

Détermination de la charge spécifique de l'électron

Objectifs expérimentaux

- Analyse de la déviation subie par les électrons dans un champ magnétique sur un anneau circulaire fermé.
- Détermination du champ magnétique B en fonction de la tension d'accélération U des électrons pour un rayon r constant.
- Détermination de la charge spécifique de l'électron.

Principes de base

De manière expérimentale, la masse m_e de l'électron est difficilement mesurable. Il est plus facile de déterminer la charge spécifique de l'électron

$$\varepsilon = \frac{e}{m_e} \quad (I),$$

à partir de laquelle on peut calculer la masse m_e pour une charge élémentaire connue e :

Sur un électron, qui se déplace verticalement à la vitesse v vers un champ magnétique homogène B , la force de Lorentz

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (II)$$

agit verticalement sur la vitesse et sur le champ magnétique.

Cette force, en tant que force centripète, contraint l'électron

$$F = m_e \cdot \frac{v^2}{r} \quad (III)$$

à suivre une course circulaire présentant un rayon r (Cf. fig. 1), ce qui fait que

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B} \quad (IV).$$

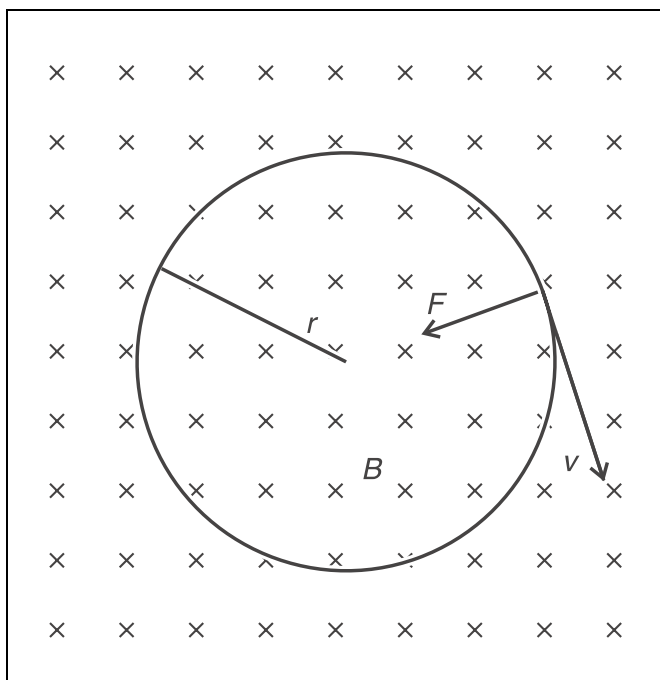
Lors de l'expérience, les électrons subissent une accélération dans un tube à faisceau électronique filiforme avec une tension U pour parvenir à l'énergie cinétique

$$e \cdot U = \frac{m_e}{2} \cdot v^2 \quad (V).$$

Pour obtenir la charge spécifique de l'électron, on peut alors utiliser l'équation suivante:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \quad (VI).$$

Fig. 1 Déviation des électrons dans un champ magnétique B par la force de Lorentz F sur un anneau circulaire fermé avec rayon fixé r .



Matériel

1 Tube à faisceau électronique filiforme . . .	555 571
1 Paire de bobines de Helmholtz avec support et dispositif de mesure . . .	555 581
1 Bloc d'alimentation réseau pour tubes 0 ... 500 V	521 65
1 Bloc d'alimentation DC 0 ... 20 V	521 54
1 Voltmètre, DC, $U \leq 300$ V p. ex.	531 100
1 Ampèremètre, DC, $I \leq 3$ A p. ex.	531 100
1 Mètre ruban métallique, 2 m	311 77
3 Câbles de sécurité, 25 cm	500 614
3 Câbles de sécurité, 50 cm	500 624
7 Câbles de sécurité, 100 cm	500 644

Équipements supplémentaires recommandés:

1 Teslamètre	516 62
1 Sonde B axiale	516 61
1 Câble de connexion, 6 pôles, 1,5 m	501 16

Le tube à faisceau électronique filiforme contient en état de dépression des molécules d'hydrogène qui, lors des collisions avec les électrons, deviennent lumineuses. Le trajet circulaire des électrons devient de ce fait indirectement visible et le rayon r de leur course peut être directement mesuré par une échelle graduée.

