

# Faisceaux électroniques

## *Electron beams*

Réf :  
232 005

Français – p 1

English – p 6

Version : 9101

**Déflectron**

***Deflectron***

## 1. Principes et description

Le DEFLECTRON permet d'étudier le comportement des électrons dans un champ électromagnétique et d'effectuer des mesures sur la déviation des électrons. Il comprend :

- 1 statif avec :
  - Le socle en alliage coulé sous pression,
  - 1 bras vertical utilisé comme poignée pour le transport,
  - 1 fourche de fixation du tube, en plastique de grande résistance mécanique et électrique. Deux brides maintiennent efficacement les 2 axes du tube.
- 1 jeu de bobines de Helmholtz : Fixées sur une tige en acier inoxydable, terminées par un manchon en plastique, elles permettent une fixation rapide sur le statif. Pour enlever les bobines : soulever les bagues en plastique, dégager les tiges et bobines de leurs emplacement.
- 1 tube à électrons : C'est un tube sphérique dans lequel a été fait le vide. A l'intérieur, on trouve :
  - le canon à électrons avec le filament relié à des bornes diam. 4 mm et une anode percée d'une fente qui accélère et focalise les électrons en un pinceau rectangulaire. L'anode sort latéralement sur une fiche banane mâle diam 4 mm.
  - un écran gradué recouvert de substance fluorescente est placé obliquement au faisceau d'électrons afin d'en matérialiser la trajectoire.
  - deux plaques de déviations électriques sont reliées à l'extérieur du tube par deux fiches mâles diam. 4 mm



Pour enlever le tube : faire glisser les brides du bras en arrière et pousser le tube vers l'avant en appuyant avec la paume de la main sur le culot du tube.

## 2. Caractéristiques techniques

### 2.1 Le tube

- Alimentation filament : 6 Volts alternatif
- Tension d'accélération : 2 à 5 000 V continu
- Tension entre plaques de déviation : 0 à 5 000 V continu
- I max. anode : 1 mA
- Écran fluorescent, long. 90 mm, incliné 15°
- Plaques déflectrices long. 90 mm, distance 52 mm
- Dimensions : diam. 136 mm – L = 260 mm

### 2.2 Le socle

- Embase en alliage coulé sous pression. Dim. : 240 x 180 x 50 mm
- Masse : 3,2 kg
- Un bras vertical utilisé comme poignée pour le transport du déflectron
- Une fourche de du tube, en plastique isolant

### 2.3 Les bobines de Helmholtz

Chaque bobine possède 320 tours de fil de cuivre émaillé.

- Diam. moyen : 136 mm
- Tige en acier inoxydable, terminée par un manchon plastique pour la fixation sur le socle
- Branchement sur le côté, fiches femelles diam. 4 mm
- I max : 1 ampère en régime permanent (1,5 A pendant 10 minutes).

## 2.4 Accessoires

Pour manipuler avec le DEFLECTRON, les sources et appareils de mesure suivants sont nécessaires :

### 2.4.1 Pour les bobines de Helmholtz

Alimentation continue 6 V à 12 V - 1 A (on peut aller jusqu'à 18 V – 1,5 A pendant quelques minutes)

### 2.4.2 Pour le tube

- Alimentation 6V – 2A pour le filament,
- Alimentation 5 000V (réf. 281 034) pour l'accélération des électrons et la déviation entre plaques.

Pour certaines manipulations, il est intéressant de posséder 2 alimentations haute tension : l'une pour le canon électrons, l'autre pour l'étude des déviations des plaques

### 2.4.3 Tube de rechange pour DEFLECTRON : Réf. 233 008

## 3. Manipulations

### 3.1 Déviation électrostatique

#### 3.1.1 Calcul théorique

Pour un électron de masse  $m$ , de charge  $e$ , de vitesse  $v_0$ , on applique la relation  $F = m\gamma$ . Il vient :

$$x = v_0 t$$
$$y = -\frac{1}{2} \frac{e E t^2}{m}$$

La trajectoire du faisceau est une parabole d'équation :

$$y = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{E}{v_0^2} x^2$$

D'autre part, on peut écrire :

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = e v a$$
$$\text{avec } E = k \frac{v a}{d}$$

