

LA  
THEORIE DU RAYONNEMENT  
ET LES QUANTA.  
-  
RAPPORTS ET DISCUSSIONS  
DE LA  
Réunion tenue à Bruxelles, du 30 octobre au 3 novembre 1911  
Sous les Auspices de M. E. SOLVAY.  
-  
Publiés par MM. P. LANGEVIN et M. de BROGLIE.  
-  
PARIS,  
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE  
DU BUREAU DES LONGITUDES DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE,  
Quai des Grands-Augustins, 55.  
1912  
-  
SUR LES  
RESISTANCES ELECTIQUES  
Par M. KAMERLINGH ONNES.

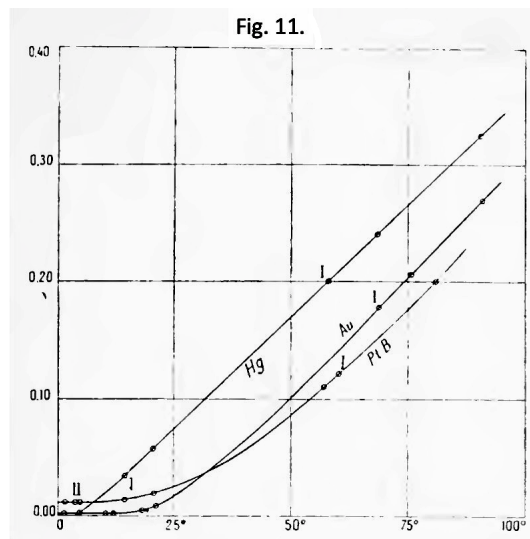
Mise à page à partir d'une copie du texte original par Dirk van der Marel, 20.09.2021

Je crois devoir attribuer la valeur limite trouvée par M. Nernst pour la résistance électrique de l'aluminium à des impuretés de ce métal. J'ai observé des influences de ce genre pour le platine et l'or en opérant jusqu'à la température de l'hélium liquide<sup>1</sup>. Il résulte de recherches que j'ai entreprises autrefois avec la collaboration de M. Clay à la température de l'hydrogène liquide que la résistance limite sera d'autant plus petite que le métal est plus pur. Le mercure peut être obtenu plus facilement que les autres métaux dans l'état d'extrême pureté. On peut aller si loin dans cette direction qu'il ne se manifeste plus aucune résistance attribuable à des impuretés. La résistance du mercure extrêmement pur devient pratiquement nulle et il en serait probablement de même pour du platine ou de l'or parfaitement purs.

Je voudrais à ce sujet donner quelques indications au sujet de mes recherches sur la résistance du mercure aux températures extrêmement basses.

---

1. Voir *Communic. fr. the physical Laboratory at Leiden*, N<sup>os</sup> 119, 120, 123.



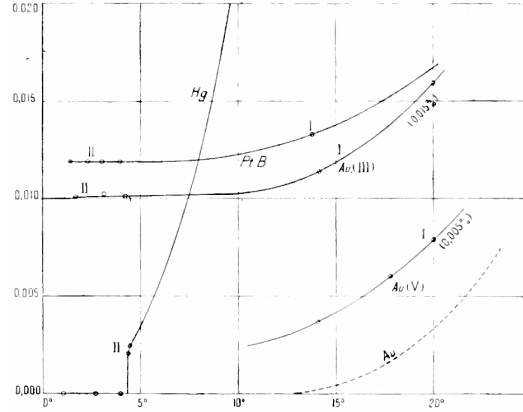
Ces recherches font partie d'une série de travaux entrepris depuis longtemps sur les particularités qui apparaissent dans un grand nombre de phénomènes aux températures voisines du point de fusion de l'hydrogène et au-dessous de ce point. J'ai attribué d'une manière générale ces particularités à une sorte de congélation des électrons sur les atomes. L'observation de la résistance du mercure peut peut-être fournir des indications plus précises à ce sujet. Probablement, on devra envisager cette congélation des électrons sur les atomes comme correspondant à l'arrêt de certains oscillateurs de Planck.

La figure 11 représente les variations, avec la température, de la résistance du platine, de l'or et du mercure au-dessous de  $-100^{\circ}$  C.

Pour le mercure solide, on a admis comme résistance à  $0^{\circ}$  C, la valeur obtenue par extrapolation des résultats expérimentaux au-dessous de  $-100^{\circ}$ .

