Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 56 (1925-1929)

Heft: 216

Artikel: Manifestations mécaniques et électriques des accélérations d'électrons en régime permanent

Autor: Perrier, Albert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-271576

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: 17.08.2025

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

Albert Perrier. — Manifestations mécaniques et électriques des accélérations d'électrons en régime permanent.

Présenté à la séance du 3 juin 1925.

I. Les phénomènes dont j'ai fait l'étude théorique dans une note récente [1], ainsi que ceux sur lesquels des savants américains [2] ont fait des expériences et qui sont en fait les inverses d'une partie des premiers (courants électriques provoqués par accélération *mécanique* de conducteurs métalliques en regard d'accélérations des conducteurs provoquées par des courants électriques variables) concernant tous des régimes *variables*. Je donne dans la présente note les résultats seulement d'une étude des *régimes permanents* de courant électrique. On verra qu'on peut prévoir par simples raisonnements électromécaniques l'existence de phénomènes qui, pour extrêmement faibles que le calcul les fait attendre, n'en sont pas moins intéressants, car nous verrons *apparaître dans l'expression quantitative de chacun d'eux la charge libre, soit par répercussion immédiate le nombre des électrons libres des conducteurs*, cette grandeur si importante et si totalement inconnue dont j'ai déjà eu l'occasion d'indiquer des procédés possibles de détermination. Tel n'est pas le cas des effets rappelés plus haut; et par là, ceux que prévoit le présent travail les dépassent notablement en importance scientifique, et pratique aussi pour un avenir plus éloigné.

II. Soit dans un conducteur métallique une intensité I invariable. Nous produirons des accélérations moyennes d'électrons soit au moyen d'une section normale non uniforme (accélérations longitudinales), soit par des incurvations (accélérations transversales). Doivent alors apparaître respectivement:

a) Des forces longitudinales sur les éléments fixes de la matière de sens correspondant au sens de l'accélération des

[1] *A. Perrier.* — Sur les phén. électrom. et les électrons libres des métaux. — *Bull. soc. vaud. sc. nat.* 55 (1924), page 215.

[2] v. p. e. *Nichols*, Phys. Z. 7, p. 640, 1906. — *R. C. Tolman et T. D. Stewart*, Phys. Rev. (2) VIII, p. 97. 1916.

électrons, puis des actions normales sur le conducteur et dirigées vers l'extérieur de la courbure *(phénomènes mécaniques)*. Nous pouvons laisser ici hors de nos considérations le mécanisme de transmission de ces efforts; cette question mérite d'ailleurs d'être discutée pour elle-même.

b) Des *différences de potentiel (phénomènes électriques)* juxtaposées à celles correspondant à la résistance ohmique. Longitudinalement et en prenant comme sens positif le sens conventionnel ordinaire du courant, le gradient de potentiel doit être, où la densité de courant décroît, plus fort que celui correspondant à la résistance ohmique, et inversément lorsque la densité de courant croît; autrement dit, de part et d'autre d'un étranglement d'un conducteur, il doit exister en courant de régime une dyssymétrie dans la répartition des potentiels. Je reviendrai plus loin sur le signe de cette dyssymétrie, qui est d'une grande signification.

c) Il convient de remarquer que ces phénomènes mécaniques et électriques prévus ne doivent être accompagnés d'aucun *phénomène thermique*, contrairement à ce qu'un examen superficiel pourrait faire induire; il suffit pour s'en convaincre d'envisager que l'accélération électronique implique une *force électromotrice ou contre-électromotrice intérieure* mesurée précisément par les anomalies prévues de la répartition des potentiels.

Pour les effets transversaux, il est commode de se représenter un conducteur circulaire aplati dans le plan du cercle; lorsqu'il est le siège d'un courant (entretenu par exemple inductivement), il doit se créer une différence de potentiel entre les bords extérieur et intérieur, le bord intérieur étant positif (voir toutefois les considérations générales sous V).

Comme, justement, ainsi que nous allons voir, tous les effets dépendent explicitement du nombre des électrons libres, nous serons obligés de baser nos évaluations numériques sur des chiffres incertains quant à cette grandeur, et leurs résultats pourront être assez éloignés de ce que donnera l'expérience.

En revanche, une simplification de principe essentielle et considérable apportée par le régime permanent est *l'élimination de la masse inductive, seule la masse mécanique des électrons entre en jeu.*

Soient: N le nombre d'Avogadro, A le poids atomique et D la masse spécifique de la substance considérée; n le nombre d'électrons libres par cm³, δ leur charge totale et μ leur masse mécanique totale, e et m la charge et la masse d'un électron, λ le rapport entre le nombre d'électrons libres et le nombre d'atomes dans un même volume. Les relations suivantes, dont nous avons à faire emploi, se vérifient immédiatement:

$$n = \lambda D \cdot \frac{N}{A}$$

$$\mu = nm = \lambda D \frac{N}{A} \cdot m$$

$$\delta = ne = \lambda D \frac{N}{A} \cdot e$$

Effets mécaniques (II a). J désignant la densité de courant à l'abscisse x, le calcul conduit à l'expression suivante pour la variation longitudinale de quantité de mouvement des électrons par unité de volume et par seconde:

$$\frac{1}{\delta\left(\frac{e}{m}\right)} \cdot J \cdot \frac{\partial J}{\partial x} = \frac{A}{\lambda D N e \cdot \left(\frac{e}{m}\right)} \cdot J \cdot \frac{\partial J}{\partial x}$$

laquelle exprime en même temps la réaction sur le mécanisme qui entretient le mouvement.

