Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 45 (1918)

Artikel: Sur une cause d'erreur pouvant intervenir dans la détermination de la charge de l'électron au moyen de très petites sphérules liquides suspendues

Autor: Schidlof, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-742985

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SUR UNE CAUSE D'ERREUR

POUVANT INTERVENIR DANS LA

Détermination de la charge de l'électron

AU MOYEN

de très petites sphérules liquides suspendues

PAR

A. SCHIDLOF

Dans une série de mémoires antérieurs, il a été question d'une importante cause d'erreur pouvant intervenir dans la détermination de la charge de l'électron au moyen de petites particules suspendues[1]. Le point de départ de ces recherches fut la constatation suivante : On avait remarqué que la différence de potentiel nécessaire pour maintenir en suspension entre les plateaux d'un condensateur une petite particule chargée subissait de temps en temps de petits changements qu'on interprétait comme étant dus à une variation de la *charge* de la particule de beaucoup inférieure à la charge de l'électron normal[2]. Dans une note publiée en 1914, en collaboration avec M. A. Karpowicz[3], nous nous sommes opposés à ce mode d'interprétation en disant : « Il faudrait être certain que tout saut brusque de la différence

[1] Voir notamment : Targonski, A. La question des sous-électrons et le mouvement brownien dans les gaz, *Arch., mars, avril et mai 1916,* vol. 41, p. 181, 269 et 357.

[2] Ehrenhaft, F. *C. R.* 1914, vol. 158, p. 1071. *Wien. Akad. Ber.* 1914, vol. 123, p. 53.

[3] Schidlof, A. et Karpowicz, A. *C. R.* 1914, vol. 158, p. 1992.

de potentiel d'équilibre est nécessairement dû à une variation de la *charge* de la sphérule ; il se pourrait fort bien que quelques-uns de ces sauts soient dus à une faible variation de sa masse. »

Depuis lors, un très grand nombre d'observations sont venues confirmer cette manière de voir. Notamment les travaux publiés par M. A. Targonski [1], montrent que la surface d'une petite particule de mercure maintenue en suspension dans un gaz, est le siège de modifications incessantes qui cependant, au bout d'un certain temps, aboutissent souvent à un état d'équilibre. M. L. W. Mc Keehan [2] a pu suivre directement l'altération progressive de la surface, en observant au moyen du microscope de très petites gouttes de mercure fraîchement préparées puis soumises à l'action de différents gaz.

Les transformations observées intéressent-elles uniquement la surface des particules ? Ont-elles lieu seulement d'une façon progressive sous l'influence du gaz ambiant, ou se produisent-elles peut-être en partie déjà, au moment où la goutte est préparée, par suite du procédé même de préparation ? Y a-t-il des liquides permettant la production des gouttes inaltérables ?

Un examen approfondi de ces questions est indispensable pour se rendre compte de la confiance que méritent les valeurs actuellement connues de la charge de l'électron. Dans les pages qui suivent nous chercherons à dégager, des données expérimentales acquises, quelques conclusions certaines, et nous attirerons l'attention sur d'autres points encore insuffisamment élucidés à notre avis.

I. Détermination de la charge d'une particule ultramicroscopique.

Rappelons d'abord brièvement le principe de la méthode utilisée pour la détermination de la charge des ions gazeux, soit celle de l'électron [3].

Une très petite goutte sphérique dont la masse soit m, le rayon

[1] Targonski, A., *l. c.* et *Arch.*, *avril-mai 1917*, vol. 43, p. 295 et 389.

[2] Mc Keehan, L.-W. *Phys. Rev.*, août 1916, vol. 8, p. 142.

[3] Pour de plus amples détails voir Schidlof, A. et Murzynowska, J. *Arch.*, *nov. et déc. 1915*, vol. 40, p. 386 et 486 et Targonski, A., *l. c.*

a, la densité σ, tombe sous l'influence de la pesanteur (accélération g) entre les deux plateaux d'un condensateur dans un gaz de coefficient de viscosité η. La vitesse de chute est v_1. Elle est définie par la loi de Stokes-Cunningham[1], qui fait intervenir un coefficient empirique A multiplié par le chemin moyen l des molécules du gaz environnant. La loi de chute est :

$$mg = \frac{4\pi}{3} a^3 \sigma g = \frac{6\pi a \eta v_1}{1 + \frac{Al}{a}} . \qquad (1)$$

En établissant entre les deux plateaux du condensateur un champ électrique uniforme d'intensité F, on peut faire monter avec une vitesse v_2 la particule dont la charge électrique (exprimée en unités électrostatiques *c. g. s.*) soit e. La vitesse d'ascension v_2 résulte de la formule :

$$eF - mg = \frac{6\pi a \eta v_2}{1 + \frac{Al}{a}} . \qquad (2)$$

Pour le calcul de a et de e on utilise les formules suivantes déduites de (1) et de (2) :

$$e = \frac{9\sqrt{2}\pi\eta^{3/2}(v_1 + v_2)\sqrt{v_1}}{F\sqrt{\sigma g}\left(1 + \frac{Al}{a}\right)^{3/2}} \qquad (3)$$

$$a = 3\sqrt{\frac{\eta v_1}{2\sigma g\left(1 + \frac{Al}{a}\right)}} . \qquad (4)$$

