

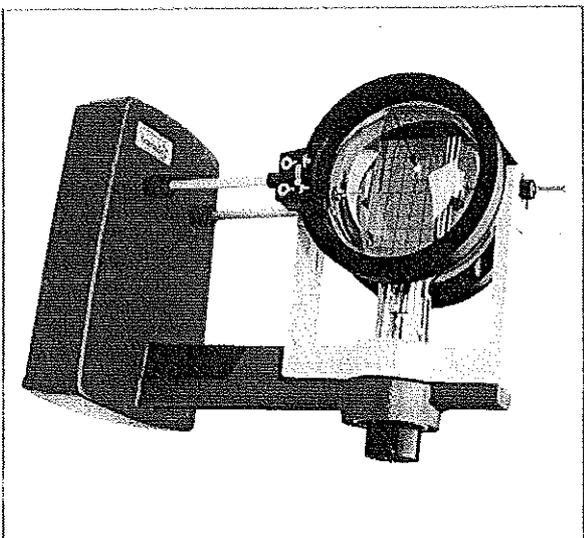
P93.9

NOTICE

PIERRON

TUBE A FAISCEAU D'ELECTRONS

MT 1360



1. PRESENTATION DU PRODUIT :

1.1. Finalité du produit :

Le tube à faisceau d'électrons va vous permettre d'effectuer les expériences suivantes :

- Déviation de l'électron par des champs magnétiques et électriques.
- Détermination de e/m par équilibrage des champs.
- Distribution des vitesses et focalisation magnétique.
- Divergence du faisceau avec un champ magnétique alternatif.

1.2. Composition du produit :

- Un tube en verre très fragile.
- Un écran luminescent observable des deux faces.

1.3. Caractéristiques techniques :

- Tension de chauffage : 6.3 V - 3 A
- Tension accélératrice : 1.5 à 5 kV
- Diamètre du tube : 135 mm.

REMARQUE :

L'écran quadrillé permet de rendre ces expériences quantitatives et le rapport e/m peut être déterminé à 15 % près sans difficulté.

Le canon à électrons produit un mince faisceau à l'intérieur d'une enveloppe à atmosphère raréfiée. Au centre du tube, on trouve une feuille de mica dont l'une des faces est revêtue d'un produit luminescent et l'autre d'un quadrillage centimétrique.

Le trajet de l'électron est visible sur l'écran, puisque la feuille de mica est tenue à 15 ° de l'axe du faisceau par 2 plaques de déviation électrostatique.

2. INSTALLATION :

Installez le tube dans son support de manière à le bloquer.

Attention, ce matériel étant très fragile, il faudra l'utiliser avec les appareils d'expérimentation proposés sinon vous risqueriez de perdre tous vos droits quant à la garantie de l'appareil que vous venez d'acheter.

3. EXPERIMENTATIONS :

3.1. Déviation électromagnétique : (pour les accessoires voir « Matériels conseillés »)

Réalisez le montage de la figure 1 avec les deux plaques défléctrices au potentiel d'anode. Branchez le circuit et observez le trajet de rayon non dévié. Faites ensuite circuler un courant dans les bobines d'Helmoltz et observez sur l'écran que :

- Pour une valeur fixée de V_a , le rayon de courbure de la déviation décroît lorsque I_B augmente dans les bobines.
- Pour une valeur fixée de I_B , le rayon de courbure augmente lorsque le potentiel d'anode augmente, donc lorsque la vitesse des électrons augmente.
- La trace du faisceau lumineux est circulaire, la déviation étant dans un plan perpendiculaire au champ électromagnétique.

Un électron de masse m et de charge e se déplaçant orthogonalement par rapport à un champ magnétique B est soumis à une force centripète Bev , lui donnant un mouvement circulaire, selon l'équation :

$$Bev = (m v^2) / (r) \quad (1)$$

où v est la vitesse de l'électron et r le rayon de courbure.

