



HAL
open science

Mesures sur la viscosité de l'oxygène dans un champ magnétique et pour des très basses pressions

A. van Itterbeek, A. Claes

► **To cite this version:**

A. van Itterbeek, A. Claes. Mesures sur la viscosité de l'oxygène dans un champ magnétique et pour des très basses pressions. *Journal de Physique et le Radium*, 1938, 9 (11), pp.457-461. 10.1051/jphys-rad:01938009011045700 . jpa-00233618

HAL Id: jpa-00233618

<https://hal.science/jpa-00233618>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

LE RADIUM

MESURES SUR LA VISCOSITÉ DE L'OXYGÈNE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE ET POUR DES TRÈS BASSES PRESSIONS

Par A. VAN ITTERBEEK et M^{lle} A. CLAES.
Natuurkundig Laboratorium, Louvain (Belgique).

Sommaire. — Nous avons fait des mesures sur l'influence du champ magnétique (intensité maximum, 869 oersted ; lignes de force perpendiculaires au mouvement du gaz) sur la viscosité de l'oxygène en fonction de la pression (760 mm à 0,5 mm) et en fonction de l'intensité du champ. Les mesures sont faites à la température ordinaire et à 90° Abs.

La méthode expérimentale est la méthode d'oscillation de Maxwell. En accord avec les résultats trouvés par d'autres chercheurs, qui ont cependant employé la méthode d'écoulement, nous avons trouvé que la viscosité diminue sous l'influence du champ. A la température ordinaire, ce décroissement passe même par un maximum aux environs de 15 mm. Ce maximum semble constituer une propriété due à l'oxygène seul et ne dépend pas des dimensions de l'appareil.

A 90° Abs., nous n'avons pas trouvé de décroissement, bien que toutes les précautions expérimentales possibles aient été prises.

1. Introduction. — En rapport avec l'ensemble des recherches que nous avons entreprises les dernières années (1) sur la viscosité des gaz aux basses températures et sous des basses pressions, nous avons maintenant étudié la viscosité de l'oxygène dans un champ magnétique.

Cette recherche présente un intérêt particulier. En effet, comme on sait, un grand nombre de recherches ont été faites par Engelhardt et Sack (2), Senftleben (3), Senftleben et Pietzner (4), Trautz et Fröschel (5) et par Senftleben et Gladisch (6) sur le décroissement que subit la viscosité et la conductibilité thermique des gaz paramagnétiques, tels que O₂ et NO, sous l'influence d'un champ magnétique. Les phénomènes observés sont très compliqués et, jusqu'ici, on n'est pas encore parvenu à donner une explication physique satisfaisante pour l'ensemble des résultats trouvés. Il reste cependant à citer les travaux théoriques de Laue (7) qui est parvenu à établir une formule, en supposant qu'il y ait un effet sur le libre parcours moyen (sans faire appel cependant à une image physique), et qui permet de décrire l'ensemble des résultats correspondants aux pressions ordinaires. Dans la région des basses pressions, le phénomène est encore plus compliqué et notre recherche se rapporte justement à la région des très basses pressions où presque pas de mesures ont été faites jusqu'ici.

Nos recherches sont encore importantes au point de vue suivant. Les mesures faites jusqu'ici par les différents expérimentateurs sur la viscosité ont été exécutées en faisant usage de la méthode d'écoulement, sous une forme plus ou moins perfectionnée, à

travers un tube capillaire. Or, on comprend facilement que la méthode d'écoulement n'est pas applicable à la région des très basses pressions.

Dans toutes nos recherches sur la viscosité des gaz nous avons toujours fait usage de la méthode d'oscillation de Maxwell. Cette méthode qui présente un degré de précision relative très grande est particulièrement appropriée à l'étude de la viscosité en fonction de la pression et aussi aux basses températures. En employant ainsi une méthode expérimentale complètement différente de celle employée par les autres chercheurs, on disposait d'un moyen de contrôle efficace.