Dans l'application de ces formules une erreur importante peut provenir du fait que la densité σ de la goutte est supposée égale à celle du liquide qu'on a pulvérisé pour produire les gouttes. Cette erreur affecte de la même façon les valeurs de la charge e et du rayon a, car les deux quantités sont, comme l'on voit en première approximation, inversement proportionnelles à la racine carrée de la densité σ. Une petite erreur de ε % sur la valeur de σ affectera donc les valeurs de e et de a d'une erreur de $-\frac{\varepsilon}{2}$ %. Nous appellerons les valeurs affectées de cette erreur les *valeurs apparentes* de la charge et du rayon de la goutte.

[1] CUNNINGHAM, E. *Proc. Roy. Soc. Lond.*, 1910, vol. 83, p. 357.

Les expérimentateurs, qui ont utilisé la méthode ci-dessus décrite pour déterminer la charge de l'électron, ont soumis à un contrôle direct ou indirect toutes les quantités qui interviennent dans les formules (3) et (4) *à l'exception de la densité σ de la goutte.* Celle-ci a toujours été supposée égale à celle du liquide à partir duquel la goutte a été obtenue. Or, d'après les remarques faites plus haut, cette supposition semble être sujette à caution.

Cependant, en ce qui concerne des gouttes relativement grandes, une altération très appréciable de la densité moyenne du liquide semble peu probable. Pour cette raison, parmi les valeurs de la charge de l'électron que la méthode a fournie à différents observateurs, celle indiquée par M. R.-A. Millikan [1] nous semble mériter le plus de confiance. Nous avons choisi cette valeur :

$$e_0 = 4{,}774 \times 10^{-10} \text{ unités électrostat,}$$

pour contrôler les changements de densité des liquides utilisés qui interviennent dans les expériences faites avec des gouttes ultramicroscopiques diverses.

Il est évident du reste que la valeur absolue de la charge de l'électron adoptée pour le calcul de la densité du liquide ne peut influer que sur la *valeur absolue* de celle-ci, tandis que la discussion qui suit porte exclusivement sur les *valeurs relatives.* Pour étudier les modifications de la densité du liquide, une valeur fixe quelconque adoptée pour la charge de l'électron pourrait rendre le même service que celle que nous avons choisie.

L'hypothèse suivante, par contre, est essentielle pour la plupart de nos raisonnements :

Les variations de la charge d'une particule sont toujours des multiples entiers d'une charge élémentaire fixe présentant une valeur finie.

Des variations apparentes, continues ou même discontinues, mais de beaucoup inférieures à la charge élémentaire, doivent donc être interprétées comme étant dues à des *changements de masse* de la particule.

[1] MILLIKAN, R.-A. *Phys. Rev.*, 1913, vol. 2, p. 109.

Généralement les variations de la masse se manifestent aussi par des variations de la durée de chute de la goutte, mais il pourrait y avoir des exceptions, comme nous aurons l'occasion de le montrer dans la suite.

Soit maintenant e la valeur de la « charge apparente » de la goutte, plus ou moins différente de la valeur :

$$e_0 = 4{,}774 \times 10^{-10} ,$$

σ_0 la densité du liquide à partir duquel la goutte a été obtenue, σ la densité moyenne véritable de la goutte, a son rayon apparent et a_0 son rayon véritable, on peut trouver σ au moyen des deux équations déduites de (3) et de (4).

$$\frac{a_0}{a} = \sqrt{\frac{\sigma_0\left(1 + \frac{Al}{a}\right)}{\sigma\left(1 + \frac{Al}{a_0}\right)}} \tag{5}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \left(\frac{e}{e_0}\right)^2 \left(\frac{1 + \frac{Al}{a}}{1 + \frac{Al}{a_0}}\right)^3 \tag{6}$$

Ces deux équations se résolvent aisément par des approximations successives [1].

II. La densité des gouttes de mercure dans les expériences de M. A. Targonski.

Appliquons en premier lieu les formules précédentes à l'interprétation numérique de quelques-uns des résultats obtenus par M. A. Targonski. Ces expériences mettent en évidence surtout les modifications que subit la surface des gouttes de mer-

[1] Nous procédons habituellement comme suit :

Posons : $1 + \frac{Al}{a} = \varkappa$; $1 + \frac{Al}{a_0} = \varkappa_0$, les deux équations (5) et (6) peuvent s'écrire :

$$\frac{a}{a_0} = \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_0}\frac{\varkappa_0}{\varkappa}} \; ; \quad \frac{\sigma}{\sigma_0}\left(\frac{e}{e_0}\right)^2\left(\frac{\varkappa}{\varkappa_0}\right)^3 .$$

D'où l'on déduit :

$$\frac{a_0}{a} = \frac{e_0}{e}\frac{\varkappa_0}{\varkappa} .$$

cure, et puisque des modifications superficielles doivent être d'autant plus sensibles que les particules étudiées sont plus petites, les gouttes observées par M. Targonski méritent une attention spéciale parce qu'elles sont indiscutablement parmi les plus petites qu'on ait jamais observées.

