

Recherches sur la rotation de la décharge électrique dans un champ magnétique

Autor(en): **Guye, C.-E. / Rothen, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **3 (1921)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-741096>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

RECHERCHES

SUR LA

ROTATION DE LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE
DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE

PAR

C.-E. GUYE et A. ROTHEN

I. — Introduction.

La rotation de la décharge entre deux électrodes circulaires concentriques, sous l'action d'un champ magnétique normal au plan des électrodes, est connue de longue date. Elle a déjà été signalée en 1848 par Auguste de la Rive qui la donna comme une preuve à l'appui de sa théorie de l'aurore boréale, en même temps qu'il voyait en elle un moyen possible d'obtenir des indications nouvelles sur la constitution des corps et la propagation de l'électricité¹.

Les expérimentateurs qui l'étudièrent depuis lors ne sont pas parvenus à établir de relations précises entre les différentes variables de l'expérience, et les résultats acquis, souvent contradictoires, sont plus qualitatifs que quantitatifs.

Nous donnerons ci-après un bref aperçu des travaux dont nous avons pris connaissance, mais nous pouvons noter dès maintenant que les lois établies par leurs auteurs ne sont guère vérifiées par l'expérience qu'avec une approximation de 10⁰/₀.

Aussi avons-nous jugé opportun d'entreprendre de nouvelles

¹ *Arch.* 1849, vol. 12, p. 222.

recherches sur ce sujet, et bien que ces recherches ne nous aient pas conduit encore à des résultats aussi définitifs que nous l'espérons, elles ont précisé un certain nombre des éléments du problème très complexe de la rotation de la décharge électrique dans les gaz.

II. — Etudes antérieures de la rotation de la décharge dans le champ magnétique.

Auguste DE LA RIVE¹ opéra dans un cylindre de verre, faisant passer l'étincelle d'une bobine Ruhmkorff entre un anneau métallique placé dans le bocal à mi-hauteur et l'extrémité d'une tige de fer doux disposée suivant l'axe du vase cylindrique. Le champ magnétique était créé par un électro-aimant au contact duquel se trouvait la tige de fer doux.

Résultats : Avec des électrodes de 3 et 12 cm de diamètre l'air et l'azote donnent sensiblement à même pression des vitesses de rotation identiques. L'introduction de vapeur d'eau augmente la vitesse. Dans l'hydrogène la rotation est intermittente. L'apparence de la lueur et la vitesse de rotation varient avec le temps pendant lequel on fait passer la décharge dans le tube à vide.

En outre A. de la Rive signala la difficulté qu'il y a à placer et maintenir deux appareils semblables dans des conditions identiques. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point dans l'exposé de nos travaux.

A. DE LA RIVE et ED. SARASIN², utilisant un dispositif analogue, arrivèrent aux conclusions suivantes :

1. Dans un même gaz la vitesse de rotation augmente lorsque décroît la pression. Cette augmentation, dans les conditions des expériences citées, a lieu dans un rapport plus faible que celui suivant lequel décroît la pression.

2. Dans des gaz différents, à même pression, les vitesses sont dans un rapport « à peu près » inverse de leur densité.

¹ *Arch.* 1866, vol. 27, p. 289.

² *Arch.* 1871, vol. 41 et 1872, vol. 45.

3. La rotation diminue l'intensité du courant accusée par un galvanomètre.

Les gaz étudiés furent l'air, l'azote, l'acide carbonique et l'hydrogène.

H. A. WILSON et G. H. MARTYN¹. L'appareil utilisé par ces auteurs ne présentait pas de dissymétrie entre les électrodes comme c'était le cas de celui d'A. de la Rive. Il était constitué par deux cylindres de verre coaxiaux, maintenus centrés l'un dans l'autre par deux plateaux métalliques scellés à chacune des extrémités de ces cylindres. Ces plateaux métalliques, platinés, fonctionnaient comme électrodes; la décharge se produisait dans l'espace compris entre les deux tubes de verre, parallèlement à leur axe. Un barreau de fer doux logé dans le tube central portait à chaque extrémité un enroulement de fil de cuivre isolé de façon à produire au milieu du barreau un pôle conséquent dont les lignes de force étaient normales à la décharge.

La distance des électrodes était de 32 mm; le rayon moyen des 2 tubes de 1,33 cm; les expériences portèrent sur l'air, l'hydrogène et le protoxyde d'azote.

MM. Wilson et Martyn établirent que la vitesse est sensiblement proportionnelle au champ magnétique, sauf aux basses pressions (inférieures à 1 mm); elle varie en sens inverse de la densité du gaz, sans toutefois qu'il y ait proportionnalité pour deux gaz différents entre les vitesses et l'inverse des poids moléculaires. Ces auteurs calculèrent la mobilité des ions d'après les données numériques de leurs expériences et obtinrent des résultats sensiblement différents de ceux fournis par d'autres expérimentateurs.

Mobilité des ions positifs à 760 mm, en $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ par $\frac{\text{volt}}{\text{cm}}$		
	Air	Hydrogène
Wilson et Martyn	2,2	25
Zeleny	1,4	6,7
Aston	0,76	7,7

¹ *Proc. of Royal Soc., London, 1907, A. 79, p. 417.*

MALLIK¹ employa un tube de la Rive à électrodes d'aluminium. Il trouva, comme les auteurs précédents, que le rapport $\frac{P}{T}$ de la pression à la période de rotation est approximativement une constante entre deux limites de pression d'ailleurs restreintes; l'auteur fait remarquer que ce rapport croît lorsque la densité du gaz décroît, cela pour des gaz simples seulement, comme l'air, l'hydrogène, l'azote. Si le gaz est susceptible d'être décomposé par la décharge, comme l'anhydride carbonique ou l'anhydride sulfureux, le rapport $\frac{P}{T}$ augmente avec la pression et la densité du gaz. En outre, dans les gaz où $\frac{P}{T}$ est constant, la différence de potentiel entre les électrodes est une fonction linéaire de la pression.

Le compte-rendu de ces expériences fut suivi d'une théorie expliquant qualitativement les différents aspects présentés par la décharge lorsque varie la pression².

Mentionnons encore les travaux de E. BLOCH³ sur le potentiel disruptif dans un champ magnétique H qui permirent de vérifier, pour des pressions inférieures à 1 mm, la formule

$$\left(R - \frac{a^2}{R}\right)^2 = \frac{8m}{e} \frac{V}{H^2}$$

qui donne R le rayon du cercle asymptote vers lequel tend la spirale parcourue par un électron de masse m et de charge e soumis à un double champ électrique et magnétique; V est la différence de potentiel entre les électrodes de rayon a et R entre lesquelles se déplace l'électron.

Citons enfin les recherches de RIGHI⁴, relatives à l'action des ions sur des moulinets soumis à leurs chocs, ainsi que la rotation spontanée de l'arc à mercure observée par M. DUFOUR⁵, mouvement qui présente quelque analogie avec une rotation

¹ *Phil. Mag.*, october 1908, p. 531.

² *Phil. Mag.*, 1912, XXIV, p. 500.

³ *Radium 1911*, p. 54.

⁴ *Radium 1913*, p. 200; *Ann. de phys.*, 3 (1915), p. 5; 4 (1915), p. 229; 9 (1918), p. 259.

⁵ *Soc. franç. de phys.*, 1911, p. 4.

spontanée que nous avons obtenue dans certains cas et sur laquelle nous reviendrons plus loin.

III. — Dispositif expérimental.

Les travaux antérieurs, notamment des recherches inédites faites pendant la guerre à l'Université de Genève, par M. Henger, interné français, avaient laissé entrevoir que la vitesse de rotation dépend de la différence de potentiel entre les électrodes, de l'intensité du courant de décharge, de l'intensité du champ magnétique, de la constitution du gaz, de sa pression, ainsi que de la nature et de la forme des électrodes. Cette dépendance a d'ailleurs été confirmée par nos expériences préliminaires.

Mais les difficultés pour rendre constantes quelques-unes de ces conditions sont très grandes, et pour arriver à ce résultat nous avons monté le dispositif représenté par la fig. 1.

Machine électrostatique. Ma. — Nous avons employé la machine à 8 plateaux d'ébonite (Roycourt, Paris), utilisée par MM. C.-E. Guye et Lavanchy lors de la vérification expérimentale faite par ces auteurs de la formule de Lorentz-Einstein¹. Le pôle négatif était mis à la terre par l'intermédiaire d'une conduite d'eau.

