

Bunsen assez considérable, tandis que le courant discontinu de la bobine de Ruhmkorff n'en exige qu'un petit nombre. C'est même un fait remarquable, constaté par l'expérience, que l'intensité des effets lumineux de cette bobine augmente peu quand on multiplie le nombre des couples de la pile.

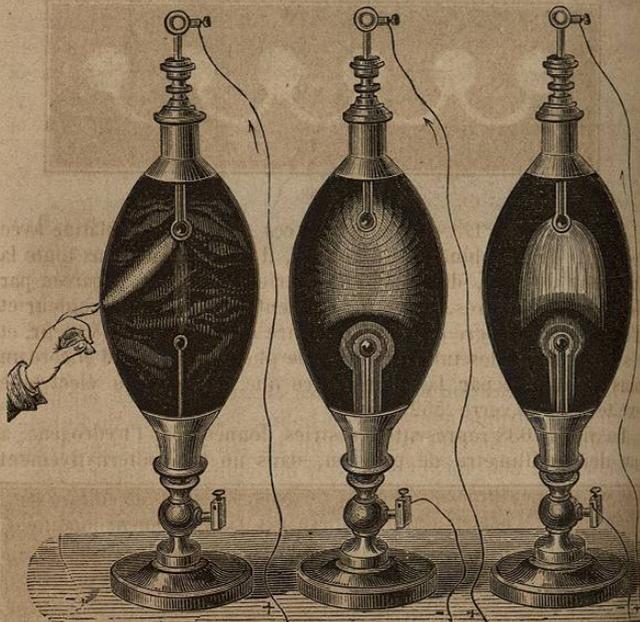


Fig. 635.

Fig. 636.

Fig. 637.

La théorie des phénomènes de la stratification de la lumière électrique dans les vapeurs, et de la coloration des pôles, n'est pas connue.

* 760. **Tubes de Geissler.** — C'est surtout lorsqu'on fait passer la décharge de la bobine de Ruhmkorff dans des tubes de verre contenant une vapeur ou un gaz très-raréfiés, que la stratification de la lumière électrique présente un éclat et une beauté remarquables. Ces phénomènes, qui ont été étudiés par MM. Masson, Grove, Gassiot, Plücker, etc., se produisent dans des tubes fermés, de verre ou de cristal, construits par M. Geissler, à Bonn. Au moment de la fermeture, ces tubes ont été placés dans les conditions de la chambre barométrique, et l'on y a fait passer, avant de les

souder, une quantité assez petite d'un gaz ou d'une vapeur, pour que ce gaz ou cette vapeur ne soit, au plus, qu'à un demi-millimètre de pression. Enfin, aux deux extrémités des tubes, sont soudés deux fils de platine qui y pénètrent de 1 à 2 centimètres.

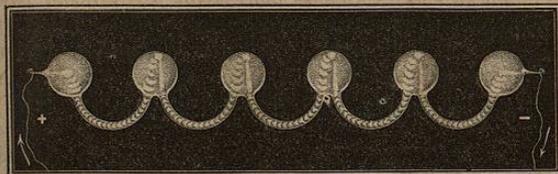


Fig. 638.

Aussitôt qu'on fait communiquer ces deux fils de platine avec les bouts de la bobine de Ruhmkorff, il se produit, dans toute la longueur du tube, de magnifiques stries brillantes, séparées par des bandes obscures. Ces stries varient de forme, de couleur et d'éclat avec le degré de vide, la nature du gaz ou de la vapeur, et les dimensions des tubes. Souvent le phénomène prend encore un plus bel aspect par la fluorescence que la décharge électrique excite dans le verre (552).

La figure 638 représente les stries données par l'hydrogène, à un demi-millimètre de pression, dans un tube alternativement

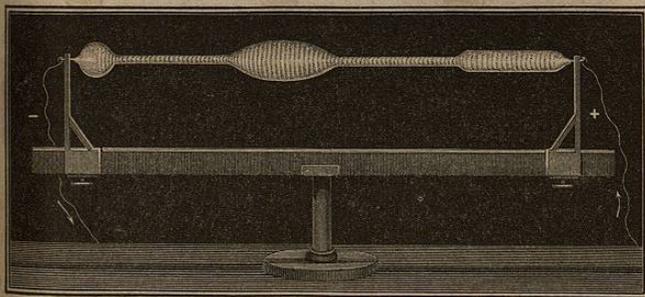


Fig. 639.

renflé et étroit; dans les boules, la lumière est blanche; dans les parties capillaires, elle est rouge.

