Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 42 (1916)

Artikel: Vérification expérimentale de la formule de Lorentz-Einstein par les Rayons cathodiques de grande vitesse [suite]

Autor: Guye, C.-E. / Lavanchy, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-743301

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE

DE LA

FORMULE DE LORENTZ-EINSTEIN

par les Rayons cathodiques de grande vitesse

PAR

C.-E. GUYE et Ch. LAVANCHY

(Suite [1]*)*

(avec la pl. I)

III. Dispositif expérimental et mesures préliminaires

Le schéma général (fig. 1) et sa légende explicative donnant avec des détails suffisants la disposition des divers appareils utilisés dans nos expériences, nous passerons immédiatement à la description de chacun d'eux.

1. *Machine statique.* — La tension aux bornes du tube cathodique était fournie par une *machine de Wimshurst* à 8 plateaux. Entraînée par un moteur à une vitesse de 1100 à 1500 tours, cette machine nous a donné une tension et un débit suffisants pour produire sans utilisation de lumière ultraviolette l'émission de rayons cathodiques d'une vitesse voisine de la moitié de celle de la lumière. Il est presque inutile de rappeler que les machines statiques jouissent d'un avantage énorme sur les transformateurs, quelquefois employés ; elles donnent en effet une tension beaucoup plus constante que ces derniers, même munis de commutateurs tournants et de soupapes ; l'émission cathodique est donc beaucoup plus régulière et surtout plus homogène.

[1]) Voir *Archives,* t. XLII, p. 286.

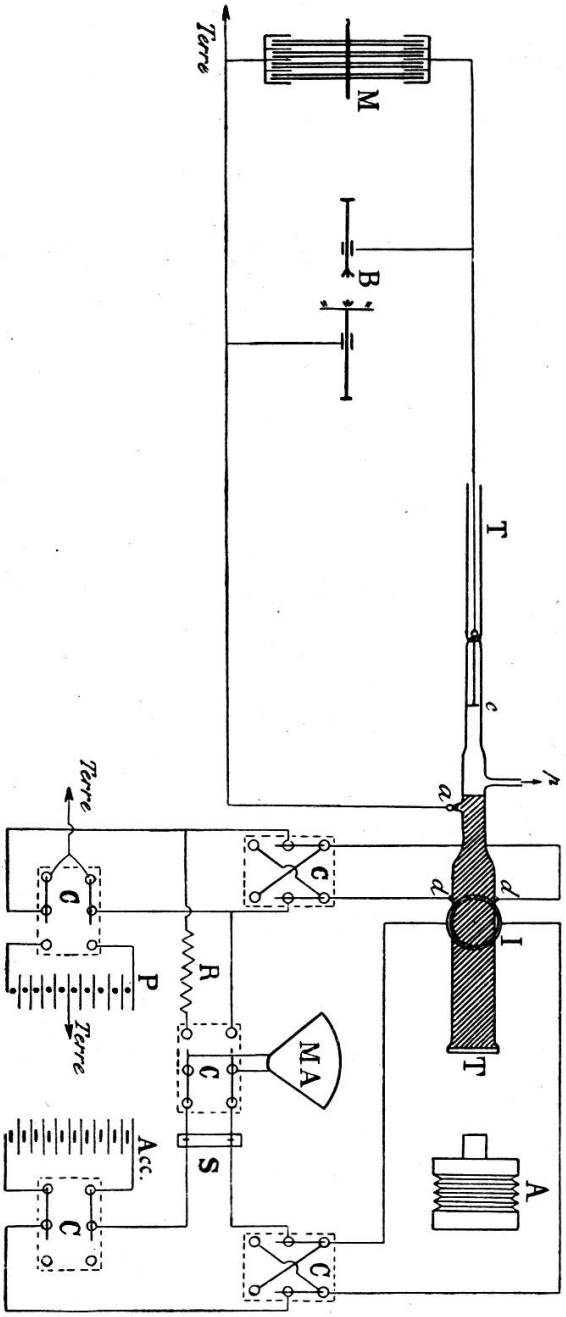


Fig. 1. — Schéma général

M, machine statique; B, balais régulateurs; TT. tube cathodique; *c*, cathode: *a*, anode; *p*, tube relié à la pompe; *dd*, conducteurs reliés aux plateaux du condensateur; I, bobines produisant le champ magnétique déviant; A, appareil photographique; CC, commutateurs-interrupteurs; MA, milliampèremètre; S, shunt; R, résistance pour le milliampèremètre servant de voltmètre; P, batterie de piles; A*cc*, accumulateurs.

On sait d'autre part la difficulté que l'on éprouve à obtenir un bon fonctionnement de tubes cathodiques dès qu'il s'agit de produire des rayons de grande vitesse. Nous y sommes parvenus en règlant le degré de vide dans le tube, en même temps que la tension et le débit à la cathode.

Nous utilisions la machine statique de la façon suivante : une fois le degré de vide obtenu dans le tube, nous interrompions le fonctionnement de la pompe; puis le débit et la tension étaient réglés au moyen d'un système de balais B dont on pouvait faire varier le nombre et l'écartement. Ces balais fonctionnent en effet à la façon d'un circuit dérivé et permettent d'obtenir par leur réglage tel débit ou telle tension que l'on désire au tube cathodique.

Pour chaque vitesse cathodique, nous sommes arrivés, par des tâtonnements souvent très longs, à régler le degré de vide dans le tube, la vitesse de rotation de la machine, et enfin l'écartement et le nombre des balais qui donnaient à l'émission son maximum de stabilité. Dans ces conditions, la tache que produisaient sur le fond du tube les rayons cathodiques déviés était très approximativement circulaire (comme le diaphragme). Cette tache conservait dans toutes nos mesures, aux grandes comme aux petites vitesses, une forme toujours la même. On avait ainsi la preuve de la grande homogénéité des faisceaux utilisés.

2. *Tube cathodique.* — Nous avons, après un certain nombre d'essais, adopté pour notre tube définitif la forme donnée par la figure ci-dessous (fig. 2).

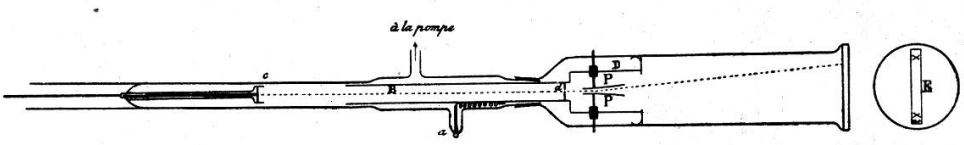


Fig. 2. — Tube cathodique

Ce tube a une longueur totale de 80 c/m environ. Son diamètre qui est de 3 c/m au voisinage de la cathode augmente près de l'anode ; et c'est dans un cylindre 8 c/m de diamètre environ que passe le faisceau dévié.