Le champ magnétique B est généré par une paire de bobines de Helmholtz et sera proportionnel au courant I passant dans ces bobines:

$$B = k \cdot I \quad (\text{VII})$$

Si l'on recherche, en fonction de la tension d'accélération U le courant de bobine I , dans le champ magnétique duquel la course circulaire des électrons présente une valeur de rayon r constante, on peut alors transformer les équations (VI) et (VII) de la manière suivante:

$$U = \frac{e}{m_e} \cdot \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot k^2 \cdot I^2 \quad (\text{VIII}).$$

Le facteur de proportionnalité

$$k = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^2 \cdot \frac{n}{R} \quad (\text{IX})$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$: constante magnétique de champ

peut être calculé soit à partir du rayon de bobine $R = 150$ mm et du nombre de tours $n = 130$ par bobine, soit déterminé par l'enregistrement d'une courbe de calibrage $B = f(I)$. Ainsi, toutes les valeurs déterminantes de la charge spécifique de l'électron sont connues.

Remarques de sécurité

Attention: Pour l'accélération des électrons, le tube à faisceau filiforme a besoin de tensions dangereuses en cas de contact fortuit allant jusqu'à 300 V. D'autres tensions reliées à cette tension dangereuse en cas de contact fortuits ont également dangereuses. Des tensions présentant un danger d'électrocution sont par conséquent appliquées à la zone de connexion du support et aux bobines de Helmholtz lors du fonctionnement du tube à faisceau électronique filiforme.

- Ne câbler la zone de connexion qu'avec des câbles de sécurité.
- N'intervenir dans le montage expérimental (connexions et modifications) que lorsque les alimentations sont hors service.
- Ne mettre les alimentations en marche que lorsque le circuit est fini.
- Ne pas toucher le montage expérimental, et notamment les bobines de Helmholtz, lorsque le dispositif est en service.

Risque d'implosion: le tube à faisceau électronique filiforme est un tube de verre sous vide à parois minces.

- Ne jamais soumettre le tube à faisceau électronique filiforme à une contrainte mécanique.
- Utiliser le tube à faisceau électronique filiforme uniquement dans le support (555 581).
- Enficher prudemment sur le socle le connecteur 6 pôles du support.
- Respecter les prescriptions visées dans le mode d'emploi du tube à faisceau électronique filiforme.

Montage*Remarques:*

Effectuez les mesures dans un local plongé dans l'obscurité.

Ne chargez que brièvement les bobines de Helmholtz au-delà de 2 A.

Le module d'expérience pour déterminer la charge spécifique de l'électron est présenté par l'illustration 2 et son câblage électrique à l'illustration 3.

- Mettre hors tension les blocs d'alimentation réseau et tourner tous les potentiomètres vers la gauche jusqu'à la butée.
- Raccorder l'entrée 6,3 V du tube à faisceau électronique filiforme à la sortie 6,3 V du bloc d'alimentation réseau du tube.
- Ponter le pôle Plus de la sortie 50 V du bloc d'alimentation réseau du tube au pôle Moins de la sortie 500 V et les raccorder avec la douille «-» du tube à faisceau électronique filiforme (cathode).
- Relier la douille «+» du tube à faisceau électronique filiforme (anode) avec le pôle Plus de la sortie 500 V, et la douille W (cylindre de Wehnelt) avec le pôle Moins de la sortie 50 V.
- Pour mesurer la tension d'accélération U , relier le voltmètre (plage de mesure 300 V-) à la sortie 500 V.
- Poser les plaques déflectrices du tube à faisceau électronique filiforme sur le potentiel de l'anode.
- Connecter en série le bloc d'alimentation réseau DC et l'ampèremètre (plage de mesure 3 A-) avec les bobines de Helmholtz.