La figure 639 montre les stries dans l'acide carbonique, à un quart de millimètre de pression; la couleur est verdâtre, et les stries n'ont pas la même forme que dans l'hydrogène. Dans l'azote, la lumière est jaune rouge.

M. Plücker, qui a beaucoup étudié la lumière des tubes de

Geissler, a trouvé qu'elle ne dépend nullement de la substance des électrodes, mais uniquement de la nature du gaz ou de la vapeur qui est dans le tube. Il a constaté aussi que les lumières fournies par l'hydrogène, l'azote, l'acide carbonique, etc., diffèrent beaucoup, quant au spectre qu'elles fournissent, quand on les fait passer au travers d'un prisme. D'après le même physicien, la décharge de la bobine d'induction, qui se transmet dans un gaz très-raréfié, ne se transmettrait pas dans le vide absolu, et la présence d'une matière pondérable serait absolument nécessaire pour qu'il y eût passage de l'électricité.

A l'aide d'un puissant électro-aimant, M. Plücker a soumis la décharge électrique, dans les tubes de Geissler, à l'action du magnétisme, comme Davy l'avait fait pour l'arc voltaïque ordinaire. Ne pouvant citer toutes les expériences curieuses de ce savant, nous mentionnerons seulement, dans le cas où la décharge est perpendiculaire à la ligne des pôles, la séparation de cette décharge en deux parties distinctes, phénomène qui peut s'expliquer par l'action opposée de l'électro-aimant sur les deux extra-courants d'ouverture et de fermeture qui se trouvent dans la décharge.

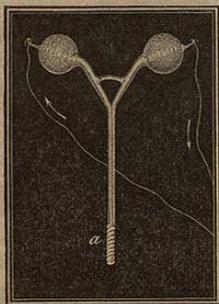


Fig. 640.

En terminant, citons une application récente des tubes de Geissler à la pathologie. Un long tube capillaire étant soudé à deux boules munies de fils de platine, on recourbe ce tube en son milieu de manière que les deux branches se touchent, et l'on enroule leur extrémité en spires serrées, comme on le voit en *a* (fig. 640).

Le tube ainsi préparé contenant, comme ceux décrits ci-dessus, un gaz très-raréfié, aussitôt que la décharge passe, il se produit en *a* une lumière assez vive pour éclairer les fosses nasales, la gorge ou toute autre cavité du corps humain où l'on introduit le tube. Toutefois cette expérience nécessite non-seulement une bobine, mais une pile pour la faire marcher, ce qui la rend peu pratique pour les médecins.

* 761. **Rotation des courants induits par les aimants.** — M. de La Rive a imaginé récemment une expérience qui démontre d'une manière curieuse l'action rotative des aimants sur les courants. Ce savant a d'abord fait cette expérience avec une forte machine électrique; mais elle présente un éclat bien plus remarquable avec la bobine de Ruhmkorff.

L'appareil de M. de La Rive se compose d'un ballon de verre, ou œuf électrique, muni à l'une de ses extrémités de deux robinets, l'un qui se visse sur la machine pneumatique, et l'autre, qui est un robinet semblable à celui de Gay-Lussac (336), sert à intro-

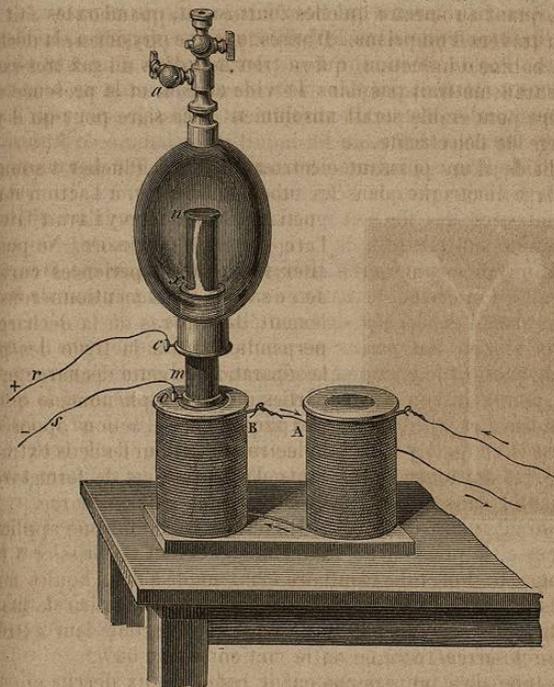


Fig. 641.