Pour faciliter le montage et le réglage des pièces placées à son intérieur, le tube était composé de deux parties réunies par un rodage ; un disque de verre également rodé le fermait à son extrémité. Les joints de ces trois pièces ont été rendus parfaitement étanches au moyen d'une cire blanche, sorte de cire à cacheter très fine et très adhérente.

La cathode *c* était en aluminium. D'autres métaux, essayés au cours de nos recherches préliminaires, et notamment le cuivre et le laiton, nous donnèrent rapidement, par suite de leur désintégration, des dépôts métalliques sur la paroi interne des tubes qui devenait ainsi conductrice.

L'anode *a* était constituée par un cylindre de laiton B relié à la terre. Un diaphragme *d* percé à son centre d'une ouverture circulaire de 0,2 m/m et fixé à l'intérieur du cylindre anode limitait l'émission cathodique à un très mince faisceau. A ce tube anode était directement fixé un second cylindre de laiton D, de plus grand diamètre, et destiné à supporter les pièces du condensateur produisant la déviation électrique.

Nous avons en outre recouvert de papier d'étain, également relié à la terre, la partie du tube comprise entre l'anode et le fond ; cette partie est recouverte de hachures dans le schéma général.

Ainsi, les rayons cathodiques pénétraient, à une distance de 10 c/m environ de la cathode, dans un cylindre de Faraday constitué par les cylindres B et D et par le papier d'étain ; dans ces conditions, le faisceau cathodique était soustrait sur la presque totalité de son parcours à l'action des champs électrostatiques extérieurs.

On avait fixé sur la plaque de verre fermant le tube un écran E au tungstate de calcium, cette substance jouissant de la propriété de donner, sous l'influence du faisceau cathodique, une fluorescence bleue, très actinique au point de vue photographique. Sur cette substance étaient tracés deux repères permettant, comme on le verra plus loin, de déterminer l'échelle des clichés photographiques obtenus dans les mesures.

Enfin, le vide à l'intérieur du tube s'obtenait par une pompe Gaede combinée avec une pompe à enveloppe, dispositif du reste très courant actuellement dans les laboratoires. Nous

avons remarqué très nettement, quoique d'une façon qualitative seulement, au cours de nos recherches préliminaires, la relation existant entre la distance cathode-anode et le degré de vide nécessaire à l'émission d'un faisceau cathodique de vitesse déterminée [1].

Ce sont en partie ces constatations qui nous ont amenés à adopter plusieurs des dimensions de notre tube. Nous avons ainsi, sans qu'il soit nécessaire de faire usage d'air liquide ni de charbon, et sans l'intervention d'éclairage ultraviolet [2], obtenu des rayons de très grande vitesse.

3. *Compensation du champ magnétique terrestre.* — Le champ magnétique terrestre agit évidemment sur le faisceau cathodique et produit, aux petites vitesses surtout, une déviation très appréciable. Le seul moyen d'éliminer son action est de le compenser par un champ contraire aussi homogène que possible. L'importance de cette compensation, ainsi que le mode utilisé ont été exposés antérieurement [3]. Comme nous avons utilisé à cet effet le dispositif même dont se sont servis MM. C. E. Guye et S. Ratnowsky, nous nous dispensons d'y revenir en détail. Rappelons seulement qu'il se composait de deux systèmes de cadres perpendiculaires, de très grandes dimensions, dont l'un compensait la composante horizontale, l'autre la composante verticale du champ terrestre.

Il importe de remarquer que, l'axe du tube étant dirigé dans le plan du méridien magnétique, la déviation du faisceau cathodique par le champ terrestre est *horizontale.* Une petite erreur de compensation déplace donc légèrement la trajectoire dans le sens horizontal ; et comme nos mesures s'effectuaient sur des déviations *verticales*, l'influence de cette erreur était pratiquement nulle. Malgré cela, l'intensité du courant passant dans les bobines compensatrices a été contrôlée fréquemment au cours des mesures et maintenue constante, ceci afin d'assurer une parfaite symétrie au dispositif.

[1]) Voir à ce sujet, les recherches de M. Hirch. *Phys. Zeit.*, 1907.

[2]) Remarquons que soit M. Proctor, soit M. Hupka n'ont obtenu leurs grandes vitesses qu'en éclairant la cathode avec un faisceau de lumière ultraviolette.

[3]) Ch. Eug. Guye et S. Ratnowsky, loc. cit.

4. *Champ électrique.* — Le condensateur produisant le champ électrique était composé de deux plateaux PP de laiton de forme spéciale. Les dimensions étaient approximativement les suivantes : 2,4 c/m $\times$ 5 c/m. La surface de ces plateaux n'était pas plane, mais cintrée comme l'indique la fig. 2. Cette forme spéciale paraît présenter plusieurs avantages. Elle rend la méthode des trajectoires identiques plus rigoureuse qu'avec un condensateur plan puisque la forme des surfaces équipotentielles se rapproche ainsi de celle de la trajectoire parcourue par les faisceaux cathodiques. La force agissante étant alors en chaque point, plus exactement normale à la direction de marche de l'électron, celui-ci conserve de ce fait, pendant son passage dans le champ électrique, une vitesse plus rigoureusement constante. Enfin, cette courbure a surtout un avantage pratique : en éliminant l'incertitude provenant du passage du faisceau cathodique très près des bords des plateaux, elle permet d'opérer avec sécurité sur de plus grandes déviations. Dans nos expériences, la distance des deux plateaux était de 4,5 m/m à l'entrée du faisceau et de 9 m/m environ à l'autre extrêmité.

Ces plateaux étaient supportés par deux tiges métalliques fixées elles-mêmes au moyen d'anneaux d'ébonite au cylindre D (fig. 2). Ces tiges étaient mises en relation avec l'extérieur par deux fils conducteurs traversant le verre. Le cylindre D pouvait être retiré du tube sans trop de difficultés ; nous sommes arrivés ainsi à faire un réglage très exact de nos plateaux avant leur mise en place, ce qui est absolument impossible quand ces derniers sont fixés directement et définitivement au tube.