NOTES

4. REMARQUE GENERALE :

- On peut remarquer que le faisceau de lumière provenant du filament ne coïncide pas exactement avec le faisceau d'électrons non dévié et que celui-ci n'est pas exactement parallèle à l'axe du quadrillage. Ces effets ne peuvent être évités. En faisant des mesures dans les deux directions verticales et en prenant les moyennes, on déduit les erreurs.
- Pour obtenir un effet de spirale, il faut réduire V_a à une faible valeur et opérer dans une pièce sombre.

5. MATERIELS CONSEILLES :

- Tube à faisceau d'électrons MT 1360
- Support pour tube à faisceau d'électrons MT 1361
- Jeu de bobines d'Helmoitz MT 1362
- Ensemble complet "faisceau d'électrons" MT 1370
- Alimentation THT - 5 kV MT 1363 ou MT 4529
- Diviseur de tension THT MT 1301
- Quelques cordons de raccordement de 4 mm de diamètre
- Une alimentation 12 V 5 A (courant continu, pour les bobines) MT 4851

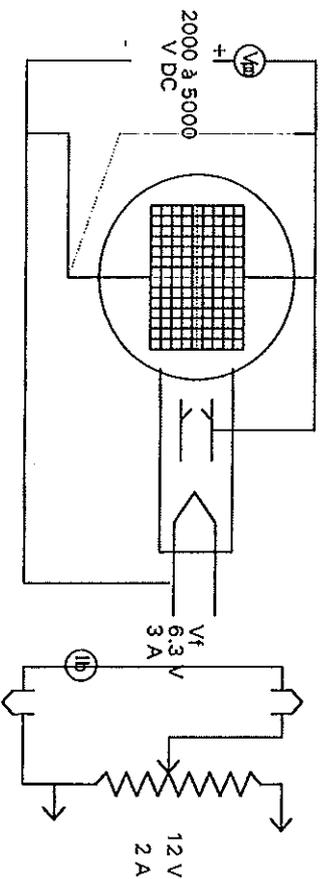


Figure 1

3.2. Déviation électrostatique :

Débranchez les bobines d'Helmoitz et établir une différence de potentiel V_p entre les deux plaques déflectrices, l'une d'entre-elles étant au potentiel de la cathode. Constatez que le faisceau est dévié par et dans le champ électrostatique E selon une courbe qui n'est pas un cercle.

La courbe est en fait une parabole d'équation :

$$y = (L/2) (e/m) E (x/v)^2 \quad (2)$$

où y est la déviation linéaire à la distance x et $E = V_p / d$ (d = distance entre les plaques)

Les équations (1) et (2) contiennent trois inconnues e , m , v . On résoudra le système par rapport à e/m et v .

3.3. Déviation d'un faisceau d'électrons :

se référer à la notice du diviseur de tension THT MT 1301.

3.4. Détermination du rapport e/m par déviation :

J.J. THOMSON a montré que si un champ électrique E est appliqué en même temps qu'un champ électromagnétique B , perpendiculaire, les deux déviations résultantes sont dans le même plan mais de directions opposées. Si ces deux déviations sont exactement compensées, on a :

$$E e = B^2 e v$$

$$\text{Donc la vitesse } v = E / B^2 \quad (4)$$

Branchez selon le circuit de la figure 1 et établir un équilibre entre les deux déviations en faisant varier I_B dans les bobines pour une valeur fixée de V_p entre les plaques (voir notes à la fin).

$$E = V_p / d \quad d : \text{ distance entre les plaques}$$

$$B^2 = k I_B^2 \quad k : \text{ constante}$$

La substitution de V dans l'équation (1) conduit à une mesure de e/m . On voit dans cette équation que pour une vitesse donnée, le produit de B par la valeur du rayon r résultant est une constante. Bien que le rayon r correspondant au flux B' à l'équilibre puisse être mesuré, il est plus pratique de prendre un rayon de courbure déterminé r et de mesurer le flux B nécessaire pour l'obtenir.