duire quelques gouttes d'un liquide volatil dans le ballon. A l'autre extrémité de celui-ci est mastiquée une tubulure dans laquelle passe une tige de fer doux *mn*, de 2 centimètres de diamètre (fig. 641), et dont l'extrémité supérieure aboutit à peu près au centre du ballon. Cette tige est recouverte dans toute son étendue, sauf à ses deux extrémités, d'une couche isolante très-épaisse, formée d'abord de gomme laque, puis d'un tube de verre recouvert lui-même de gomme laque, encore d'un second tube de verre, et enfin d'une couche de cire bien lisse. Cette couche isolante doit avoir au moins un centimètre d'épaisseur. Dans l'intérieur du ballon, la couche isolante est entourée, en *x*, d'un anneau de cui-

vré qui communique par un fil de même métal avec un bouton extérieur *c*.

Ayant fait le vide le plus parfait possible dans le ballon, on y introduit quelques gouttes d'éther ou d'essence de térébenthine, au moyen du robinet *a*, puis on fait le vide de nouveau, de manière qu'il ne reste dans le ballon qu'une vapeur extrêmement raréfiée. Posant alors, sur l'une des branches d'un fort électro-aimant AB, un disque épais de fer doux *o*, muni d'un bouton, on applique sur ce disque l'extrémité *m* de la tige *mn*; puis on fait arriver les deux bouts du fil induit de la bobine de Ruhmkorff, l'un au bouton *c*, l'autre au bouton *o*. Or, si l'on fait alors marcher la bobine sans que l'électro-aimant fonctionne, les électricités contraires des fils *s* et *r* passant, celle du premier fil jusqu'à l'extrémité supérieure *n* de la tige de fer doux, et celle du second fil à l'anneau *x*, une gerbe lumineuse plus ou moins irrégulière apparaît à l'intérieur du ballon de *n* en *x*, tout autour de la tige, comme dans l'expérience de l'œuf électrique.

Mais si l'on fait passer un courant voltaïque dans l'électro-aimant, aussitôt le phénomène change : au lieu de partir des différents points du contour supérieur *n* et de l'anneau *x*, la lumière se condense et jaillit en un seul arc lumineux de *n* en *x*. De plus, et c'est là ce qu'il y a surtout de remarquable dans cette expérience, cet arc tourne assez lentement autour du cylindre aimanté *mn*, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, selon la direction du courant induit ou le sens de l'aimantation. Dès que l'aimantation cesse, le phénomène lumineux redevient ce qu'il était auparavant.

Un fait digne de remarque dans cette expérience, c'est qu'elle a été imaginée *à priori* par M. de La Rive, pour expliquer, par l'influence du magnétisme terrestre, une sorte de mouvement rotatoire de l'ouest à l'est, en passant par le sud, qu'on a observé dans les aurores boréales. En effet, la rotation de l'arc lumineux, dans l'expérience ci-dessus, doit évidemment se rapporter à la rotation des courants par les aimants (721).

* 762. **Fusée de Stateham.** — M. Stateham, ingénieur anglais, a trouvé qu'un fil de cuivre AB (fig. 642) étant recouvert de gutta-percha sulfurée, au bout de quelques mois il se forme, au contact du métal et de son enveloppe, une couche de sulfure de cuivre qui suffit pour conduire le courant. En effet, si, en une partie quelconque du circuit, on coupe la moitié supérieure de l'enveloppe, puis que, dans l'échancrure ainsi formée, on enlève un morceau de fil de cuivre de 6 millimètres de longueur, un courant intense qui passe dans le fil de cuivre se trouve interrompu de *a*

en *b*, mais il passe alors par le sulfure de cuivre qu'il fait entrer en ignition. D'où il résulte que si, dans la cavité ainsi creusée, on met un corps inflammable, comme du coton-poudre, ou de la poudre à canon, ce corps prend feu : de là le nom de *fusée de Stateham* donné à ce petit appareil. M. Du Moncel a appliqué avec un succès complet cette fusée à l'explosion de mines dans le port de Cherbourg.