La différence de potentiel au condensateur était fournie par une batterie de piles sèches pour lampes électriques de poche. Nous disposions d'un ensemble de 250 piles, de trois éléments chacune, donc d'une tension pouvant s'élever jusqu'à environ 1000 volts. Le milieu de la batterie était à la terre ; nous étions sûrs ainsi de charger les plateaux symétriquement aux potentiels $+\frac{V}{2}$ et $-\frac{V}{2}$. Une telle batterie donne une tension très constante, surtout si l'on a soin de remplacer au fur et à mesure les éléments défectueux.

On verra sur le schéma général la disposition des interrupteurs et des commutateurs permettant d'obtenir la déviation électrique au-dessus et au-dessous de la position du faisceau non dévié.

5. *Champ magnétique.* — Le champ magnétique était fourni par une paire de bobines placées de façon à produire une déviation verticale du faisceau cathodique, et parcourues par un courant provenant d'une batterie d'accumulateurs de grande capacité.

Nous avons adopté des bobines d'un petit diamètre, 8 c/m environ ; car elles ont l'avantage de donner un champ magnétique très faible dans la région voisine de la cathode, région dans laquelle les électrons prennent leur vitesse. Une étude expérimentale nous a du reste montré que l'action de ce champ, au voisinage de la cathode, était tout à fait négligeable, étant données les grandes dimensions de notre tube et les faibles dimensions des bobines.

6. *Mesure de V et de I.* — Nous venons de décrire le dispositif permettant d'obtenir des champs électrique et magnétique convenables. Voyons maintenant l'instrument dont nous nous sommes servis pour la mesure de la tension V et du courant I produisant ces champs.

Nous avons repris le milliampèremètre de Simens et Halske déjà utilisé par MM. C. E. Guye et S. Ratnowsky. Cet instrument pouvait fonctionner soit comme voltmètre pour la mesure de V par l'adjonction d'une grande résistance, soit comme ampèremètre pour celle de I au moyen d'un shunt convenable. Le schéma général montre la disposition des connexions, des interrupteurs et des commutateurs permettant de mettre ce milliampèremètre en communication soit avec la batterie de piles, soit avec les accumulateurs.

Il fallait, pour éviter toute erreur systématique, vérifier avec un soin tout particulier la graduation de l'instrument. Ce contrôle, nous l'avons fait à diverses reprises au cours de nos expériences. L'homogénéité de l'échelle a toujours été trouvée exacte, aux erreurs d'expérience près bien entendu. Voici du reste à titre d'exemple deux séries de mesures effectuées dans ce but, la première au début de nos expériences, la deuxième à la fin.

1re série				2me série	
$\delta_{observée}$	$\delta_{calculée}$	$\delta_{observée}$	$\delta_{calculée}$	$\delta_{observée}$	$\delta_{calculée}$
140.95	140.9	54.75	54.66	100.70	100.74
121.75	121.7	51.85	51.79	69.65	69 62
109.60	109.56	49.18	49.19	67.45	67.42
98.65	98.65	39.40	39.36	38.75	38.74
89.75	89.65	35.13	35.15	32.00	31.95
61.60	61.60	34.03	33.93	29.15	29.18

La graduation de ce milliampèremètre permet, grâce à sa netteté, de faire des lectures au dixième de division. Et comme sur l'instrument nos mesures les plus faibles étaient encore supérieures à 30 divisions, on pouvait donc dans la grande majorité des cas mesurer I et V à moins de 1/4 %.

Insistons aussi sur le fait que dans le cas de nos mesures les *valeurs relatives* de V et de I interviennent seules dans les calculs ; on pourrait donc se dispenser de vérifier les indications absolues du milliampèremètre.

Enfin, les grandes résistances branchées en série sur le voltmètre ont été à diverses époques soigneusement contrôlées avec une boîte Carpentier de haute précision.

Ainsi l'idée d'une erreur systématique appréciable provenant de l'instrument de mesure doit, nous semble-t-il, être complètement écartée.

7. *Dispositif photographique.* — L'appareil photographique employé était muni d'un objectif à grande ouverture et à court foyer. Sa forme générale ainsi que sa position par rapport au tube sont données par le schéma ci-après (fig. 3).

La plaque photographique était portée par un châssis ; celui-ci, engagé dans une glissière, pouvait subir au moyen d'une vis *v* un déplacement latéral. Un ressort R dont l'extrémité s'engageait dans une série de crans, permettait de faire progresser ce châssis d'une quantité toujours la même. Ainsi chaque cliché était capable d'enregistrer tout un ensemble de déterminations, puisque une seule de ces déterminations, composée de deux déviations électriques et de deux déviations magnétiques toutes quatre verticales, n'utilisait qu'une bande

très étroite de la plaque photographique. En outre un écran E, dans lequel était découpée une fente *f* correspondant à la région où venait se former l'image des traces fluorescentes, protégeait le reste du cliché contre les rayons de lumière diffuse qui auraient pu pénétrer dans l'appareil.

Cet appareil photographique était lui-même fixé à un socle suffisamment lourd et massif pour éviter tout déplacement, une fois la mise au point terminée.

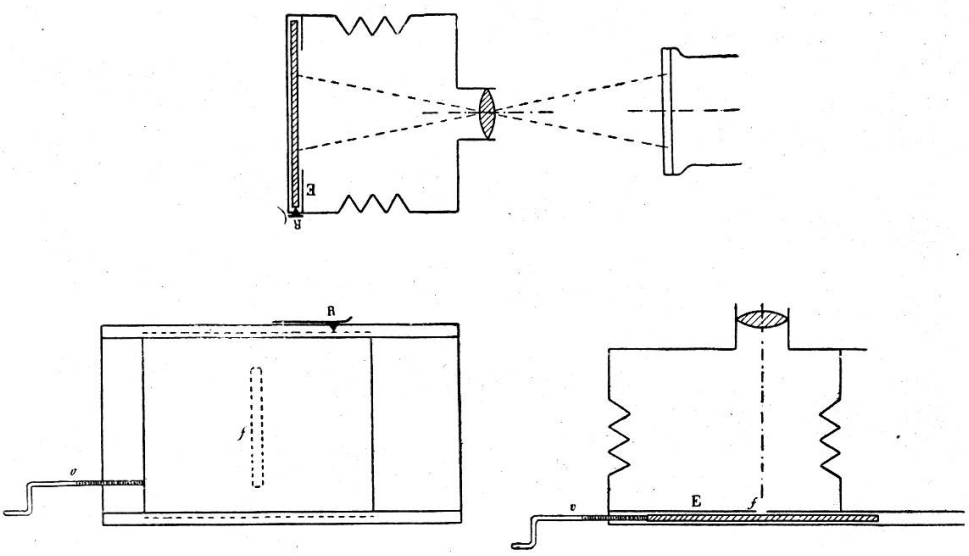


Fig. 3. — Dispositif photographique.
E, écran ; *v*, vis déplacement du cliché ; R, ressort d'arrêt ; *f*, fente.