Par combinaison des équations (1) et (4), on obtient e/m en termes mesurables :

$$e/m = V_p / (B \cdot B' \cdot d \cdot r) = V_p / (I_B \cdot I_{B'} \cdot d \cdot r)$$

Pour des cercles passant par l'origine (qui est l'ouverture de l'anode) et pour les points de coordonnées $(x, \pm y)$, r a pour valeur :

$$r = (x^2 + y^2) / 2y$$

REMARQUE :

Pour certains tubes, l'origine du quadrillage n'est pas à l'anode et il faut effectuer une correction. En général, les résultats obtenus par cette méthode pour la détermination de e/m sont distants d'un facteur 2 de la valeur réelle. Une détermination à partir du champ électrique peut être faite, en utilisant la relation 2 à partir du champ électrique peut être faite, en utilisant la relation (2). Une détermination à partir de la parabole obtenue permet une détermination à 50 % de la valeur théorique. Les erreurs sont dues à la géométrie des plaques défléctrices.

3.5. Détermination de e/m par déviation magnétique :

Une valeur plus précise de e/m est obtenue à partir de l'équation de vitesse des électrons, lorsque ceux-ci sont déviés par un champ magnétique seul :

$$e Va = (1/2) (m V^2) \quad (6)$$

En combinant les équations (6) et (1), on a :

$$e/m = (2Va) / (B^2 r^2)$$

Résultats :

En réglant B pour obtenir un cercle passant par les points (10, ± 2.6), on obtient :

Va	I _B (y-)	I _B (y+)	I _B moyen	e/m · 10 ¹¹	x · 10
3000 V	0.210 mA	0.176 mA	0.193 mA	1.93 C/kgm	3.40 m
4000 V	0.245 mA	0.210 mA	0.227 mA	1.86 C/kgm	3.85 m
4500 V	0.270 mA	0.225 mA	0.247 mA	1.77 C/kgm	3.98 m

La valeur moyenne de e/m est de : $1.85 \cdot 10^{11}$ Coulomb/kgm.
La valeur théorique est de : $1.789 \cdot 10^{11}$ Coulomb/kgm.

3.6. Miroir à électrons :

Réalisez le montage de la figure 1 et augmentez le courant dans les bobines bien au-delà de l'équilibre (1 à 2 A). On constate alors que le faisceau prend la forme de la figure 2.

Après avoir parcouru une distance maximum S_m , les électrons s'opposent au champ électrique, du fait de l'importance du champ magnétique élevé. Ils rencontrent la plaque défléctrice où leur vitesse devient nulle. Les électrons sont alors soumis au champ électrostatique seul, et repartent donc dans la direction opposée où ils sont de nouveau soumis à l'influence du champ magnétique.

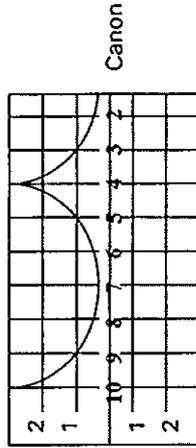


Figure 2

On montre que la courbe obtenue est une cycloïde et que :

$$S_m = (2E m) / (e B^2) \quad \text{ou} \quad e/m = (2E) / (B^2 S_m)$$

Pratiquement, branchez les plaques défléctrices à l'anode et à la cathode. Réglez I_B de façon à obtenir la cycloïde de la figure 2.

On a $E = Va / d$. On peut mesurer S_m et calculer e/m .

Résultats :

pour $V_a = 3200$ V, $I_B = 1.4$ A, $S_m = 0.023$ on a :
 $e/m = 1.52 \cdot 10^{11}$ Coulomb/kgm.

D'autres réglages de I_B et V_a peuvent produire des effets de spirale, illustrant les possibilités de contrôle que l'on peut exercer sur l'électron.