Le cas de l'accélération centripète (transversale) se traite sans plus de difficulté et conduit pour la réaction des électrons rapportée à l'unité de volume à l'expression:

$$\frac{1}{\delta\left(\frac{e}{m}\right)} \cdot \frac{J^2}{r} = \frac{A}{\lambda D N e \cdot \left(\frac{e}{m}\right)} \cdot \frac{J^2}{r}$$

r désignant le rayon de courbure de la trajectoire moyenne du train d'électrons au point considéré.

Evaluations numériques. — Soit un métal usuel (tel le cuivre), en prenant pour A, D, N, e, $\frac{e}{m}$ les valeurs assez bien connues maintenant, le facteur $\frac{1}{\delta\left(\frac{e}{m}\right)}$ est de l'ordre de

$$\frac{10^{-10}}{2 \cdot \lambda} \; CGS \; E.M$$

En choisissant

$$J = 100 \text{ amp./mm}^2 = 1000 \ CGS \ ; \ \frac{\partial J}{\partial x} = 100 \ CGS$$

et prenant arbitrairement $\lambda = \frac{1}{1000}$ (inconnue!), on obtient une force longitudinale de l'ordre de 10^{-3} dynes/cm³ et un effort transversal pour $r = 1$ cm. de l'ordre de 10^{-2} dynes/cm³

Les valeurs de départs sont déjà des limites difficilement réalisables expérimentalement, et en outre λ pourrait réserver des surprises. L'observation me paraît totalement exclue pour les effets longitudinaux, d'ailleurs d'une interprétation délicate.

J'ai cherché à me rendre compte de ce que l'on pourrait espérer du procédé suivant pour l'effet transversal: Le courant traverserait aller et retour un ruban mince dont les deux moitiés seraient appliquées bifilairement l'une contre l'autre (effets électrodynamiques à réduire!); le double ruban ainsi constitué serait enroulé en ressort spiral ou à boudin. Le passage du courant doit alors tendre à dérouler le dit ressort (actions indépendantes du signe de I). Le calcul donne pour le déplacement angulaire de l'extrémité libre du ressort à un seul tour, E désignant le module d'Young, h l'épaisseur du ressort:

$$\frac{J^2}{\delta\left(\frac{e}{m}\right)} \cdot \frac{24\pi r^2}{Eh^2} \ (^1)$$

Avec les valeurs numériques de l'ordre choisi plus haut, on arrive à des déformations trop faibles pour être observées actuellement, même en utilisant plusieurs tours et en faisant abstraction des causes d'erreurs certaines inhérentes à de telles expériences (température, actions électrodynamiques classiques, etc.).

Effets électriques (II b). Désignons par V les potentiels attribuables seulement aux effets d'accélération, ainsi les différences seulement avec les potentiels de régime sans accélération; V fait donc abstraction de la résistance ohmique; en gardant par ailleurs les mêmes notations que plus haut, le calcul électromécanique conduit aux expressions suivantes:

[1] Mon collègue M. *Maurice Paschoud* a bien voulu me donner les indications nécessaires pour la solution de la partie élastique du problème, je lui en exprime ici tous mes remerciements.

Effet longitudinal: $$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{J}{\delta^2\left(\frac{e}{m}\right)} \cdot \frac{\partial J}{\partial x}$$

Laquelle s'intègre immédiatement le long d'une ligne de courant:

$$V_2 - V_1 = (J_2^2 - J_1^2)\,\frac{1}{2\delta^2\left(\frac{e}{m}\right)}$$

Effet transversal: $$\frac{\partial V}{\partial y} = \frac{J^2}{\delta^2\left(\frac{e}{m}\right)r}$$

Introduisons les mêmes valeurs numériques que plus haut, on trouve respectivement
$\frac{\partial V}{\partial x}$ de l'ordre de 10^{-3} *CGS* ou 10^{-11} volts/cm et $\frac{\partial V}{\partial y}$ de l'ordre de 10^{-2} *CGS* soit 10^{-10} volts/cm.

Et cette fois, les deux effets sont vers la limite du perceptible.

