

**Sur la mobilité des ions positifs produits par le  
phosphate d'aluminium chauffé dans les gaz aux basses  
pressions**  
G.W. Todd

► **To cite this version:**

G.W. Todd. Sur la mobilité des ions positifs produits par le phosphate d'aluminium chauffé dans les gaz aux basses pressions. Radium (Paris), 1911, 8 (12), pp.465-469. <10.1051/ra-dium:01911008012046501>. <jpa-00242517>

**HAL Id: jpa-00242517**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00242517>**

Submitted on 1 Jan 1911

**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.

---

## Sur la mobilité des ions positifs produits par le phosphate d'aluminium chauffé dans les gaz aux basses pressions

Par G. W. TODD

[Université de Cambridge. — Laboratoire de J. J. Thomson.]

Dans un mémoire précédemment publié dans le *Radium* [8 (1911) 115-115], l'auteur a décrit des expériences qui montrent que la vitesse de l'ion positif dans un champ unité est inversement proportionnelle à la pression, jusqu'à une pression de quelques millimètres de mercure. Les expériences n'avaient pas pu être poussées plus loin à cause du fait que l'ionisation produite par les rayons Röntgen devient très faible aux basses pressions.

Des expériences analogues à celles dont on vient de donner la référence, ont été faites en utilisant comme source d'électricité positive, le phosphate d'aluminium chauffé. La production d'ions à partir de ce sel peut être rendue plus ou moins indépendante de la pression du gaz environnant en réglant le courant de chauffe. Le présent mémoire donne une brève description de ces expériences.

T. 8.

L'appareil était très semblable à celui antérieurement décrit. A la place du plateau B deux lames de platine recouvertes de phosphate d'aluminium étaient placées sous la toile métallique G. [Voir *Le Radium*, 8 (1911) 115]. Ces lames de platine pouvaient être portées à telle température qu'on désirait par le passage d'un courant d'une batterie d'accumulateurs isolée, et étaient toujours maintenues à un potentiel positif constant plus élevé que celui de la toile métallique de sorte que, quand on chauffait le platine il y avait un courant constant d'ions positifs, dirigé vers la toile métallique G et dans le champ alternatif entre cette toile et le plateau P relié à l'électroscope.

Si  $d$  est la distance entre la toile métallique et le plateau de l'électroscope;  $u$ , la vitesse de l'ion dans un champ de 1 volt par centimètre et si le potentiel alternatif est représenté par  $E = \varphi(t)$ , expression dans

50

laquelle  $\varphi(t)$  est une fonction périodique du temps, on doit avoir, pour qu'un ion atteigne le plateau de l'électroscope en partant de la toile métallique, la relation

$$d = \frac{u}{d} \int_0^{\frac{T}{2}} \varphi(t) dt,$$

où  $T$  est la période du champ. Dans la plupart des expériences  $E = E_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}$  d'où :

$$u = \frac{\pi d^2}{E_0 T}.$$

Dans les dernières expériences où des observations étaient faites à des pressions aussi basses que possible, les variations périodiques étaient produites au moyen d'un commutateur spécial, mû électriquement, dont la vitesse pouvait être réglée et au moyen duquel on

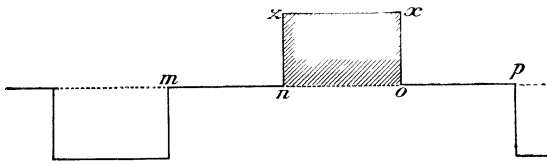


Fig. 1.

pouvait obtenir jusqu'à 450 périodes par seconde. Le commutateur donnait une courbe de potentiel représentée sur la figure 1.

On s'était arrangé pour que les points  $m n o p$  fussent à égale distance.

On a établi que pour qu'un ion atteigne le plateau de l'électroscope, il faut que

$$\begin{aligned} d &= \frac{u}{d} \int_0^{\frac{T}{2}} \varphi(t) dt \\ &= \frac{u}{d} \left[ \text{aire } noxz \right] \text{ (partie hachurée de la figure.)} \\ &= \frac{u}{d} E_0 \frac{T}{4} \\ \therefore u &= \frac{4nd^2}{E_0} \end{aligned}$$

où  $n$  est le nombre de périodes par seconde.

