ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

J. Pawlikowski.

Sur la distribution des charges spatiales dans l'arc électrique à mercure[1].

Badania nad rozkładem ładunków przestrzennych w łuku rtęciowym[2].

Streszczenie.

Zostały przeprowadzone badania nad rozkładem ładunków przestrzennych i związanemi z niemi prędkościami elektronów w łuku rtęciowym przy niskiej prężności pary rtęci zapomocą metody sond Langmuirowskich.

Zgodnie z wynikami innych doświadczeń, na całej długości smugi dodatniej średnia prędkość wszystkich elektronów jest stała, natomiast w bezpośredniem otoczeniu katody stwierdzono dwie grupy prędkości elektronów. Drugi wynik jest w sprzeczności z rezultatami niektórych publikacyj, ogłoszonych w ostatnich czasach.

Panu Profesorowi Dr. M. Wolfkemu składam serdeczne podziękowanie za wskazanie mi tematu tej pracy i za cenne wskazówki.

Zakład Fizyczny I Politechniki Warszawskiej.

Rękopis otrzymany dn. 19 grudnia 1932.

L'une des questions fondamentales qui se présentent lorsqu'on étudie les arcs électriques c'est la détermination de la distribution des charges spatiales et des vitesses des électrons, lesquelles sont en rapport avec ces charges.

---

[1]) Ce travail a été présenté au VI-e Congrès des Physiciens Polonais à Varsovie (octobre 1932).

[2]) Praca ta była referowana na VI Zjeździe Fizyków Polskich w Warszawie w październiku 1932.

L'étude de cette question est notablement facilitée depuis que nous disposons de la méthode de ce qu'on appelle les sondes de Langmuir.

M. Irving Langmuir[1]) et M. Mott Smith[2]) ont réussi à établir en 1924, au moyen de ces sondes, des nouvelles valeurs de la chute cathodique au lieu de celles qu'on admettait depuis 1905 et qui avaient été déterminées par MM. J. Stark, T. Retschinski et A. Schaposchnikoff[3]), et à former de nouvelles hypothèses concernant l'origine et la durée de l'arc lui-même.

On peut résumer le principe de la méthode des sondes de Langmuir de la manière suivante.

Une sonde normale introduite dans un certain milieu, ne prend pas le potentiel de ce milieu, mais un potentiel qui diffère de celui du milieu d'une grandeur égale au potentiel correspondant à la vitesse moyenne des électrons dans ce milieu.

Si nous communiquons à la sonde un certain potentiel et si nous le varions dans les limites de ceux de la cathode et de l'anode, nous remarquerons sur la sonde trois états fondamentaux.

1. La sonde a un potentiel négatif par rapport à celui du milieu; la différence de ces deux potentiels est très considérable. La sonde n'attire que les ions positifs. Le courant se dirige vers la sonde et son caractère est celui d'un courant de saturation.

2. Le potentiel de la sonde est négatif par rapport à celui du milieu, mais la différence de ces potentiels est insignifiante. Des électrons commencent à arriver jusqu'à la sonde, leur nombre croît à mesure que le potentiel de la sonde croît. Par rapport à la première période le courant change de sens et croît rapidement.

3. Le potentiel de la sonde est positif par rapport à celui du milieu. Les électrons seuls arrivent jusqu'à la sonde.

Le caractère du courant est de nouveau celui d'un courant de saturation, mais, au moment où le potentiel passe par une valeur critique, la sonde devient une anode additionnelle et l'intensité du courant croît brusquement.

La courbe qui représente l'accroissement de l'intensité du courant en fonction du potentiel de la sonde, c'est-à-dire ce qu'on appelle la caractéristique de la sonde, permet, d'après la théorie de M. Langmuir, pendant la seconde période: en premier lieu, de vérifier que la distribution des vitesses des électrons dans l'arc a lieu en réalité confor-

[1]) I. Langmuir, Gen. El. Review, *26*, 131, 1926.

[2]) I. Langmuir and H. Mott Smith, Gen. El. Review, *27*, 449, 816, 1924.

[3]) J. Stark, T. Reschinsky, A. Schaposchnikoff, Ann. d. Physik, *18*, 213, 1905.

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

mément à la loi de Maxwell, en second lieu, de déterminer la température électrique et par là la vitesse moyenne des électrons.

Par contre, l'inflexion de la courbe permet de déterminer le potentiel du milieu, car elle témoigne de la transition de la deuxième période à la troisième.