Si l'on tient compte d'un résultat général exprimé par les lois qui viennent d'être établies, à savoir que les *deux forces électromotrices prévues croissent en raison directe du carré de l'intensité et en raison inverse du carré de la charge libre*, une simple modification d'une ou deux puissances de 10 dans l'ordre de cette dernière grandeur (prise arbitrairement à raison de 1 électron pour 1000 atomes dans ces calculs) peut rendre les phénomènes ou tout à fait abordables ou indécelables pour longtemps. Réciproquement, *des expériences fixant déjà avec certitude une limite supérieure de l'intensité de ces phénomènes fixeront par le fait même une limite inférieure du nombre des électrons libres dans un conducteur donné.*

IV. L'examen des conditions expérimentales montre que la seule possibilité d'attaque est du côté des phénomènes électriques, non seulement par suite de leur ordre de grandeur plausible, mais à cause de l'exclusion de toute pièce mobile et de l'énorme simplification expérimentale que cela implique; à cause aussi de la sûreté relative beaucoup plus grande de mesures purement électriques; enfin le phénomène transversal me paraît devoir être choisi en premier lieu. Pour une détermination absolue, on s'adressera de préférence au courant continu et à la méthode potentiométrique; mais pour une étude généralisée,

il y aura lieu de faire appel à l'alternatif, permettant par l'amplification une sensibilité plus élevée; d'ailleurs les équations établies demeurent valables, sauf que dans certaines circonstances, il pourrait y avoir lieu pour l'observation transversale de prendre garde à l'effet pelliculaire. Pour l'effet longitudinal, il sera fait usage en tout cas d'un dispositif différentiel (pour l'élimination du potentiel ohmique). — Tout cela sera développé dans une publication plus détaillée, ainsi que des dispositifs série de circuits indépendants.

V. Pour simplifier, je me suis placé dans l'établissement des formules ci-dessus à un point de vue déjà classique quant au mécanisme du courant. Si la théorie dont j'ai publié récemment un résumé [1] se vérifie, il en résultera que *les expressions* $\frac{\partial V}{\partial x}$ *et* $\frac{\partial V}{\partial y}$ *ne représenteront plus exactement le gradient du potentiel d'origine extérieure.* Je fais ici simplement cette réserve, dont il ne sera pas difficile de tenir compte plus tard s'il y a lieu. Les expressions des *effets mécaniques* au contraire *ne sont pas touchées par cette réserve.*

Des expériences avec des *supercondcteurs* pourraient être tout particulièrement intéressantes et fécondes. Il n'est pas superflu, je pense, de s'y arrêter dans cette première publication déjà, ne serait-ce qu'à cause de l'extrême clarté que cette notion introduit dans les raisonnements.

Soit, pour fixer les idées, un anneau découpé dans la paroi mince d'un cylindre de métal superconducteur, mais de largeur non uniforme. Créons par induction, à la manière de Kamerlingh Onnes, un courant permanent dans le dit anneau: il doit alors s'établir entre la région étroite et la région large la différence de potentiel prévue plus haut, laquelle est ici seule, en l'absence de résistance ohmique; elle est proportionnelle à la différence des carrés des densités de courant en ces deux points.

On se convaincra aisément que *son signe ne dépend* **plus ici du sens du courant,** *mais exclusivement du signe des porteurs du courant.* Le potentiel doit être le plus élevé à la région étroite dans l'hypothèse où l'on se place en général et où je me suis aussi placé, que le courant métallique est un courant électronique pur; mais ce serait l'inverse avec des porteurs po-

[1] *Bull. Soc. vaud. sc. nat.*, séance du 22 avril 1925.

sitifs, et le phénomène *disparaîtrait* avec des porteurs des deux signes (électrolytes) à débit égal.

Les phénomènes transversaux n'étant pas compliqués par la résistance ohmique, ils ne seraient pas différents d'aspect dans un superconducteur aplati, à moins qu'il n'apparaisse un phénomène analogue à ceux découverts récemment par Kamerlingh Onnes et Tuyn [1] sur la permanence des lignes de courant dans une nappe sphérique. L'étude en superconduction serait alors moins simple qu'en conduction métallique ordinaire. La force contre-électromotrice d'accélération centripète est encore d'un *sens indépendant de celui du courant*. Le potentiel est le plus élevé vers le centre de courbure si le train d'électricité est négatif.

Les considérations faites à l'aide du superconducteur sur les effets longitudinaux s'adaptent d'ailleurs au cas général de la présence de résistance ohmique sans aucune difficulté.

Ainsi, la détermination expérimentale des phénomènes prévus et calculés dans ce travail se présenterait qualitativement comme une *discrimination directe du signe des porteurs du courant électrique*, quantitativement comme *une nouvelle méthode qui peut être exclusivement électrique de compter les charges en mouvement dans le courant électrique*, soit le *nombre des électrons libres et aussi de mesurer leur vitesse dirigée*.

Lab. de physique de l'Université.
Lausanne, mai 1925.

[1] *v. H. Kamerlingh Onnes*, Rapport sur de nouvelles expériences avec les supraconducteurs; Comm. Leiden, Suppl. N° 50 (1924) to N°s 157-168.