3.7. Focalisation magnétique :

Alors que la vitesse des électrons est uniforme dans les faisceaux utilisés jusqu'ici, on constate que l'utilisation d'un champ magnétique très intense conduit à un étalement du faisceau, indiquant une distribution des vitesses. Cependant, on observe que tous les électrons passent par certains points communs le long d'une cycloïde. On dit que les électrons sont focalisés. Cet effet est utilisé dans les spectromètres de masse.

10/88 — Sf —

Mode d'emploi

555 12

Tube pour la déviation d'un faisceau électronique

Le tube pour la déviation d'un faisceau électronique permet les recherches concernant le comportement de rayons cathodiques dans des champs électrique et magnétique. Les expériences avec déviation électrostatique ou magnétique des électrons donnent des valeurs qui correspondent à l'ordre de grandeur de la charge spécifique de l'électron $\frac{e}{m}$ et de la vitesse des électrons v .

La déviation électrostatique se fait à l'aide de deux plaques de condensateur incorporées dans le tube. A la déviation magnétique sert le champ magnétique (presque) homogène de la paire de bobines de Helmholtz (555 06).

1 Mesures de précaution

- Couvrir les fiches (a_2) et (b_1) — cf. fig. 1 — par des douilles de raccordement afin qu'elles soient protégées contre les contacts accidentels.
- Ne pas élever la tension de chauffage au-dessus de 6,5 V (risque d'endommager la spirale chauffante).
- Ne pas bouger le tube quand le filament est incandescent.
- Éviter de fortes charges mécaniques des chapes en matière plastique collées à la paroi du tube, par pression, traction ou choc.
- Ne connecter aux fiches du tube qu'un câble; en effet, plusieurs fiches superposées provoqueraient une charge mécanique inadmissible.

2 Caractéristiques techniques

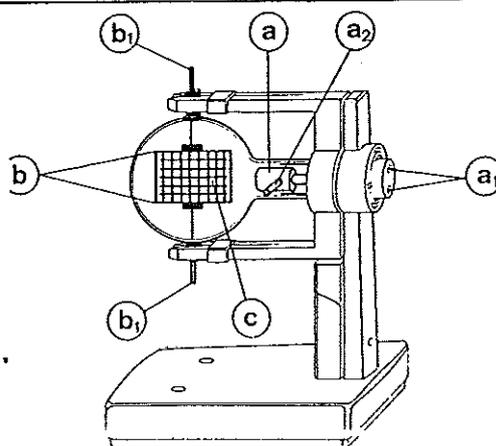
Cathode en tungstène chauffée directement;

tension de chauffage U_F	6 V \approx
courant de chauffage I_F	env. 1,35 A
tension anodique U_A	1 à 5 kV \approx
diamètre de l'ampoule de verre	env. 13 cm
longueur totale du tube	env. 30 cm
distance entre les plaques de condensateur	env. 5,4 cm

Fig. 1 Tube pour la déviation d'un faisceau électronique (555 12) monté sur le support pour expériences (555 05)

Éléments de fonctionnement (fig. 1):

- (a) canon à électrons composé d'une cathode incandescente en tungstène chauffée directement
- (a_1) paire de douilles connectées à la cathode incandescente
- (a_2) fiche connectée à l'anode
- (b) plaques de condensateur pour la déviation électrostatique
- (b_1) fiches connectées aux plaques de condensateur
- (c) écran fluorescent avec quadrillage centimétrique



3 Fonctionnement

3.1 Appareils nécessaires

Tension de chauffage: 6 V; 1,5 A, par ex.	No. de cat.
prélevée du transformateur 6 V, 12 V	562 73
ou d'une source de haute tension possédant une rigidité diélectrique assez grande, par ex. transformateur d'expériences composé de	
bobine de 500 spires pour tension secteur de	
220 V	562 21
ou bobine de 250 spires pour tension secteur de	
110 V	562 13
bobine de 50 spires	562 18
noyau en U avec joug et dispositif de fixation ..	562 11/12

Remarque:

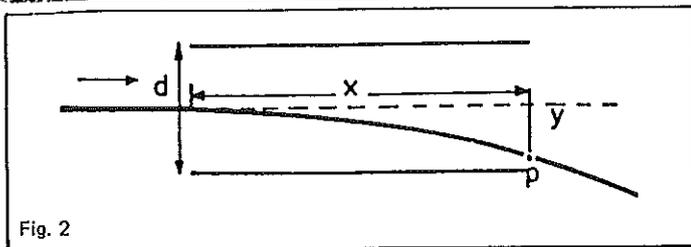
Lors de l'expérience 3.1.2 une source de tension de chauffage d'une rigidité diélectrique assez grande pour la haute tension est nécessaire. (Potentiel cathodique de 1 à 5 kV par rapport à la terre.)

Tension anodique:	No. de cat.
1 à 5 kV \approx , 2 mA; filtrée, ajustable sans papier, par ex. prélevée de la boîte d'alimentation haute tension, 10 kV	522 37
Tension pour les plaques de condensateur:	
1 à 5 kV \approx ; filtrée, ajustable, par ex. prélevée de la boîte d'alimentation haute tension	522 37
Tension pour la paire de bobines de Helmholtz:	555 06
0 à 10 V c.c., 1 A; filtrée, ajustable sans palier par ex. prélevée de la	
boîte d'alimentation stabilisée, 0 à \pm 15 V, 1,2 A.	522 30

3.2 Exemples d'expérience

3.2.1 Déviation électrostatique

Un électron passant le champ électrique (homogène) d'un condensateur à plaques (tension du condensateur U_p , distance des plaques d) avec la vitesse v se meut sur une trajectoire parabolique (cf. fig. 2)



Pour la vitesse v des électrons déterminée par la tension anodique U_A vaut:

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U_A} \quad (I)$$

Pour la charge massique $\frac{e}{m}$ de l'électron il s'ensuit de (I) et (II)

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{\mu_0^2 H^2 r^2} \quad (III)$$

U_A peut être mesuré directement (voltmètre statique), r et H sont déterminés de la façon suivante des dates trouvées par l'expérience et des dimensions géométriques du tube ou de la paire de bobines de Helmholtz:

$$y = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{E}{v^2} x^2 \text{ avec } E = \frac{U_p}{d} \quad (I)$$

Etant donné que

$$v^2 = 2 \frac{e}{m} U_A \quad (U_A = \text{tension anodique})$$

il résulte

$$y = \frac{x^2 U_p}{4d U_A} \quad (II)$$

A l'aide d'un montage expérimental suivant la fig. 3 on peut

1. confirmer (approximativement) la relation (II). Pour ce faire on représente graphiquement des couples de valeurs x et y allant ensemble avec x^2 comme abscisse et y comme ordonnée et confirme la proportionnalité (II).
2. déterminer v de (I) lorsque x et y sont déterminés expérimentalement et $\frac{e}{m}$ est supposé connu.

Détermination de r (voir la fig. 4)

Le rayon de courbure r du faisceau électronique visible sur l'écran fluorescent résulte de la relation qui peut être prise de la figure 4

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

Il s'ensuit

$$y = \frac{x^2 + y^2}{2r} \quad (IIIa)$$

pour une détermination de calcul de r . On représente graphiquement des couples de valeurs x et y (voir fig. 4) avec $x^2 + y^2$ comme abscisse et y comme ordonnée et détermine la constante de proportionnalité $\frac{1}{2r}$ de la droite s'approchant des points.

3.2.2 Déviation électro-magnétique; exemple de mesure pour la détermination de $\frac{e}{m}$ et de v

Un électron de la masse m et de la charge e se mouvant perpendiculairement à un champ magnétique $\mu_0 H$ subit une force centripète $\mu_0 H e v$ le forçant dans une trajectoire circulaire. Cette force centripète est équilibrée par la force centrifuge $\frac{mv^2}{r}$:

$$\mu_0 H e v = \frac{mv^2}{r} \quad (I)$$

v signifie la vitesse de l'électron et r est le rayon de courbure.