La mesure de la *tension* s'est effectuée au moyen d'électromètres de Braun E. Nous en avons utilisé deux, suivant la valeur de la tension; l'un donnant des indications entre 0 et 2500 volts, l'autre entre 0 et 5000.

Intensité du courant de décharge. — Un microampèremètre Hartmann et Braun A était placé dans le circuit avec un shunt qui en diminuait la trop grande sensibilité. Une division de cet appareil shunté correspondait à $3,6 \times 10^{-2}$ milliampères en courant continu. Toutefois les indications de ce milliampèremètre placé dans le circuit de décharge dépendaient de la self-induction du circuit. Ce dernier était donc le siège de courant rapidement

¹ *Arch.* 1916, vol. 42.

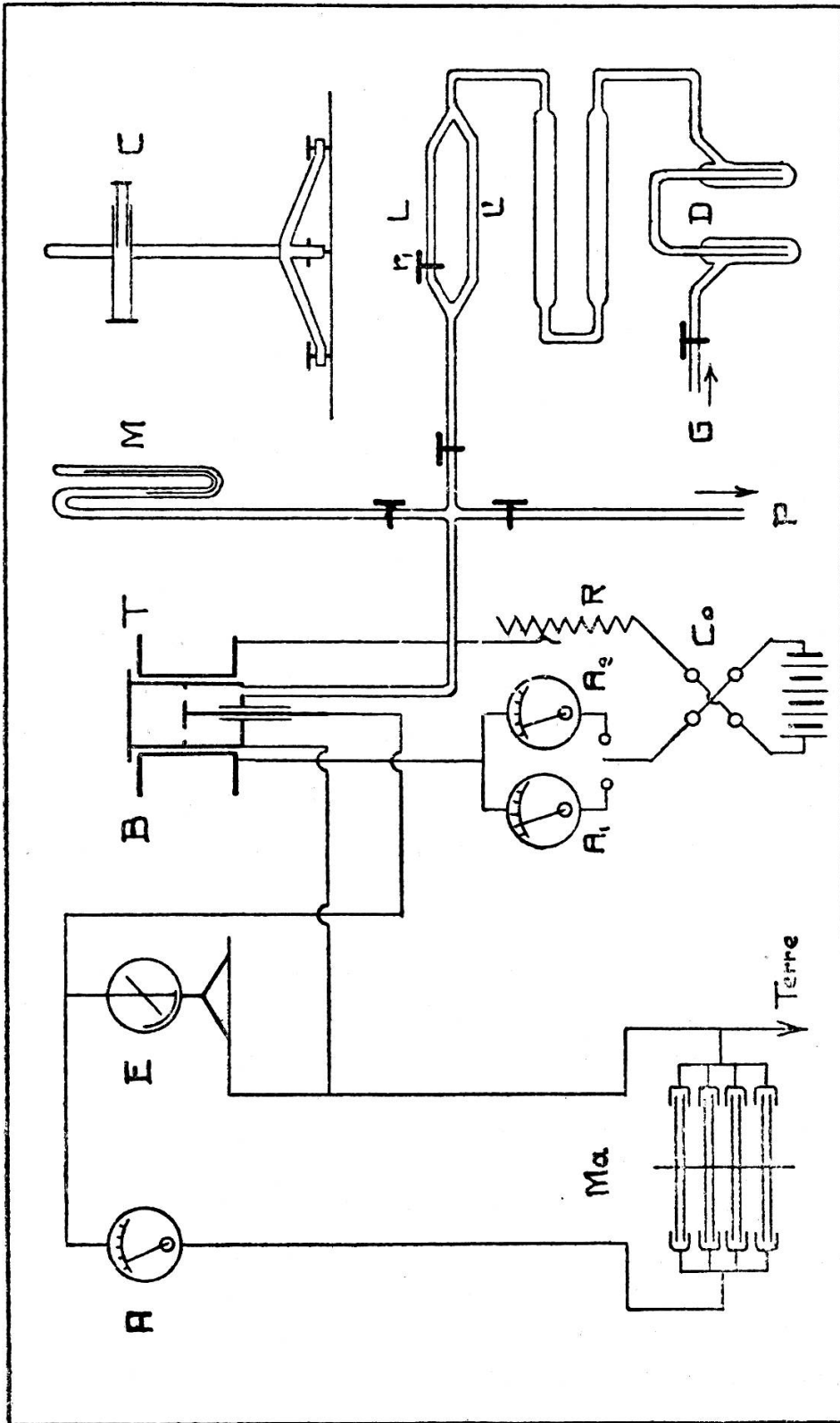


Fig. 1.

variable (oscillations) et l'intensité marquée dans ces conditions par un appareil à courant continu ne pouvait avoir de signification précise. Nous n'en donnerons les valeurs qu'à titre d'indication.

Le champ magnétique était créé par une bobine B parcourue par un courant d'intensité réglable au moyen de rhéostats. Le tube à décharge T était placé à l'intérieur de cette bobine.

La valeur du champ a été calculée au moyen de la formule¹ :

$$H = \frac{\pi n}{c} \log_e \frac{a'' + \sqrt{a''^2 + b^2}}{a' + \sqrt{a'^2 + b^2}}, \quad \text{où}$$

n	est le nombre total des spires	$= 843,$
a'	» le rayon de la gorge de la bobine	$= 5,8 \text{ cm},$
a''	» le rayon extérieur de la bobine	$= 7,85 \text{ »}$
b	» la demi-longueur de la gorge	$= 6,75 \text{ »}$
c	$= \frac{a'' - a'}{2},$	d'où $H = 550 \text{ u. e. m. C. G. S.}$

Un commutateur C_0 permettait de renverser le sens du courant dont on lisait l'intensité sur un ampèremètre thermique Hartmann et Braun (A_1 de 0 à 5 ampères ou A_2 de 0 à 10 ampères suivant l'intensité).

L'appareil à décharge est représenté par la figure 2. Dans la construction de cet appareil nous avons employé le métal de préférence au verre, pour éviter les charges électrostatiques variables que celui-ci peut prendre au cours des expériences. Cet appareil est constitué par un vase cylindrique vertical en laiton A, fermé à la partie supérieure par une glace B permettant l'observation. Un second cylindre CC placé à l'intérieur du premier présente à mi-hauteur une portée sur laquelle repose l'anneau EE qui fonctionne comme électrode périphérique. Suivant l'axe de ce cylindre est disposée une tige métallique terminée par un disque E' placé à la hauteur de l'anneau EE et dans le plan de celui-ci ; c'est l'électrode centrale. La tige D qui supporte cette électrode E' traverse le fond de l'appareil à l'intérieur d'un tube de verre V mastiqué dans une gaine métallique F faisant corps avec le cylindre C.

¹ MASCARD ET JOUBERT, *Electricité*, II, p. 90.