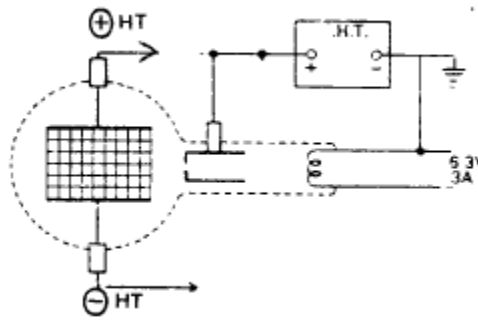
$K$  étant un facteur dû à la géométrie des plaques de déflexion, qui présentent des effets de bord importants.

$$y = \frac{k}{4d} x^2$$

#### 3.1.2 Expérience

Relier une plaque du condensateur à la cathode et l'autre à l'anode. Inverser le + et le - (figure 2). Observer les trajectoires.

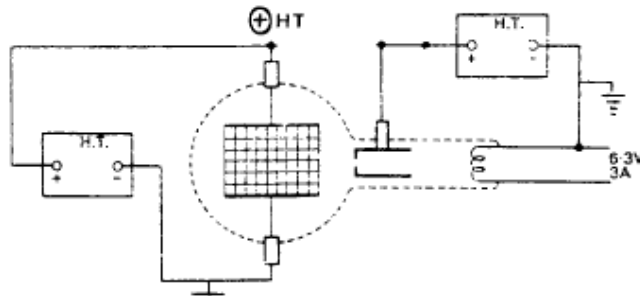
Figure 2 :



#### Remarques

- Pour économiser le tube : ne pas le laisser en permanence brancher ou diminuer la tension filament à environ 5 Volts.
- Occulter le tube si l'on est gêné par la lumière ambiante.
- Pour améliorer la précision des mesures : choisir les paramètres afin d'obtenir un faisceau passant par un nœud de l'écran quadrillé.
- Si on applique la même ddp entre les plaques et le canon, la déviation obtenue ne changera pas, car en même temps que l'on accélère les électrons, le champ électrique déviateur augmente.
- Si l'on possède 2 alimentations, on pourra faire varier les paramètres de façon indépendante (figure 3).

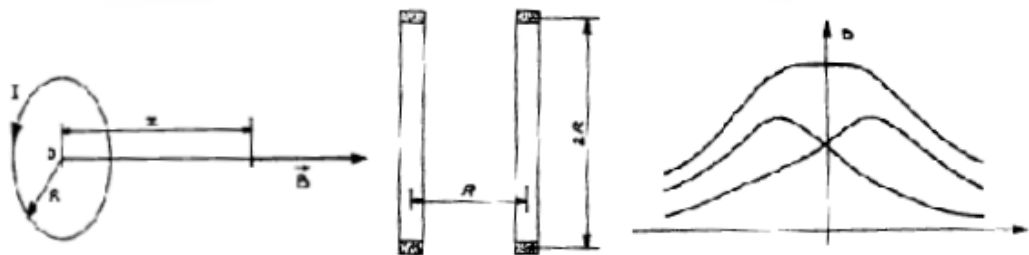
Figure 3



## 3.2 Déviation

### 3.2.1 Calcul théorique

Champ créé par 2 bobines plates en position de Helmholtz :



Le champ créé peut s'écrire :

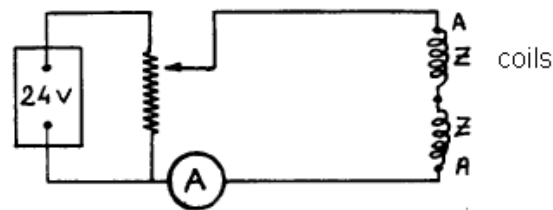
$$B = \frac{\mu_0 R^2 N I}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \quad \text{avec} \quad \begin{matrix} R = 68 \text{ mm} \\ N = 320 \end{matrix}$$

$$\Rightarrow B = K I$$

Alimenter les 2 bobines en série à l'aide d'une alimentation 0 – 12 V. Le courant permanent maximum dans les bobines est de 1 A, ce qui correspond à une tension de 12 V. Si on possède une alimentation > 12 V, on pourra fournir un courant de 1,5 A pendant  $t \leq 10$  min.