Détermination de H

De la loi de Biot-Savart il s'ensuit pour le champ H du champ magnétique (presque) homogène de la paire de bobines de Helmholtz

$$H = \frac{n R^2 I}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \quad (IIIb)$$

n = nombre de spires par bobine;

R = rayon de la bobine;

a = demi distance des bobines moyenne;

I = courant par bobine.

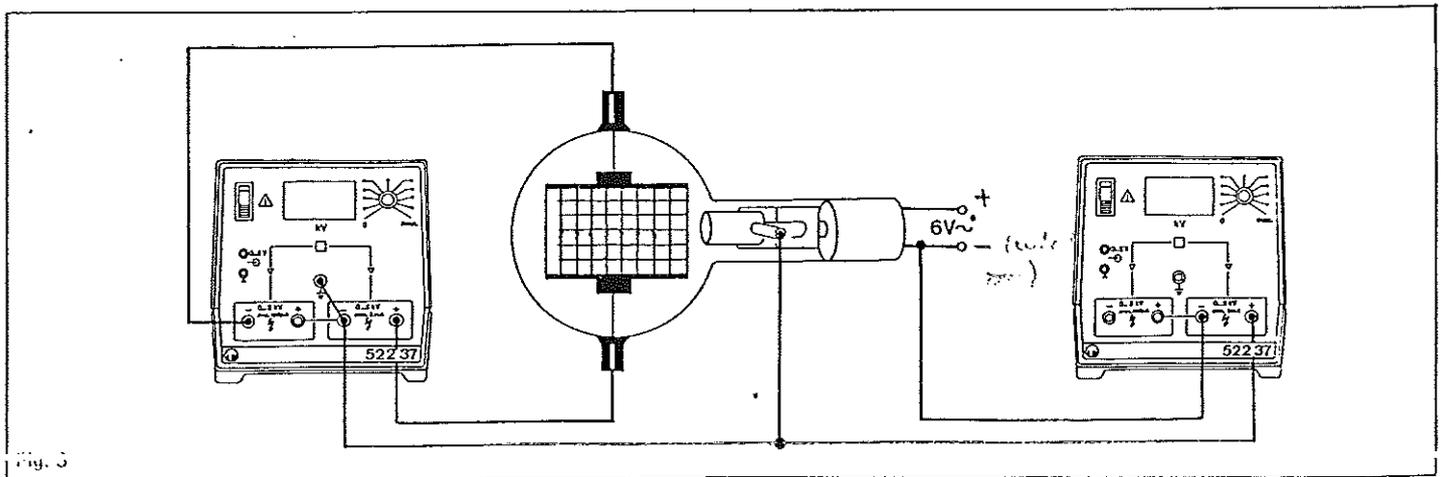


Fig. 3

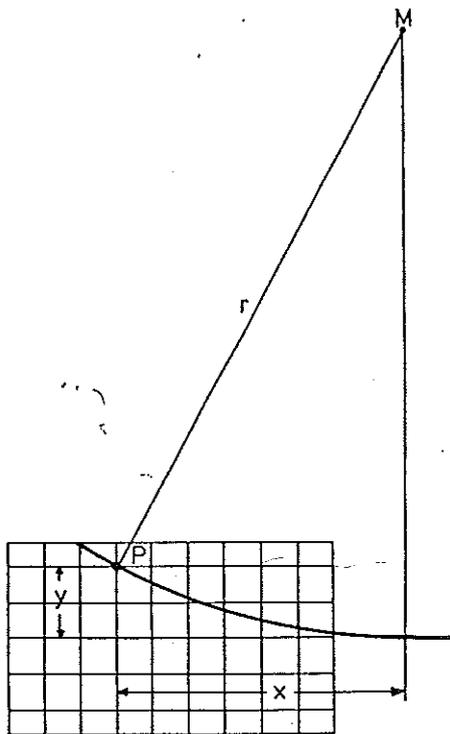


Fig. 4

our la paire de bobines de Helmholtz disponibles ici, il
 ensuit avec
 $n = 320$ (indiqué),
 $r = 6,8 \text{ cm}$ (mesuré) et
 $r = 3,4 \text{ cm}$ (mesuré)
 $H = 33,8 \cdot 10^2 \text{ m}^{-1} \cdot I$