La mobilité à une pression particulière quelconque était obtenue de la façon habituelle en traçant la courbe du courant obtenu à l'électroscope en fonction de la différence de potentiel maximum alternative (*loc. cit.*, fig. 2).

Il n'y avait pas de difficulté à faire des observations à des pressions beaucoup plus basses que celles des premières expériences. On pouvait régler le courant d'ions positifs en faisant varier le courant de chauffe qui traverse les lames de platine afin d'obtenir dans un gaz déterminé une vitesse convenable de déviation de la feuille de l'électroscope. En utilisant le secteur de la ville comme source de potentiel alternatif, on a

pu mesurer des mobilités jusqu'à 5 ou 6000 cm par seconde, et avec les alternances beaucoup plus rapides obtenues au moyen du commutateur on a pu mesurer des mobilités de 50000 cm par seconde. Comme le plateau de l'électroscope devait atteindre le potentiel de 0,1 volt environ pour que la feuille se déplaçât dans la partie repérée de l'échelle, on ne faisait pas de lectures avec des potentiels alternatifs dont la valeur maximum était inférieure à 1 volt. Une autre limite s'imposait aux observations : c'était l'accroissement du libre parcours moyen avec la diminution de pression. Quand la distance entre les plateaux était inférieure à environ cinquante fois les libres parcours, on ne faisait plus de lectures.

Dans les premières expériences, un résultat curieux s'est présenté. Quand la pression diminuait, les mobilités augmentaient en raison inverse de la pression jusqu'à une valeur de la pression d'environ 1 mm. A ce moment la mobilité de l'ion atteignait une valeur maximum puis diminuait graduellement à mesure que la pression diminuait. La position de ce maximum variait avec les différents gaz, et légèrement pour un même gaz. On a trouvé plus tard que cette diminution de la mobilité était due

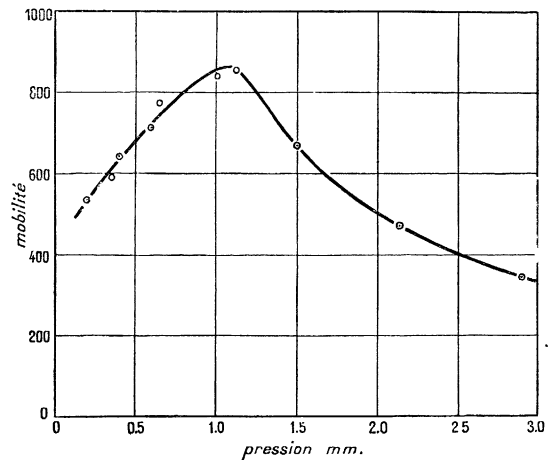


Fig. 2.

à la présence de vapeur d'eau. Quand on prenait grand soin de dessécher le gaz en le maintenant plusieurs jours au contact d'anhydride phosphorique, et que la pression dans l'appareil, avant l'introduction de ce gaz sec, était maintenue pendant quelques heures au-dessous de 0,001 mm de mercure au moyen d'un tube à charbon et d'air liquide, on trouvait que la mobilité continuait à croître et plus rapidement que ne l'exige la loi de la proportionnalité inverse à la pression. La fig. 2 représente la courbe reliant la mobilité et la pression pour l'air quand il y a de la vapeur d'eau.

La pression à laquelle la mobilité commence à décroître se trouve dans la même région que celle où

le produit de la pression et de la mobilité commence à croître pour des gaz secs.

Aux pressions ordinaires la vapeur d'eau n'a qu'un effet peu important sur la vitesse de l'ion positif tandis qu'elle retarde considérablement l'ion négatif.

Les résultats des expériences faites sur des gaz soigneusement desséchés sont donnés dans les tableaux suivants. Ceux marqués d'un astérisque ont été obtenus avec le commutateur.

Les courbes figurant la relation entre la pression et le produit de la pression et de la mobilité pour divers gaz

sont représentées sur la figure 5. Il faut remarquer que la pression à laquelle le produit commence à croître rapidement est approximativement en raison inverse de la densité du gaz.

