



Mouvements browniens dans les gaz aux basses pressions

R.A. Millikan

► To cite this version:

R.A. Millikan. Mouvements browniens dans les gaz aux basses pressions. Radium (Paris), 1913, 10 (1), pp.15-16. 10.1051/radium:0191300100101501 . jpa-00242582

HAL Id: jpa-00242582

<https://hal.science/jpa-00242582>

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.

Mouvements browniens dans les gaz aux basses pressions

Par R. A. MILLIKAN

[Université de Chicago. — Ryerson Laboratory.]

Les perfectionnements essentiels que la « méthode de la goutte d'huile »¹ a introduits dans l'étude des mouvements browniens sont les suivants :

1° Permettre à l'observateur de maintenir en observation une particule donnée aussi longtemps qu'il le désire, même dans un gaz raréfié, en compensant l'effet de la gravitation par un effet inverse dû à un champ électrique.

2° Éliminer complètement toute incertitude en ce qui concerne la résistance offerte par le milieu au mouvement de la goutte en son sein².

Ce dernier résultat était obtenu en combinant l'équation³ du mouvement brownien

$$\bar{D} = \sqrt{\frac{4RT}{\pi N K}} t \quad (1)$$

dans laquelle R est la constante des gaz, T la température absolue, N le nombre des molécules dans une molécule-gramme, et K le facteur résistance inconnu, avec l'équation caractéristique de la « méthode de la goutte d'huile », à savoir :

$$e = \frac{K}{F} (v_1 + v_2)_1 \quad (2)$$

dans laquelle F est l'intensité du champ électrique, e la charge électrique élémentaire et $(v_1 + v_2)_1$ le

1. R. A. MILLIKAN, *Phys. Rev.*, **32** (1911) 549.

2. R. A. MILLIKAN, *Popular Science Monthly*, **80** (1912) 458; *Trans. Am. Electroch. Soc.*, **21** (1912) 185; HARVEY FLITCHER, *Phys. Rev.*, **32** (1912).

3. C'est simplement l'équation d'Einstein $\overline{\Delta x^2} = \frac{2RT}{N K} t$ modifiée de façon à donner le déplacement moyen au lieu de la moyenne des carrés des déplacements. Cette modification est faite en substituant, en s'appuyant sur le fait que la loi de distribution de Maxwell s'applique aux déplacements Browniens comme aux vitesses moléculaires, $\bar{D} = \overline{\Delta x} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sqrt{\overline{\Delta x^2}}$.

plus grand commun diviseur des séries de valeurs prises par la somme des vitesses $(v_1 + v_2)$ lorsque la goutte modifie sa charge par sa capture d'ions.

L'équation résultante qui donne le déplacement Brownien moyen est

$$\bar{D} = \sqrt{\frac{4RT(v_1 + v_2)_1}{\pi F(Ne)}} t \quad (3)$$

équation qui diffère des équations de mouvement brownien qui l'ont précédée, par son entière indépendance de toutes hypothèses concernant la densité ou la structure de la particule brownienne ou relatives à la loi du mouvement de la particule dans le milieu. Elle ne contient que des éléments mesurables avec précision et on a trouvé qu'elle conduisait, dans tous les cas, à des valeurs calculées de $\bar{D}$ qui s'accordent avec les valeurs observées dans les limites de l'erreur expérimentale (environ 0,6 pour 100)².

Un autre progrès dans l'étude du mouvement Brownien devient possible dès qu'on peut déterminer la constante K . Cette constante est définie par l'équation

$$X = K v_1 \quad (4)$$

dans laquelle X est la force agissant sur la particule et v_1 la vitesse résultant de cette force. On a réalisé ce progrès en expérimentant avec des gouttes d'huile à toutes pressions à partir de 5 mm par les méthodes qu'on a déjà indiquées (*loc. cit.*, 1, p. 1). Les détails de ce travail seront bientôt publiés, mais le résultat, qui donne la loi du mouvement d'une goutte de rayon a à travers un gaz de viscosité μ , et du libre parcours moyen¹ l sous l'influence d'une

1. Il est calculé à partir de $\mu = 0.5502 m n \bar{c} l$ expression dans laquelle $\bar{c}$ est la vitesse moléculaire moyenne et $\mu_2 = 0.0001824 + 0.00017856(t - 25^\circ \text{C}) 0.00276$.

force X est contenu dans l'équation empirique

$$X = 6 \pi \mu a v_1 \left\{ 1 + \frac{l}{a} (0,874 + 0,51 e^{-1,5 \frac{a}{l}}) \right\}^{-1}. \quad (5)$$