La méthode des sondes de M. Langmuir devient ainsi l'un des procédés classiques pour effectuer des mesures de ce genre. La description de cette méthode se trouve dans tous les manuels sérieux de la physique [1]), de même que dans des publications spéciales, comme par ex celles de MM. Kilian [2]), Seeliger [3]), Seeliger et Straeller [4]), Carmichael et Emelans [5]), Harrison [6]), L. Lamar et K. Compton [7]), dans lesquelles les auteurs ont ou bien exposé la théorie de M. Langmuir, en l'interprétant chacun à sa manière ou bien décrit des nouvelles applications des sondes de M. Langmuir à l'étude de l'ensemble des phénomènes de l'arc, basées sur des expériences nouvelles dans ce domaine.

Outre les travaux cités ci-dessus, le travail de MM. K. T. Compton et C. Eckart [8]), qui contient un calcul très simplifié du potentiel du milieu d'après les données obtenues au moyen des sondes de M. Langmuir, et dernièrement la monographie de MM. M. Leblanc et M. Demontvignier [9]) qui expose les théories de M. Langmuir à la lumière des données générales que fournissent les recherches contemporaines sur l'arc électrique, méritent une attention particulière. En continuant ses travaux sur l'arc électrique au mercure à de basses pressions, M. Langmuir a trouvé en 1925 [10]) un phénomène très curieux, notamment la diversité de groupes d'électrons dans l'arc.

On a d'aprés lui dans l'arc électrique trois groupes d'électrons: des électrons appelés primaires qui reçoivent l'énergie au passage de la gaine des ions positifs qui entourent la cathode, des électrons secondaires dont les vitesses suivent la loi de distribution de Maxwell et ne dé-

[1]) R. Seeliger, Einf. i. d. Physik d. Gasentlad., *58*, 207, 1927. R. Bär, Theorie d. Sonden. Handb. d. Physik, XXV, 284, 1927. G. Mierdel, Theorie d. Sonden. Handb. d. Exp. Physik., XIII, 427.

[2]) T. J. Kilian, Phys. Review, *31*, 1122, 1928.

[3]) R. Seeliger, Phys. Ztschr., *30*. 527, 1929.

[4]) R. Seeliger u. H. Straeller, Phys. Ztschr., *30*, 30, 1929.

[5]) N. Carmichael and K. G. Emelans, Phil. Mag., (7) *8*, 909, 1929.

[6]) Z. Harrison, Phys. Review, (2) *35*, 133, 1930.

[7]) E. S. Lamar and K. T. Compton, Phys. Review, *37*, 1069, 1931.

[8]) K. T. Compton and C. Eckart, Phys. Review, *25*, II, 139, 1925.

[9]) M. Leblanc et M. Demontvignier, Revue Gén. d'Electr., *24*, 891, 1931.

[10]) I. Langmuir, Phys. Review, *26*, 585, 1925.

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

pendent ni de la nature du gaz, ni de la pression ou de la densité du courant, et enfin des électrons dits tertiaires, dont les vitesses suivent également la loi de distribution de Maxwell, la température étant cependant notablement inférieure à celle des électrons secondaires; les vitesses ne dépendent pas de la densité du courant, mais dépendent seulement de la nature du gaz et de la pression.

La caractéristique classique de la sonde à une seule inflexion a reçu encore quelques inflexions qui correspondent aux différents groupes d'électrons.

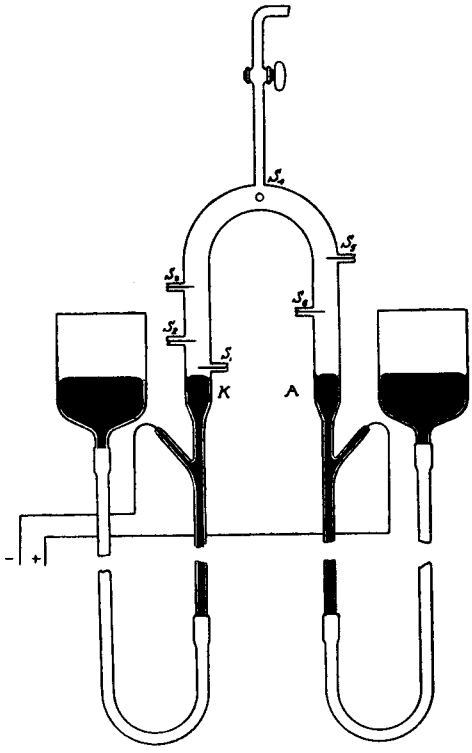

Fig. 1.