Voici un tableau indiquant les valeurs des rayons et des densités de quelques gouttes de mercure observées par M. Targonski. Nous avons calculé pour chaque goutte le rayon et la densité au début (a_1 et σ_1) et à la fin (a_2 et σ_2) de l'expérience.

TABLEAU I

Calculé d'après les observations de M. A. Targonski
(*Archives* 1916, vol. 41)

N° de l'observ.	Rayon initial $10^5 a_1$ (cm)	Dens. init. σ_1	Rayon final $10^5 a_2$ (cm)	Densité finale σ_2
18	1,71	12,3	1,62	11,00
21	1,40	12,7	1,13	9,00
22	1,29	12,1	1,18	8,35
32	1,45	13,0	1,35	9,72
44	1,79	13,3	1,063	10,75
46	1,12	14,2	0,742	10,60
58	1,42	12,9	1,085	10,45
80	1,62	13,9	1,34	9,40

Densité moyenne au début de l'expérience	13,05
Densité moyenne à la fin de l'expérience	9,91
Diminution moyenne de la densité :	environ 25 %

On remarque à la vue de ce tableau :

1. Que le rayon de chaque goutte diminue ; 2. Que la densité

On pose d'abord :

$$a_0^{\mathrm{I}} = a \frac{e_0}{e} .$$

Avec cette valeur approchée on calcule :

$$\varkappa_0^{\mathrm{I}} = 1 + \frac{\mathrm{A}l}{a_0^{\mathrm{I}}} .$$

Puis on trouve une valeur plus exacte :

$$a_0^{\mathrm{II}} = a_0^{\mathrm{I}} \frac{\varkappa_0^{\mathrm{I}}}{\varkappa_0} ,$$

d'ou l'on tire $\varkappa_0^{\mathrm{II}}$, et ainsi de suite. a_0 obtenu avec l'approximation voulue on tire σ de l'équation :

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{e}{e_0}\right)^2 \left(\frac{\varkappa}{\varkappa_0}\right)^3 .$$

diminue au cours d'une expérience dont la durée varie entre 30 et 110 minutes.

Nous avons tenté d'expliquer la diminution du rayon par la volatilisation du liquide, et celle de la densité par la production d'une couche de faible densité (couche d'adsorption) à la surface de la goutte [1].

On reconnaît du reste que l'importance de la transformation ne dépend pas du rayon de la goutte. De plus grosses gouttes montrent souvent une densité plus fortement altérée que les plus petites. Le temps écoulé depuis le commencement des observations, par contre, exerce une influence importante. Dans la plupart des expériences de M. Targonski, les gouttes continuaient à se transformer pendant plusieurs heures, dans d'autres cas, par contre, on observait l'établissement d'un état d'équilibre.

On ne note du reste pas exclusivement des valeurs trop faibles de la charge. Dans quelques déterminations relativement rares, les gouttes avaient au début des charges légèrement trop fortes. Ainsi, par exemple, dans l'observation n° 46, la valeur apparente initiale de la charge de l'électron est :

$$e = 4{,}97 \times 10^{-10}$$

D'après le mode de calcul adopté, nous trouvons dans ce cas une densité initiale 14,2 manifestement trop grande, puisque la densité normale du mercure est 13,6. La même remarque s'applique à l'observation n° 80.

Il est inadmissible que les gouttes puissent renfermer dans certains cas des inclusions dont la densité serait supérieure à celle du mercure. Il faut par conséquent attribuer l'écart à la précision limitée des mesures.

Une perturbation, pouvant expliquer l'obtention d'une valeur apparente trop grande de e, a été signalée par M. O.-W. Silvey [2]. Par le fait que les gouttes de mercure s'amassent sur le plateau inférieur du condensateur et y forment des groupes irréguliers,

[1] Schidlof, A. *Arch.*, vol. 43, p. 217-244.

[2] Silvey, O.-W. *Phys. Rev.*, 1916, vol. 7, p. 87, 106 ; *Phys. Zeitschr.*, 1916, vol. 17, p. 43.

le champ électrique cesse d'être uniforme. La distance entre les deux plateaux était relativement petite dans les expériences de M. Targonski (0,5 mm). La cause d'erreur en question pouvait donc influer sensiblement, dans certains cas, sur la précision du résultat.

D'une façon générale, la présence d'une grande quantité de gouttes sur le plateau inférieur du condensateur sera équivalente approximativement à une *diminution* de la distance des armatures et produira par conséquent une *augmentation* de l'intensité du champ F correspondant à une différence de potentiel donnée. La valeur de F portée dans la formule (3) sera donc *trop petite* dans ce cas, ce qui entraîne une valeur apparente *trop grande* de *e*.