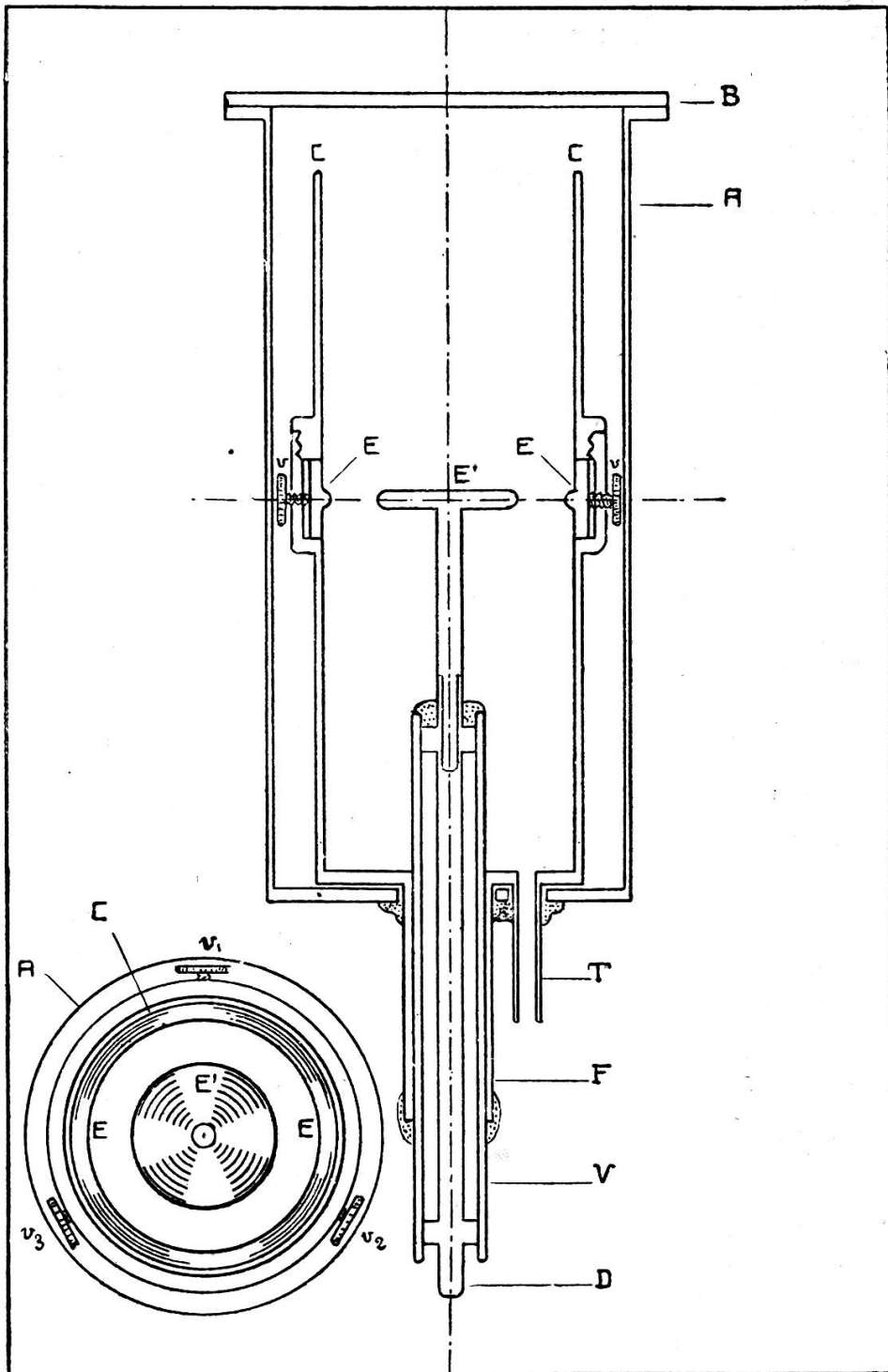


Fig. 2.

Le centrage des électrodes s'effectue au moyen des 3 vis $v_1 v_2 v_3$ qui permettent de déplacer l'anneau E par rapport au disque E'.

Nous avons été amenés, après les premières expériences, à dorer les électrodes. Sans cette précaution, leur surface se modifie rapidement sous l'action de la décharge; elle se couvre d'une couche non conductrice qui enlève toute régularité au phénomène de la décharge.

La température à l'intérieur du tube était indiquée par un thermomètre placé sous la glace de fermeture.

Dimensions. — Le cylindre extérieur mesure 20 cm de hauteur et 9 de diamètre. L'anneau doré EE présente un diamètre intérieur de 5,7 cm. Le disque-électrode central E' également doré est supporté par une tige de laiton scellée dans un tube de verre V pénétrant de 4 cm dans la chambre à décharge et enduit de gomme-laque, pour en diminuer l'état hygroscopique.

Nous avons utilisé 3 électrodes centrales différentes, de diamètres respectivement égaux à 1,52 cm, 2,55 cm et 3,52 cm.

Quant au gaz, il était amené des appareils de purification à la tubulure T du tube à décharge par une canalisation entièrement en verre soufflé; il passait à travers deux flacons-laveurs d'acide sulfurique et deux tubes d'anhydride phosphorique qui en achevaient la dessiccation; en outre un tube filtreur rempli d'ouate retenait les poussières.

Le remplissage de la chambre à décharge pouvait se faire soit par une canalisation ordinaire L si le robinet r_1 était ouvert (fig. 1), soit par un tube capillaire L' qui assurait un débit lent et régulier si ce robinet était fermé.

La pression était observée sur le baromètre M au moyen du cathétomètre C à oculaire micrométrique donnant le dixième de millimètre.

Une pompe à enveloppe de Gaede permettait d'évacuer le gaz du tube à décharge.

IV. — Préparation des gaz.

Les premières expériences montrèrent que la rotation de la décharge est en étroite dépendance avec la pureté du gaz. Aussi avons-nous été amenés à consacrer un soin tout particulier à la préparation et à la purification des gaz employés.

A ce propos, nous tenons à exprimer ici à M. le professeur E. Briner, chef de Travaux au Laboratoire de Chimie théorique, tous nos remerciements pour les précieux conseils qu'il a bien voulu nous donner, concernant cette purification.

Les différents gaz sur lesquels nous avons expérimenté ont tous été soigneusement desséchés au moyen du dispositif décrit précédemment. Pour leur préparation respective nous avons procédé comme suit :

Azote. — Nous avons employé l'azote préparé industriellement par distillation d'air liquide. Ce gaz nous était fourni en bonbonnes (pureté 98 à 99 %); nous le débarrassions de ses dernières traces d'oxygène par passage sur de la tournure de cuivre chauffée au rouge.

Oxygène. — La préparation de l'oxygène s'effectuait en chauffant du permanganate de potassium dans des ampoules de verre directement soudées à la canalisation¹. Un tampon de laine de verre placé à l'orifice de chaque ampoule arrêtait les poussières de permanganate.

Argon. — Ce gaz qui provenait d'une usine d'air liquide contenait environ 26 % d'azote et 1 % d'oxygène. La purification s'effectuait en faisant circuler lentement le gaz à travers des tubes renfermant de l'acide sulfurique, de la potasse caustique et du pentoxyde de phosphore. Dans le but d'enlever l'oxygène et l'azote, le gaz circulait en outre à travers un tube de verre d'Iena contenant de la tournure de cuivre et un tube de fer² rempli de calcium chauffé également.

¹ GERMANN, *J. de Ch. phys.*, 1914, p. 90.

² Nous avons dû employer le fer au lieu de verre pour contenir le calcium, le verre étant, comme on le sait, attaqué par ce métal.