En 1930 M. M. Wehrli[1]) et ensuite MM. Wehrli et Bächtiger[2]), en étudiant le potentiel du milieu dans un arc de tungstène au moyen des ondes de M. Langmuir, ont trouvé un phénomène semblable: l'existence de divers groupes d'électrons dans cet arc; M. Wehrli considère l'existence de deux groupes comme certaine, l'existence d'un troisième comme vraisemblable. Les courbes qui forment les caractéristiques des sondes d'après les mesures de M. Wehrli présentent également plusieurs inflexions et ce n'est que la dernière inflexion qui correspond au potentiel du milieu, ce que M. Wehrli a vérifié au moyen d'une sonde portée à l'incandescence *(Glühsonde)*, tandis que l'inflexion intermédiaire, d'après l'hypothèse qu'il énonce, lui aussi, se rapporte à des groupes d'électrons dont les vitesses moyennes sont diverses. Cependant, d'après l'une des plus récentes publications qui traitent l'arc électrique au mercure et qui contient les résultats de recherches, effectuées au commencement de cette année par M.M. Kömmnick et Lübke[3]), également au moyen de la méthode des sondes de M. Langmuir, on a trouvé les caractéristiques des sondes sous leur forme initiale, classique, avec

[1]) M. Wehrli, Phys. Helv. Acta, *3*, 180, 1930.
[2]) M. Wehrli u. P. Bächtiger, Phys. Helv. Acta, *5*, 106, 1932.
[3]) J. Kömmnick u. E. Lübke, Phys. Zs., *33*, 215, 1932.

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

une seule inflexion. Ces recherches, malgré leur précision, n'ont pas confirmé l'existence de différents groupes d'électrons. Le travail présent a été entrepris dans le but d'expliquer cette divergence de résultats.

On a effectué les mesures au moyen d'une lampe spéciale (fig. 1), munie de 6 sondes cylindriques, construites de manière à pouvoir être déplacées perpendiculairement à l'axe de l'arc. La sonde étudiée était placée sur le circuit, en guise de potentiomètre. La tension entre la sonde et les différents électrons était mesurée au moyen d'un voltmètre de la M^on^ Carpentier dont la résistance intérieure était de 250000 ohms.

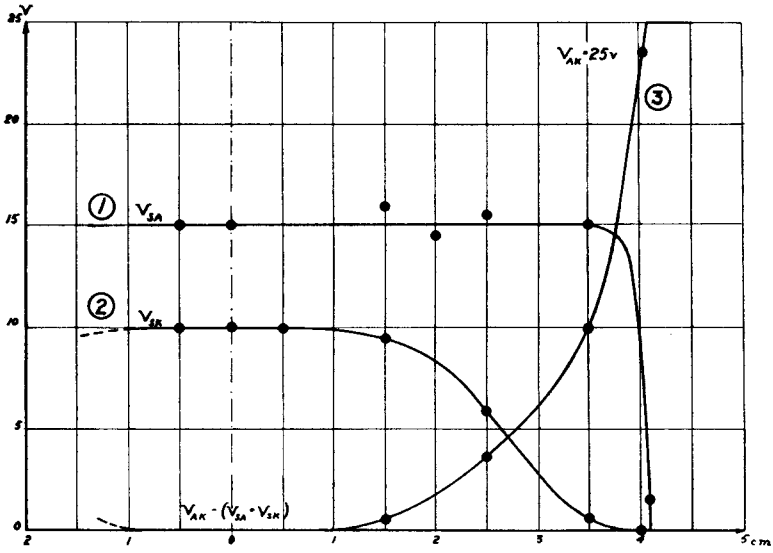

Fig. 2.

Il s'agissait d'établir dans les mesures préliminaires l'endroit où devait se trouver la pointe de la sonde par rapport à l'arc, ainsi que le moment auquel les phénomènes de l'arc se stabilisent, en d'autres termes quand les conditions de l'expérience deviennent invariables ou tout au moins quasi-invariables. Les premières mesures ont montré (fig. 2) que, dans les limites allant jusqu'à 1 cm de distance de l'axe géométrique de l'arc, les déplacements de la sonde ne jouent aucun rôle. Des mesures d'un autre genre ont permis d'établir qu'on peut obtenir des conditions quasi-invariables au bout d'une heure après que la lampe a été allumée.

Cependant on a trouvé en même temps que l'établissement des périodes de stabilisation des conditions n'est pas du tout facile.

Les mesures proprement dites ont donné comme résultat que les caractéristiques des sondes, promenées le long de l'arc entier, présentent deux formes fondamentales.

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

Ces deux formes des caractéristiques des sondes sont représentées dans la figure 3, où elles portent les numéros respectifs 1 et 2. La première présente une seule inflexion, la seconde a deux inflexions distinctes et des traces (cependant pas toujours) d'une troisième inflexion.

Les deux courbes sont représentées par rapport aux ampères, en même temps à deux échelles. Les courbes avec des points se rapportent à une échelle dont la division est de 0,005 Amp. Les courbes sans points se rapportent à l'échelle dont les divisions sont de 0,2 Amp.