La figure contient d'abord les résultats obtenus antérieurement par M. Clay et moi jusqu'à la température de l'hydrogène liquide inclusivement ; les points correspondants sont marqués I. La courbe relative au mercure n'atteint pas encore à la température de l'hydrogène liquide, le point d'inflexion qui se trouve sur les autres et qui semble traduire pour les métaux l'existence d'états correspondants. Les courbes relatives aux deux autres métaux montrent déjà dans l'hydrogène liquide une incurvation très nette pour s'approcher de la direction de l'axe des abscisses et qui aurait dû, d'après mes vues antérieures conformes à celles de Kelvin et développées d'une manière par Koenigsberger, être suivie d'un relèvement aux températures encore plus basses. La figure est complétée par les résultats de mes recherches, marqués II, à la température de l'hélium liquide. Quand j'ai fait l'expérience sur le platine, à la température de l'hélium liquide, j'avais bien pensé qu'au lieu de montrer le relèvement prévu, la résistance pourrait, quand la température s'approche du zéro absolu, tendre vers une valeur limite ou même vers zéro. Ma surprise a cependant été très grande en consta-

Fig. 12.



tant qu'au voisinage de la température de l'hélium liquide, la résistance du fil de platine Pt B sur la figure, devenait indépendante de la température, comme cela est montré par la figure 12 (dont l'échelle est 5 fois plus grande) : d'autant plus que, de l'influence des impuretés manifestée par les courbes relatives à divers échantillons d'or, on doit conclure que la résistance des métaux purs (comprenant dans la figure les courbes pour l'or avec diverses quantités d'impureté et la courbe pointillée acceptée pour l'or pur) serait déjà pratiquement (c'est-à-dire jusqu'à des valeurs qui sont attribuables à des impuretés inévitables) nulle à des températures supérieures au zéro absolu (voir la figure 13 dans laquelle l'échelle des résistances est 20 fois plus grande).

Ces nouveaux résultats ne permettent pas de supposer que les électrons libres se congèlent sur les atomes, mais semblent indiquer que les obstacles au mouvement des électrons disparaissent. Le fait que cette disparition se produit avant le zéro absolu suggère une application de la théorie des quanta analogue à celle faite par Einstein et Nernst pour expliquer la disparition de la chaleur spécifique. Il suffit d'admettre que les obstacles au mouvement des électrons dans les métaux purs proviennent de l'agitation des oscillateurs de Planck. En se plaçant à ce point de vue, on pouvait prévoir la variation approximative de la résistance en fonction de la température en introduisant les considérations de Planck dans la théorie de Riecke-Drude-Lorentz. L'influence des obstacles doit aussi être considérée comme proportionnelle à la vitesse ou à l'amplitude du mouvement des oscillateurs, par conséquent proportionnelle à  $\sqrt{E}$  où E est l'énergie définie par la formule de Planck.

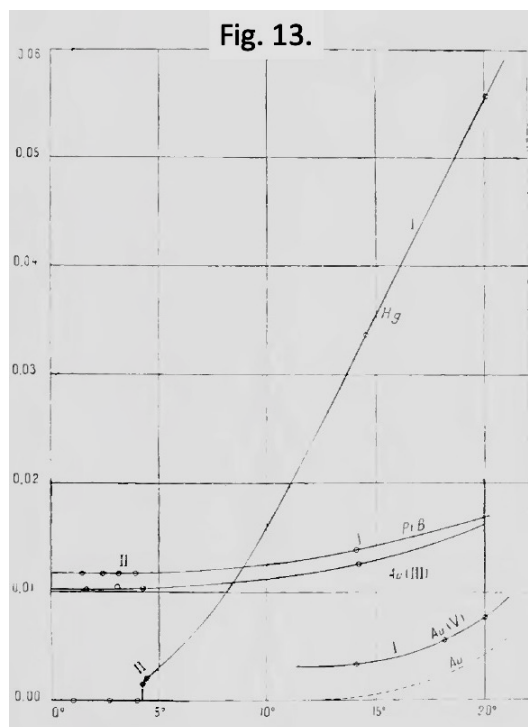
Il en résulte

$$\frac{W_1}{W_{273}} = \frac{\sqrt{273}\sqrt{E_{273}}}{\sqrt{T}\sqrt{E_T}}$$

avec

$$E_1 = \frac{\beta\nu}{e^{\beta\nu/1} - 1}$$

Cette représentation concorde avec les fait pour les fréquences  $\nu$  qui ne s'éloignent

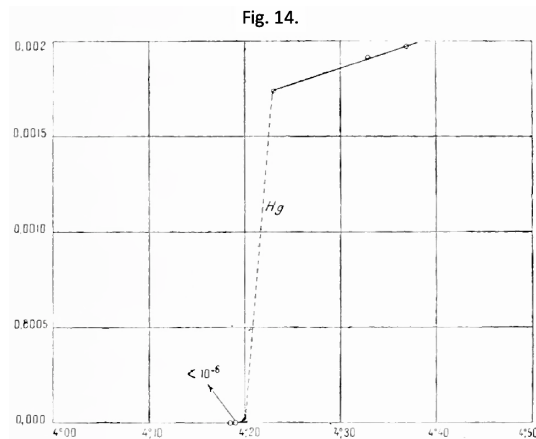


pas trop de celles qu'on calcule par les données de l'élasticité et qui conviennent pour le calcul des chaleurs spécifiques, et ce fait augmente la probabilité pour que la théorie de quanta soit applicable ici.

On pouvait ainsi prévoir comment devait se comporter la résistance du mercure.

D'après les calculs à 4°.25 absolu, point d'ébullition de l'hélium, la résistance du mercure pur devait être encore appréciable et devait être pratiquement nulle à 3° absolu. On pouvait attendre aussi que le mercure puisse être obtenu assez pur pour permettre une vérification. Le résultat a confirmé cette prévision.