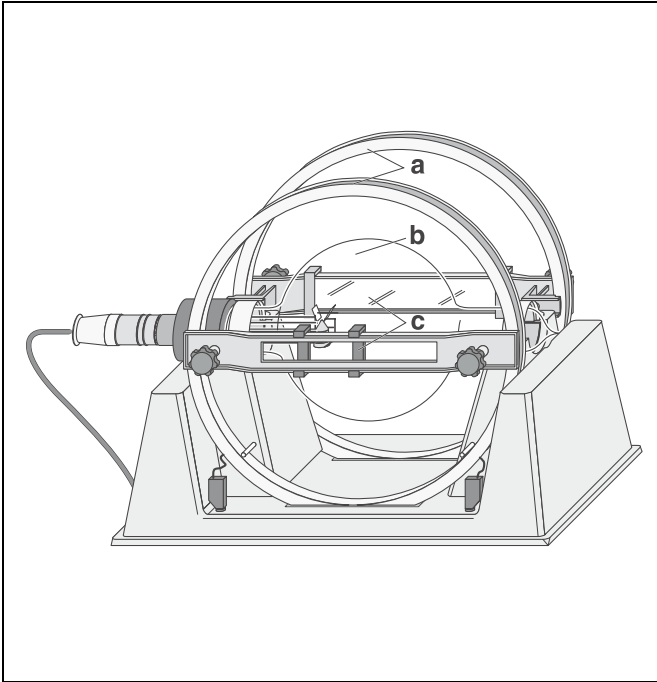
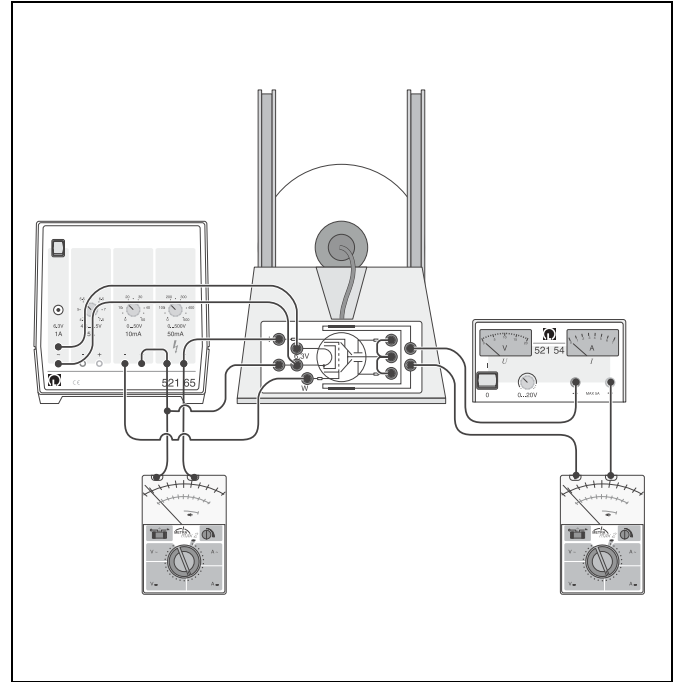


Fig. 2 Module d'expérience pour déterminer la charge spécifique de l'électron

- a Bobines de Helmholtz
- b Tube à faisceau électronique filiforme
- c Dispositif de mesure

Fig. 3 Câblage électrique



- Mettre en tension le bloc d'alimentation réseau des tubes et régler la tension d'accélération $U = 300$ V.

L'émission des électrons lumineux débute après une période de chauffage de quelques minutes.

- Optimiser la focalisation du faisceau d'électrons en modifiant la tension sur le cylindre de Wehnelt entre 0 et 10 V, jusqu'à l'apparition d'un faisceau mince, aux limites très précises, sans bordure diffuse.
- Mettre sous tension le bloc d'alimentation réseau DC des bobines de Helmholtz et rechercher le courant I , pour lequel le faisceau d'électrons sera dévié en une course circulaire fermée.

Si le faisceau d'électrons est dévié dans la mauvaise direction (gauche) après sa sortie de l'anode :

- Mettre les deux blocs d'alimentation réseau hors tension.
- Interchanger les raccords du bloc d'alimentation réseau pour l'inversion de polarité du champ magnétique.

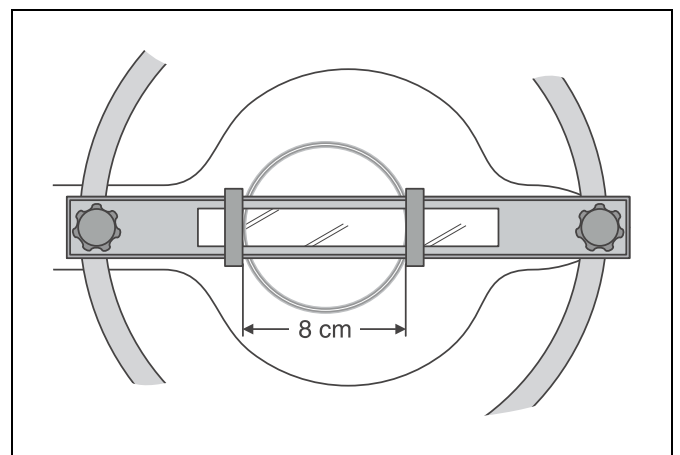
Si les électrons ne suivent pas une course circulaire fermée mais une course hélicoïdale :

- Desserrer les vis des deux étriers de fixation (respecter dans ce contexte les prescriptions visées dans le mode d'emploi du tube à faisceau électronique filiforme).
- Tourner prudemment le tube à faisceau électronique filiforme autour de son axe longitudinal, jusqu'à ce que le faisceau d'électrons suivent une course circulaire fermée.
- Resserrer les vis de fixation.