Cette cause d'erreur a du reste une importance minime vis-à-vis des autres qui ont dû intervenir dans les expériences de M. Targonski, par suite de la nature même du sujet étudié. On ne peut évidemment effectuer des mesures précises avec des particules dont la masse et la densité varient continuellement dans des proportions considérables. Si de plus la particule est très petite et présente un mouvement brownien appréciable, le résultat d'une mesure isolée peut être affecté d'une erreur énorme. La discussion ne peut porter, par conséquent, que sur des moyennes et sur des différences notables.

C'est la régularité et l'importance des effets observés, qui nous autorise à leur attribuer une signification réelle et d'en chercher l'interprétation.

III. Quelques remarques sur les expériences de M. O.-W. Silvey.

Il nous semble intéressant de comparer les résultats de M. Targonski avec ceux de M. Silvey. Les chiffres indiqués par M. Silvey présentent l'avantage de se rapporter à des *gouttes invariables*.

Après avoir constaté la volatilité des gouttes de mercure, et après avoir remarqué que les gouttes cessent d'être volatiles après un séjour plus ou moins prolongé à l'intérieur du con-

densateur, M. Silvey a décidé de ne commencer les mesures que lorsque la goutte eut pris son état d'équilibre.

Si l'on calcule, d'après les observations de M. Silvey, la valeur apparente de la charge de l'électron, en utilisant pour la constante A du terme $1 + \frac{Al}{a}$ la valeur :

$$A = 0,873$$

on trouve les chiffres consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU II

Calculé d'aprés les observations de M. O. W. Silvey
(*Phys. Zeitschr.* 1916, vol. 17)

Durée de chute (Parcours = 1 cm) t_1 (sec)	Durée d'ascension (Parcours = 0,285 cm) t_2 (sec)	Rayon $10^5 a$ cm	Charge de l'électron $10^{10} e$ Unités électrostat.
8,066	2,298	8,38	4,47
8,327	2,374	8,32	4,30
11,054	3,15	7,10	4,54
13.668	3,89	6,34	4,44
19,34	5,51	5,27	4,48
23,261	6,63	4,77	4,54
25,91	7,385	4,50	4,58
26,437	7,535	4,45	4,43
27,970	7,975	4,32	4,59
36,15	10,29	3,75	4,66
40,14	11,79	3,48	4,56
45,00	12,89	3,33	4,49
56,22	16,02	2,94	4,54
62,15	17,7	2,78	4,50

Valeur moyenne du rayon : $4,98 \times 10^{-5}$ cm.

Valeur moyenne de la charge élément. apparente : **$4,512 \times 10^{-10}$** unités électrost.

Densité moyenne des gouttes : **12,4**.

On constate que les gouttes observées par M. Silvey avaient toutes une densité bien inférieure à celle du mercure pur. Ce fait ne peut nous surprendre, mais nous ne voyons pas sans étonnement que l'altération de la densité est presque rigoureu-

sement la même pour toutes les gouttes, quelle que soit leur grandeur. En tout cas, il n'y a aucune variation systématique.

Si l'on voulait expliquer le changement de densité par la production d'une couche non volatile de faible densité qui se dépose à la surface des gouttes[1], il faudrait admettre qu'à l'état d'équilibre cette couche présente sensiblement la même épaisseur δ pour toutes les gouttes. On ne voit pas pour quelle raison δ dépendrait de la grandeur des gouttes.

Désignons maintenant par σ_0 la densité du mercure, par σ' celle de la couche extérieure, par a le rayon de la sphère entière (y compris la couche surerficielle), le volume de la sphère V et sa masse m sont exprimés par :

$$V = \frac{4\pi}{3} a^3 \; ; \quad m = \frac{4\pi}{3} (a - \delta)^3 \sigma_0 + 4\pi a^2 \delta\sigma' \; .$$

En supposant δ petit vis-à-vis de a, on trouve pour la densité moyenne σ de la sphère l'expression :

$$\sigma = \frac{m}{V} = \sigma_0 - \frac{3\delta}{a} (\sigma_0 - \sigma')$$

σ_0 et σ' étant constants ainsi que δ on voit que la différence $\sigma_0 - \sigma$ devrait varier en raison inverse du rayon a; mais on ne remarque rien de pareil dans les résultats de M. Silvey.

Nous en concluons que les modifications *que subissent de très petites gouttes de mercure intéressent probablement non seulement la surface mais aussi l'intérieur des gouttes.*

Notons encore que la modification de la densité du mercure était dans les expériences de M. Silvey bien moindre que dans celles de M. Targonski.

D'après les chiffres du tableau II, on trouve en moyenne :

$$\sigma_m = 12.4$$

soit une densité inférieure de 8,4 % à celle du mercure pur, tandis que M. Targonski a observé des diminutions de la densité bien supérieures à 25 % dans certains cas. On ne peut

[1] M. Silvey admet la production d'une couche d'huile à la surface des gouttes qui, une fois formée, aurait pour effet d'empêcher la volatilisation du mercure.

cependant tirer aucune conclusion certaine de cette divergence, la façon dont les gouttes sont préparées étant différente dans les expériences de M. Targonski et dans celles de M. Silvey. Il n'y a rien de choquant à supposer que des petites gouttes de mercure préparées par l'ébullition du liquide ont, dès le début, une autre constitution et d'autres propriétés que celles qui ont été préparées par une pulvérisation mécanique. Nous savons du reste que, dans le procédé de division mécanique, les gouttes reçoivent des propriété différentes suivant la pression de pulvérisation et le procédé de pulvérisation employés [1].