Les dimensions et la disposition des appareils étaient telles que l'image sur le cliché photographique avait très approximativement les dimensions de l'objet. C'est ainsi que les deux points de repère tracés sur le fond du tube à une distance de 69,2 m/m étaient distants sur nos clichés photographiques de 69,3 m/m pour une partie de nos mesures et de 68,4 m/m pour l'autre partie.

Ces points de repère, indiqués sur la fig. 2 et visibles sur les reproductions de clichés données à la fin de ce travail étaient constitués par deux croix tracées en noir sur la plaque fermant le tube avant l'application de la poudre blanche de tungstate de calcium. On les photographiait au commencement et à la fin de chaque série de mesures effectuées sur une même plaque.

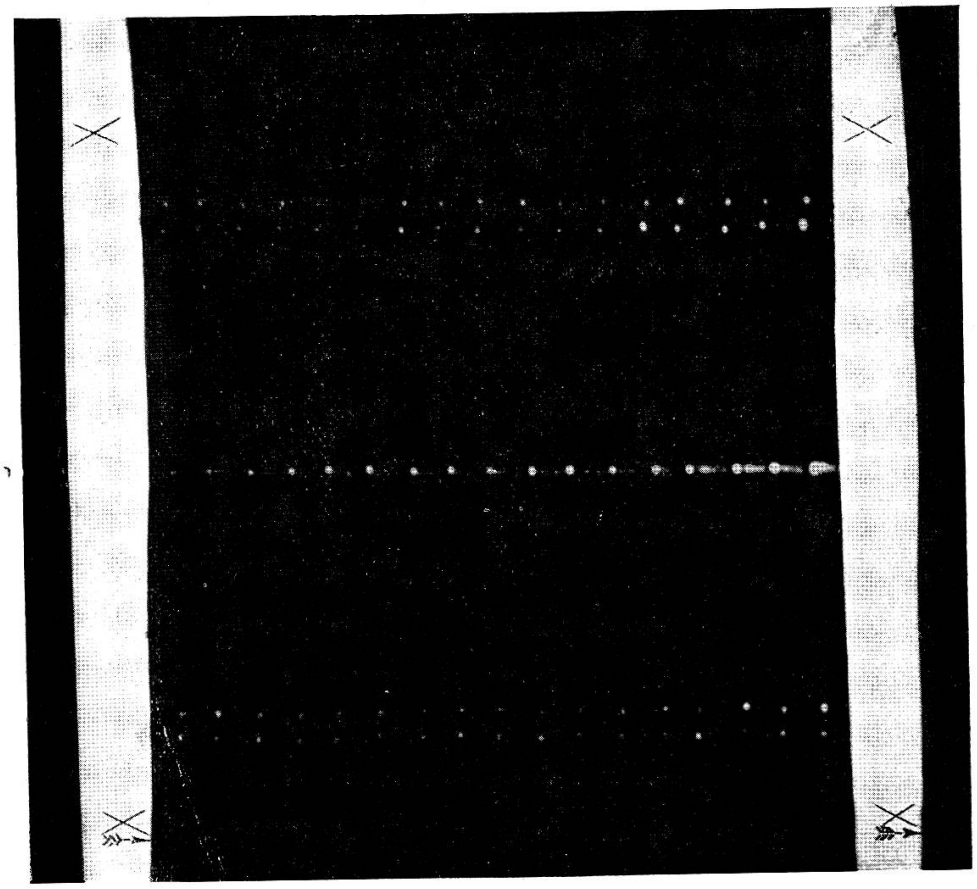
A cet effet, un éclairement rapide de l'écran au moyen d'une lampe électrique ordinaire produisait sur le cliché une bande noire et deux petites croix très nettes, quoique peu intenses. La distance de ces repères nous donnait l'échelle du cliché. On obtenait ainsi facilement le rapport de la grandeur de l'image à l'objet ; et il était possible de faire subir aux mesures la correction nécessitée par un changement de cette échelle, changement qui aurait pu provenir soit d'une nouvelle mise au point éventuelle, soit d'un déplacement accidentel d'une partie du dispositif photographique, soit enfin d'une modification très peu probable de la couche de gélatine du cliché au cours du développement[1].

La fluorescence produite sur le tungstate par un faisceau de petite vitesse étant très intense, on obtient facilement dans ce cas, une rapidité d'opération suffisante avec des plaques ordinaires. Dans ces conditions, les plaques *Wellington*, *Bleues Lumière*, nous ont donné d'excellents résultats. Mais aux grandes vitesses, il est de toute importance, pour réduire le temps de pose au minimum, de prendre des plaques photographiques d'extrême sensibilité. Nous avons alors utilisé exclusivement les marques *Capella*, plaques italiennes, et *Violettes Lumière*.