Comme on sait, la loi de Maxwell (la viscosité d'un gaz ne dépend pas de la pression), n'est plus valable dans la région des pressions où le libre parcours moyen des molécules devient de l'ordre de grandeur des dimensions de l'appareil. Il a été montré par l'un d'entre nous, dans une publication faite en collaboration avec Keesom (8) que, dans la région des basses et des très basses pressions que la viscosité (*) peut être représentée au moyen d'une formule de la forme : $\eta = \eta_{\infty} \cdot p / (\eta_{\infty} \cdot a + p)$ (1), η_{∞} étant la valeur limite de η et correspondant à la vraie viscosité du gaz, p la pression et a un paramètre qui dépend des dimensions de l'appareil et qui varie en fonction de la température. La courbe $\eta(p)$ représentée par la formule précédente peut être considérée comme formée de deux parties : une partie courbe qui correspond aux pressions pour lesquelles le libre parcours moyen correspondant devient de plus en plus de l'ordre de

(*) Il faut considérer ici une extension de la notion de viscosité.

grandeur des dimensions de l'appareil. L'autre partie peut être considérée comme droite ($\eta = p/a$) et correspond aux très basses pressions pour lesquelles le libre parcours moyen correspondant est beaucoup supérieur aux dimensions de l'appareil dans lequel la viscosité est mesurée.

Nous avons parcouru tout en entier la courbe de viscosité $\eta(p)$ à la température ordinaire pour le cas de l'oxygène placé dans un champ magnétique perpendiculaire à la composante du mouvement du gaz. En parcourant ainsi tout en entier la courbe de viscosité, nous avons eu l'intention d'examiner si le phénomène du décroissement ne serait pas intimement lié à une influence du champ sur la fonction distributive des vitesses des particules.

On pouvait prévoir, d'après les mesures faites par les autres chercheurs, qu'aux environs de 15 mm, le décroissement que subit la viscosité devait passer par un maximum en la considérant en fonction de la pression. Nous avons retrouvé ce maximum et il nous semble que ceci doit être considéré comme un fait très important, en effet, ceci nous montre que le phénomène observé ne dépend pas des conditions expérimentales, mais semble être une propriété propre à l'oxygène.

La courbe $\eta(p)$ a été étudiée avec beaucoup de soin aux environs de ce maximum. D'autre part, on peut aussi remarquer que la pression de 15 mm tombe encore dans la région des pressions où la viscosité ne dépend pas encore de la pression. Il semblerait donc que le phénomène n'aurait pas de liaison avec une influence sur la distribution des vitesses.

Nous avons fait aussi quelques mesures à la température d'ébullition de l'oxygène liquide. Nous n'avons pas trouvé d'influence du champ magnétique, en parcourant aussi la courbe $\eta(p)$. Ceci ne semble pas être en accord avec les résultats obtenus pour la conductibilité thermique (9).

§ 2. **Appareil et méthode de mesure.** — L'appareil qui a servi également à nos mesures antérieures sur la viscosité des gaz est représenté dans la figure 1.

A cause de l'usage d'un champ magnétique, cet appareil antérieur avait dû subir cependant quelques modifications. Le disque oscillant, qui avait été jusqu'ici en cuivre et qui était suspendu à un axe en acier a dû être remplacé par un disque en verre. L'axe de suspension est maintenant également complètement en verre.

a représente le disque oscillant (épaisseur : 0,7 mm et diamètre 41 mm).

b représente l'axe de suspension (diamètre 1 mm). L'axe b est suspendu à son tour à un fil c en bronze phosphoreux (0,01 mm).

d sont les disques fixes qui se trouvent à des distances $d_1 = 0,724$ mm, et $d_2 = 1,066$ mm du disque mobile a .

Le système d'oscillation formé par les deux disques fixes d_1 et d_2 est attaché au tube en verre e au moyen

d'une pièce en fer chromique, scellée au tube e . Le tube e est scellé à son tour au réservoir f , contenant le gaz à étudier.

Les oscillations du système sont observées au moyen d'un petit miroir plan m collé à l'axe b . La lecture des déviations se fait au moyen d'une lunette dans laquelle on observe l'image d'une échelle réfléchiée par le miroir.

Le système est mis en mouvement en communiquant une déviation à la pièce en fer doux (n), collé à l'axe b , et en approchant l'appareil au moyen d'un aimant permanent.

E représente la bobine qui sert à produire le champ magnétique, E constitue une des bobines de l'électroaimant de notre laboratoire (1 000 spires, intensité de courant maximum : 20 A).