Réalisation

- Déplacer le coulisseau gauche du dispositif de mesure de sorte que l'arête intérieure, le reflet et l'ouverture de sortie du faisceau d'électrons se trouvent dans le même alignement.
- Régler le coulisseau droit de telle sorte que les deux arêtes intérieures présentent un écart de 8 cm.
- Viser l'arête intérieure du coulisseau droit et la faire coïncider avec son reflet et modifier le courant de bobine I jusqu'à ce que le faisceau d'électrons passe de manière tangentielle le long de l'arête de coulisseau recouvrant le reflet (Cf. fig. 4).
- Réduire la tension d'accélération U par paliers de 10 V jusqu'à atteindre 200 V et choisir à chaque fois le courant de bobine I de telle sorte que la course circulaire du faisceau d'électrons présente un diamètre de 8 cm.
- Noter la tension d'accélération U et le courant de bobine I .

Fig. 4 Mesure du diamètre de faisceau avec le dispositif de mesure



Calibrage du champ magnétique des bobines de Helmholtz (en option):

Le montage permettant le calibrage du champ magnétique des bobines de Helmholtz est présenté par l'illustration 4. Les équipements accessoires recommandés plus haut sont nécessaires pour la mesure.

- Le cas échéant, mettre tous les blocs d'alimentation réseau hors tension.
- Enlever le dispositif de mesure et la bobine de Helmholtz avant du module, déconnecter le tube à faisceau électronique filiforme et desserrer les vis des deux étriers de fixation (respecter dans ce contexte les prescriptions visées dans le mode d'emploi du tube à faisceau électronique filiforme).
- Enlever prudemment le tube à faisceau électronique filiforme et le déposer dans son emballage original par exemple.
- Remonter la bobine de Helmholtz avant et la raccorder de nouveau.
- Raccorder la sonde B axiale au teslamètre (plage de mesure 20 MT) et configurer le Point zéro (consulter le mode d'emploi du teslamètre).
- Placer la sonde B axiale de manière parallèle au champ magnétique des bobines de Helmholtz et au centre de la paire de bobines.
- Augmenter le courant de bobine I de 0 à 3 A par paliers de 0,5 A, mesurer le champ magnétique B et noter les valeurs relevées.

Une fois le calibrage terminé:

- Remonter le tube à faisceau électronique filiforme conformément au mode d'emploi.

Exemple de mesure

Tab. 1: courant de bobine I pour une tension d'accélération U et un rayon de course circulaire constant $r = 0,04$ m

$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$
300	2,15
290	2,10
280	2,07
270	2,03
260	2,00
250	1,97
240	1,91
230	1,88
220	1,83
210	1,79
200	1,75

Tab. 2: Champ magnétique B des bobines de Helmholtz pour un courant de bobines I (la mesure nécessite les équipements supplémentaire recommandés plus haut)

$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0,5	0,35
1,0	0,65
1,5	0,98
2,0	1,34
2,5	1,62
3,0	2,05