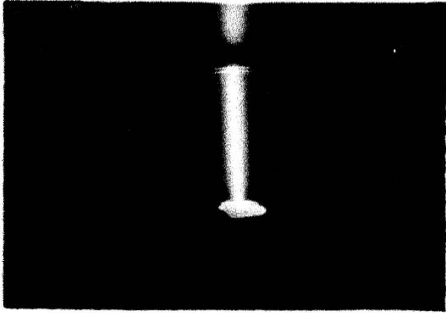


Fig. 3

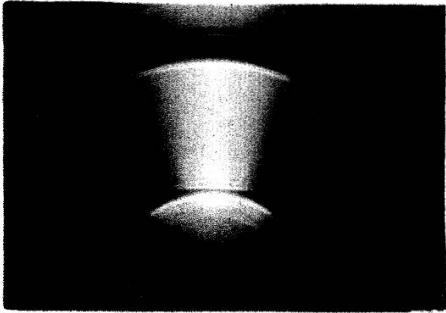


Fig. 4

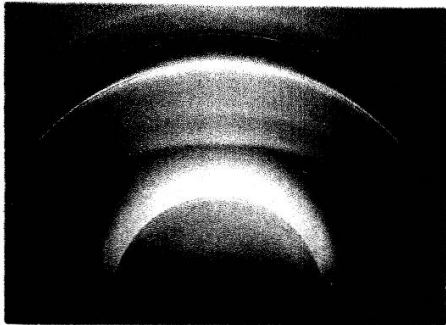


Fig. 5

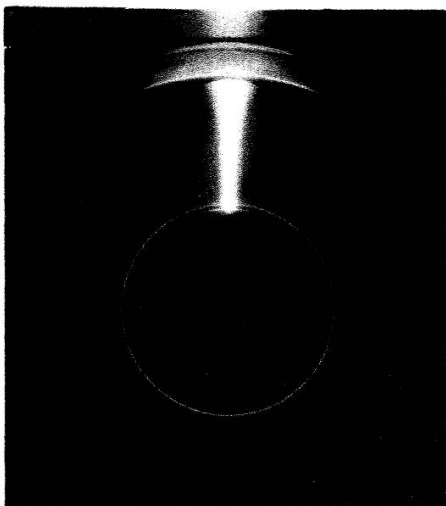


Fig. 6

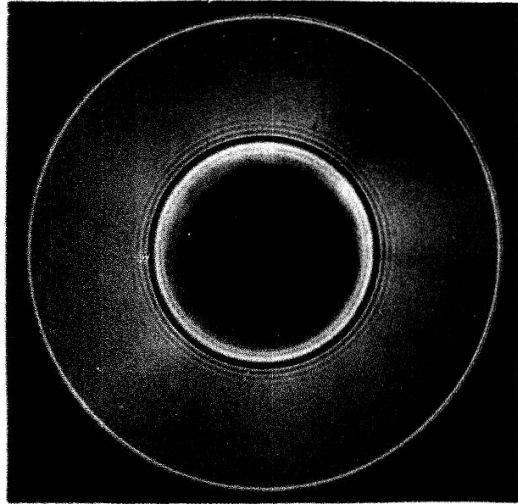


Fig. 7

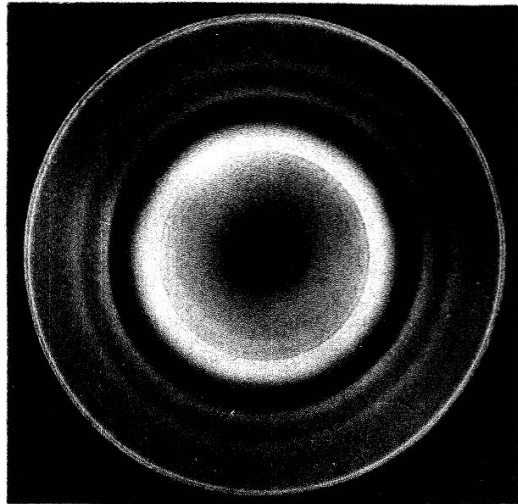


Fig. 8

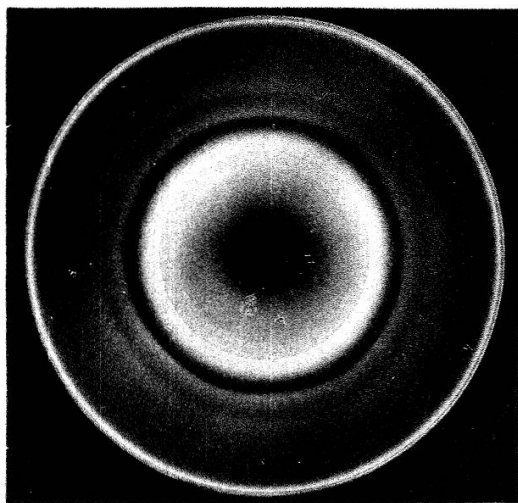


Fig. 9

A. ROTHEN. — *Rotation de la décharge électrique.*

Le gaz purifié était recueilli dans le tube à décharge où nous pouvions le reprendre au moyen d'une pompe à mercure pour le faire passer à nouveau dans les tubes purificateurs.

Nous avons utilisé l'examen spectroscopique pour nous rendre compte de la pureté du gaz. Pour cela un tube de Plücker branché sur la canalisation était illuminé par l'étincelle d'une bobine Ruhmkorff; nous suivions au spectroscope les variations apportées à la nature du gaz par la purification. Toutefois ce procédé est peu satisfaisant; le grand nombre de raies du spectre de l'argon rend difficile le décellement d'autres vapeurs. Nous avons noté néanmoins que les raies du mercure étaient toujours présentes dans nos gaz.

Acide carbonique. — Nous nous sommes bornés à dessécher l'acide carbonique du commerce par passage du gaz sur de l'anhydride phosphorique. Ce gaz étant décomposé par la décharge, son étude ne présentait pas pour nous le même intérêt que celle des gaz plus stables; aussi l'avons-nous vite abandonnée devant l'incertitude des résultats acquis que nous donnerons plus loin à titre de renseignement.

Hydrogène. — Quelques essais ont été effectués dans de l'hydrogène fourni par un appareil de Kipp.

Ce gaz n'ayant pas permis d'observer de rotation régulière dans les conditions de nos expériences, son étude n'a pas été poussée plus loin.

V. — Description du phénomène.

Lorsque la pression varie, la décharge passe sensiblement par les mêmes phases dans l'azote que dans les autres gaz. Comme le plus grand nombre d'expériences ainsi que la mise au point du dispositif expérimental ont été effectués dans l'azote, nous décrirons le phénomène dans ce gaz et donnerons ensuite les particularités propres à chacun des autres milieux étudiés.

Deux cas sont à considérer, suivant que l'électrode centrale fonctionne comme cathode ou comme anode.

1. — CATHODE AU CENTRE.

a) *Sans champ magnétique.* — Au voisinage de la pression atmosphérique, la décharge éclate normalement aux électrodes, en traits étroits, tantôt rectilignes, tantôt incurvés, qui se déplacent d'un mouvement saccadé, sans loi apparente, passant vraisemblablement là où la résistance du milieu gazeux se trouve la moindre.

A mesure que la pression baisse, la coloration de la décharge devient rose, de blanc-bleuâtre qu'elle était à la pression atmosphérique; son vacillement diminue progressivement et cesse pour une pression voisine de 15 cm. A cette pression la lueur se présente sous forme d'un trait sensiblement rectiligne qui relie les deux électrodes, comme un rais de roue joint le moyeu à la jante. (Pl. fig. 3, pression 10 cm).

Ce trait s'élargit en même temps que le vide croît; il prend successivement les différents aspects bien connus de la lueur dans les tubes à vide. L'espace obscur de Faraday apparaît devant la cathode (Pl. fig. 4, pression 63 mm); des strates se forment, d'abord étroites, puis plus larges (Pl. fig. 5, pression 2 mm) et l'espace obscur, augmentant de largeur, divise la lueur en deux parties, l'une violette autour de la cathode, l'autre rose devant l'anode.

b) *Avec champ magnétique.* — Lorsque l'on établit le champ magnétique aux pressions voisines de 1 cm, la lueur s'étale dans tout l'espace entre les électrodes. Elle prend l'aspect d'anneaux concentriques d'épaisseur variable avec l'intensité du champ. Les photographies 8 et 9, faites à la pression de 2 mm, en donnent l'apparence pour un courant magnétisant de 3 ampères (Pl. fig. 8) et de 8 ampères (Pl. fig. 9).

Si la pression augmente, les strates se resserrent (Pl. fig. 7) et l'impression d'anneaux finit par disparaître pour être remplacée par celle d'un trait tournant à grande vitesse. Le passage de l'un à l'autre de ces deux aspects a lieu pour une pression gazeuse qui dépend de la valeur du champ magnétique puisque, comme l'ont établi MM. Wilson et Martyn, l'apparence

d'anneaux n'est due qu'à la persistance des images rétinienne qui se produit lorsque la vitesse du trait devient très grande.

c) *Rotation spontanée sans champ magnétique extérieur.* — Etablissons dans le tube à décharge une pression d'azote comprise entre 5 et 12 cm de mercure; faisons passer le courant et augmentons-en progressivement l'intensité en accélérant la rotation de la machine électrostatique.

Lorsque la déviation de notre microampèremètre atteint 15 divisions pour une longueur d'étincelle égale à 1.58 cm entre les anneaux électrodes, le trait lumineux, immobile jusqu'ici, se met à osciller; si à ce moment nous lui communiquons une vitesse latérale en fermant le circuit magnétisant pendant quelques secondes, le trait lumineux continue à se déplacer entre les électrodes, avec une vitesse régulière, indépendante de la force et de la durée de l'impulsion donnée par le champ magnétique. Cette rotation, parfaitement régulière, se produit indifféremment dans les deux sens avec une vitesse égale; elle se prolonge indéfiniment dans la direction prise au début. On ne peut pas l'annuler en lui opposant un champ magnétique convenable. Dans le cas où l'on fait agir un champ magnétique extérieur le mouvement spontané s'ajoute toujours à celui qui résulte de la présence de ce champ; la vitesse de rotation résultante est sensiblement égale à la somme des deux vitesses, quel que soit le sens du champ magnétisant.

2. — ANODE AU CENTRE.

a) *Sans champ magnétique.* — La décharge présente deux phases. Aux pressions élevées (dépendant de l'intensité du courant), elle a l'apparence d'une auréole violette autour de l'anode et d'un cercle mince sur la cathode, sans qu'il y ait de trait lumineux entre les deux anneaux. Aux basses pressions elle prend la forme d'un trait, comme dans le cas de la cathode au centre (fig. 6).

b) *Avec champ magnétique.* — Le champ magnétique n'agit pas apparemment sur l'auréole tandis qu'il fait tourner le trait. La pression à laquelle s'effectue le passage de l'un à l'autre

des deux régimes est fonction de l'intensité du courant ; elle vaut environ 4 cm pour $i = 12$ divisions et 20 cm pour $i = 18$ divisions. Aucune rotation spontanée n'a été observée lorsque l'électrode centrale est positive.