Comme on sait, la viscosité d'un gaz s'obtient en déterminant la différence des décroissements logarithmiques $\lambda - \lambda_0$, λ étant le décroissement observé dans le gaz et λ_0 dans le vide. Il faut, en outre, connaître la période d'oscillation τ (11,88 sec dans nos expériences). On calcule alors η en partant de la formule

$$\eta = C \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\tau} \right). \quad (2)$$

C est une constante de l'appareil qui peut être déterminée en faisant intervenir les dimensions de l'appareil ou plus commodément, en faisant une mesure relative.

La formule (2) s'obtient en étudiant l'équation différentielle du second ordre qui représente l'équation de mouvement du système oscillant.

En voulant faire les observations dans un champ magnétique, nous avons rencontré certaines difficultés,

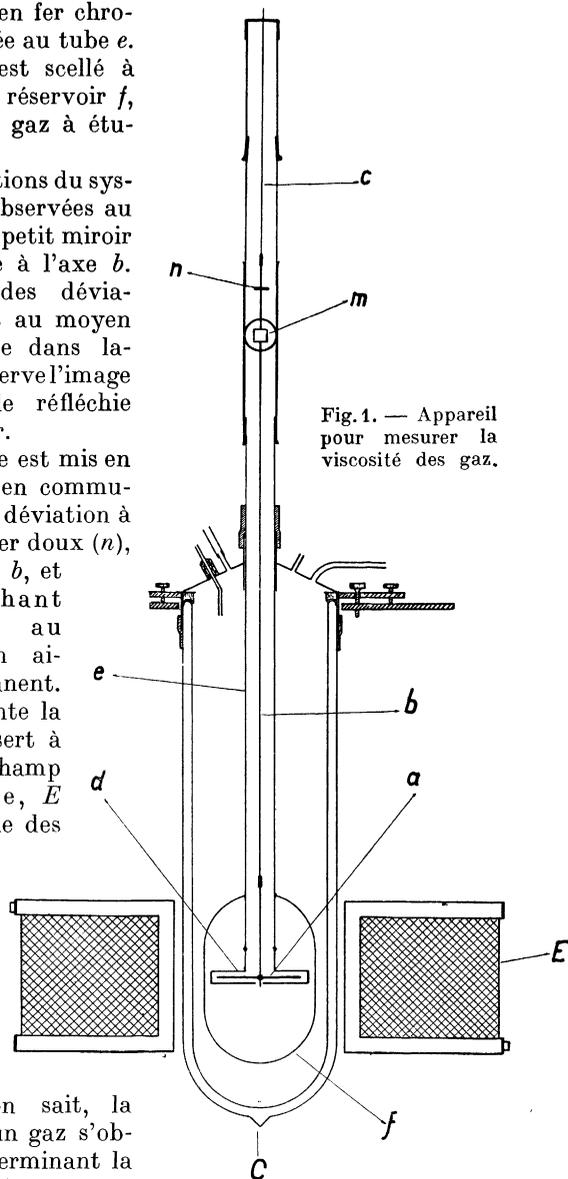


Fig. 1. — Appareil pour mesurer la viscosité des gaz.

auxquelles on n'a pas affaire quand on emploie la méthode d'écoulement. En effet, dans ce dernier cas, on a seulement affaire au mouvement du gaz, tandis que dans la méthode d'oscillation, il faut considérer en outre le mouvement du disque qui effectue des oscillations dans le champ magnétique. Dans le cas où le disque se meut dans un plan parallèle aux lignes de force, il faut tenir compte de l'influence du champ magnétique sur le mouvement du disque même lorsque ce dernier est en verre (viscosité magnétique). Cette influence ne peut pas être éliminée en faisant des mesures dans le vide, à cause du fait que la solution de l'équation différentielle correspondant à l'effet de viscosité magnétique ensemble avec l'effet de viscosité dû au gaz ne peut pas être séparée en deux parties explicitement distinctes et se rapportant chacune aux deux effets considérés séparés.

Afin d'éviter cette difficulté, nous nous sommes décidés de faire des mesures dans un champ perpendiculaire au mouvement du disque. Nous avons fait aussi quelques mesures dans l'autre direction du champ, afin d'obtenir certaines données numériques sur la « viscosité magnétique » du verre. Nous reviendrons dans un autre article, sur les résultats de ces mesures.