Ceci donne pour la valeur de K des équations 1, 2 et 4,

$$K = 6 \pi \mu a \left\{ 1 + \frac{l}{a} (0,874 + 0,51 e^{-1,5 \frac{a}{l}}) \right\}^{-1}. \quad (6)$$

ceci permet de déterminer avec précision comment croissent les déplacements browniens $\bar{D}$, quand la pression décroît, dans le cas d'une goutte d'un rayon donné. Un coup d'œil sur l'équation (1) mon're, puisque μ est indépendant de la pression, que

$$\bar{D} = \sqrt{1 + \frac{l}{a} (0,874 + 0,51 e^{-1,5 \frac{a}{l}})}. \quad (7)$$

Le tableau ci-joint donne l'accroissement de $\bar{D}$ quand la pression décroît de 760 mm à 1 mm dans le cas des gouttes les plus petites ($a = 0,00005$ cm) pour lesquelles des mesures précises ont été ainsi faites en utilisant « la méthode de la goutte d'huile ».

Pression en mm. Hg.	$\frac{l}{a}$	A'	$\bar{D}$
760	0,514	0,874	1,15
580	0,628	0,902	1,25
490	1,255	0,967	1,40
400	2,585	1,059	1,87
50	4,770	1,104	2,50
25	9,540	1,159	3,44
10	23,85	1,165	5,58
5	47,70	1,174	7,55
2	119,25	1,180	11,90
1	238,5	1,185	16,8

La colonne intitulée A' dans le tableau donne les valeurs variables qui doivent être assignées à la quantité A' de la loi du mouvement d'une goutte dans un milieu résistant et exprimé sous la forme

$$X = 6 \pi \mu a v_1 \left(1 + A' \frac{l}{a} \right)^{-1} \quad (8)$$

A' est constant et a la valeur 0,874 tant que $\frac{l}{a} < 0,4$, après quoi cette quantité croît comme le montre le tableau jusqu'à la valeur 1,184 au delà de laquelle elle ne va jamais (voir aussi l'équation 6). La colonne intitulée $\bar{D}$ dans le tableau donne le rapport entre le déplacement brownien à la pression donnée, et le déplacement à une pression d'une valeur telle que le terme en $\frac{l}{a}$ est négligeable par rapport à l'unité. Le tableau montre clairement le perfection-

nement que la « méthode de la goutte d'huile » a introduit dans l'étude du mouvement brownien en rendant possible le maintien d'une particule en observation pendant un temps déterminé dans un gaz à une pression quelconque à partir de 1 mm. — Par exemple, le rapport entre le déplacement brownien $\bar{D}_a$ d'une particule donnée dans l'air à la pression atmosphérique où le terme $\frac{l}{a}$ est à peu près négligeable et le déplacement brownien $\bar{D}_w$ de la même particule dans l'eau est

$$\frac{\bar{D}_a}{\bar{D}_w} = \sqrt{\frac{\mu_w}{\mu_a}} = \sqrt{\frac{0,0110}{0,00178}} = 7,7.$$

Le déplacement de la particule considérée ci-dessus est multipliée encore par 7,6 en réduisant la pression à 5 mm. de mercure (voir le tableau). Le changement de 760 mm à 5 mm correspond alors très approximativement au transfert de la particule de l'eau dans l'air.

Je n'ai pas encore terminé les mesures directes quantitatives à des pressions inférieures à 5 mm, mais j'espère le faire dans un avenir proche et voir qu'il n'y a pas de difficultés à travailler à des pressions aussi basses que 1 mm. Dans ces conditions les déplacements browniens de la particule considérée seront plus de 100 fois ce qu'ils sont dans l'eau, et la méthode du mouvement brownien appliquée à la détermination de la charge électrique élémentaire commencera à être comparable en précision à la méthode de la goutte d'huile. La valeur actuelle de e déterminée par cette dernière méthode est

$$e = 4,772 \times 10^{-10}$$

La valeur obtenue par la méthode du mouvement brownien oscille entre la valeur de Perrin $4,2 \times 10^{-10}$ et celle de Fletcher $5,01 \times 10^{-10}$, avec la valeur de Svedberg comme terme intermédiaire $4,7 \times 10^{-10}$.

De Broglie¹ qui a fait des observations qualitatives des mouvements browniens des particules de fumée, à de basses pressions, a conclu que D était indépendant de la pression au-dessous d'environ 1 cm de mercure, valeur à partir de laquelle il commençait à croître rapidement. Ceci serait rigoureusement vrai pour des particules d'une grandeur 10 fois supérieure à celle des particules considérées ci-dessus, c'est-à-dire pour des particules de rayon $a = 0,0005$ cm, car la valeur de l/a à 1 cm serait alors 2,585 (voir le tableau) et $\bar{D}$ serait environ 1,8 fois plus grand qu'à la pression atmosphérique. Un tel accroissement ne pourrait être bien marqué dans des observations qualitatives.

[Manuscrit reçu du 31 décembre 1912].

1. DE BROGLIE, C. R., 154 (1912) 112.