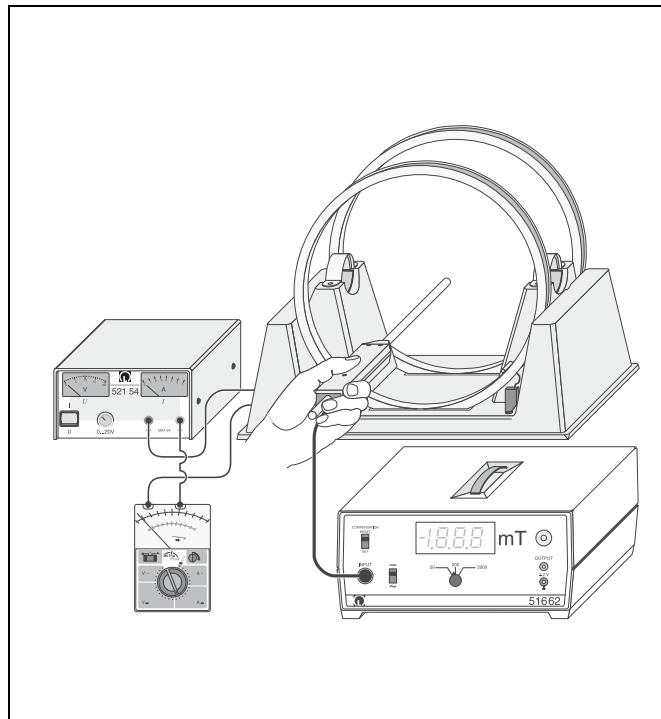


Fig. 5 Montage pour le calibrage du champ magnétique des bobines de Helmholtz

Exploitation et résultat

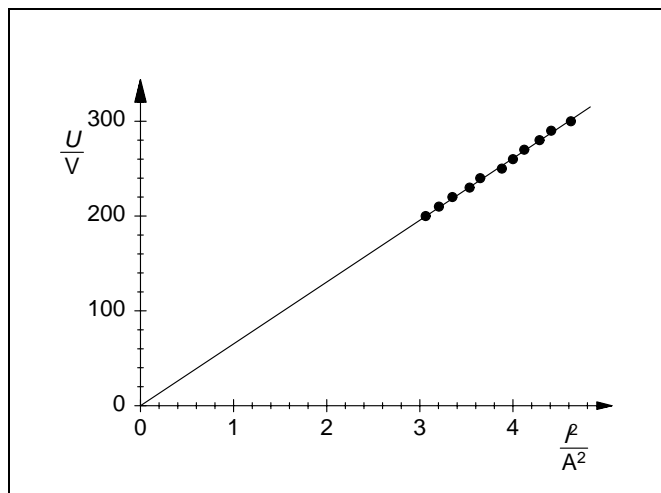
L'illustration 6 présente les valeurs de mesure du tableau 1 sous la forme – linéarisée conformément à (VIII) – $U = f(I^2)$. L'augmentation des droites d'origine dessinée est de $\alpha = 65,3 \text{ V A}^{-2}$.

A partir de (VIII), on obtient pour la charge spécifique des électrons

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot \alpha}{r^2 \cdot k^2}$$

Pour d'autres exploitations, on a alors besoin du facteur de proportionnalité k .

Fig. 6 Représentation des résultats de mesure du tableau 1



Détermination du facteur de proportionnalité k à partir du calibrage du champ magnétique des bobines de Helmholtz:

Grâce à l'adaptation d'une droite d'origine aux valeurs de mesure du tableau 2, ou de l'illustration 7, on obtient alors

$$k = 0,67 \text{ mT A}^{-1}$$

et ainsi,

$$\frac{e}{m_e} = 1,8 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Calcul du facteur de proportionnalité k :

En utilisant (IX), on calcule alors

$$k = 0,78 \text{ mT A}^{-1}$$

et ainsi,

$$\frac{e}{m_e} = 1,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Valeur littéraire:

$$\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

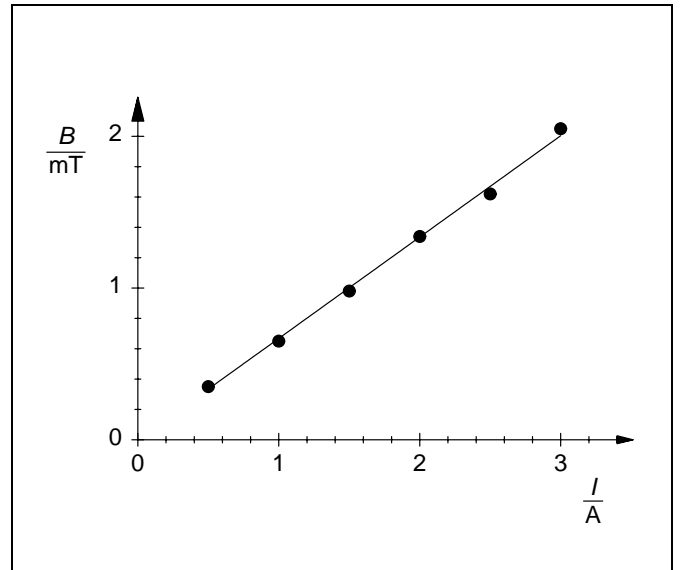


Fig. 7 Courbe de calibrage du champ magnétique des bobines de Helmholtz