Comme nous l'avons indiqué ci-dessus le champ magnétique pour le cas où les lignes de force sont perpendiculaires au mouvement du disque, est produit au moyen d'un solénoïde. Evidemment, de ce fait, l'intensité du champ magnétique employé est limitée à environ 1 000 G. Heureusement, quand on veut étudier le décroissement de la viscosité dans la région des basses pressions, des intensités de cet ordre de grandeur sont suffisantes.

§ 3. **Résultats expérimentaux.** — Comme l'influence du champ magnétique sur la viscosité du gaz est très petite et ne dépasse pas 1 pour 100, les mesures devaient être faites avec grande précision. Tout changement de température au cours d'une mesure pouvait erronner complètement les résultats. Pour cette raison, l'appareil était complètement protégé au moyen d'un vase Dewar.

Aussi, le temps nécessaire à une mesure est rendu aussi court que possible (une mesure dure au maximum 2 min) de sorte que toute influence, par suite d'un changement de température, peut être exclue. Aussi les mesures sont toujours faites dans l'ordre suivant : On commence par faire une mesure sans le champ, immédiatement après, la mesure est répétée en appliquant le champ et ceci est fait 3 fois de suite. Chaque mesure est formée de 20 oscillations, de sorte que pour calculer le décroissement logarithmique moyen, on dispose ainsi de 40 données numériques. Néanmoins toutes ces précautions, la précision obtenue pour le décroissement n'est pas encore grande.

L'oxygène employé dans ces mesures est purifié en distillant de l'oxygène de 99,6 pour 100.

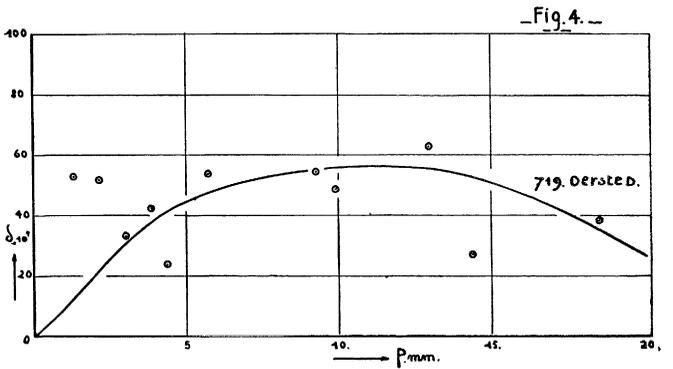
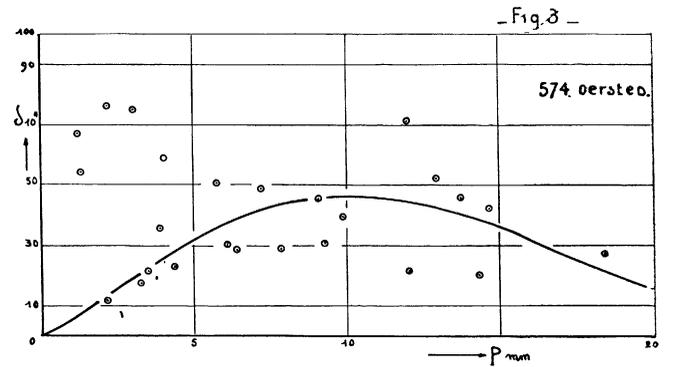
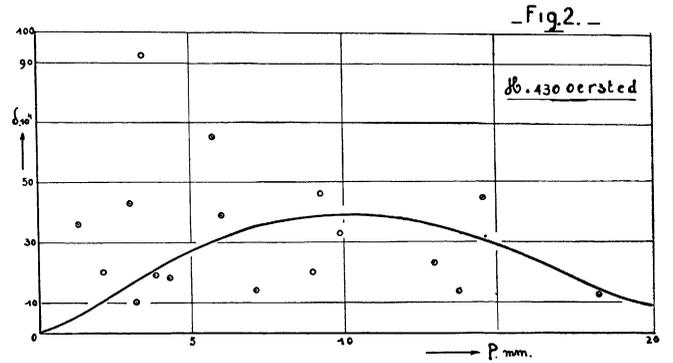
Les résultats obtenus à la température ordinaire