Dans l'*oxygène* la décharge passe sensiblement par les mêmes stades que dans l'azote. Toutefois la luminosité est beaucoup moindre et ne présente pas de strates. La lueur est bleue dans l'*argon*, et verdâtre dans l'*acide carbonique*.

La différence de potentiel entre les électrodes est également différente avec chaque gaz, toutes conditions étant égales d'ailleurs. On en trouvera les valeurs numériques dans le chapitre consacré aux mesures.

VI. — Marche d'une expérience.

Le centrage des électrodes fut effectué avec soin au moyen d'un gabarit en coin permettant de mesurer les distances des anneaux — électrodes suivant les différents rayons ; le réglage se faisait au moyen des vis v_1 , v_2 , v_3 (fig. 2).

Le centrage terminé, l'appareil était mis en place dans son enveloppe A et tous les joints mastiqués à la cire à cacheter¹.

Avant chaque série de mesures le tube à décharge était rincé à plusieurs reprises avec le gaz purifié ; il était rempli une dernière fois sous une pression de 20 cm de mercure. Nous fermions alors le circuit de décharge et établissions le champ magnétique.

La rotation de la décharge avait en général lieu. Nous mesurons au chronographe la durée de 5 tours dans un sens, puis dans l'autre en renversant le champ magnétique, et cela deux fois de suite. Un aide notait la pression du gaz, la différence de potentiel entre les électrodes, l'indication du milliampèremètre placé sur le courant de décharge et l'intensité du courant magnétisant. Nous faisons une seconde série de mesures avec un champ magnétique moitié moindre et une troisième sans champ magnétique dans le cas où la rotation spontanée se pro-

¹ L'étanchéité de l'appareil était parfaite malgré la grande longueur des joints à assurer (environ 35 cm).

duisait. Puis baissant la pression de 1 cm nous répétions les mêmes opérations jusqu'au moment où l'on atteignait le vide pour lequel les mesures n'étaient plus possibles par suite de la grande vitesse du trait lumineux. En agissant ainsi nous opérions sur le même gaz dans toute une même série de mesures, ce qui assurait une plus grande comparabilité que si nous avions introduit du gaz frais à divers moments de l'expérience.

Les quatre valeurs de la vitesse obtenues pour chaque pression et chaque intensité de champ magnétique ne différaient jamais les unes des autres de plus de 1%. Par contre d'une série à l'autre il pouvait y avoir des écarts beaucoup plus considérables qui dépendaient probablement en grande partie de la vitesse de remplissage du tube à décharge. Dans les premières séries de mesures ce remplissage s'effectuait en entr'ouvrant les robinets d'amenée de manière à assurer une circulation bulle à bulle du gaz dans les flacons laveurs. Aucuns résultats constants ne purent être obtenus ainsi. Par contre l'introduction dans la canalisation du tube capillaire L' (fig. 1) améliorait sensiblement les résultats. Le gaz passant à travers ce tube avait une vitesse d'écoulement absolument constante dans les différents remplissages; il restait toujours le même temps au contact des substances desséchantes, et les écarts de vitesse entre les mesures successives ne furent plus que de 2 à 3%. Cela met bien en évidence l'importance de la purification des gaz dans ces expériences.

La vitesse de rotation ne présente pas une valeur constante dès l'établissement de la décharge. Dans de l'azote à 90% (10% d'oxygène), elle décroît d'environ 25% pendant le premier quart d'heure qui suit la fermeture du circuit. Dans de l'azote ayant passé sur du cuivre chauffé au rouge le régime d'équilibre est atteint au bout de 4 à 5 minutes, la vitesse ne variant plus que de 10%.

Le gaz se modifie vraisemblablement sous l'action de la décharge, par suite de la formation d'oxydes d'azote; les transformations subies seraient d'autant plus grandes que le gaz contiendrait davantage d'oxygène.

Si l'on remplit l'appareil d'air au lieu d'azote pur, on n'obtient plus alors aucune constance.

Un contact prolongé du gaz avec les parois métalliques du tube à décharge amène également des perturbations dans la rotation. Cette observation corrobore celles d'Ed. Meyer¹ et de L. Bloch², qui notèrent la très grande sensibilité du potentiel disruptif aux moindres traces d'impuretés. Aussi faut-il remplir l'appareil de gaz frais avant chaque série de mesures pour rendre celles-ci comparables.

La température croissait lentement avec la durée des expériences par suite de la chaleur rayonnée par la bobine magnétisante. De ce fait, la pression augmentait un peu. Dans l'établissement des graphiques nous en avons ramené la valeur à ce qu'elle aurait été à 15° C pour avoir des chiffres dépendant uniquement du nombre de molécules présentes dans le tube.

VII. — Résultats.

1. — INFLUENCE DE L'INTENSITÉ DU COURANT DE DÉCHARGE SUR LA ROTATION.

Nous pouvions faire varier l'intensité du courant de décharge en donnant à la machine électrostatique une vitesse de rotation plus ou moins grande; nous avons également fait des mesures en faisant travailler parallèlement deux machines.

Les tableaux 1 et 2 donnent les valeurs obtenues dans l'azote (cathode au centre) pour une pression de 83 mm et une distance de 1,58 cm entre les électrodes concentriques. Dans le tableau 1, l'intensité du courant magnétisant est de 6 ampères; le tableau 2 se rapporte à la rotation spontanée. i est l'intensité exprimée en divisions du milliampèremètre, e la différence de potentiel entre les électrodes, v la vitesse de rotation de la décharge en tours à la seconde.

Le rapport $\frac{v}{i}$ est sensiblement constant; la vitesse de rotation est par conséquent proportionnelle à l'intensité. Toutefois on ne peut pas attribuer une grande importance à ces valeurs numé-

¹ *Arch.* 1919, p. 242.

² *Radium* 1919, p. 358.

riques car, comme nous l'avons dit, le milliampèremètre ne donne qu'une *indication* sur l'intensité et non pas sa valeur exacte.

TABLEAU 1.

i	v	$v/i \times 10^4$
16,7	0,488	292
17	0,495	291
18,2	0,532	292
18,7	0,550	294
19,5	0,568	291

TABLEAU 2.

i	e	v	$v/i \times 10^5$
13	2700	—	—
14,5	2600	0,105	724
17	2500	0,123	724
18	2480	0,130	723
18,5	2470	0,133	720

On peut cependant conclure de ces mesures que la rotation est fonction de l'intensité, ce dont les théories simplifiées n'ont pas toujours tenu compte jusqu'ici.

2. — INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LA ROTATION.

Nous avons étudié le phénomène dans cinq gaz différents, l'azote, l'oxygène, l'argon, l'hydrogène et l'anhydride carbonique. Seuls les trois premiers ont permis de faire des mesures dans de bonnes conditions expérimentales. Dans l'hydrogène il n'a pas été possible d'obtenir de rotations régulières¹. Quant à l'acide carbonique il est vraisemblablement dissocié par la décharge; la rotation y est nettement fonction du temps pendant lequel la décharge le traverse. Il en est de même d'ail-

¹ De la Rive l'avait déjà observé (loc. cit.).

leurs dans l'air où la formation d'oxydes d'azote modifie constamment la constitution du milieu gazeux.

Dans les tableaux suivants qui résument les résultats numériques¹ t est la température du gaz; p est la pression mesurée en millimètres, p_{15} la pression ramenée à ce qu'elle serait si la température était de 15°; e est la différence de potentiel mesurée en volts entre les électrodes; i est l'intensité exprimée en

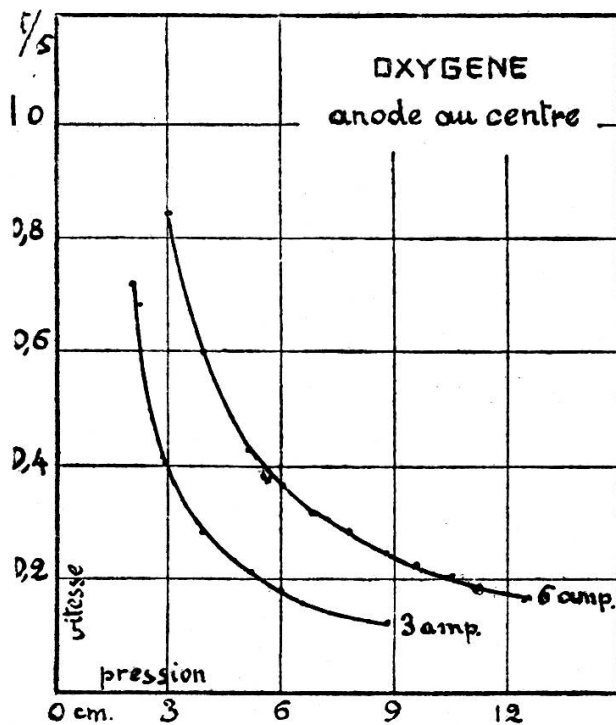


Fig. 10.