Exemple de montage :  $0,5 \leq I \leq 2$  A

Figure 6

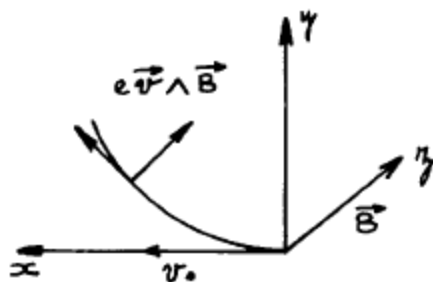


Trajectoire d'un électron dans un champ B normal à sa vitesse

$$\frac{Bev}{m} = \frac{v^2}{R}$$

R = rayon de courbure de la trajectoire  
 v = vitesse de l'électron

Figure 7



La trajectoire de l'électron, dans le système (figure 7) peut s'écrire :

$$R = \frac{x^2 + y^2}{2y} \quad \text{équation d'un cercle}$$

### 3.2.2 Expérience

Mettre le tube sous tension. Observer le faisceau.

- Adopter  $V_{\text{anode}} = 4\,000$  V.
  - Prendre plusieurs valeurs pour I bobines. Changer le sens du courant.
  - I bobines étant fixe, faire croître  $V_{\text{anode}}$  de 3 000 à 5 000 V.
- Mesurer R à chaque manipulation.

### 3.3 Détermination de rapport e/m

*Méthode de J.J. Thomson*

Appliquer simultanément un champ électrique E entre les plaques et une induction magnétique B à l'écran, de telle sorte que les effets soient contraires et égaux. On a alors :

$$eE = ev \wedge B$$

$$\text{d'où : } v = \frac{E}{B}$$

Supprimer E (mettre les 2 plaques au potentiel de l'anode) et mesurer R correspondant à la trajectoire circulaire due à la déviation magnétique.

$$R = \frac{mv}{eb}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{E}{B^2 R} = \frac{va}{d} * \frac{1}{K^2 I^2 b R}$$

avec  $d = 52 * 10^{-3} \text{ m}$  : distance entre plaques.

#### Expérience et résultats :

Effectuer le montage du chapitre Déviation Electrostatique (Figure 2). Les valeurs ainsi trouvées pour e / m sont trop élevées. Ceci est dû aux effets de bord du condensateur de déviation : le champ E n'est pas uniforme.

#### Autre méthode :

Mesure du rayon R, trace du faisceau d'électrons dévié par un champ B (E = 0).  
 Vitesse des électrons :

$$e \quad va = \frac{1}{2} mv^2$$

$$R = \frac{mv}{eB}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 va}{B^2 R^2}$$

**Expérience :** mesurer le rayon R correspondant à B et V anode.

**Remarque :** on pourra, avec l'expérience de Millikan, déterminer la charge de l'électron -.  
 Avec le DEFLECTRON, on déterminera le rapport e / m. On peut donc déduire m.

### 3.4 Expérience du « miroir » électronique

Lorsqu'il n'y a plus équilibre entre les actions de E sur l'électron, de l'équation :

$$F = e(E + v \wedge B) = m$$

On déduit la trajectoire :

$$x = 0$$

$$y = \frac{eEt}{mw} + \left( \frac{eE}{m} + w v_0 x \right) \frac{\sin wt}{w^2}$$

$$z = -\frac{1}{w^2} \left( \frac{eE}{m} + w v_0 \right) (1 - \cos wt)$$

$$\text{avec } w = \frac{eB}{m}$$

si  $v_{0x}$  est négligeable devant  $\frac{eE}{mv} = \frac{E}{B}$

On trouve les équations paramétriques d'une cycloïde :

$$x = \frac{eE}{mw^2} (wt - \sin wt)$$

$$y = \frac{eE}{mw^2} (1 - \cos wt)$$

$$y_{\text{maximum}} : y_M = \frac{2 mE}{e B^2}$$

**Interprétation :**

(1)  $v \rightarrow 0 \Rightarrow ev \wedge B = 0$ . Action de B nulle

$F = -eE$

L'électron a un mouvement uniformément accéléré.