Exemple de mesure

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U_A}{\mu_0^2 H^2 r^2}$$

tension anodique $U_A = 4000 \text{ V}$

courant de bobine $I = 0,31 \text{ A}$

champ magnétique

$$H = 33,8 \cdot 10^2 \cdot 0,31 \text{ Am}^{-1} = 10,5 \cdot 10^2 \text{ Am}^{-1}$$

Détermination graphique de r suivant (IIIa) de plusieurs paires
 de valeur x, y (voir Fig. 6)

$$y = \frac{1}{2r} [x^2 + y^2]$$

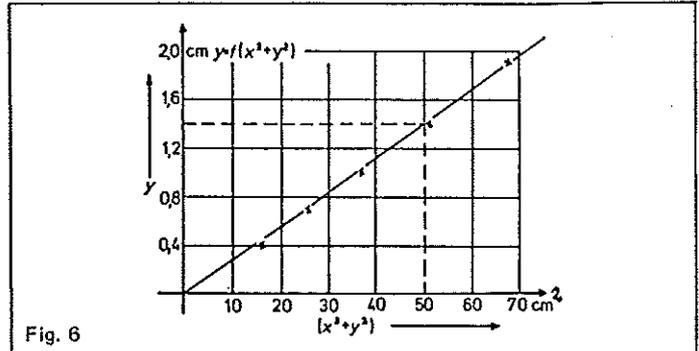


Fig. 6

x	cm	4	5	6	7	8
y	cm	0,4	0,7	1,0	1,4	1,8
$x^2 + y^2$	cm ²	16,2	25,5	37,0	51,0	67,2
$\tan a = \frac{1}{2r}$	$\frac{1}{\text{cm}}$	0,028 (prélevé du diagramme 6)				
r	cm	17,9				

Pour $\frac{e}{m}$ il s'ensuit avec

$$U_A = 4000 \text{ V},$$

$$H = 10,5 \cdot 10^2 \text{ Am}^{-1},$$

$$r = 0,179 \text{ m},$$

$$\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Vs A}^{-1} \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot 4000}{(1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 10,5 \cdot 10^2 \cdot 0,179)^2} \text{ As kg}^{-1}$$

$$= 1,45 \cdot 10^{11} \text{ As kg}^{-1}$$

aire le montage selon la Fig. 5;

onner les bobines en série de manière qu'elles soient tra-
 versées par le courant dans la même direction.

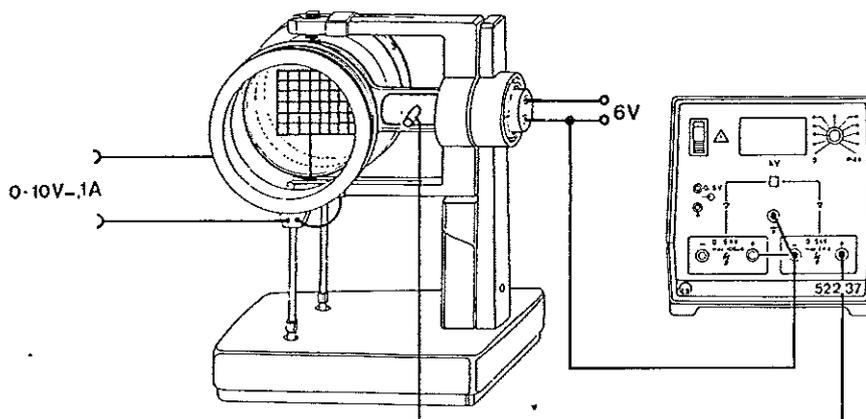


Fig. 5