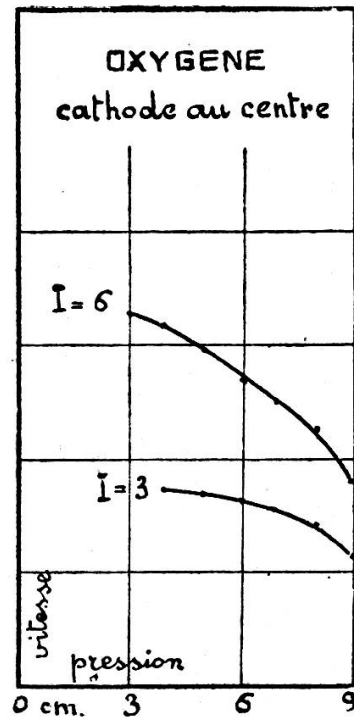


Fig. 11.

divisions du milliampèremètre, I le nombre d'ampères dans la bobine magnétisante, v la vitesse de rotation de la décharge en tours à la seconde.

Dans chacune des figures 10 à 13 nous avons tracé deux courbes; l'une correspond à un champ magnétique de 165 gauss ($I = 3$ ampères), l'autre à un champ double ($I = 6$ ampères). La troisième courbe de la figure 13 est relative à la rotation spontanée.

¹ Toutes ces mesures ont été faites avec des électrodes concentriques de diamètres respectivement égaux à 1,58 cm et 5,70 cm.

TABLEAU 3.

OXYGÈNE. — *Anode au centre. — Distance des électrodes 1,58 cm.*

t	p	p_{15}	e	i	I	v
27	130	124	3100	17	6	0,170
	118	113	2900		6	0,190
28	109	104	2800		6	0,208
	99,5	95	2600		6	0,232
29	91,3	87	2500		3	0,130
					6	0,252
30	81,3	77	2300		3	0,142
					6	0,284
31	70,8	67	2200		3	0,167
					6	0,322
32	63,2	59,5	2000		3	0,185
					6	0,380
33	54,3	51	1900		3	0,215
					6	0,436
34	41,5	38,8	1650		3	0,288
					6	0,610
35	30,9	28,8	1300		3	0,406
					6	0,855
36	21,7	20,2	1100	18	3	0,733
					6	1,48

TABLEAU 4.

OXYGÈNE. — *Cathode au centre. — Distance des électrodes 1,58 cm.*

t	p	p_{15}	e	i	I	v
21	92,9	91,0	3300	17	3	0,228
					6	0,363
22	81,4	79,8	3000	17	3	0,282
					6	0,455
23	70,7	69,0	2700	17	3	0,312
					6	0,500
24	61,2	59,4	2500	17	3	0,327
					6	0,540
25	51,0	49,5	2200	17	3	0,336
					15	0,59
26	40,7	39,4	2000	16	3	0,347
					6	0,638
27	31,2	30,2	1700	17	3	saccades
					6	0,658

OXYGÈNE. *Anode au centre.* — L'oxygène est le gaz qui, dans nos expériences, avait la plus grande pureté. En représentant graphiquement les résultats qui lui sont relatifs nous voyons que la courbe reliant la vitesse de rotation à la pression est sensiblement une hyperbole entre de larges limites, lorsque l'électrode centrale est positive (fig. 10).

La vitesse de rotation est par conséquent inversement proportionnelle à la pression.

Cathode au centre. — Si par contre la cathode est au centre, l'apparence de la courbe est tout autre. Elle a sensiblement la même allure que pour l'azote (fig. 13) dans les mêmes conditions.

TABLEAU 5.

AZOTE. — *Anode au centre.* — *Distance des électrodes, 1,58 cm.*

t	p	p_{15}	e	i	l	v
15	62,8	62,8		8	3	0,667
15,5	57,4	57,3		8,25	3	0,65
	51,9	51,8		8,5	3	0,64
16	46,7	46,6	2700	9	6	0,70
					3	instable
	36,2	36,1	2030	18	3	0,447
17	25,8	25,6	1600	18	6	0,96
					3	0,60
	20,8	20,7	1430	18	3	0,78
18	15,8	15,7	1250	18	6	1,96
					3	1,26

AZOTE. — *Anode au centre.* — Quand l'anode est au centre la rotation sous l'action d'un champ magnétique présente deux régimes différents suivant que la pression est supérieure ou inférieure à 5 cm (tableau 5 et fig. 12).

Aux pressions supérieures à 5 cm l'intensité du courant de décharge ne dépasse pas 9 divisions. La lueur est étroite, très lumineuse; lorsqu'il n'y a pas de champ magnétique elle oscille entre les électrodes. Quand le champ magnétique extérieur agit, la rotation se produit, mais d'une façon saccadée.

Aux pressions inférieures à 5 cm la décharge devient plus large et moins lumineuse ; sa position se stabilise lorsqu'il n'y a pas de champ magnétique. L'indication du milliampèremètre passe brusquement de 9 à 18 divisions. Sous l'action du champ magnétique, la rotation s'effectue régulièrement ; sa vitesse augmente lorsque le vide croît, tandis qu'au-dessus de 5 cm elle va en diminuant.

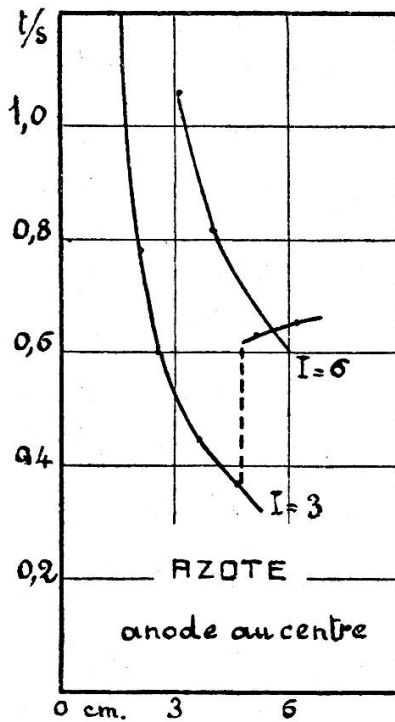


Fig. 12.

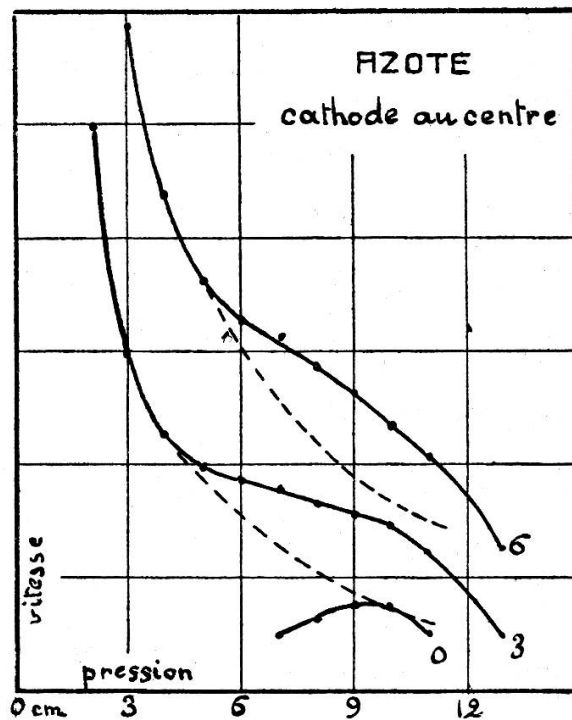


Fig. 13.

Cathode au centre. — Dans ce cas la *rotation spontanée* a lieu pour les pressions comprises entre 5 et 12 cm ; à 9 cm elle présente un maximum de vitesse.

Lorsqu'un champ magnétique extérieur agit, la courbe qui relie la vitesse de rotation à la pression présente entre les pressions de 5 et 12 cm une allure différente qu'au delà de ces pressions (fig. 13). Mais si l'on soustrait la vitesse spontanée de la vitesse observée pendant l'action du champ magnétique la courbe résultante devient sensiblement hyperbolique entre de larges limites. Cette nouvelle courbe (ponctuée dans la fig. 13) représente la vitesse qui serait due uniquement au champ magnétique extérieur. Par conséquent la vitesse de rotation

communiquée par le champ magnétique est sensiblement inversement proportionnelle à la pression du gaz.