Si l'on veut faire marcher la fusée de Stateham avec une pile, celle-ci doit être puissante; le courant entrant en A retourne à la pile par l'extrémité B, ou va se perdre dans le sol, ce qui revient au même. Mais si, au lieu d'une pile, on fait usage de la bobine

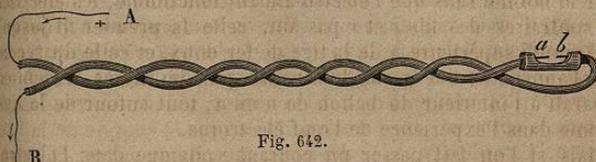


Fig. 642.

de Ruhmkorff, on obtient les mêmes effets avec deux couples de Bunsen. C'est alors le courant induit de cette bobine qui entre en A et sort en B. On constate donc ainsi les effets calorifiques des courants d'induction.

M. Faraday, qui a fait de curieuses expériences sur les fils de cuivre revêtus de gutta-percha, a trouvé que les effets physiques et physiologiques produits par un courant qui passe dans des fils très-longs sont très-faibles, et même insensibles, quand les fils sont dans l'air, et qu'au contraire les mêmes effets sont très-intenses lorsque les fils sont immergés dans l'eau ou plongés dans le sol. M. Faraday, qui expérimentait sur des fils de 160 kilomètres de longueur, explique ce phénomène en comparant le fil de cuivre recouvert de gutta-percha à un condensateur construit sur une grande échelle : le fil de cuivre, chargé d'électricité par la pile ou par la bobine, agit par influence, au travers de la gutta-percha, sur l'eau ou sur le sol, qui se trouve ainsi former l'armature extérieure du condensateur; de là l'accumulation de l'électricité et les effets puissants qu'on obtient alors.

CARACTÈRES, INTENSITÉ ET DIRECTION DES COURANTS INDUITS.

* 763. **Caractères des courants d'induction.** — D'après les différentes expériences indiquées jusqu'ici sur les courants d'induction, on voit que, malgré leur instantanéité, ils possèdent toutes

les propriétés des courants voltaïques ordinaires. Comme eux, ils exercent des effets physiologiques violents, produisent des effets lumineux, calorifiques, chimiques, et donnent eux-mêmes naissance à de nouveaux courants induits. Enfin, ils font dévier l'aiguille des galvanomètres et aimantent les barreaux d'acier, quand on les fait passer dans un fil de cuivre enroulé autour de ces barreaux.

L'intensité de la commotion des courants induits rend leurs effets comparables à ceux de l'électricité à l'état de tension. Toutefois, comme ils agissent toujours sur le galvanomètre, on doit admettre que, dans les fils soumis à l'induction, il y a, à la fois, de l'électricité à l'état de tension et à l'état dynamique. En effet, en recueillant d'une manière continue le courant induit de même sens, au moyen d'un commutateur, Masson est parvenu à charger le condensateur. Mais cette hypothèse devient surtout probable par les effets obtenus ci-dessus avec la bobine de Ruhmkorff.

Le courant induit direct et le courant induit inverse ont été comparés entre eux sous trois points de vue : l'énergie de la commotion, l'amplitude de la déviation du galvanomètre, et l'action magnétisante sur les barreaux d'acier. Appréciés ainsi, ces courants présentent des résultats très-différents : ils paraissent sensiblement égaux quant à la déviation du galvanomètre, tandis que la commotion du courant direct étant très-forte, celle du courant inverse est à peu près nulle. La même différence a lieu pour la force magnétisante. Le courant direct aimante à saturation, mais le courant inverse n'aimante pas.

* 764. **Intensité des courants d'induction.** — Dans son traité spécial sur l'induction, M. Matteucci déduit de ses propres travaux et de ceux de MM. Faraday, Lenz, Dove, Abria, Weber, Marianini et Felici, les lois suivantes sur l'intensité des courants d'induction.