La valeur des mobilités pour les pressions plus

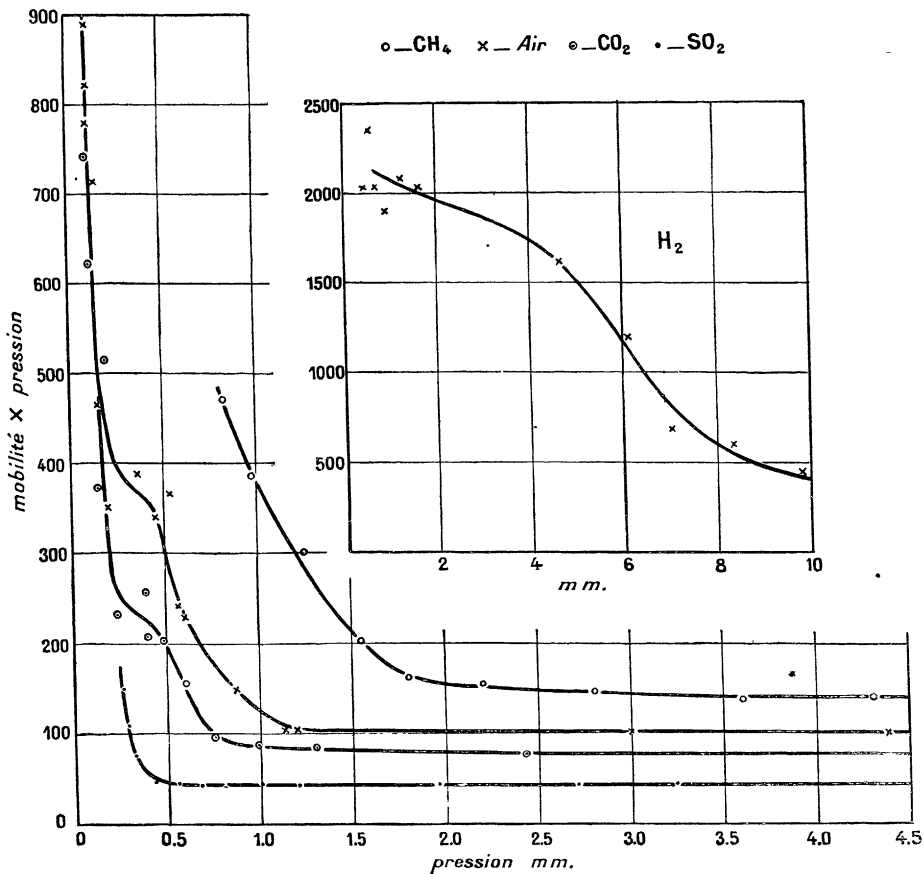


Fig. 5.

élevées sont pratiquement les mêmes que celles des ions produits par les rayons X, ce qui montre que les particules émises par le phosphate d'aluminium chauffé abandonnent leurs charges par collision aux molécules des gaz. Dans la précédente note de l'auteur sur ce sujet, le produit de la pression et de

Air

Pression.	Mobilité.	Produit.
8.8 mm.	115	99
6.00	170	102
4.58	231	101
3.02	334	101
1.20	876	105
1.15	918	104
.875	1715	150
.600	5830	250
.572	4220	242
* 540	6810	568
.452	7520	540
*.560	10800	589
*.200	17500	550
*.155	50200	467
*.150	47600	714
*.120	74100	890
*.120	68600	822
*.115	67800	780

CO2

Pression.	Mobilité.	Produit.
5.15 mm.	146	74.7
2.45	319	77.5
1.50	651	84.6
.99	895	88.8
.750	1280	96.5
.600	2640	158
.482	4190	205
*.410	5060	207
.395	6590	258
*.255	9810	251
*.190	27200	315
*.145	25600	571
*.120	51800	621
*.105	71900	741

SO<sub>2</sub>

Pression.	Mobilité.	Produit.
5.24 mm.	158	44.6
2.71	157	42.4
1.96	219	45.0
1.20	557	42.8
1.02	440	44.9
.820	487	59.9
.675	621	42.0
.562	781	44.0
.428	1094	46.9
.408	1540	63.1
.520	2450	78.5
.280	4005	110.2
.262	5720	150