Nous voudrions résumer les constatations qui se dégagent des expériences actuellement connues sur des gouttes ultramicroscopiques de mercure, en formulant les conclusions suivantes :

1. Il semble possible que les procédés de pulvérisation, ou tout au moins certains procédés de pulvérisation, communiquent aux gouttes ultramicroscopiques de mercure dès le début une densité différente de celle du métal pur.

2. Il est probable que les modifications de la densité moyenne ne sont pas exclusivement attribuables dans tous les cas à la production d'une couche de faible densité à la surface des gouttes, mais il pourrait y avoir en même temps modification de la constitution intérieure des gouttes.

De nouvelles expériences tendant à élucider ces questions semblent désirables.

IV. Expériences faites avec des gouttes d'huile.

Les changements de masse et de densité que subissent des gouttes ultramicroscopiques de mercure ne présenteraient pas un intérêt particulier, si l'on n'était pas tenté de généraliser les constatations et de les étendre à des gouttes obtenues par la pulvérisation d'autres liquides. Il semble probable *a priori* que tous les liquides sous forme de petites gouttes devraient être volatiles.

[1] Targonski, A. *L. c.*; Schidlof, A. *L. c.*

La constatation de M. R.-A. Millikan, que la masse des gouttes d'huile est invariable, paraît ainsi un fait isolé et passablement énigmatique.

On ne peut guère invoquer la faible tension de vapeur de l'huile, celle du mercure n'est certainement pas plus grande. Du reste la grandeur de la tension de vapeur serait sans importance si nos idées sur la cause de la volatilité des petites gouttes sont exactes[1]. Il en est autrement en ce qui concerne la *viscosité* du liquide. Celle-ci pourrait atténuer l'effet du bombardement moléculaire de la surface qui produit l'expulsion des molécules du liquide.

Toutefois le coefficient de viscosité de l'huile d'olive n'est qu'environ soixante fois plus grand que celui du mercure, et puisque les gouttes de mercure pur fraîchement préparées sont extrêmement volatiles, on ne comprend pas bien l'absence de toute trace de volatilité dans le cas des gouttes d'huile. Nous sommes plutôt tenté d'admettre, d'après ce que nous savons sur les propriétés des gouttes ultramicroscopiques de mercure, que *la surface des gouttes d'huile s'altère encore bien plus rapidement en présence de l'air que celle du mercure.*

Si l'on n'a pas occasion d'observer des gouttes d'huile volatiles, cela tient peut-être au fait que la surface a déjà perdu sa volatilité primitive au moment où la goutte est soumise à l'observation.

Un fait expérimental, auquel on n'a pas encore prêté toute l'attention qu'il mérite, vient à l'appui de notre supposition. Si les gouttes d'huile ne changent pas sensiblement de masse, elles montrent par contre une autre particularité qui rend leur invariabilité apparente encore plus curieuse.

M. A. Schidlof et Mlle J. Murzynowska[2] ont remarqué dans leurs expériences faites avec des petites gouttes d'huile d'olive *que les valeurs apparentes des charges décroissent progressivement au cours d'une expérience de longue durée.*

L'effet en question est très faible, la diminution de e reste toujours inférieure à 1 %, mais, d'après les idées développées

[1] Targonski, A., *l. c.*; Schidlof, A. *L. c.*
[2] Schidlof, A. et Murzynowska, J. *L. c.*

au premier chapitre, *une diminution apparente de la charge indique toujours une diminution réelle de la densité.*

La densité des gouttes d'huile peut donc subir une diminution progressive sous l'influence de certains agents qui se trouvent dans l'atmosphère.

Cette constatation est confirmée par le fait que les expériences citées plus haut, où les gouttes avaient longtemps séjourné dans l'air avant d'arriver à l'observation, ont fourni une valeur trop faible pour la charge de l'électron :

$$e = 4{,}738 \times 10^{-10} ,$$

au lieu de

$$e_0 = 4{,}774 \times 10^{-10}$$

chiffre indiqué par M. Millikan.

En attribuant la différence entre les deux valeurs à une modification de la densité de l'huile, on trouve pour les gouttes en question, dont le rayon est en moyenne

$$a = 7{,}1 \times 10^{-5} \text{ cm} ,$$

la densité :

$$\sigma = 0{,}895$$

au lieu de :

$$\sigma_0 = 0{,}910 ,$$

densité de l'huile pure.

On remarque du reste, comme l'a fait observer M. Targonski [1], aussi dans les protocoles d'observations de M. Millikan, une très légère décroissance progressive de la charge, preuve que ces gouttes non plus n'étaient pas inaltérables.