1° *L'intensité des courants induits est proportionnelle à celle des courants inducteurs.*

2° *Cette même intensité est proportionnelle au produit des longueurs des circuits inducteur et induit.*

3° *L'intensité d'un courant induit est en raison inverse du temps pendant lequel il se développe.*

4° *La force électromotrice développée par une quantité donnée d'électricité est la même, quelles que soient la nature, la section et la forme du circuit inducteur.*

5° *La force électromotrice développée par l'induction d'un courant sur un circuit conducteur quelconque est indépendante de la nature de ce conducteur.*

6° *Le développement de l'induction est indépendant de la nature du corps isolant interposé entre les circuits inducteur et induit.*

Cette dernière loi n'est pas d'accord avec les expériences de M. Faraday sur l'induction de l'électricité à l'état statique (630).

* 765. **Direction des courants induits sur les disques tournants.** — M. Faraday a cherché, le premier, quelle était la direction des courants induits sur la surface des disques métalliques tournant devant les pôles contraires de deux forts aimants. Son procédé con-

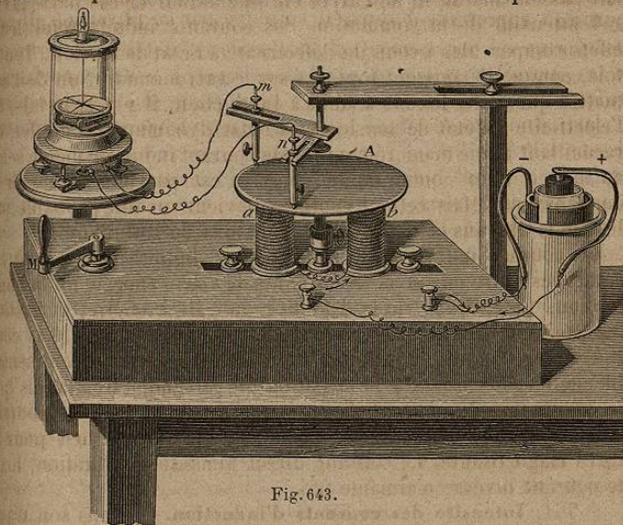


Fig. 643.

siste à mettre l'un des bouts du fil du galvanomètre en contact avec l'axe du disque tournant, et l'autre bout avec différents points de la circonférence du même disque. Il a ainsi constaté, d'après la déviation de l'aiguille du galvanomètre, que, pendant la rotation du disque, il se produit, à sa surface, des courants induits dirigés du centre à la circonférence, ou de la circonférence au centre, selon le sens de la rotation, et que ces courants sont symétriques par rapport au diamètre polaire, c'est-à-dire qui passe au-dessus des pôles des aimants.

Nobili et Antinori se sont aussi occupés de rechercher la direction des courants induits sur les disques tournants, et, pour cela, l'un des bouts du fil du galvanomètre étant en contact avec l'axe du disque, ils faisaient communiquer l'autre bout, non-seulement avec la circonférence du disque, mais encore avec les différents points de sa surface. Ils ont ainsi observé que, sur les parties du disque entrant sous l'influence magnétique, il se développe con-

stamment un système de courants contraires à ceux de l'aimant, et que, sur les parties se dégageant de la même influence, il se produit des courants de même sens que ceux de l'aimant, et par suite contraires aux premiers.

M. Matteucci, ayant étudié les mêmes phénomènes, mais avec plus de précision, les a trouvés plus compliqués qu'on ne le pensait. La figure 643 représente l'appareil employé par ce physicien. Il se

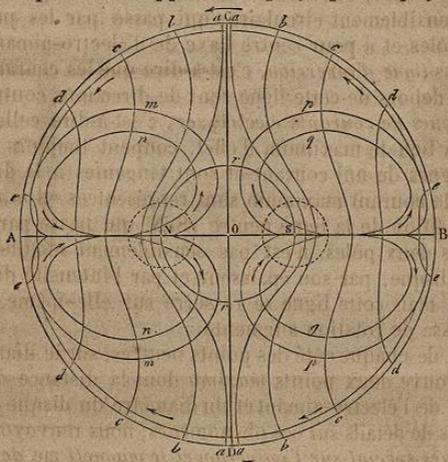


Fig. 644.

