intensité de cette force?

Answer : $F = eE$

Partie D. Le plat de résistance (5 points)

Au bout d'un certain temps les forces s'annulent et les électrons ne sont plus déviés de leur route à travers le conducteur mais la tension U_{CD} est toujours bien présente!

i. (2 pts) Écrivez I_{AB} et U_{CD} en fonction de B , E , n_e , e et de paramètres géométriques pertinents.

Answer : from section B i. we know $I_{AB} = n_e e v_d w d$, from section C ii. and C iv. we get $F_L = qv_d B$ and $F_E = eE$, we also know that $F_E = F_L$ so $v_d = \frac{E}{B}$ and $I_{AB} = \frac{En_e e w d}{B}$.

The voltage is $U_{CD} = Ed$

ii. (1 pt) On définit la *résistance de Hall* par $R_H = \frac{U_{CD}}{I_{AB}}$. Calculez cette valeur.

Answer : $R_H = \frac{U_{CD}}{I_{AB}} = \frac{B}{n_e e w}$

iii. (0.5 pts) Pour un champ magnétique de 0.5 T et $U_{AB} = 2$ V on mesure $U_{CD} = 14717 \mu V$, trouvez la valeur de n_e .

Answer : using A i. one can get $I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R}$. From D iii one can get $n_e = \frac{BI_{AB}}{U_{CD} e w} = 1.06999 \times 10^{28} \text{ e/m}^3$

Maintenant notre sonde est prête! On la place dans un champ magnétique uniforme et on mesure une tension $U_{CD} = 10$ mV alors qu'on applique une tension $U_{AB} = 0.7$ V.

iv. (0.5 pts) Que vaut l'intensité du champ magnétique dans lequel est plongé la sonde?

Answer : $B = \frac{U_{CD} n_e e w R}{U_{AB}} = 0.97 \text{ T}$

v. (1 pt) Est-ce que cette valeur nous permet de connaître la direction du champ magnétique? *Justifiez votre réponse*

Answer : no, this only tell us the intensity of the magnetic field perpendicular to the probe but it won't be affected by component of the magnetic field along AB