CH<sub>4</sub>

Pression.	Mobilité.	Produit.
4.51 mm.	526	141
5.60	584	158
2.78	524	146
2.20	709	156
1.80	900	162
1.55	1510	202
1.25	2470	510
.975	5980	588
.820	5710	471

H<sub>2</sub>

Pression.	Mobilité.	Produit.
12.2 mm.	550	405
9.80	449	440
8.35	729	605
7.05	978	690
6.10	1970	1200
4.65	5480	1620
* 1.63	14100	2500
* 1.25	19200	2400
* .860	21800	1890
* .700	29100	2040
* .540	45700	2560
* .450	45200	2050
* .400	86700 ?	5470 ?

la mobilité pour l'hydrogène était plutôt faible et n'augmentait pas dans la même région de la pression que cela a été trouvé dans les expériences présentes. C'était dû à ce qu'on n'avait pas pris soin d'utiliser un gaz sec et pur dans les premières expériences.

Quelques expériences ont été faites avec l'air à des pressions supérieures et inférieures à celle à laquelle les mobilités commencent à croître anormalement, afin de voir si la mobilité dépendait de la fréquence du champ; on a obtenu sur ce point un résultat négatif.

Les résultats de ces expériences indiquent qu'il y a

quelque changement dans la structure de l'ion positif aux basses pressions. Il est possible (a) que l'ion soit une agglomération de molécules qui devient éventuellement une simple molécule chargée, ou (b) qu'il existe une unité positive plus petite que la molécule qui, aux basses pressions, est capable d'errer d'un groupement de molécules à un autre. Il est intéressant, en ce qui concerne (b), de rappeler que Lusby<sup>1</sup> a montré que le véhicule du courant positif dans les flammes, au-dessus d'une certaine température critique, est indépendant du sel introduit dans la flamme et des gaz de la flamme, et que la masse est égale à celle de l'atome d'hydrogène, tandis qu'au-dessous de la température critique, le véhicule est beaucoup plus massif et dépend des sels utilisés dans la flamme.

*Grandeur de l'ion.* — Langevin a déduit de la théorie cinétique des gaz, pour la mobilité d'un ion, la formule  $k = e\lambda/mv$ . Il serait intéressant de calculer les valeurs approximatives des masses des ions dans différents gaz en utilisant cette expression, et de les comparer aux masses des molécules. Dans l'expression de la mobilité  $\lambda$  et  $v$  représentent le libre parcours moyen et la vitesse d'agitation thermique de l'ion. Le libre parcours moyen d'une molécule dans un gaz contenant  $n_2$  molécules par unité de volume, chacune d'elles ayant un diamètre  $\rho_2$ , est donné par l'expression

$$\lambda_2^{-1} = \pi \rho_2 n_2 \sqrt{2}.$$

Le libre parcours moyen d'un ion de masse  $m_1$  dans le gaz dont les molécules ont une masse  $m_2$  est donné par

$$\lambda_1^{-1} = \pi \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} n_2 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_2}}$$

où  $\rho_1$  est le diamètre de l'ion. On en déduit le rapport des valeurs de  $\lambda/v$  pour la molécule et pour l'ion :

$$\frac{\frac{1}{2} \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_2} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{2m_2}} v_1}{\frac{1}{2} \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_2} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{2m_1}}} = \frac{v_1}{v_2}$$

puisque  $m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2$ . Les relations entre la masse et le diamètre pour l'ion et la molécule ne sont pas connues, de sorte qu'on ne peut attribuer à ce rapport une valeur définie, mais la substitution de valeurs probables montre que dans une approximation on ne commettra pas une grande erreur en le supposant égal à l'unité. Dans le tableau suivant, on a obtenu la masse de l'ion en partant de la formule

$$k = e\lambda/mv$$

et en supposant que le rapport  $\lambda/v$  est le même pour l'ion et la molécule.

