



Fiche : Canon à électrons

Table des matières

1	Introduction	1
2	Matériel	1
3	Protocole	2
3.1	Expérience qualitative	2
3.2	Expérience qualitative	2
4	Cadre théorique	2
4.1	Déviati on dans le champ électrique $\vec{E}$	2
4.2	Déviati on dans le champ magnétique $\vec{B}$	4

1 Introduction

Cette manipulation rentre dans le cadre de la leçon de physique 15 : Mouvements, interactions et notion de champ. L'objectif de la manipulation est de déterminer le rapport $\frac{e}{m}$ pour un électron en utilisant le principe fondamental de la dynamique. Cette manipulation est issue du livre : Montages de Physique, Bellier p.30. Elle est intéressante pour les lois de la mécanique.

2 Matériel

Nom du matériel	Code
Bobines de Helmholtz	P93.2
3 alimentations	P43.8, P43.10/2, P53.6/7
Canon à électrons	P93.9/1
Fils	

TABLE 1 – Liste du matériel

On peut décrire le système interne comme présenté dans la Figure 1.

Plusieurs précautions sont à prendre :

- Couvrir les fiches électriques
- Ne pas élever la tension de chauffage au-dessus de 6.3 V. On monte progressivement et on redescend progressivement.
- Ne pas bouger le tube quand le filament est incandescent.

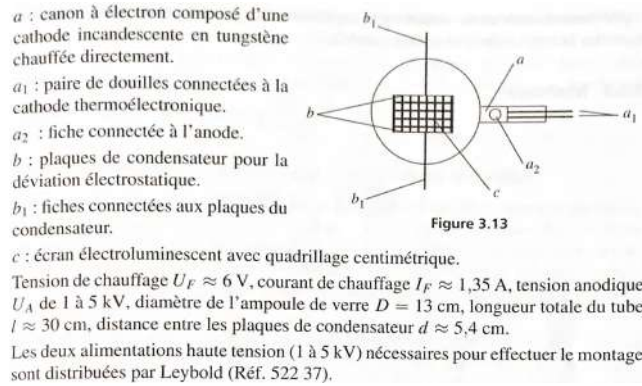


FIGURE 1 – Description du montage interne

3 Protocole

Le schéma électrique à réaliser est celui présenté dans la Figure 2. Attention, il faut porter une attention toute particulière sur la sécurité électrique, de grosses tensions sont mises en jeu :

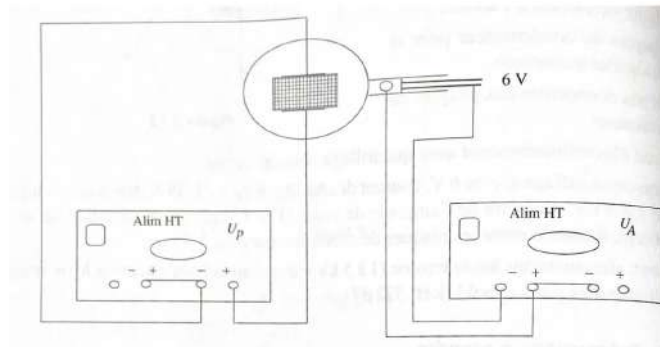


FIGURE 2 – Montage électrique

La tension anodique U_A entre l'anode et la cathode permet d'accélérer les électrons et faire varier leur vitesse initiale. On applique une tension variable entre 1 et 5 kV. La tension U_P crée un champ électrique uniforme dans la cellule avec le second générateur (c'est ça qui fait la déviation).

3.1 Expérience qualitative

On modifie U_A et U_P et on montre qu'on a bien une évolution de la variation. La déviation augmente quand U_P augmente ou U_A diminue.

On change le sens des fils et on observe que la déviation change (**ne pas oublier d'éteindre la cellule**).

3.2 Expérience qualitative

On utilise une caméra pour faire l'acquisition. On mesure à l'aide du cadrillage et on récupère x et y . On trace $y = f(x^2)$. On compare le coefficient directeur de la droite à l'expression théorique :

$$y = \frac{U_P}{4dU_A} x^2 \quad (1)$$

4 Cadre théorique

4.1 Déviation dans le champ électrique $\vec{E}$

Plusieurs points peuvent ici être abordés, néanmoins celui qui peut être le plus intéressant (et le plus simple) est la trajectoire des électrons. En effet, on peut avec le PFD retrouver l'expression de la trajectoire de ceux-ci et

donc comparer avec l'expérience.

— Système : électron

— Référentiel : Terrestre supposé Galiléen

— Bilan des forces : - Poids $\vec{P}$ (négligeable) - Force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$ (avec $\vec{E} = \frac{U_p}{d}\vec{e}_y$)

On applique le principe fondamental de la dynamique dans la partie avec la cadrillage.