Le mercure a été purifié aussi parfaitement que possible par distillation dans l'air liquide. Après congélation dans un tube de verre capillaire, le fil de mercure ainsi obtenu a été mis en communication à chaque extrémité avec deux fils de mercure obtenus par le même procédé et qui servaient, l'un à envoyer du courant dans la résistance, et l'autre à mesurer la chute de potentiel. Les résultats sont représentés sur la figure 13. On voit que la résistance à 3° absolu est plus petite que le 1/1'000'000 de sa valeur à 0° C. D'après de nouvelles recherches, cette limite peut être encore abaissée. Pour un abaissement de la température jusqu'à 2° absolu la résistance reste inférieure à cette limite. Malgré cette confirmation, je considère la formule donnée comme représentant une tentative grossière pour appliquer la théorie des quanta. On ne peut donc non plus affirmer que les oscillateurs considérés sont les mêmes qui correspondent aux longueurs d'onde



extrêmement grandes observées par Rubens dans le rayonnement de l'arc au mercure. On peut seulement remarquer qu'ils ne sont pas très différents.

D'après les plus récentes recherches sur la manière dont disparaît la résistance, certains caractères se sont montrés qui ne rentrent pas dans l'explication proposée et dont je n'ai pas encore bien analysé l'origine.

Je ne puis encore complètement m'expliquer sur ce point. Il semble cependant certain que, comme montre la figure 14 construite à une échelle 200 fois plus grande que la figure 11, la résistivité du mercure subit, un peu au-dessous du pont d'ébullition de l'hélium, une diminution très rapide et presque une discontinuité qui produit la disparition de la résistance au-dessus de la température pour laquelle la formule donnée plus haut prévoit cette disparition.

Je voudrais présenter encore quelques observations :

1° La formule intéressante qu'a donnée M. Lindemann en même temps que je publiais la mienne ne perd, comme l'indique son auteur, de conclusions quantitatives que si l'on remplace le calcul théorique des constantes par une détermination empirique. Encore, il y est introduit une résistance résiduelle. Si l'on tient compte du fait que la résistance limite des métaux purs est pratiquement nulle, la formule de M. Lindemann se transforme dans la loi empirique proposée par Nernst lorsque, pour la rendre applicable aux métaux purs, on a annulé dans celle-ci la résistance résiduelle. Les résistances limites qui peuvent subsister dans le cas des métaux purs sont probablement d'un ordre de grandeur beaucoup plus petit que les résistances limites qui figurent dans la formule empirique de Nernst et qui doivent être attribuées aux impuretés.

2° On peut remarquer la manière, non encore expliquée, il est vrai, dont se comportent les alliages pouvait faire prévoir l'invariabilité aux très basses températures de la résistance résiduelle attribuable aux impuretés.

## DISCUSSION DU RAPPORT DE M. KAMERLINGH ONNES.

M. Langevin. – Je voudrais demander à M. Kamerling Onnes si la variation très rapide qui se produit au voisinage de  $4^{\circ}$  absolus dans la conductivité du mercure ne correspond pas à un changement d'état s'accompagnant par exemple d'une variation brusque de volume. C'est un fait constant que les variations de volume qui se produisent pendant la fusion, par exemple, s'accompagnent d'une variation énorme de conductibilité, probablement par suite d'un changement dans le nombre des électrons libres. Toute contraction correspond à un accroissement de ce nombre, et il y a lieu de se demander si l'augmentation énorme de conductivité observée par M. Onnes n'est pas la conséquence d'une telle contraction. La discontinuité dans la variation de la résistance peut résulter d'une discontinuité dans la variation du nombre des électrons libres, ou, comme le suppose M. Onnes, d'une variation rapide, déterminée par la formule de M. Planck, dans l'agitation de ces électrons.

M. Kamerling Onnes. – J'aurais bien désiré avoir pu mesurer déjà à ces basses températures la conductibilité calorifique, la chaleur spécifique, la densité, la dilatation et l'élasticité du mercure. Ces mesures étaient réclamées tout d'abord par la théorie dont je m'étais servi (voir Communication n<sup>o</sup> 119 du Laboratoire de Physique de Leyde), théorie que, du reste, je ne considère que comme une esquisse de la manière dont on peut faire entrer les vibrateurs de Planck dans la déduction de la conductibilité dans la théorie des électrons. Mais je ne me suis pas encore avancé si loin. Je ne puis donc pas répondre encore à la question de M. Langevin.

Il est possible qu'il s'agit d'un changement de volume, appréciable, qui donnerait comme résultat secondaire une augmentation de conductibilité. Cette augmentation devrait être alors beaucoup plus grande que dans de cas analogues. Il est possible aussi que la modification consiste principalement dans le changement de la période des vibrateurs dont je viens de parler. Lorsque leur fréquence changerait par exemple du simple au double, la conductibilité serait déjà bien augmenté d'après la formule acceptée.

En tout cas, le nouvel état du mercure se distingue de celui au-dessus de  $4^{\circ}.2$  K par une conductibilité tout à fait extraordinaire.