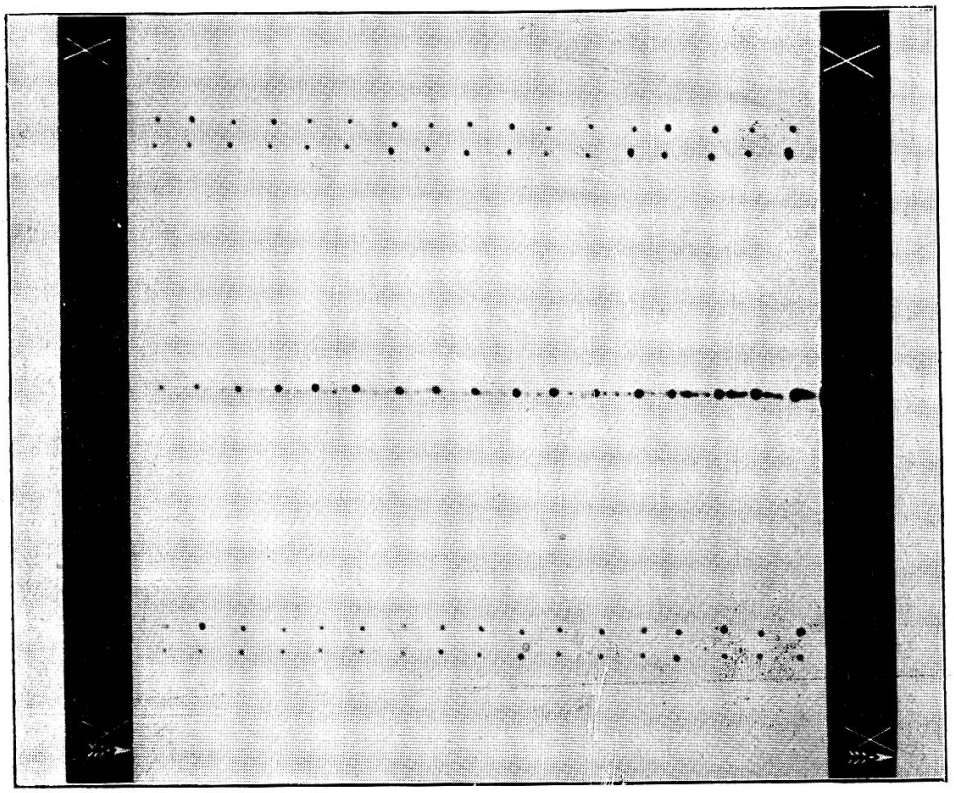
A la rapidité d'impression photographique devait correspondre un maniement rapide du dispositif ; à cet effet, les commutateurs et interrupteurs étaient placés de façon telle qu'ils pouvaient être manœuvrés très commodément, même dans l'obscurité. De telle sorte qu'une détermination, composée d'une double déviation magnétique et d'une double déviation électrique se faisait, avec un peu d'habitude, en moins de cinq secondes ; exceptionnellement la pose a été plus longue pour les très grandes vitesses, environ dix secondes. Dans ces conditions, la variation de dureté du tube n'avait plus que fort peu d'importance.

Pour rendre les clichés plus compréhensibles, nous devons

[1]) Au cours de nos mesures, un déplacement accidentel a été nettement constaté par ces variations d'échelle : celui du tube lui-même par rapport au reste du dispositif. Nous avons alors dû abandonner la première série de déterminations et en reprendre une nouvelle.



Apparence du phénomène



Apparence du négatif

encore faire diverses remarques. Les déviations magnétique et électrique étant toutes deux verticales, on ne peut les distinguer nettement qu'à la condition de les faire d'inégale grandeur. Toujours la plus grande déviation est la déviation magnétique[1], et la plus petite la déviation électrique. Enfin, on verra sur nos clichés une petite flèche voisine de l'un des deux points de repère : elle indique l'ordre dans lequel ont été faites les diverses déterminations.

Donc en résumé, avec notre système photographique, nous obtenions sur chaque cliché tout un ensemble de déterminations (en général de 10 à 18). Chacune de ces déterminations comprenait 5 points disposés verticalement : le point central correspondait au faiseau non dévié, les deux points extrêmes à la double déviation magnétique et les deux points intermédiaires à la double déviation électrique.

Cet ensemble de déterminations était effectué sans apporter de modification au fonctionnement de la machine statique et sans faire agir la pompe de Gæde ; la vitesse du faisceau restait donc sensiblement constante. Une lecture de l'intensité aux bobines et de la tension aux plateaux faite au milliampèremètre au commencement et à la fin de la série, ainsi que la photographie des points de repère fournissaient avec la mesure des déviations les divers éléments nécessaires aux calculs.

8. *Mesures des déviations sur les clichés photographiques.* — Le faisceau dévié produisait sur le fond du tube, donc sur le cliché photographique qui est son image, de petites taches très approximativement circulaires (voir planche I). Il fallait donc mesurer sur les clichés (négatifs) les distances correspondant à la double déviation électrique et à la double déviation magnétique.

Nous avons essayé, au cours de nos recherches préliminaires, plusieurs procédés de mesure. Et, quoique les centres des

[1]) La dérivation magnétique a été choisie la plus grande parce que, d'une part, la méthode des trajectoires identiques est alors tout à fait rigoureuse, ce qui ne serait peut-être plus le cas pour de très grandes déviations électriques (influence des bords du condensateur) ; et parce que, d'autre part, cette déviation magnétique entre au carré dans nos formlues fondamentales ; elle doit donc être connue plus exactement.

taches ne fussent pas nettement définis, des mesures faites au moyen de méthodes différentes donnèrent exactement les mêmes résultats. Du reste, l'œil est particulièrement sensible à un défaut de symétrie ; et, soit que nous centrions sur la tache un petit rond tracé sur une lame transparente, soit que nous cherchions la position du centre de la tache par rapport aux traits d'une règle graduée au $^1/_{10}$ de millimètre et appliquée sur le cliché, soit même que nous centrions la tache au moyen d'une carte perforée d'un orifice circulaire, les mesures donnaient des chiffres extrêmement concordants. Voici, à titre d'exemple, deux séries de mesures préliminaires effectuées sur une même distance par les deux premiers procédés, que nous avons plus particulièrement étudiés :

Centrage d'un rond		*Règle au $^1/_{10}$ de m/m.*	
	22.10		22.15
	22.05		22.10
	22.15		22.10
	22.15		22.20
Moyenne	22.11	Moyenne	22.14

Nous nous sommes arrêtés en définitive, pour nos mesures, au procédé de la règle graduée au $^1/_{10}$ de mm., de beaucoup le plus pratique.

En admettant une approximation égale à $^1/_{10}$ de mm. pour chaque lecture, ce qui n'est nullement exagéré, nous pouvions compter sur une précision voisine du $^1/_{300}$ sur la lecture d'une détermination isolée. Et comme nos calculs étaient faits avec des valeurs moyennes correspondant dans la majorité des cas à des moyennes obtenues sur un ensemble de plus de 10 déterminations, les erreurs d'expérience devaient s'éliminer en grande partie.

Cette méthode de mesure est encore très longue ; et nous avons reconnu dans la suite que l'on atteignait une précision tout aussi grande en procédant d'une autre façon. On tendait le long du cliché deux fins cheveux placés de telle façon que leur distance représentât aussi bien que possible l'ensemble des déterminations enregistrées sur cette plaque photographique. Au moyen de la même règle au $^1/_{10}$ de mm., on faisait deux lec-

tures de cette distance ; l'une en regard de la première détermination, l'autre en regard de la dernière. Cette façon de déterminer la distance moyenne était très rapide et ne diminuait pas la précision d'une façon appréciable. Toute la seconde partie de nos résultats a été calculée au moyen de chiffres obtenus par ce procédé-là.