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext} \quad (2)$$

On projette selon les deux composantes x et y.

$$\begin{cases} y : m * \frac{d^2 y}{dt^2} = q \frac{U_p}{d} \\ x : m * \frac{d^2 x}{dt^2} = 0 \end{cases}$$

On intègre par rapport au temps :

$$\begin{cases} y : v_y = \frac{q}{m} \frac{U_p}{d} t + A \\ x : v_x = B \end{cases}$$

Avec A et B des constantes pouvant être déterminées par les conditions limites. A t=0 on a $v_y = 0$ donc A=0. Par contre v_x est non nulle car l'électron est accéléré dans le tube. On a donc :

$$\begin{cases} y : v_y = \frac{q}{m} \frac{U_p}{d} t \\ x : v_x = v_{0x} \end{cases}$$

On reintègre :

$$\begin{cases} y : y = \frac{q}{2m} \frac{U_p}{d} t^2 + C \\ x : x = v_{0x} t + D \end{cases}$$

Avec C et D des constantes qui sont nulles ici (conditions initiales). On a donc :

$$\begin{cases} y : y = \frac{q}{2m} \frac{U_p}{d} t^2 \\ x : x = v_{0x} t \end{cases}$$

On a $t = \frac{x}{v_{0x}}$ ce qui en reinjectant donne :

$$y = \frac{q}{2mv_{0x}^2} \frac{U_p}{d} x^2 \quad (3)$$

Il suffit de calculer la vitesse des électrons quand ils arrivent à la sortie du tube. Pour cela on peut utiliser le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_c = \sum \vec{W} \quad (4)$$

Ce qui donne :

$$\frac{1}{2} m v_{0x}^2 = q \frac{U_a}{l} \quad (5)$$

Ainsi on a :

$$v_{0x} = \sqrt{\frac{q2U_a}{m}} \quad (6)$$

Ce qui donne en injectant dans l'expression :

$$y = \frac{U_p}{4dU_a} x^2 \quad (7)$$

CQFD.

On a donc traité ici la partie mécanique du problème qui est ce qui nous intéresserait dans notre leçon. Néanmoins il est possible de quantifier l'effet des bobines sur le faisceau.

4.2 Déviation dans le champ magnétique $\vec{B}$

Source : Feuille compte-rendu Marion et Mélanie.

On repart du même point : on applique le PFD au système électron. On néglige le poids. Il n'y a que la force de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$.

$$m\vec{a} = q\vec{v} \wedge \vec{B} \quad (8)$$

$$m\vec{a} = q\vec{v} \wedge B\vec{u}_z \quad (9)$$

$$q \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} qv_y B \\ -qv_x B \\ 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Selon x :

$$qv_y B = m \frac{dv_x}{dt}$$

Selon y :

$$-qv_x B = m \frac{dv_y}{dt}$$

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} - \frac{eB}{m} v_y = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} + \frac{eB}{m} v_x = 0 \end{cases}$$

On pose

$$a = x + iy$$

:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} - \frac{eB}{m} \frac{dy}{dt} = 0 \\ i \frac{d^2 y}{dt^2} + i \frac{eB}{m} \frac{dx}{dt} = 0 \end{cases}$$

On fait (1) + (2) :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + i \frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{eB}{m} (i^2 \frac{dy}{dt} - ix) = 0 \quad (11)$$

Donc :

$$\frac{d^2 a}{dt^2} + i \frac{eB}{m} \frac{dy}{dt} = 0 \quad (12)$$

En résolvant l'équation on a :

$$a = A \frac{m}{eB} \sin\left(\frac{eBt}{m}\right) - Ai \frac{m}{eB} \cos\left(\frac{eBt}{m}\right) \quad (13)$$

Ce qui donne finalement :

$$\begin{cases} x(t) = \frac{Am}{eB} \sin\left(\frac{eBt}{m}\right) \\ y(t) = -\frac{Am}{eB} \cos\left(\frac{eBt}{m}\right) \end{cases} \quad (14)$$

La trajectoire est un cercle de rayon R :

$$R^2 = x^2 + (R - y)^2$$

donc :

$$y = \frac{x^2 + y^2}{2R} \quad (15)$$

En traçant une y en fonction de $x^2 + y^2$, on obtient une droite de pente $\frac{1}{2R}$ ce qui permet d'avoir R. Or, $\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{R^2 B^2}$ donc on remonte au rapport. Pour modéliser et voir plus simplement sans faire le montage le site : <https://virtuelle-experimente.de/fr/e-feld/hypothesen/versuchsaufbau.php> le permet parfaitement.