1. Cambridge Phil. Soc. Proc., 16-26.

Gaz.	Masse de la molécule $\times 10^{24}$	$\lambda$ (à 0° et 760) $\times 10^8$	$v$ (à 0°)	$M \times 10^{24}$	
				Pression ordinaire.	Très basse pression.
H <sub>2</sub> . . .	2	1780	169800	25 (12 molécules)	5 ( 2 molécules)
ClH <sub>3</sub> . . .	16	800	60000	96 ( 6 — )	29 ( 2 — )
Air. . .	29	960	44700	216 ( 7 — )	24 (<1 — )
CO <sup>2</sup> . . .	44	650	36100	245 ( 5 — )	25 (<1 — )
SO <sup>2</sup> . . .	64	470	29800	551 ( 6 — )	107 ( 2 — )

En calculant  $m$  par la formule  $k = e\lambda/mv$ , il semble que l'ion aux pressions ordinaires consiste en un groupement de plusieurs molécules autour de la charge positive, et aux très basses pressions, ce groupe se dissocie en un groupe moins complexe.

Dans le cas de l'air, du gaz carbonique et de l'hydrogène, les expériences ont été poussées aux pressions aussi basses que possible. Il y a un aplatissement dans la courbe relative à l'air, quand le produit de la pression et de la mobilité a une valeur d'environ 560, et le même fait se produit dans le cas du gaz carbonique à la valeur 240 approximativement. Si ces anomalies dans la courbe sont réelles, cela signifie que l'ion à cette étape de sa dissociation devient plus stable et résiste à la désintégration, jusqu'à ce que la pression soit encore diminuée. Cette étape à la fois dans l'air et le gaz carbonique correspond à un ion constitué de deux molécules environ.

Dans le cas de l'hydrogène, le produit de la pression et de la mobilité reste bien constant entre 4,0 mm et 0,5 mm de pression, et on n'a pu discerner si le produit croît de nouveau à des pressions plus basses, parce qu'on avait atteint la limite d'utilisation de l'appareil. Cet endroit pour l'hydrogène correspond aussi pour l'ion à un groupement de deux molécules environ.

**Conclusions.** — 1° L'électricité positive émise par le phosphate d'aluminium chauffé produit dans le gaz environnant des ions, identiques aux ions produits par les rayons X, montrant ainsi que la particule positive, quoique ce soit elle qui soit émise par

le sel, remet sa charge aux molécules gazeuses pendant la collision;

2° La mobilité de l'ion positif est inversement proportionnelle à la pression du gaz jusqu'à une certaine basse pression critique, approximativement inversement proportionnelle à la densité du gaz et au-dessous de laquelle la mobilité croît très rapidement;

3° La présence de vapeur d'eau, qui a un effet inappréciable sur la mobilité de l'ion positif dans les régions où la loi de l'inverse pression s'applique, a un effet très marqué quand la pression est au-dessous de cette région, et la mobilité est alors moindre que ne l'exige la loi de l'inverse pression;

4° L'accroissement rapide de la mobilité aux très basses pressions peut être dû à un groupement de molécules constituant l'ion, qui se brise en un groupement moins complexe; ou bien cela peut être dû à l'existence d'une unité positive qui est présente à l'état libre pendant un temps court, aux basses pressions; enfin cet effet peut avoir pour cause la combinaison des deux premiers. En calculant la masse de l'ion à partir de la formule  $k = e\lambda/mv$ , on a des nombres qui montrent que l'ion se compose aux pressions ordinaires, habituellement d'environ six molécules et dans le cas de l'hydrogène d'environ douze, entourant la charge positive. Ces groupements se cassent aux basses pressions en donnant ainsi un accroissement de mobilité;

5° Dans le cas de l'air et du gaz carbonique, les mesures aux pressions les plus basses possibles montrent que la charge positive est portée par quelque chose de plus petit que la molécule du gaz. Ceci peut être dû à l'existence d'une unité universelle positive ou à la présence de l'hydrogène que le platine contient ordinairement.

En terminant, l'auteur tient à exprimer ses sincères remerciements au professeur J. J. Thomson pour le bienveillant encouragement et l'intérêt constant qu'il a témoignés au cours de ces expériences.

[Manuscrit reçu le 2 novembre 1911].