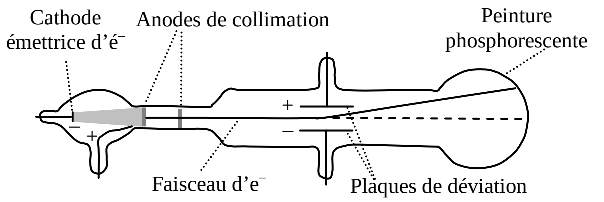
ANTILLES 2013 - EX 3

Détermination du rapport e/m pour l'électron (5 pts)

Document 1 : La deuxième expérience de Thomson

Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre deux plaques métalliques de charges opposées. Les électrons, soumis à un nouveau champ électrostatique, sont alors déviés de leur trajectoire et viennent frapper un écran constitué d'une couche de peinture phosphorescente.

Tube utilisé par Thomson pour montrer la déviation de particules chargées par un champ électrostatique :



Document 2 : Création d'un champ électrostatique

Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ caractérisé par :
- sa direction : perpendiculaire aux plaques
- son sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.

Document 3 : Force électrostatique subie par une particule chargée dans un champ électrique

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

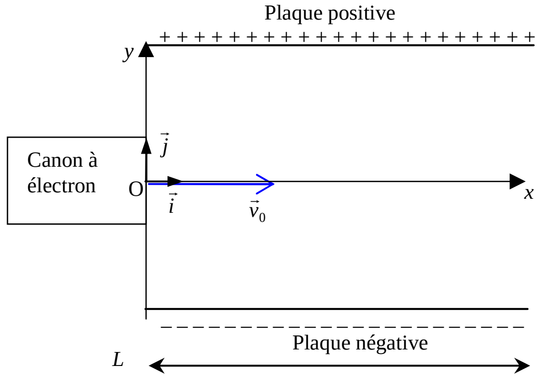
$\vec{F}$: force subie par la particule chargée ; q : charge de la particule (pour un électron : $q = -e$) ; $\vec{E}$: Champ électrostatique

Document 4 : Interactions entre particules chargées

Deux particules de charges de même signe se repoussent ; deux particules de charges opposées s'attirent.

Document 5 : Expérience de laboratoire ; détermination du rapport e/m pour l'électron

Le montage ci-dessous reprend le principe de la deuxième expérience de Thomson. Il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié entre deux plaques de charges opposées. On mesure la déviation verticale du faisceau d'électrons lors de la traversée des plaques sur une longueur L, afin de déterminer la valeur du rapport e/m.



Données de l'expérience :
Les électrons sortent du canon avec une vitesse $v_0 = 2{,}27 \cdot 10^7$ m·s^{-1}
Le faisceau d'électrons passe entre les deux plaques chargées et est dévié d'une hauteur h quand il sort des plaques.
L'intensité du champ électrostatique entre les deux plaques est : E = 15,0 kV·m^{-1}.
La longueur des plaques est : L = 8,50 cm.
On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique.

1. Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J.J. Thomson

1.1. Représenter, sur la figure du document 5 à rendre avec la copie le vecteur correspondant au champ électrostatique $\vec{E}$. On prendra l'échelle suivante : 1,0 cm pour 10 kV·m^{-1}

1.2. J.J. Thomson a observé une déviation du faisceau d'électrons vers la plaque métallique chargée positivement (voir document 1).
Expliquer comment J.J. Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

1.3. À l'aide du document 3, donner la relation entre la force électrostatique $\vec{F}$ subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ électrostatique $\vec{E}$. Montrer que le sens de déviation du faisceau d'électrons est cohérent avec le sens de $\vec{F}$.

2. Détermination du rapport e/m pour l'électron

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les relations donnant les coordonnées de son vecteur accélération sont :

$$a_x = 0 \text{ et } a_y = \frac{eE}{m}$$

On montre que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour équation :

$$y = \frac{eE}{2mv_0^2}x^2$$

À la sortie des plaques, en $x = L$, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) a une valeur h = 1,85 cm.

2.2.1. En déduire l'expression du rapport e/m en fonction de E, L, h et v_0.

2.2.2. Donner la valeur du rapport e/m

2.2.3. On donne ci-dessous les valeurs des grandeurs utilisées, avec les incertitudes associées:

$v_0 = (2{,}27 \pm 0{,}02) \cdot 10^7$ m·s^{-1} $\quad L = (8{,}50 \pm 0{,}05)$ cm
$E = (15{,}0 \pm 0{,}1)$ kV·m^{-1} $\quad h = (1{,}85 \pm 0{,}05)$ cm

L'incertitude du rapport e/m, notée $U\left(\frac{e}{m}\right)$, s'exprime par la formule :

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m}\sqrt{\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\cdot\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\cdot\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2}$$

Calculer l'incertitude $U\left(\frac{e}{m}\right)$, puis exprimer le résultat de $\frac{e}{m}$ avec cette incertitude.

Correction

1.1. Représentation de $\vec{E}$: du + vers le – ; taille : 1,5 cm **[0,5 pt]**
0 si mauvaise direction ou mauvais sens
0,25 si taille pas correcte

1.2. Les charges opposées s'attirent, les e^- sont donc chargés négativement. **[0,5 pt]**

1.3. $\vec{F} = -e \cdot \vec{E}$. Le sens de $\vec{F}$ est opposé à celui de $\vec{E}$, c'est-à-dire vers la plaque positive, ce qui est cohérent avec les observations de Thomson **[0,5 pt]**

2.1. À partir de la RFD, on peut écrire $m \cdot \vec{a} = -e \cdot \vec{E}$.

Les coordonnées du vecteur $\vec{E}$ sont $\begin{pmatrix} E_x = 0 \\ E_y = -E \end{pmatrix}$

En projetant cette relation sur chacun des axe, on obtient :
Ox : $ma_x = 0$
Oy : $ma_y = -e \cdot E_y = e \cdot E$,

d'où on déduit : $a_x = 0$ et $a_y = \dfrac{eE}{m}$ **[1,5 pt]**

RFD : 0,5 pt ; Projection Ox et Oy : 0,5 pt ; Conclusion 0,5 pt

2.2.1. On peut écrire : $h = \dfrac{e \cdot E}{2 \cdot m \cdot v_0^2} L^2$, et en isolant le rapport e/m, il vient : $\dfrac{e}{m} = \dfrac{2 \cdot h \cdot v_0^2}{E \cdot L^2}$ **[1 pt]**

0,25 pt pour la relation de départ

2.2.2. AN (faire attention aux unités) :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \times 1{,}85 \cdot 10^{-2} \times (2{,}27 \cdot 10^{7})^2}{15 \cdot 10^{3} \times (8{,}5 \cdot 10^{-2})^2} = 1{,}76 \cdot 10^{11}\ \mathrm{C \cdot kg^{-1}}$$ **[0,5 pt]**

2.2.3. Question stupide sans Excel... **[0,5 pt]**
Le calcul donne : $U(e/m) = 6{,}2 \times 10^{9}\ \mathrm{C \cdot kg^{-1}}$
donc $e/m = (1{,}76 \pm 0{,}06) \times 10^{11}\ \mathrm{C \cdot kg^{-1}}$

Remarque : n'oubliez pas qu'une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif et que le dernier CS du résultat doit avoir le même rang que le rang du CS de l'incertitude (ici 10^9).
0,25 pour le calcul
2×0,125 pour CS du résultat