TABLEAU I. — *Décroissement de la viscosité de l'oxygène dans un champ magnétique, à la température ordinaire.*

| DATE 1938 | t° C | p mm | $\gamma_0 \cdot 10^7$ SANS LE CHAMP | $\gamma_H \cdot 10^7$ AVEC LE CHAMP | $\frac{\gamma_0 - \gamma_H}{\gamma_0} \cdot 10^2$ |
|------------------------|------|-------|---|---|---|
| <i>H</i> = 430 oersted | | | | | |
| 23-3 | 21,0 | 1,34 | 1 761,9 | 1 755,6 | 36 |
| 11-5 | 19,2 | 2,13 | 1 850,4 | 1 846,7 | 20 |
| 23-3 | 19,0 | 3,04 | 1 908,0 | 1 899,8 | 43 |
| 23-5 | 18,8 | 3,25 | 1 929,6 | 1 927,6 | 10 |
| 25-5 | 18,0 | 3,46 | 1 937,0 | 1 919,1 | 92 |
| 11-5 | 19,0 | 3,85 | 1 925,3 | 1 921,6 | 19 |
| 22-3 | 22,4 | 4,35 | 1 989,5 | 1 985,8 | 19 |
| 11-5 | 18,0 | 5,78 | 1 964,0 | 1 951,2 | 65 |
| 10-5 | 21,8 | 6,10 | 2 005,2 | 1 997,3 | 39 |
| 23-5 | 18,0 | 7,21 | 1 979,4 | 1 976,6 | 14 |
| 25-5 | 17,6 | 9,08 | 1 985,9 | 1 981,7 | 21 |
| 10-5 | 21,4 | 9,28 | 2 025,1 | 2 015,6 | 47 |
| 23-3 | 22,3 | 9,84 | 2 025,4 | 2 018,7 | 34 |
| 10-5 | 19,6 | 12,94 | 2 012,9 | 2 008,1 | 24 |
| 25-5 | 17,2 | 13,77 | 1 993,9 | 1 991,0 | 15 |
| 23-5 | 17,2 | 14,63 | 1 999,3 | 1 990,2 | 46 |
| 10-5 | 18,2 | 18,46 | 2 009,8 | 2 006,9 | 15 |
| <i>H</i> = 574 oersted | | | | | |
| 22-2 | 19,0 | 1,21 | 1 719,3 | 1 707,8 | 67 |
| 23-3 | 21,2 | 1,34 | 1 764,2 | 1 754,2 | 54 |
| 11-5 | 19,2 | 2,13 | 1 852,1 | 1 849,8 | 12 |
| 22-2 | 19,0 | 2,20 | 1 862,3 | 1 848,1 | 76 |
| 23-3 | 19,0 | 3,04 | 1 911,8 | 1 897,5 | 75 |
| 23-3 | 19,1 | 3,25 | 1 934,4 | 1 931,0 | 18 |
| 25-5 | 18,2 | 3,46 | 1 938,5 | 1 934,4 | 21 |
| 11-5 | 19,2 | 3,85 | 1 929,1 | 1 922,2 | 36 |
| 22-2 | 19,0 | 4,07 | 1 950,7 | 1 939,2 | 59 |
| 22-3 | 22,5 | 4,35 | 1 990,1 | 1 985,5 | 23 |
| 11-5 | 18,0 | 5,78 | 1 964,0 | 1 954,1 | 50 |
| 10-5 | 21,9 | 6,10 | 2 007,2 | 2 001,0 | 31 |
| 22-2 | 18,0 | 6,40 | 1 976,2 | 1 970,5 | 29 |
| 23-3 | 18,3 | 7,21 | 1 985,5 | 1 975,7 | 49 |
| 22-2 | 17,5 | 7,91 | 1 978,5 | 1 973,4 | 29 |
| 25-5 | 17,9 | 9,08 | 1 986,5 | 1 977,4 | 46 |
| 10-5 | 21,3 | 9,28 | 2 024,8 | 2 018,6 | 31 |
| 22-3 | 22,3 | 9,84 | 2 027,5 | 2 019,5 | 39 |
| 22-5 | 17,7 | 12,03 | 1 998,1 | 1 993,9 | 21 |
| 22-2 | 17,0 | 12,12 | 1 993,3 | 1 979,1 | 71 |
| 10-5 | 20,0 | 12,94 | 2 019,7 | 2 009,2 | 52 |
| 25-5 | 17,2 | 13,77 | 1 993,3 | 1 984,2 | 46 |
| 22-3 | 20,8 | 14,38 | 2 015,3 | 2 011,3 | 20 |
| 23-5 | 17,3 | 14,63 | 1 999,3 | 1 990,8 | 43 |
| 10-5 | 18,5 | 18,46 | 2 013,1 | 2 007,8 | 26 |
| <i>H</i> = 719 oersted | | | | | |
| 23-3 | 21,2 | 1,34 | 1 765,6 | 1 756,2 | 53 |
| 11-5 | 19,2 | 2,13 | 1 858,7 | 1 849,0 | 52 |
| 23-3 | 19,9 | 3,04 | 1 915,7 | 1 909,4 | 33 |
| 11-5 | 19,2 | 3,85 | 1 929,6 | 1 921,4 | 43 |