Quoiqu'une variation corrélative des durées de chute fasse défaut, on ne peut cependant pas admettre que la masse des gouttes d'huile est restée constante, ce qui serait en général inconciliable avec la supposition d'un changement de densité. Il est par contre parfaitement admissible que la densité et la masse d'une goutte varient sans que sa durée de chute change.

Supposons, par exemple, pour fixer les idées, que la goutte dissolve un fluide de densité σ'. (On pourrait étendre les consi-

[1] TARGONSKI, A. *L. c.*

dérations suivantes aux gouttes volatiles qui également, sous certaines conditions, pourraient montrer des durées de chute invariables). Le rayon de la goutte varie alors en même temps que sa masse, et puisque, abstraction faite du terme $1 + \frac{Al}{a}$, la vitesse de chute (équation 1) ne dépend que du rapport $\frac{m}{a}$, la durée de chute restera inchangée, pour autant que ce rapport n'est pas modifié.

Soit σ_0 la densité du liquide, la masse primitive de la goutte non transformée est :

$$m = \frac{4\pi}{3} a^3 \sigma_0 .$$

Si la goutte dissout une quantité infiniment petite d'un fluide de densité σ', un rayon augmente de da et sa masse augmente de :

$$dm = 4\pi a^2 \sigma' da .$$

Puisqu'on a d'une part :

$$\frac{m}{a} = \frac{4\pi}{3} a^2 \sigma_0$$

et d'autre part :

$$\frac{dm}{da} = 4\pi a^2 \sigma'$$

la condition nécessaire et suffisante pour que la masse croisse proportionnellement au rayon :

$$\frac{m}{a} = \frac{dm}{da}$$

est remplie si l'on a :

$$\sigma' = \frac{\sigma_0}{3} .$$

On voit que σ' doit être notablement plus petit que σ_0 dans le cas où la durée de chute reste invariable. Cela s'accorde avec le fait constaté expérimentalement que la densité des gouttes d'huile, après un séjour prolongé dans l'air, est presque toujours inférieure à celle de l'huile pure. Il n'est naturellement pas probable que la condition ci-dessus indiquée soit rigoureusement réalisée dans les cas concrets, mais il suffit qu'elle le soit

dans une mesure qui rend la constatation expérimentale de la variation des durées de chute impossible, pour que la variation des charges apparentes e soit le seul vestige de l'altérabilité de la goutte.

Dans le cas général on trouve en intégrant l'équation

$$\frac{dm}{m} = \frac{3\sigma'}{\sigma_0}\frac{da}{a}$$

la formule :

$$\frac{m}{a} = \frac{m_0}{a_0}\left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{3\sigma'}{\sigma_0}-1},$$

m_0 et a_0 désignant la masse initiale et le rayon initial de la goutte[1].

Ces considérations ne concernent que des gouttes non volatiles ($m > m_0$ et $a > a_0$). On reconnaît qu'on peut prévoir deux espèces de gouttes non volatiles :

Si : $\sigma_0 > 3\sigma'$ les durées de chute *augmentent* progressivement parce que le rapport $\frac{m}{a}$ diminue. Cela arrive par exemple pour certaines gouttes de mercure non volatiles.

Le contraire a lieu si $\sigma_0 < 3\sigma'$. Dans ce cas les durées de chute *diminuent*. Ce fait a été observé par M. Millikan pour certaines espèces d'huile. Nous aurons l'occasion de montrer qu'il peut en être de même des gouttes d'huile d'olive, du moins dans certaines circonstances spéciales.

Après avoir fourni des preuves de l'altérabilité des gouttes d'huile en général, nous devons en conclure que de même les gouttes observées par M. R.-A. Millikan, pouvaient ne pas avoir la densité de l'huile pure, puisqu'elles ont pu se transformer pendant la pulvérisation et ensuite encore pendant l'observation. Nous croyons cependant que l'influence de cet effet sur la valeur apparente de la charge de l'électron a dû être faible dans ces expériences en raison de la grande masse des gouttes. La masse de certaines gouttes d'huile de M. Millikan est environ

[1] Dans le but d'obtenir une formule aussi simple que possible nous n'avons pas tenu compte du changement que subit la densité de la goutte par suite de l'apport d'une masse de densité différente. L'approximation est suffisante parce que les changements observés sont toujours très petits.

1000 fois plus grande que celle des gouttes dont il a été question plus haut, et on peut penser que d'aussi grosses gouttes se comportent déjà presque comme des gouttes macroscopiques. Nous croyons donc que la valeur de e_0 indiquée par M. Millikan, doit être très voisine de la véritable valeur de cette grandeur.

Si toutefois les transformations signalées ont eu vraiment une influence, le chiffre obtenu par M. Millikan devrait être un peu trop petit. Il ne semble pas impossible d'effectuer de déterminations précises permettant d'évaluer la grandeur de la correction.

V. Transformations subies par des gouttes ultramicroscopiques d'huile d'olive sous l'influence des agents atmosphériques.

L'invariabilité des durées de chute des gouttes d'huile d'olive est-elle rigoureuse ou approximative ?