(2)  $v \rightarrow 0 \Rightarrow F = ev \wedge B$  tend à courber la trajectoire.

(3) Si B est suffisant, l'électron n'atteindra pas la plaque+. On a v maximum.

(4) E tend à freiner l'électron,  $ev \wedge B$  diminue.

(5)  $v \rightarrow 0$  et l'électron est repoussé par la plaque.

La trajectoire est une cycloïde, dont la déviation maximum est :

$$|y_M| = 2 \frac{me}{eB^2}$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2 E}{B^2 y_M}$$

**Expérience :**

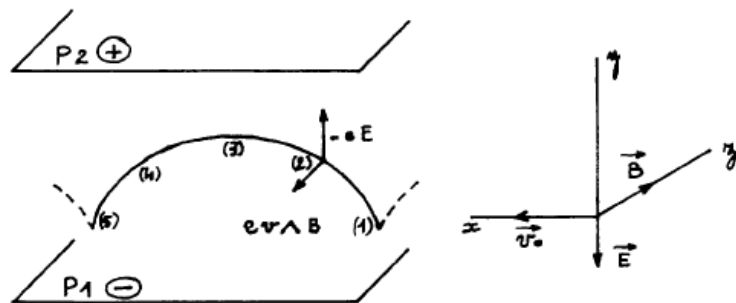
- Les électrons ont une vitesse  $v_{ox}$ . Il ne faut considérer la trajectoire qu'après (1). On prendra  $v_{anode} = v_{plp2} < 3\,500\text{ V}$

- Augmenter I bobines jusqu'à annulation de la déviation (on pourra atteindre  $I_b = 2\text{ A}$  max pendant 1 minute)

Il n'est pas nécessaire d'obtenir le deuxième point de rebroussement pour pouvoir faire la mesure.

Mesurer  $y_M$ . En déduire  $e/m$

Figure 8.



## 4. Service après-vente

La garantie est de 2 ans.

Pour tous réglages, contacter le **Support Technique** au **0 825 563 563**.

Le matériel doit être retourné dans nos ateliers et pour toutes les réparations ou pièces détachées, veuillez contacter :

**JEULIN – S.A.V.**

468 rue Jacques Monod

CS 21900

27019 EVREUX CEDEX France

**0 825 563 563\***

\* 0,15 € TTC/min. à partir un téléphone fixe



## 1. Principles and description

The DEFLECTRON allows for the study of the behaviour of electrons in an electromagnetic field, and for the realisation of measurements on the deflection of these electrons. It contains:

- 1 stand with:
  - The pedestal that is made of alloy cast under pressure.
  - 1 loading arm used as a handle for transportation.
  - 1 fork support of the tube made of high mechanical and electrical resistance plastic. 2 clamps efficiently maintain the two axes of the tube.
- 1 set of Helmholtz coils: fixed on a rod made of stainless steel finished with a plastic protective tube, they allow for quick fixation to the stand. To remove the coils, lift the plastic rings and remove the rods and coils from their compartments.
- 1 electron tube:

It is a spherical tube that is under vacuum. It contains:

- The electron gun with its filament connected to the terminals Ø 4 mm, and an anode punctured with a slot that accelerates and focuses the electrons into a rectangular probe. The anode comes out laterally on a male banana pin Ø 4 mm.
- A calibrated screen covered with a fluorescent substance is placed sideways with respect to the electron beam in order to materialise its trajectory.
- Two electrical deflecting electrodes are connected to the outer part of the tube through 2 male plugs Ø 4 mm.

To remove the tube, slide the clamps of the arm backwards and push the tube forward while pressing with the palm of your hand on the base of the tube.

## 2. Technical characteristics

### 2.1 The tube

- Filament power supply: alternating 6 V
- Acceleration voltage: direct from 2 to 5000 V
- Voltage between the deflecting electrodes: direct from 0 to 5000 V
- Anode I max.: 1 mA
- Fluorescent screen, 90 mm length inclined at 15°
- Deflecting electrodes, 90 mm length, 52 mm distance
- Dimensions: Ø 136 mm – L = 260 mm

#### 2.1.1 The pedestal

- Collar made of alloy that was cast under pressure. Dim: 240 x 180 x 50 mm
- Weight: 3,2 kg
- A loading arm used as a handle for the transportation of the deflectron
- A fork support for the tube, made of insulating plastic

#### 2.1.2 The Helmholtz coils

Every coil has 320 wire turns made of enamelled copper

- average Ø: 136 mm.
- Rod made of stainless steel, finished with a protective plastic tube for fixation on the pedestal.