| DATE 1938 | t° C | p mm | $r_0 \cdot 10^7$ SANS LE CHAMP | $\eta \cdot 10^7$ AVEC LE CHAMP | $\delta = \frac{\eta_H - r_0}{r_0}$ |
|------------------------|------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| H = 719 oersted | | | | | |
| 22-3 | 22,5 | 4,35 | 1 990,9 | 1 986,1 | 24 |
| 11-5 | 17,9 | 5,78 | 1 961,5 | 1 950,9 | 54 |
| 10-5 | 21,3 | 9,28 | 2 026,8 | 2 015,7 | 55 |
| 22-3 | 22,3 | 9,84 | 2 028,9 | 2 019,0 | 49 |
| 10-5 | 20,4 | 12,94 | 2 024,8 | 2 012,0 | 63 |
| 22-3 | 20,9 | 14,38 | 2 018,4 | 2 013,0 | 27 |
| 10-5 | 18,8 | 18,46 | 2 014,3 | 2 006,6 | 38 |
| H = 869 oersted | | | | | |
| 14-2 | 16,5 | 0,66 | 997,45 | 997,45 | 0 |
| 8-2 | 20,0 | 1,05 | 1 592,9 | 1 579,9 | 8 |
| 14-2 | 15,8 | 1,09 | 1 694,9 | 1 692,7 | 13 |
| 23-3 | 21,5 | 1,34 | 1 771,9 | 1 771,5 | 3 |
| 8-2 | 19,3 | 1,81 | 1 793,7 | 1 791,8 | 11 |
| 11-5 | 19,2 | 2,13 | 1 863,3 | 1 854,1 | 49 |
| 8-2 | 19,0 | 2,80 | 1 883,7 | 1 879,4 | 23 |
| 23-3 | 20,0 | 3,04 | 1 918,3 | 1 906,9 | 59 |
| 11-5 | 19,2 | 3,85 | 1 928,5 | 1 923,9 | 24 |
| 8-2 | 18,0 | 3,94 | 1 916,5 | 1 908,9 | 40 |
| 22-3 | 22,8 | 4,35 | 1 992,7 | 1 986,4 | 32 |
| 8-2 | 17,5 | 5,74 | 1 953,5 | 1 939,2 | 73 |
| 22-3 | 22,3 | 9,84 | 2 032,6 | 2 018,7 | 68 |
| 14-2 | 20,5 | 12,94 | 2 024,2 | 2 010,5 | 68 |
| 10-5 | 19,0 | 18,46 | 2 016,3 | 2 006,4 | 49 |
| 22-3 | 20,2 | 20,00 | 2 022,7 | 2 010,2 | 62 |
| 7-2 | 18,0 | 203,0 | 2 026,5 | 2 022,6 | 19 |
| 31-12-37 | 19,1 | 300,0 | 2 031,5 | 2 024,1 | 36 |
| 7-2 | 16,2 | 655,6 | 2 006,0 | 2 006,4 | 14 |