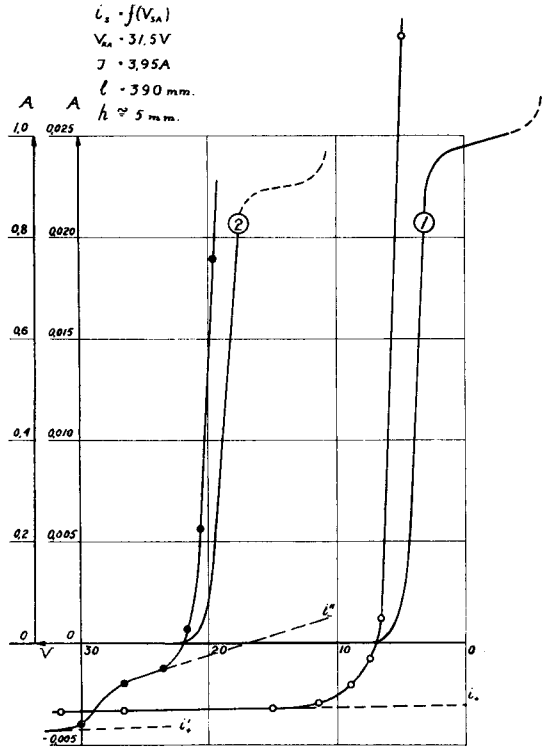

Fig. 3.

Si nous considérons de près la courbe 1, nous pourrons remarquer qu'elle présente les trois périodes fondamentales de la caractéristique de la sonde classique de M. Langmuir: la période de saturation (courant négatif), l'accroissement de l'intensité du courant et changement de signe; la deuxième période qui a lieu quand le potentiel de la sonde se rapproche de celui du milieu; enfin la troisième période, celle de la saturation électronique. Cette troisième période n'est apercevable que sur la courbe dont l'échelle est diminuée. La courbe composée de traits qui forme le prolongement de celle qui correspond à cette période, cor-

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

respond elle-même au moment du passage du potentiel de la sonde par la valeur critique dont il a été question plus haut.

Le prolongement (ligne formée de traits) qui correspond à la première période, celle de saturation (marqué par la lettre $+i$) permet de déterminer le courant de ions positifs pendant la deuxième période qui comprend la variation du potentiel de la sonde.

Lorsqu'on connaît l'intensité de ce courant, il est facile de déterminer l'intensité du courant formé par les électrons seuls pendant cette période et, en appliquant la formule pour ce courant, de déterminer la température électronique, la vitesse moyenne des électrons et leur nombre dans 1 cm^3 de l'espace. Un calcul, effectué pour le cas représenté dans la fig. 8, de la même manière que celui qu'on trouve dans le travail déjà cité de MM. Kömmnick et Lübke, a donné comme température électronique 13 220° K, ce qui correspond à une vitesse moyenne des électrons de 1,7 V/cm.

La courbe du second type présente trois inflexions, il y a donc trois périodes de saturation.

La première est due, comme dans la première courbe, aux ions positifs. L'intensité de ce courant de saturation donne la courbe $+i$. On peut éliminer (retrancher) ce courant pour la période entière, en ne laissant que le courant électronique. Nous déterminons ensuite le courant de saturation $-i'$ des électrons plus rapides et nous le retranchons du courant entier qui traverse la sonde pendant la deuxième période. Les électrons qui forment le courant ainsi obtenu auront, comme le calcul l'a démontré, des vitesses et une température tout à fait analogues à la température et aux vitesses des électrons de la première courbe, mais fois cette on aura encore de plus un groupe d'électrons plus rapides (qui correspondent à la corube composée de traits $-i''$), dont la température T sera d'environ 30 000° K, ce qui correspond à une vitesse de 4,5 V/cm, c'est-à-dire presque trois fois plus grande. Les vitesses et les températures des autres groupes d'électrons dont on a trouvé des traces au moyen des courbes du deuxième type n'ont pas pu être déterminées, comme on n'a pas eu des données suffisantes.

Le premier genre de courbes correspond à tous les points le long de l'arc entier, sauf l'espace noir à la cathode, l'autre correspond aux environs les plus rapprochés de la cathode. Comme résultat des mesures effectuées on à donc confirmé la thèse de MM. Kömmnick et Lübke que la vitesse moyenne des électrons est constante et qu'ils forment un seul groupe le long de l'arc entier, cependant avec la restriction que dans le voisinage immédiat de la cathode il y a en outre des groupes indépendants d'électrons, dont les vitesses sont beaucoup plus grandes

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1

et qui correspondent en principe aux groupes d'électrons découverts par MM. Langmuir et Wehrli.

Je tiens à exprimer à M. le Professeur Dr. M. Wolfke mes remerciements pour m'avoir indiqué le sujet du présent travail ainsi que pour les précieux conseils qu'il m'a prodigués pendant son exécution.

Varsovie, octobre 1932.

I Institut de Physique de l'École Polytechnique.

Manuscrit reçu le 19 décembre 1932.

ACTA PHYSICA POLONICA Vol. II (1933) Fasc. 1