compose d'une caisse de bois dans laquelle une suite d'engrenages transmettent, à l'aide d'une manivelle M, un mouvement de rotation plus ou moins rapide à un disque de métal A, de 20 centimètres de diamètre. Au-dessous du disque, à un intervalle de 2 à 3 millimètres, est un puissant électro-aimant *ab*, qui se déplace dans une rainure, de manière à pouvoir présenter ses pôles successivement à tous les points du disque. Enfin, au-dessus du disque sont deux tiges de cuivre *m* et *n*, terminées chacune par une pointe émoussée et amalgamée, qui touche le disque. Ces mêmes tiges, à leur extrémité supérieure, communiquent avec les deux bouts du fil d'un galvanomètre; de plus, par la disposition des supports auxquels elles sont fixées, elles peuvent occuper toutes les positions par rapport au centre et à la circonférence du disque.

Au moyen de cet appareil, et en mettant l'un des bouts du fil du galvanomètre en contact avec le centre, et l'autre avec les différents points de la surface du disque, M. Matteucci a constaté les faits suivants, représentés sur la figure 644, dans laquelle les

points N et S sont les projections des pôles de l'électro-aimant, et AB la droite qui passe au-dessus de ces pôles :

1° M. Matteucci a trouvé des *lignes de nul courant*, *a, b, c, d, e*, qui sont normales à la ligne AB, et se contournent près des bords du disque, de manière à les couper toujours normalement.

2° La projection de chaque pôle de l'électro-aimant sur le disque est un *point neutre*, c'est-à-dire de nul courant; de plus, une ligne neutre *rr* sensiblement circulaire, qui passe par les projections des deux pôles et a pour centre l'axe de l'électro-aimant, est en même temps *ligne d'inversion*, c'est-à-dire que les courants en dedans et en dehors de cette ligne sont de directions contraires.

3° Les *lignes de courants électriques*, c'est-à-dire celles suivant lesquelles a lieu le maximum d'effet, coupent toujours normalement les lignes de nul courant et sont tangentes à la droite AB; les lignes de courant maximum sont représentées en *m, n, p, q*.

4° La position de la ligne neutre *rSrN*, qui passe par les projections des deux pôles, n'est pas sensiblement modifiée par la nature du disque, par son épaisseur et par l'intensité du courant de la pile; mais cette ligne se resserre sur elle-même à mesure que la vitesse de rotation augmente.

5° Enfin, de chaque côté des points neutres, sur le diamètre polaire, on trouve deux points *maxima* dont la distance dépend de la grosseur de l'électro-aimant et du diamètre du disque tournant.

Pour plus de détails sur ces phénomènes, nous renvoyons le lecteur au *Cours spécial sur l'induction et le magnétisme de rotation*, publié à la fin de 1854 par M. Matteucci.

* 766. **Chaleur développée par l'induction des aimants puissants sur les corps en mouvement.** — On a vu, en parlant de l'expérience d'Arago (748), qu'un disque de cuivre rouge, tournant sur lui-même, agit à distance sur un aimant mobile pour lui communiquer son mouvement de rotation. On verra bientôt (768) que réciproquement un cube de cuivre rouge, animé d'un mouvement de rotation rapide, est arrêté brusquement par l'influence des pôles de deux forts aimants (fig. 648). Il est évident que, dans ces expériences, si l'on voulait s'opposer à la rotation de l'aiguille, ou empêcher que le cube ne continuât de tourner, il faudrait dépenser constamment un certain travail mécanique pour vaincre la résistance qui résulte de l'action inductrice des aimants. Or, se basant sur la théorie de la transformation du travail mécanique en chaleur, qui préoccupe les physiciens depuis quelques années (366), on a cherché quelle serait ainsi la quantité de chaleur développée par les courants d'induction sous l'influence d'aimants puissants. M. Joule, dans le but de déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur, a

enroulé une bobine autour d'un cylindre de fer doux, et ayant renfermé le tout dans un tube de verre plein d'eau, il a imprimé au système un mouvement de rotation rapide entre les branches d'un fort électro-aimant. Un thermomètre placé dans le liquide servait à mesurer la quantité de chaleur dégagée par les courants d'induction dans le fer doux et dans le fil de cuivre enroulé autour.