Il importe de remarquer, enfin, que nous avons éliminé de nos résultats, *avant leur mesure*, les clichés n'offrant pas une régularité suffisante. Le fonctionnement du tube peut, en effet, subir accidentellement un brusque changement au cours d'une expérience ; aussi les quelques plaques sur lesquelles ne se trouvaient pas au moins trois déterminations successives, correspondant à une vitesse très approximativement la même, étaient écartées d'emblée. Cette élimination nous permettait de ne conserver que les clichés présentant le maximum de sécurité, ceux pour lesquels la dureté du tube s'était maintenue constante.

9. *Variations des Constantes A et B.* — Nous avons dit dans notre partie théorique que les intégrales de champ A et B peuvent être considérées comme pratiquement constantes, même pour des déviations qui ne restent pas rigoureusement identiques. Nous allons donner maintenant quelques détails sur l'étude expérimentale entreprise pour rechercher l'ordre de grandeur de la variation de ces quantités A et de B en fonction des déviations x et y.

Ces recherches ont été effectuées sur des faisceaux cathodiques de vitesse relativement faible, le tube fonctionnant dans ces conditions avec le maximum de régularité ; car il est nécessaire de maintenir une vitesse aussi constante que possible pendant un ensemble d'observations. Au reste, les faibles erreurs provenant des petites variations accidentelles de vitesse, variations qu'il n'est jamais possible d'éviter complètement, n'ont plus d'influence sur les moyennes par le fait du grand nombre de mesures effectuées.

Voyons successivement comment nous avons mis en évidence la variation des constantes A et B.

a) *Constante A.* — Soit une série de déviations électriques x_0, x_1, ..., x_n effectuées sur un faisceau cathodique de vitesse

constante v, et obtenues en portant respectivement les plateaux du condensateur aux tensions V_0, V_1, ... V_n. Ces déviations nous donnent les équations :

$$\text{(XIII)} \quad \left\{ \begin{aligned} x_0 &= A_0 \frac{\varepsilon}{\mu} \frac{V_0}{v^2}, \\ x_1 &= A_1 \frac{\varepsilon}{\mu} \frac{V_1}{v^2}, \\ &\dots\dots\dots\dots \\ x_n &= A_n \frac{\varepsilon}{\mu} \frac{V_n}{v^2}. \end{aligned} \right.$$

On en tire les relations suivantes :

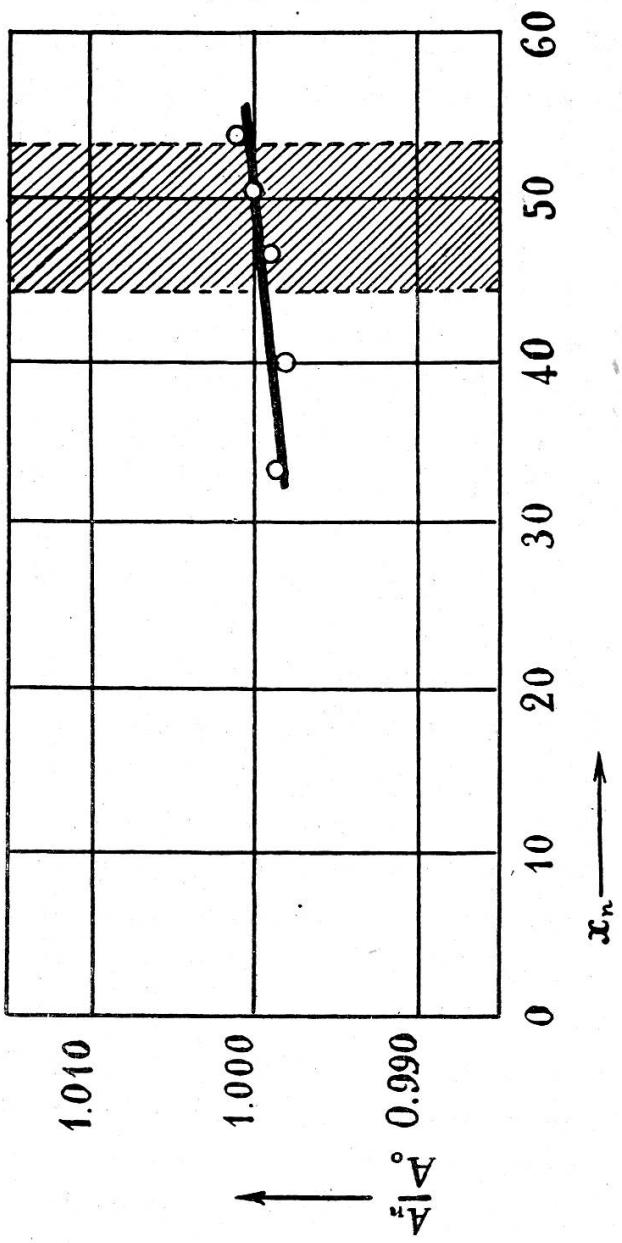
$$\text{(XIV)} \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{A_1}{A_0} &= \frac{x_1}{x_0} \frac{V_0}{V_1}, \\ &\dots\dots\dots\dots \\ \frac{A_n}{A_0} &= \frac{x_n}{x_0} \frac{V_0}{V_n}, \end{aligned} \right.$$

relations qui nous montrent que lorsqu'on connaîtra les valeurs des tensions V_0, V_1, ..., V_n correspondant à des déviations x_0, x_1..., x_n, on pourra aisément calculer le rapport $\frac{A_n}{A_0}$ pour les diverses valeurs des déviations.

Le tableau et le graphique ci-après donnent en résumé les résultats des mesures destinées à mettre en évidence cette variation.

Sur ce graphique, nous avons porté en abcisses les valeurs en m/m. des déviations x_n et en ordonnées les valeurs de $\frac{A_n}{A_0}$. La *déviation moyenne* x_0, à laquelle nous avons rapporté toutes les autres, est très voisine de 50 mm. C'est autour de cette déviation que généralement nous opérions. Un nombre assez grand de déviations s'écarte d'une façon très sensible de cette valeur ; cela tient principalement à deux causes : d'abord à notre souci d'opérer rapidement, et secondement au mode de réglage [1] du potentiel V de la batterie de piles. Quoi qu'il en soit, le graphique nous montre que dans la région des déviations utilisées, région

[1]) Ce réglage se faisait de 25 en 25 volts approximativement.



x_n	$\frac{A_n}{A_0}$
53.9	1.001
50.4	1.000
46.7	0.999
40.0	0.998
33.0	0.999

Fig. 4. — Tableau et graphique représentant la variation du rapport $\frac{A_n}{A_0}$ en fonction de la déviation électrique x_n

couverte de hachures, la quantité A peut être considérée comme pratiquement constante [1].

b) *Constante B.* — Procédant d'une manière absolument analogue dans le cas de la constante B, nous obtenons des relations semblables qui nous donnent la variation de $\frac{B_n}{B_0}$ en fonction de la déviation magnétique y_n. Les résultats de cette étude sont de même résumés par les tableau et graphique ci-après.