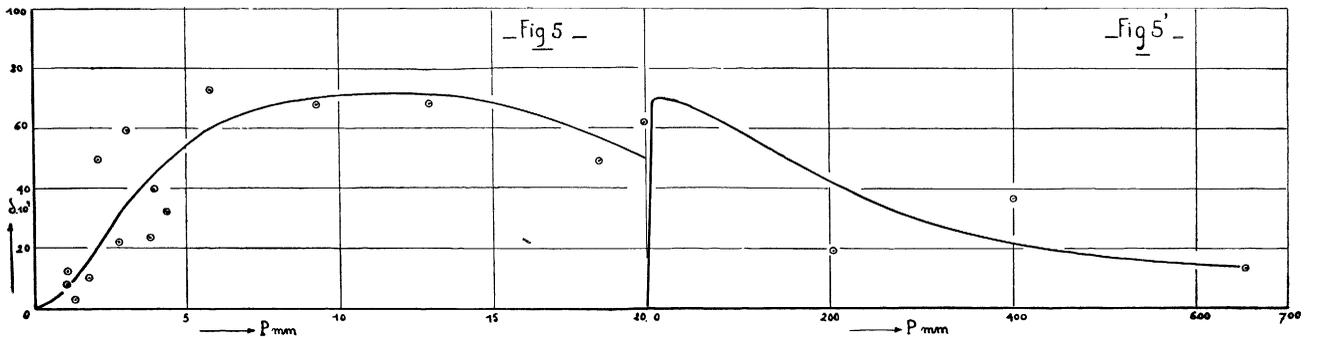
température ordinaire, on aperçoit que ces résultats sont en accord avec les résultats trouvés par les autres chercheurs. D'autre part, on remarque l'apparition du maximum comme il était prévu par les mesures de Senteleben et Gladisch (10). Ces auteurs n'avaient fait des mesures que jusque des pressions d'environ

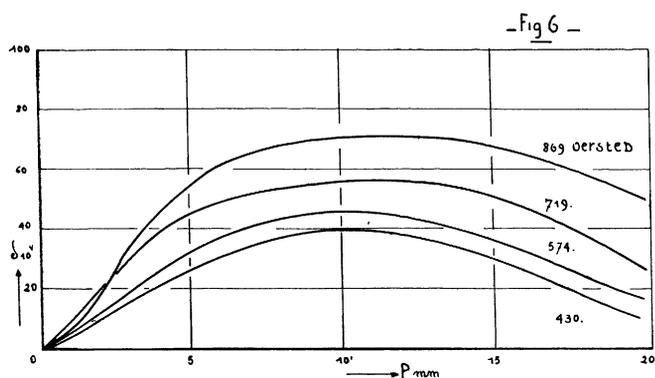


pour les champs de 430, 574, 719 et 869 oersted sont indiqués dans le tableau I, et représentés graphiquement au moyen des figures 2, 3, 4, 5 et 5' (la fig. 5' correspond au champ de 869 oersted, seulement, il a été utilisé une plus petite échelle).

A partir des courbes moyennes dessinées dans les figures 2, 3, 4, 5 et 5', nous avons obtenu le graphique 6, qui résume l'ensemble des résultats et qui montre le phénomène en fonction de l'intensité du champ.

En considérant l'ensemble des résultats obtenus à la





50 mm, mais pour des intensités du champ beaucoup plus grandes. L'existence de ce maximum apparaît aussi surtout des mesures sur la conductibilité thermique faite par Senftleben et Pietzner (4).

Comme nous avons fait remarquer ci-dessus, le maximum se trouve aux environs de 15 mm, or cette pression appartient encore à la région où la viscosité ne dépend pas encore de la pression (cette région se termine à environ 6 mm). Ce maximum semble donc bien être une propriété provenant seulement du gaz. De même, comme il a déjà été suggéré par d'autres chercheurs, nous sommes d'avis que le phénomène trouvé, ainsi que celui qui a été trouvé par l'un d'entre nous (11) en mesurant l'absorption du son dans l'oxygène placé dans un champ magnétique, doivent être expliqués par une espèce de polymérisation du gaz sous l'influence du champ magnétique (*). En faisant des mesures sur le spectre Raman, de l'oxygène placé dans un champ magnétique, il nous semble qu'on pourra trouver des données intéressantes, qui, peut-être, donneront une explication du phénomène.