TABLEAU 6.

AZOTE. — *Cathode au centre.* — *Distance des électrodes, 1,58 cm.*

t	p	p_{15}	e	i	I	v
18	111,5	110,5	2800	18,5	0	0,089
					3	0,259
					6	0,416
19	101,5	100,0	2700	18,5	0	0,146
					3	0,289
					6	0,465
20	80,9	79,7	2300	18,7	0	0,129
					3	0,336
					6	0,568
21	61,2	60,0	2030	18,8	0	0
					3	0,384
					6	0,685
22	41,2	40,1	1610	18,5	3	0,410
					6	0,741
					3	0,454
23	20,6	20,0	1020	19	6	0,893
					3	0,595
					6	1,177
					3	0,981
					6	2,13

ARGON. — *Anode au centre.* — La décharge présente deux régimes, comme dans l'azote, suivant que la pression est supérieure ou inférieure à 5 cm (fig. 14).

Cathode au centre. — La rotation ne se produit qu'entre des limites de pression restreintes. Elle est en outre irrégulière, ce qui rend les mesures incertaines. Nous n'avons pas jugé utile d'en reproduire les valeurs dans ce mémoire.

TABLEAU 7.

ARGON. — Anode au centre. — Distance des électrodes, 1,58 cm.

t	p	p ₁₅	e	i	I	v
24	121	117	1375	9	6	1,05
	112	108	1300	9		1,06
	101	98	1225	8		1,10
25	91,2	88	1150	9		1,05
	80,5	77,5	1125	9		1,03
26	70,5	67,8	1075	9		1,00
	59,7	57,3	960	19		1,00
27	49,9	47,8	840	19		1,05
	43,1	41,2	800	19		1,25
28	32,5	31,2	700	19		1,75

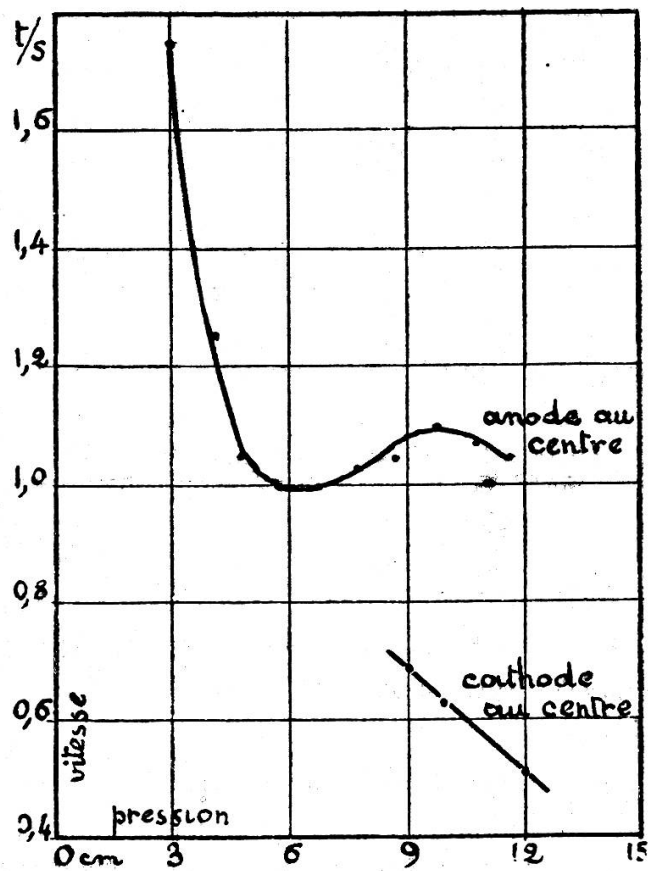


Fig. 14. — Argon.

ANHYDRIDE CARBONIQUE. — Que l'électrode centrale soit positive ou négative, la rotation a lieu seulement aux pressions inférieures à 5 cm. D'autre part, comme nous l'avons dit, la décharge provoque vraisemblablement une décomposition de l'acide carbonique. Les vitesses de rotation mesurées dans ce gaz ne sont par conséquent pas comparables à celles obtenues pour les autres gaz plus stables¹.

3. — INFLUENCE DU CHAMP MAGNÉTIQUE SUR LA ROTATION.

OXYGÈNE. — *Anode au centre.* — Pour un courant magnétisant de 6 ampères, la vitesse de rotation est sensiblement double de ce qu'elle est pour 3 ampères (tableau 3, fig. 10). La proportionnalité entre la vitesse et le champ magnétique est établie avec une précision de 3% dans les limites où nous l'avons étudiée.

Cathode au centre (fig. 11, tableau 4). — Nous avons déjà remarqué que dans l'oxygène comme dans l'azote les courbes reliant la vitesse de rotation et la pression du gaz changent d'allure à la pression de 5 cm. Nous avons considéré ce changement d'allure dans l'azote comme étant dû à la rotation spontanée.

Il n'a pas été observé de rotation spontanée régulière dans l'oxygène. Cependant, comme les courbes relatives à ce gaz ont la même allure générale que celle de l'azote, on peut admettre que la force créant la rotation spontanée existe également dans l'oxygène; elle serait seulement plus faible dans l'oxygène, trop faible pour vaincre les résistances qui s'opposent au mouvement de la décharge.

Cette hypothèse est justifiée, nous semble-t-il, par le fait que la vitesse de rotation mesurée dans l'oxygène est proportionnellement plus grande pour un champ magnétique de 165 gauss ($I = 3$ ampères) que pour un champ de 330 gauss ($I = 6$ amp.) Voir fig. 11.

¹ A titre d'indication: les vitesses mesurées dans l'acide carbonique étaient du même ordre de grandeur que celles obtenues pour l'oxygène (anode au centre). Elles étaient sensiblement les mêmes que l'électrode centrale fût positive ou négative.

AZOTE. — *Anode au centre* (fig. 12). De même que pour l'oxygène dans les mêmes conditions, la vitesse de rotation est proportionnelle au champ magnétique.

Cathode au centre. — Les vitesses observées pour des champs magnétiques de 165 et de 330 gauss sont représentées dans la fig. 13 par les courbes en traits pleins. Ces vitesses ne sont pas proportionnelles au champ magnétique, vraisemblablement par suite de la rotation spontanée.

Par contre la proportionnalité existe entre le champ magnétique et les ordonnées des courbes ponctuées. Ces dernières courbes représenteraient, comme nous l'avons dit, la vitesse communiquée à la décharge uniquement par le champ magnétique extérieur (déduction faite de la rotation spontanée). Par conséquent, dans ce cas comme dans celui de l'anode au centre, la vitesse de rotation serait proportionnelle à l'intensité du champ magnétique.

ARGON. — Un champ magnétique intense était nécessaire pour produire une rotation régulière dans l'argon. La puissance limitée de nos moyens expérimentaux ne nous a pas permis d'effectuer des mesures comparatives précises dans ce gaz.

4. — INFLUENCE DU DIAMÈTRE DES ÉLECTRODES SUR LA VITESSE DE ROTATION.

Toutes les mesures dont les valeurs numériques sont données ci-dessus ont été faites avec une électrode centrale de 2,5 cm de diamètre. Nous avons cru utile de faire quelques essais en modifiant les dimensions de cette électrode, et nous avons expérimenté successivement avec des électrodes centrales de 1,5 et de 3,5 cm de diamètre.

Avec l'électrode de 1,5 cm la rotation n'avait pas lieu régulièrement. Le trait lumineux restait accroché à l'électrode centrale ; il s'inclinait sous l'action du champ magnétique mais ne parvenait pas à être entraîné. On peut expliquer ce fait en remarquant que plus l'électrode inférieure est de faible diamètre, plus ses moindres dissymétries de surface prennent d'importance et viennent gêner le glissement de la décharge. La rotation s'effectuerait donc d'autant plus difficilement que le

diamètre de l'électrode centrale serait plus petit. Nous n'avons pu faire de mesures quantitatives avec cette électrode de 1,5 cm.