- Sidewise connection, female plugs Ø 4 mm.
- I max: 1 ampere in continuous rating (1,5 A for 10 minutes).

## 2.2 Accessories

To carry out experiments with the DEFLECTRON, the following sources and measuring devices are required:

### 2.2.1 For the Helmholtz coils

D.C supply from 6 to 12 V – 1 A (can go up to 18 Volts / 1,5 A for a few minutes).

### 2.2.2 For the tube

- 6 V / 2 A power supply for the filament,
- 5000 V power supply for the acceleration of the electrons and the deflection between the electrodes.

For certain experiments, it is worth having 2 high-voltage power supplies: one for the electron gun and one for the study of the deflection of the electrodes.

### 2.2.3 Spare the for DEFLECTRON Réf: 233 008

## 3. Experiments

### 3.1 Electrostatic deflection

#### 3.1.1 Theoretical calculation

For an electron of mass  $m$ , charge  $e$ , and speed  $v_0$ , the relation  $F = ma$  is applied. Hence:

$$x = v_0 t$$

$$y = -\frac{1}{2} \frac{eEt^2}{m}$$

The trajectory of the beam is a parabola of equation:

$$y = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{E}{v_0^2} x^2$$

Otherwise, it can be written that:

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = e v a$$

$$\text{with } E = k \frac{va}{d}$$

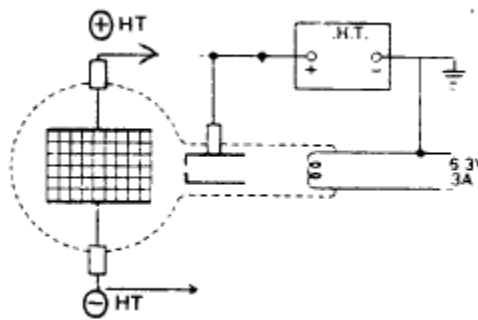
$K$  is a factor due to the geometry of the deflecting electrodes that present strong edge effects.

$$y = \frac{k}{4d} x^2$$

#### 3.1.2 Experiment

Connect one plate of the capacitor to the cathode and the other plate to the anode. Invert the + and the – (see figure 2). Observe the trajectories

Figure 2 :



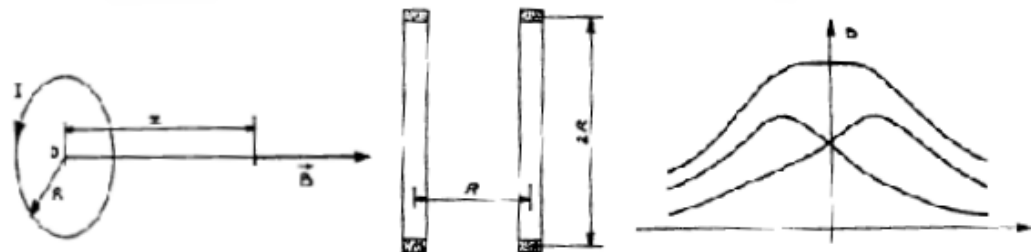
**Comments:**

- To preserve the tube, do not permanently leave in operation, or alternatively decrease the filament voltage to  $\approx 5$  V.
- Obscure the tube if bothered by ambient light.
- To enhance the precision on the measurements, select the parameters in order to obtain a beam going through a node on the squared screen.
- If the same voltage is applied between the electrodes and the gun, the deflection obtained will not change because while the electrons are accelerated, the deflecting electrical field increases.
- If you have 2 power supplies, the parameters can be varied independently (see figure 3).

## 3.2 Electromagnetic deflection

### 3.2.1 Theoretical calculation

Field generated by two flat coils in Helmholtz position.