Finalement, nous pouvons remarquer que même dans la région des pressions où le libre parcours moyen des molécules devient de l'ordre de grandeur des dimensions de l'appareil, que l'effet existe encore.

Dans le tableau II, nous avons indiqué les résultats obtenus à 90° Abs. Les résultats sont indiqués dans l'ordre que les mesures ont été faites. De ces mesures, on ne peut pas conclure à une diminution sous l'influence du champ magnétique. D'après les mesures faites par Senftleben et Pietzner (12) sur la conductibilité thermique à 87° Abs, il faudrait trouver cependant pour un champ de 800 Gauss et une pression de 40 mm, un décroissement de $30 \cdot 10^{-4}$ et l'effet va en croissant lorsque la pression s'abaisse.

(*) Quand on considère les mesures correspondant au champ de 574 oersted, on remarque qu'il existe des déviations relativement grandes pour des pressions inférieures à 5 mm. Il ne nous semble pas qu'on ait affaire ici à des erreurs accidentelles. Mais il serait bien possible, sous certaines conditions, la formation de molécules associées puisse être favorisée.

TABLEAU II.
H = 869 oersted, et T = 90,0° Abs.

| DATE | p mm | $\lambda \cdot 10^6$ SANS CHAMP | $\lambda_H \cdot 10^6$ AVEC CHAMP | $\lambda \cdot 10^6$ MOYEN SANS CHAMP | $\lambda_H \cdot 10^6$ MOYEN AVEC CHAMP |
|---------|-------|---------------------------------------|---|--|--|
| 28-3-38 | 10,41 | 991,8 | | | |
| | | 987,6 | | | |
| | 983,3 | 996,0 | 987,5 | 989,6 | |
| | | 983,3 | | | |
| 2,614 | 987,6 | | | | |
| | 987,6 | 1 000,3 | 993,9 | 998,1 | |
| 0,0428 | 676,6 | | 996,0 | | |
| | | | 685,1 | 776,6 | 778,7 |
| 0,0183 | 676,6 | | 672,3 | | |
| | | 445,0 | 453,6 | 449,3 | 450,7 |
| 4-4-38 | 1,096 | | 449,3 | | |
| | | 453,6 | 987,6 | 996,0 | 991,8 |
| | | 996,0 | | | |
| | | 996,0 | | | |

D'autre part, on peut remarquer que la précision de nos mesures est beaucoup plus petite à 90° Abs. qu'à la température ordinaire. Ceci provient du fait que le mouvement du disque oscillant est légèrement perturbé par suite de l'ébullition de l'oxygène liquide.

BIBLIOGRAPHIE

(2) A. VAN ITTERBEEK et W. H. KEESOM, *Physica*, 1935, 2, 97; *Comm. Leiden*, N° 235 a; A. VAN ITTERBEEK et M^{lle} A. CLAES, *Physica*, 1936, 3, 275; A. VAN ITTERBEEK et M^{lle} A. CLAES, *Wis- en Natuurk. Tydschr.*, 1936, 8, 45.
 (1) H. ENGELHARDT et H. SACK, *Physik Z.*, 1932, 33, 724.
 (2) H. SENFTLEBEN, *Physik Z.*, 1930, 31, 961.
 (3) H. SENFTLEBEN et J. PIETZNER, *Ann. der Physik*, 1933, 16, 907; 1936, 27, 108, 117.
 (4) M. TRAUTZ et E. FROSCHEL, *Ann. der Physik*, 1935, 22, 223.
 (5) H. SENFTLEBEN et H. GLADISCH, *Ann. der Physik*, 1937, 30, 713.
 (7) M. V. LAUE, *Ann. der Physik*, 1935, 23, 1; 1936, 26, 474.
 (8) A. VAN ITTERBEEK et W. H. KEESOM, *Physica*, 1938, 5, 257; *Comm. K. O. lab. Leiden*, N° 252 a.
 (9) H. SENFTLEBEN et J. PIETZNER, *Ann. der Physik*, 1933, 16, 907.
 (10) H. SENFTLEBEN et H. GLADISCH, *loc. cit.*
 (11) A. VAN ITTERBEEK et L. THYS, *Physica*, 1938, 5, 298.
 (12) H. SENFTLEBEN et J. PIETZNER, *Ann. der Physik*, 1933, 16, 907.