M. Foucault a fait récemment, à ce sujet, une expérience remarquable, à l'aide de l'appareil représenté dans la figure 645. Cet appareil consiste en un puissant électro-aimant fixé horizontalement sur une table. Deux pièces de fer doux A et B sont en contact avec les pôles de l'électro-aimant, de manière que, s'aimantant elles-mêmes par influence, elles concentrent leur action magnétique inductrice sur les deux faces d'un disque métallique D. Ce disque, qui est de cuivre rouge, de 75 millimètres de diamètre et de 7 millimètres d'épaisseur, s'engage en partie entre les pièces A et B, où il reçoit, à l'aide d'une manivelle et d'une suite de roues et de pignons, une vitesse de 150 à 200 tours par seconde.

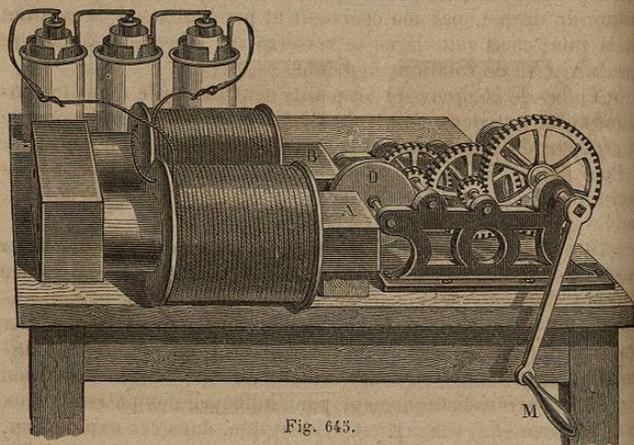


Fig. 645.

Tant que le courant de la pile ne passe pas dans le fil de l'électro-aimant, on n'éprouve qu'une très-faible résistance à tourner la manivelle, et si, une fois qu'elle a pris, avec les roues et le disque, un mouvement de rotation rapide, on l'abandonne à elle-même, la rotation continue assez longtemps en vertu de la vitesse acquise. Mais lorsqu'on fait passer le courant, le disque et les autres pièces s'arrêtent presque instantanément, et si alors on reprend la manivelle, on éprouve une résistance considérable. Or, si malgré cette

résistance, on continue à tourner, c'est ici que la force qu'on dépense se transforme en chaleur, le disque s'échauffant d'une manière remarquable. Dans une expérience faite devant nous par M. Foucault, la température du disque s'est élevée, en trois minutes, de 10 degrés à 61, le courant étant fourni seulement par trois éléments de Bunsen. Avec six, la résistance est telle, qu'on ne pourrait tourner longtemps.

* CHAPITRE VII.

EFFETS OPTIQUES DES AIMANTS PUISSANTS, DIAMAGNÉTISME.

767. **Effets optiques des aimants puissants.** — M. Faraday a découvert, en 1845, qu'un puissant électro-aimant exerce, sur plu-

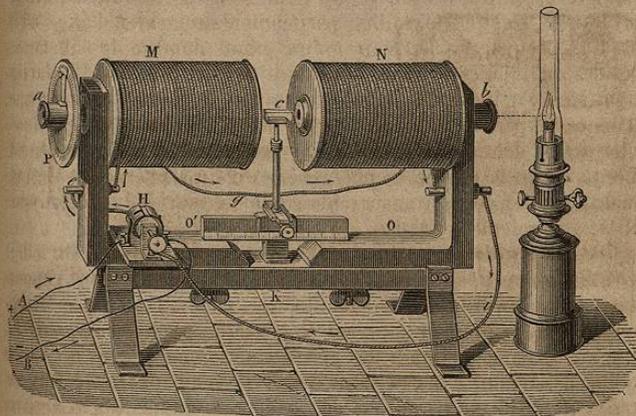


Fig. 646 (h=43).

sieurs substances transparentes, une action telle, que, si un rayon polarisé les traverse dans la direction de la ligne des pôles magnétiques, le plan de polarisation est dévié soit à droite, soit à gauche (570), suivant le sens de l'aimantation.

La figure 646 représente l'appareil de M. Faraday; il est formé de deux électro-aimants M et N extrêmement puissants, fixés à deux chariots de fer O, O', qui peuvent se rapprocher plus ou moins en glissant sur un support K. Le courant d'une pile de 10