It can be written that:

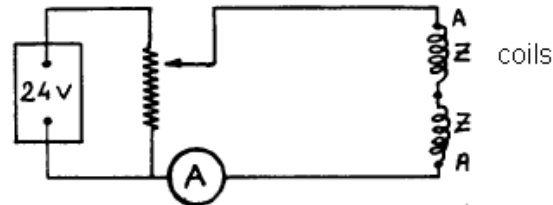
$$B = \frac{\mu_0 R^2 N I}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \text{ with } \begin{matrix} R = 68\text{mm} \\ N = 320 \end{matrix}$$

$$\Rightarrow B = K I$$

Power up the two in series coils by means of a 0-12 Volts power supply. The maximum continuous current in the coils is 1 A which corresponds to a 12 V voltage. If the power supply is  $> 12$  V a 1,5 A current can be provided for  $t \leq 10$  minutes.

Example of assembly:

Figure 6

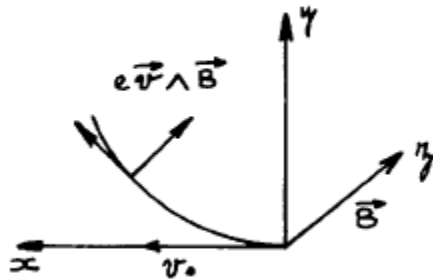


Trajectory of an electron in a field B normal to its speed:

$$\frac{Bev}{m} = \frac{v^2}{R}$$

R = radius of curvature of the trajectory  
V = speed of the electron

Figure 7



The trajectory of the electron in the system (figure 7) can be written:

$$R = \frac{x^2 + y^2}{2y} \quad \text{equation of a circle}$$

### 3.2.2 Experiment

Power up the tube. Observe the beam.

- . Use V(anode) = 4000 V.
  - . Set several values for I(coils). Change the direction of the current.
  - . With I(coils) being fixed, increase V(anode) from 3000 to 5000 Volts.
- Measure R for each experiment.

### 3.3 Determination of the e/m ratio

*J.J THOMSON's method*

Simultaneously apply an electrical field E between the electrodes and a magnetic induction B on the screen in such a way that the effects are opposite or equal. In this case it can be written that:

$$eE = ev \wedge B$$

$$\text{hence } v = \frac{E}{B}$$

Suppress E (put the two electrodes at the voltage of the anode) and measure R corresponding to the circular trajectory due to the magnetic deflection.

$$R = \frac{mv}{eb}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{E}{B^2 R} = \frac{va}{d} * \frac{1}{K^2 I_b^2 R}$$

$d = 52 \times 10^{-3} \text{ m}$  being the distance between the electrodes.

#### Experiments and results:

Perform the assembly of the "Electrostatic deflection" chapter (see figure 2). The values thus found for  $e/m$  are too high. This is due to the edge effects of the deflecting capacitor: the field E is not uniform.

#### Alternative method:

Measure the radius R, and plot of the electron beam deflected by a field B ( $E = 0$ ).  
Speed of the electrons:

$$e va = \frac{1}{2} mv^2$$

$$R = \frac{mv}{eB}$$

$$\boxed{\frac{e}{m} = \frac{2 va}{B^2 R^2}}$$

**Experiment:** measure the radius R corresponding to B(anode) and V(anode).

**Comment:** With the Millikan's experiment, the charge e of the electron can be determined.  
With the DEFLECTRON, the ratio  $e/m$  will be determined. Therefore, m can be deduced.

### 3.4 Experiment of the electronic « mirror »

When there is no more equilibrium between the actions of E on the electrons, from the following equation

$$F = e(E + v \wedge B) = m$$

the trajectory is deduced:

$$y = -\frac{eEt}{mw} + \left( \frac{eE}{m} + w v_0 \right) \frac{\sin wt}{w^2}$$

$$z = -\frac{1}{w^2} \left( \frac{eE}{m} + w v_0 \right) (1 - \cos wt)$$

$$\text{with } w = \frac{eB}{m}$$

$$\text{if } v_{0x} \text{ is negligible compared to } \frac{eE}{mw} = \frac{E}{B}$$

The parameters of a cycloid equation are found:

$$x = -\frac{eE}{mw^2} (wt - \sin wt)$$

$$y = -\frac{eE}{mw^2} (1 - \cos wt)$$

$$y \text{ maximum: } y_M = \frac{2 m E}{e B^2}$$

### Interpretation:

(1)  $v \rightarrow 0 \Rightarrow e\mathbf{v} \wedge \mathbf{B} = 0$ . Action of B is null

$F = -eE$

The electron has an accelerated uniform motion.