Des expériences, qui n'ont pas encore été publiées, faites au laboratoire de physique de l'Université de Genève, nous permettent de répondre à cette question. La variabilité des gouttes d'huile ne peut être mise en évidence que par des déterminations ou bien très précises ou de très longue durée. Or, en juin-juillet 1916, M. A. Targonski a entrepris, sur ma demande, une série d'observations avec des gouttes d'huile d'une vitesse de chute de 0018 cm/sec., soit d'un rayon de $3{,}5 \times 10^{-5}$ cm environ.

Cette série comprenant 1150 observations de durées de chute, fait partie de nos recherches sur le mouvement brownien des particules électrisées [1]. Un mémoire détaillé sur cette question est en préparation.

Pour résoudre le problème que nous nous étions posé, l'invariabilité la plus complète de la masse et des dimensions des particules était désirable. Nous avions donc pris toutes les précautions possibles pour exclure l'intervention des poussières. Le condensateur fut évacué à plusieurs reprises et rempli avec de

[1] Schidlof, A. et Targonski, A. Über die Brown'sche Bewegung elektrisch geladener Teilchen in Gasen, *Phys. Zeitschr.*, 1916, vol. 17, p. 376-388.

l'air soigneusement filtré. Les plateaux du condensateur étaient enduits d'huile pour retenir toutes les poussières qui y étaient amenées par le champ électrique.

Malgré ces précautions, les gouttes observées avaient une durée de chute variable. M. Targonski mentionne, dans son mémoire publié en 1917 [1], une goutte particulièrement variable, dont la durée de chute avait diminué de 27,77 sec. à 24,74 sec. au bout de deux heures. Les autres gouttes étaient beaucoup moins variables, *mais toutes sans aucune exception accusent une durée de chute qui diminue avec le temps.*

L'intervention des poussières et d'autres corps non volatiles peut paraître exclue, d'une part, en raison des précautions prises, et d'autre part, parce que le phénomène présente le même caractère, sinon la même importance, pour toutes les gouttes observées pendant un intervalle suffisamment long.

De plus la variation de la durée de chute se produit *d'une façon continue,* pour autant qu'on peut juger, étant donné le mouvement brownien très marqué de ces gouttes, qui oblige de prendre la moyenne d'un grand nombre d'observations, si l'on veut éviter une incertitude trop considérable.

Citons, à titre d'exemple, une série de 400 observations de durées de chute, faites avec la même goutte. Cette série, la plus longue qui a été effectuée, s'étendait sur une durée de cinq heures.

Les moyennes des durées de chute divisées en groupes de 50 sont successivement :

Obs. N° 508.	I.	31,626	$t_1 = 31,626$	Moyenne générale $(t_1)_m = 30\ 357$ sec
	II.	30,264	$t'_1 = 30,291$	
	III.	30,290		
	IV.	30,216		
	V.	30,468		
	VI.	30,218		
	VII.	29,748	$t''_1 = 29,886$	
	VIII.	30,024		

La moyenne des premières 50 observations : $t_1 = 31,626$ sec., s'écarte nettement de celle des 250 qui suivent : $t'_1 = 30,291$ sec.

[1] Targonski, A., *l. c.*

A la fin, les dernières 100 observations fournissent une durée de chute: $t_1'' = 29{,}886$ sec., légèrement inférieure à t_1'. Toutefois la seconde diminution est beaucoup moins importante que celle observée au début et se manifeste seulement au bout d'un temps bien plus long.

Comment savoir si ces différences ne sont pas attribuables au mouvement brownien? En premier lieu on remarque que les changements, nettement systématiques dans le sens d'une *diminution*, n'ont nullement le caractère de variations fortuites.

Il existe du reste une formule théorique très précise indiquée par M. E. Schrödinger[1] qui permet de trancher la question : L'écart probable de la moyenne générale, auquel il faut s'attendre en prenant la moyenne de n observations quelconques, est :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\lambda^2}{L v_1 n}}$$

λ^2 étant le carré moyen des fluctuations browniennes
L le parcours de chute de la goutte
v_1 sa vitesse de chute
n le nombre des observations dont on a pris la moyenne.

La moyenne générale des durées de chute de la série est :

$$(t_1)_m = 30{,}357 \text{ sec.}$$

Nous calculons d'autre part :

Nombre des observ.	Ecart probable d'après Schrödinger :	Ecart observé :
$n = 50$	$\varepsilon_{50} = 0{,}013$ soit 0,40 sec	$t_1 - (t_1)_m = 1{,}269$ sec
$n = 100$	$\varepsilon_{100} = 0{,}0092$ soit 0.28 sec	$t_1'' - (t_1)_m = -0{,}471$ sec

L'écart dépasse donc dans les deux cas la valeur de la fluctuation probable.