Par contre, avec l'électrode centrale de diamètre égal à 3,5 cm, le mouvement était plus rapide qu'avec les électrodes plus petites. La rotation spontanée se produisait également, mais pour des intensités élevées que nous ne pouvions obtenir qu'en couplant en parallèle deux machines électrostatiques. Comme dans ces conditions le débit était irrégulier, les mesures étaient particulièrement difficiles, et les résultats incertains ne pouvaient être comparés à ceux des autres expériences.

VIII. — Essai de théorie.

La théorie de l'ionisation par choc permet de donner une expression mathématique de la vitesse de rotation de la décharge sous l'action d'un champ magnétique. L'un de nous a publié dans les *Archives des sciences physiques et naturelles*¹ une formule qui donne cette vitesse dans le cas où les champs électrique et magnétique, supposés uniformes, sont perpendiculaires entre eux. Nous reproduisons ici cette démonstration. Considérons un électron de masse m_0 et de charge ϵ soumis d'une part à la force électrique F dirigée suivant l'axe des y , et d'autre part à la force magnétique H dirigée suivant l'axe des z . Il résulte de la double action des forces F et H sur l'électron une troisième force perpendiculaire aux deux premières et agissant suivant l'axe des x . Cette force vaut (loi de Laplace appliquée par Maxwell aux corpuscules en mouvement)

$$m_0 \frac{d^2x}{dt^2} = \epsilon H \frac{dy}{dt} \quad (1)$$

Si l'on suppose uniformément accéléré le mouvement dans le sens de la force électrique, la vitesse prise par le corpuscule dans la direction de cette force est

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\epsilon Ft}{m_0}; \quad (2)$$

¹ C.-E. GUYE. Théorie de la rotation de la décharge électrique sous l'influence d'un champ magnétique. *Arch.* 1917, p. 489.

Voir aussi *Arch.* Juillet-Août 1921.

En remplaçant $\frac{dy}{dt}$ par cette valeur dans l'expression 1), on obtient

$$m_0 \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\varepsilon^2 HF t}{m_0}.$$

On aura le chemin parcouru suivant l'axe des x en intégrant cette expression pendant la durée θ_0 qui sépare deux chocs

$$x_{\theta_0} = \frac{\varepsilon^2 HF \theta_0^3}{6 m_0^2},$$

ce qui donne pour la vitesse moyenne d'entraînement entre deux chocs

$$V_0 = \frac{\varepsilon^2 HF \theta_0^2}{6 m_0^2}. \quad (3)$$

D'autre part, en intégrant l'expression 2) on obtient y_0 , le chemin parcouru entre deux chocs suivant l'axe des y .

$$y_0 = \int_0^{\theta_0} \frac{dy_0}{dt} dt = \int_0^{\theta_0} \frac{F \varepsilon}{m_0} t dt = \frac{F \varepsilon \theta_0^2}{2 m_0}. \quad (4)$$

Cette valeur doit être égale au libre parcours moyen donné par la formule

$$\lambda = \frac{1}{\pi \sigma^2 M}. \quad (5)$$

où σ est la somme des rayons d'un électron et d'une molécule et M le nombre de molécules dans l'unité de volume. En égalant les relations 4 et 5 on obtient la valeur de θ_0 , et la formule 3) devient

$$V_0 = \frac{\varepsilon H}{3 \pi \sigma^2 M m_0}. \quad (6)$$

On trouverait de même pour la vitesse de l'ion positif

$$V_1 = \frac{\varepsilon H}{12 \pi \sigma^2 M m_1};$$

m_1 étant la masse d'une molécule.

On peut supposer à première vue, que la vitesse de rotation

de la décharge correspond à la vitesse d'entraînement latéral des ions positifs. D'après la relation que nous venons d'établir, cette vitesse serait proportionnelle au champ magnétique et inversement proportionnelle à la pression. Ces deux propositions ont été vérifiées dans les conditions de nos expériences. Mais, par contre, la vitesse théorique devrait être indépendante de l'intensité du courant de décharge, tandis que les expériences ont montré que ce n'est pas le cas.

La théorie que nous avons exposée suppose le champ électrique uniforme, condition qui n'est pratiquement pas remplie dans le cas des lueurs, par suite de l'inégale répartition des ions le long de la décharge. L'inégalité de cette distribution d'ions est d'autant plus accentuée que l'intensité du courant est plus grande. Par conséquent la formule que nous donnons ne serait valable que pour des courants très faibles.

Néanmoins nous avons fait le calcul pour l'oxygène et l'azote à une pression de 5 cm et pour un champ magnétique $H = 330$ gauss. En prenant pour ϵ , m , M et σ les valeurs numériques données par les tables de la Soc. franç. de physique, nous avons trouvé les valeurs suivantes :

<i>Oxygène.</i>	$V_{\text{calculée}}$	$V_{\text{observée}}$
Anode au centre, $i = 17$ div.	5,8 cm/sec	5,8 cm/sec
Cathode au centre, $i = 17$ »		7,7
<i>Azote.</i>		
Anode au centre, $i = 18$ div.	6,7	9,3
Cathode au centre, $i = 19$ »		9,6
id. $i = 17$ »		8,1
id. $i = 13$ »		7,8

Les vitesses étaient mesurées dans les expériences en tours à la seconde. Les valeurs correspondantes en cm/sec ont été calculées le long du chemin moyen compris entre les électrodes concentriques.

Il est intéressant de constater que les valeurs numériques fournies par la théorie cinétique développée ci-dessus sont *du même ordre de grandeur* que celles données par l'expérience. En outre, conformément à cette théorie simplifiée, la concor-

dance entre ces valeurs est d'autant meilleure que l'intensité du courant est plus faible.

Nous pouvons déduire de là que cette théorie serait une théorie limite correspondant au cas d'une répartition uniforme des ions le long de la décharge; elle se rapprocherait vraisemblablement d'autant plus de l'expérience que le courant serait moins intense.

Rotation spontanée. — Comme nous l'avons dit précédemment nous avons obtenu, dans certaines conditions, un phénomène de rotation spontanée, en l'absence de tout champ magnétique extérieur. Ce phénomène fut observé déjà dans l'air par M. Henger. Dans nos expériences cette rotation ne s'est produite avec quelque régularité que dans l'azote purifié, bien que nous l'ayons observée aussi dans les mélanges d'oxygène et d'azote.

Comme on peut s'en rendre compte par l'examen des courbes (fig. 13) le mouvement spontané ne se produit que pour un régime déterminé, entre deux limites étroites de pression; il présente un maximum de vitesse à la pression de 9 cm. Ce phénomène a vraisemblablement quelque analogie avec la rotation spontanée observée sur l'arc au mercure par M. Dufour.

Si l'on calcule, d'après la courbe ponctuée de la fig. 13, le champ magnétique extérieur qui serait nécessaire pour produire cette rotation, on trouve que ce champ devrait avoir une valeur d'environ 150 gauss pour la vitesse maximum.

On peut, pour l'explication de cette rotation, invoquer diverses hypothèses, mais le peu de renseignements que nous avons encore sur le régime spécial qui caractérise cette rotation spontanée, ne nous permet pour l'instant aucune affirmation précise.

IX. — Conclusions générales.

Comme nous l'avons dit au début de ce mémoire, la décharge est un phénomène beaucoup plus complexe qu'on ne le suppose généralement. Les conditions particulières à chaque expérience peuvent avoir une importance très grande dans les résultats obtenus.

Ces résultats, dans les conditions de nos expériences, pour un

courant de décharge inférieur à 1 milliampère et pour des pressions comprises entre 1 et 15 cm, peuvent se résumer ainsi :

1) à pression constante, pour les gaz ne présentant pas de rotation spontanée, la vitesse créée par un champ magnétique est proportionnelle à ce champ ;

2) dans les conditions où se produit la rotation spontanée, c'est l'*augmentation* de vitesse engendrée par le champ magnétique qui se trouve être approximativement proportionnelle à ce champ ;

3) à champ magnétique constant, en l'absence de rotation spontanée (ou déduction faite de celle-ci lorsqu'elle existe), la vitesse de rotation est inversement proportionnelle à la pression ;

4) la vitesse de rotation est fonction de l'intensité du courant de décharge ; elle croît lorsque l'intensité augmente ;

5) les vitesses mesurées sont du même ordre de grandeur que les vitesses calculées par la formule

$$V = \frac{\varepsilon H}{12 \pi \sigma^2 M m_1}$$

6) Conformément à la théorie simplifiée développée page 466, les vitesses observées se rapprocheraient d'autant plus des vitesses calculées que l'intensité du courant de décharge serait plus faible, et tendraient à leur correspondre dans le cas où le gradient du potentiel entre les électrodes serait linéaire.