(2)  $v \rightarrow 0 \Rightarrow F = e\mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$  tends to curve the trajectory.

(3) If B is sufficient the electron will not reach the + electrode. v is maximum.

(4) E tends to slow the electron down and  $e\mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$  decreases.

(5)  $v \rightarrow 0$  and the electron is rejected by the electrode.

The trajectory is a cycloid whose maximum deflection is:

$$|y_M| = 2 \frac{me}{eB^2}$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2E}{b^2 y_M}$$

### Experiment:

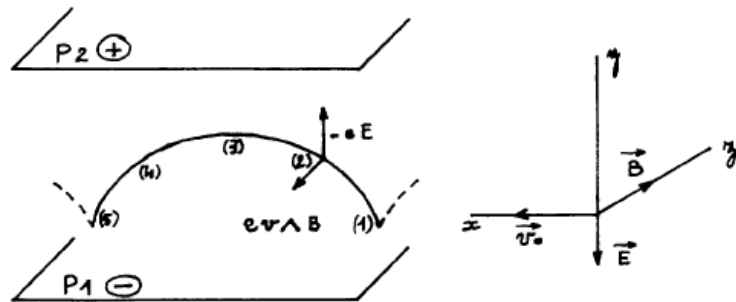
- The speed of the electrons is  $v_{ox}$ . Only the trajectory after (1) must be considered.  
 $V(\text{anode}) = V(p1p2) < 3500 \text{ V}$  will be used.

- Increase I(coils) until suppression of the deflection ( $I_b = 2 \text{ A}$  max during 1 minute can be reached).

It is not necessary to obtain the second turn in order to carry out the measurement.

Measure  $y_M$ . Deduce  $e/m$ .

Figure 8.



## 4. After-sales service

The device is under a 2-year guarantee, it must be sent back to our workshops.  
For any repairs, adjustments or spare parts please contact:

### JEULIN – TECHNICAL SUPPORT

468 rue Jacques Monod  
CS 21900  
27019 EVREUX CEDEX FRANCE

**+33 (0)2 32 29 40 50**



## Assistance technique en direct

Une équipe d'experts  
à votre disposition  
du lundi au vendredi  
de 8h30 à 17h30

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge  
immédiatement votre appel  
pour vous apporter une réponse  
adaptée à votre domaine  
d'expérimentation :  
Sciences de la Vie et de la Terre,  
Physique, Chimie, Technologie.

### Service gratuit\*

**0 825 563 563** choix n°3\*\*

\* Hors coût d'appel. 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe.

\*\* Numéro valable uniquement pour la France métropolitaine et la Corse. Pour les DOM-TOM et les EFE, composez le +33 2 32 29 40 50.

Aide en ligne  
**FAQ.jeulin.fr**



## Direct connection for technical support

A team of experts  
at your disposal  
from Monday to Friday  
(opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request  
immediatly to provide you  
with the right answers regarding  
your activity field : Biology, Physics,  
Chemistry, Technology.

### Free service\*

**+33 2 32 29 40 50\*\***

\* Call cost not included.

\*\* Only for call from foreign countries.



468, rue Jacques-Monod, CS 21900, 27019 Evreux cedex, France

Métropole • Tél : 02 32 29 40 00 - Fax : 02 32 29 43 99 - [www.jeulin.fr](http://www.jeulin.fr) - [support@jeulin.fr](mailto:support@jeulin.fr)

International • Tél : +33 2 32 29 40 23 - Fax : +33 2 32 29 43 24 - [www.jeulin.com](http://www.jeulin.com) - [export@jeulin.fr](mailto:export@jeulin.fr)

SAS au capital de 1 000 000 € - TVA intracommunautaire FR47 344 652 490 - Siren 344 652 490 RCS Evreux