Le même caractère se retrouve dans les autres séries d'observations. Pendant la première demi-heure ou heure, la diminu-

[1] SCHRÖDINGER, E. *Phys. Zeitschr.*, 1915, vol. 16, p. 289.

tion de la durée de chute est en général plus rapide, puis elle devient plus lente. Nous donnons à titre d'exemple encore deux autres gouttes de la série, les moyennes des durées de chute étant toujours prises par groupes de cinquante :

Obs. N° 507.	I.	29,092	$t_1 = 29,092$	Moyenne générale : $(t_1)_m = 28,822$ sec
	II.	29,460	$t'_1 = 28,973$	
	III.	28,110		
	IV.	29,350		
	V.	28,096	$t''_1 = 28,096$	
Obs. N° 509.	I.	28,018	$t_1 = 28,018$	Moyenne générale : $(t_1)_m = 27,446$ sec
	II.	27,410	$t'_1 = 27,382$	
	III.	27,348		
	IV.	27,388		
	V.	27,064	$t''_1 = 27,064$	

Pour la quatrième goutte de la série on n'a fait que 50 observations en tout ; la cinquième est la goutte particulièrement variable citée par M. Targonski.

La diminution progressive des durées de chute n'est donc pas un incident, elle est une propriété générale des gouttes d'huile d'olive, ou du moins de celles observées dans ce groupe d'expériences. Cette diminution doit être l'effet d'une transformation que subissent les gouttes sous l'influence de certains agents contenus dans l'atmosphère ambiante.

La détermination de la valeur apparente des charges électriques portées par une même goutte à différentes époques de l'expérience — en d'autres termes la détermination des durées d'ascension — peut nous renseigner sur la variation qu'a subie la densité, pendant la transformation en question. Cette détermination a été faite au début (I), au milieu (II) et à la fin (III) de l'expérience pour la goutte n° 508, au début (I) et à la fin (II) pour la goutte n° 507 ; pour la goutte n° 509 nous ne possédons que la charge initiale. Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant.

Valeurs des charges élémentaires apparentes.

Obs. N° 508.			*Obs. N° 507.*		
	e			e	
I.	$4{,}64 \times 10^{-10}$	Moyenne $4{,}707 \times 10^{-10}$	I.	$4{,}68 \times 10^{-10}$	Moyenne $4{,}74 \times 10^{-10}$
II.	$4{,}70 \times 10^{-10}$		II.	$4{,}80 \times 10^{-10}$	
III.	$4{,}78 \times 10^{-10}$				

Quoique les différences entre les observations partielles et la moyenne soient ici à peine supérieures aux écarts prévus par la théorie, la marche nettement systématique semble indiquer que la densité de chaque goutte a vraiment augmenté au cours de ces expériences.

Rappelons que d'ordinaire la densité des gouttes d'huile d'olive semble plutôt diminuer avec le temps. Toute la série en question présente donc un caractère exceptionnel, surtout en ce qui concerne le sens dans lequel s'opère le changement de la densité des gouttes. La cause probable de ce fait a été indiquée par M. Targonski. Il est à supposer que le condensateur, ayant servi auparavant pendant longtemps à des expériences faites avec des gouttes de mercure, était infecté par les vapeurs de ce liquide.

Malgré son caractère exceptionnel, la constatation est cependant intéressante. Elle rend, en effet, évidente l'influence que peuvent avoir certains agents contenus dans l'atmosphère ambiante sur la constitution des gouttes d'huile. La supposition que les gouttes d'huile peuvent subir pendant la pulvérisation une transformation, qui rend leur surface non volatile et qui modifie leur densité, gagne ainsi en vraisemblance.

VI. Résumé.

Dans le présent mémoire nous avons tenté d'extraire des faits actuellement connus concernant les modifications que subissent les propriétés physiques de différents liquides, observés sous forme de très petites gouttes, un certain nombre de conclusions, en insistant notamment sur les points suivants :

1. De très petites gouttes de mercure montrent, après un séjour prolongé dans l'air, toujours une densité considérablement inférieure à celle du liquide pur. L'explication du phénomène par une modification de la surface seule est dans certains cas insuffisante, et on a des raisons pour supposer que la masse entière de la goutte peut subir des transformations.

2. La masse des très petites gouttes non volatiles, par exemple, des gouttes d'huile, est toujours légèrement variable. L'invariabilité apparente des durées de chute n'indique pas nécessairement l'inaltérabilité des gouttes. Si l'on explique la modification progressive de la goutte par l'absorption d'un fluide de densité σ' on peut diviser les gouttes non volatiles en deux catégories, celles dont la densité σ_0 est plus grande et celles dont la densité est plus petite que $3\sigma'$. Les durées de chute des premières augmentent et celles des secondes diminuent avec le temps. Dans certaines conditions les gouttes d'huile rentrent dans la seconde catégorie.

3. L'huile d'olive est volatile. Malgré ce fait qu'on peut considérer comme établi, les masses des petites gouttes d'huile d'olive ne diminuent pas ; il peut même arriver qu'elles augmentent. On doit se demander si cette propriété ne tient pas à une modification particulière que subit la surface de la goutte au moment de la pulvérisation.

4. Il semble indiqué d'étudier dans quelle mesure les effets ici signalés peuvent avoir une influence sur la précision des déterminations de la charge de l'électron, et si le chiffre actuellement admis ne doit pas subir de ce fait une légère correction.

Laboratoire de physique de l'Université de Genève.
Septembre 1916—janvier 1918.