La *déviation moyenne* y_0 est dans ce cas voisine de 57 mm. On voit bien que dans la région couverte de hachures s'étendant de part et d'autre de cette déviation moyenne et représentant la région utilisée, la variation de B est pratiquement nulle [2].

Donc, en résumé, nous pouvons *considérer les quantités A et B comme pratiquement constantes pour l'ensemble des déviations que nous avons utilisées. Ce résultat nous autorise à étendre sans modification, à des déviations presque constantes, le principe de la méthode des trajectoires identiques,* et à prendre pour formules fondamentales les relations (XI) et (XII) dans lesquelles ne figurent pas les intégrales de champ.

10. *Détermination de la vitesse absolue des rayons de comparaison.* — Rappelons que la vitesse d'un faisceau cathodique est donnée par la formule

$$v = \sqrt{\frac{A}{x}\frac{\varepsilon}{\mu_0}\frac{\mu_0}{\mu}V}\,. \tag{V'}$$

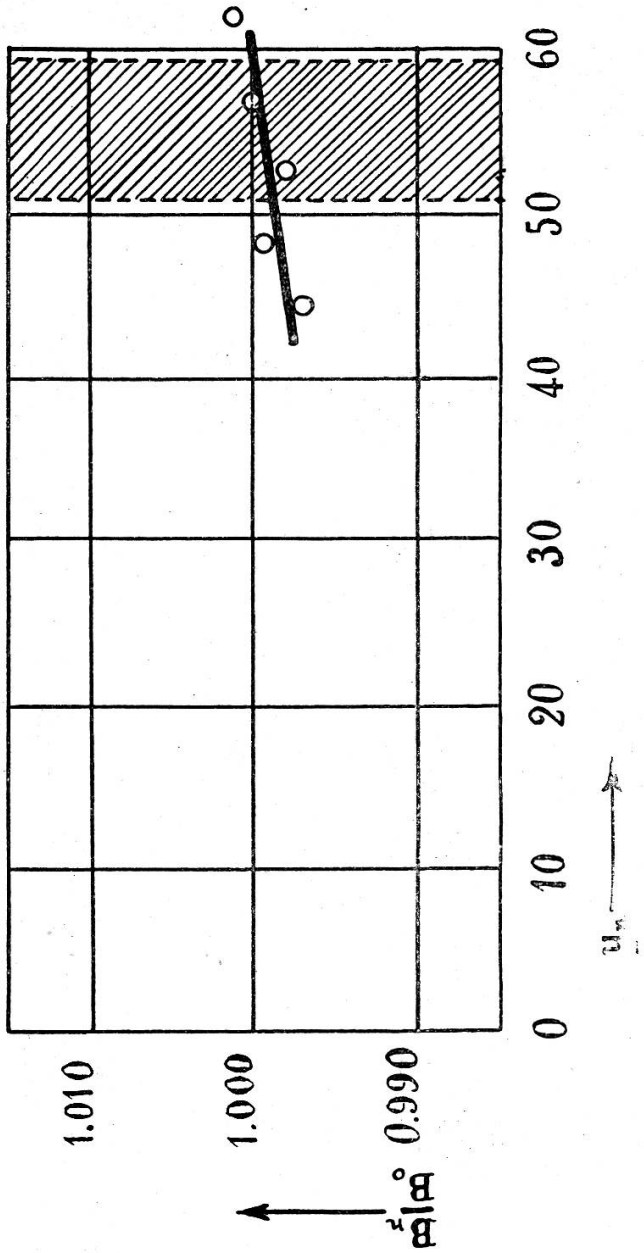
Sa détermination revient donc à la connaissance des valeurs de $\frac{\varepsilon}{\mu_0}$, de $\frac{\mu}{\mu_0}$ et de A.

Quant aux quantités x et V, leur mesure n'offre aucune difficulté.

a) *Valeur de* $\frac{\varepsilon}{\mu_0}$. — De nombreux travaux ont été entrepris

[1]) Exceptionnellement un cliché isolé a été conservé tout en ayant une déviation électrique qui se trouvait en dehors de ces limites; sa mesure nous a donné $x = 34.05$; nous n'avons pas effectué la correction qui, du du reste, comme on le remarque par le tableau, est encore très faible, et négligeable devant d'autres erreurs plus importantes.

[2]) A titre exceptionnel deux clichés ont enregistré des déviations tombant en dehors des limites données par la région couverte de hachures : $y = 60.80$ et $y = 44.18$. Encore ici, il n'y avait pas lieu d'effectuer une correction.



y_n	$\frac{B_n}{B_0}$
61.8	1.001
56.9	1.000
52.8	0.998
48.3	0.999
44.3	0.997

Fig. 5. — Tableau et graphique représentant la variation du rapport $\frac{B_n}{B_0}$ en fonction de la déviation magnétique

depuis quelques années pour déterminer avec exactitude la valeur de $\frac{\varepsilon}{\mu_0}$; on peut actuellement sans craindre une erreur notable admettre pour cette valeur 1.77×10^7. C'est ce chiffre que nous avons introduit dans nos calculs.

b) *Valeur de* $\frac{\mu}{\mu_0}$. — Cette valeur, du reste fort peu différente pour les faibles vitesses suivant l'hypothèse considérée, se calcule par les formules théoriques rappelées dans notre introduction.

c) *Mesure de A.* — La valeur de A est liée, comme on sait, au potentiel de décharge U par la relation

$$\text{(VI)} \qquad A = 2 \frac{U}{V} \frac{\mu}{(\mu)} x .$$

Sa mesure est très délicate, car elle nécessite la détermination de potentiels assez élevés, quoique très inférieurs à ceux mesurés dans la méthode de M. Hupka. Ces potentiels U étaient très voisins de 14.000 volts. Ils auraient donc pu encore être mesurés avec précision au moyen de l'électromètre absolu Bichat-Blondlot. Malheureusement, cet appareil ne se prête guère à des lectures rapides, telles qu'elles doivent être effectuées aux bornes d'un tube cathodique. Nous avons donc préféré nous servir pour ces déterminations de l'électromètre sous pression de MM. C.-E. Guye et A. Tcherniawsky [1] qui ne fournit, il est vrai, que des valeurs relatives, mais qui est à lecture beaucoup plus rapide, et qui peut ensuite être étalonné facilement avec un électromètre absolu. Cet électromètre sous pression fonctionnait très normalement même pour des potentiels bien supérieurs à ceux que nous avions à mesurer. On choisissait du reste, pour effectuer les mesures, le moment où la régularité de l'émission cathodique était la plus grande possible. Les tableaux, donnés plus bas, montrent quel était le degré de régularité de fonctionnement du tube dans ces expériences.

L'étalonnage de l'électromètre sous pression a été ensuite

[1]) C.-E. Guye et A. Tcherniawsky, *Arch. d. Sc. Phys. et Nat.*, **35**, 1913, page 565.

effectué avec beaucoup de soin au moyen de l'électromètre absolu Bichat-Blondlot et *pour la région même de l'échelle que nous avions utilisée dans nos mesures sur les rayons cathodiques.*

Au voisinage de 14.000 volts, l'électromètre sous pression nous permettait d'arriver à une précision minimum de lecture de $^1/_{150}$. D'autre part, les lectures au Bichat-Blondlot pouvaient être faites à environ $^1/_{200}$. On se rend compte ainsi de la précision que nous pouvions atteindre sur la moyenne des mesures, précision qu'il nous aurait été très difficile, sinon impossible, d'obtenir s'il s'était agi de mesurer des potentiels beaucoup plus élevés.

La mesure de A nécessite encore la connaissance du rapport $\frac{\mu}{(\mu)}$ de la masse transversale à la masse cinétique, ces deux masses étant des fonctions de la vitesse calculables par les formules théoriques.

Il suffit donc de calculer pour chacune des hypothèses et par la relation

$$v = 2\frac{U}{V}\frac{\mu}{(\mu)}x\,, \tag{V}$$

la vitesse v des faisceaux étudiés pour obtenir ensuite par les formules théoriques la valeur de $\frac{\mu}{(\mu)}$. Le calcul exact de $\frac{\mu}{(\mu)}$ pouvait aisément se faire par approximations successives. En faisant $\frac{\mu}{(\mu)} = 1$ dans (V) nous en tirions une première valeur de v qui nous permettait de calculer en première approximation les valeurs correspondantes de $\frac{\mu}{(\mu)}$. Introduisant ces nouvelles expressions de $\frac{\mu}{(\mu)}$ dans (V), nous en déduisions de nouvelles valeurs de v, puis de $\frac{\mu}{(\mu)}$. On pouvait donc calculer v ainsi que le rapport $\frac{\mu}{(\mu)}$ pour chacune des deux hypothèses avec toute la précision que l'on désirait. D'ailleurs, pratiquement, la troisième approximation se confondait toujours avec la deuxième.

Ainsi, la valeur de A pouvait être exactement calculée par la formule (VI).

Les expériences qui ont servi à la déterminer ont été effectuées au début et à la fin de nos séries de mesures ; les tableaux ci-après résument ces expériences et donnent la valeur de la constante A dans l'hypothèse de Lorentz-Einstein.

Dans l'hypothèse d'Abraham cette valeur est à peine différente puisque la divergence ne porte que sur le rapport $\frac{\mu}{(\mu)}$ et cela pour des rayons relativement lents. (Voir formule VI).

1re série (au début)		*2me série (à la fin)*	
A	U	A	U
6899	13660	6937	13880
6839	13130	6889	13600
6849	13600	6843	13830
6839	13660	6901	14070
6897	13670	6920	13880
6906	13680	6912	14010
6885	13650	—	—
6901	13650	—	—
Moy. 6890	—	Moy. 6900	—

L'examen de ces deux séries nous montre que les différences entre les diverses valeurs de A ne dépassent jamais l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience ; et que des mesures effectuées à un long intervalle de temps ne donnent aucune différence sensible ; la différence entre les moyennes de ces deux séries est en effet inférieure à $\frac{1}{700}$, précision même plus grande que celle à laquelle nous avions droit d'espérer.

d) *Mesure de v.* — Après avoir ainsi obtenu très exactement la valeur de A, nous avons procédé à un second groupe d'expériences qui devaient nous donner tous les éléments nécessaires à la mesure de la vitesse de comparaison. Dans ces expériences, nous n'avions plus à mesurer le potentiel de décharge puisque la vitesse se calculait par l'équation (V'). Il suffisait d'enregistrer les déviations électrique et magnétique et les tension et intensité produisant les champs déviants. Toute l'attention

pouvait ainsi être portée sur le réglage du fonctionnement même du tube de façon à obtenir pendant toutes les mesures des rayons homogènes, de vitesse constante.

Le calcul a été conduit également par approximations successives. Nous donnons ci-après la valeur moyenne de notre vitesse de comparaison calculée avec des mesures effectuées sur environ 200 déviations du faisceau cathodique ; cette valeur est évidemment légèrement différente suivant que les calculs ont été entrepris d'après l'une ou l'autres des deux théories :

Vitesse de comparaison [1] calculée d'après Lorentz-Einstein

$$\beta = 0.2279$$

Vitesse de comparaison, calculée d'après Abraham $\beta = 0.2286$

Le grand nombre de mesures élimine presque totalement les erreurs fortuites, dont la principale résulte toujours de l'instabilité de l'émission cathodique.

Il eut été semble-t-il beaucoup plus pratique de mesurer le potentiel de décharge relatif aux rayons de comparaison eux-mêmes, et de se dispenser d'effectuer la mesure de la constante A, puisque la détermination d'une vitesse revient toujours en définitive à celle des éléments de l'équation :

$$U\varepsilon = \frac{1}{2}(\mu)v^2.$$

Si nous avons choisi cette méthode, c'est qu'elle nous permettait de séparer les difficultés. Dans un premier groupe de mesures, celui qui nous a donné A, nous pouvions vouer tous nos soins à la détermination de U et de V sans avoir à nous préoccuper de maintenir la vitesse v des rayons rigoureusement constante. Nous pouvions entreprendre ensuite le deuxième groupe qui nous donnait la mesures de x, y, V et I relatifs à la vitesse de comparaison, cette fois sans avoir à lire le potentiel de décharge au tube cathodique.

[1]) Nous donnons cette vitesse rapportée à celle de la lumière prise comme unité.

(A suivre).