Sur la théorie des courants transversaux dans le champ magnétiques : résistivité, quantités de mouvement et énergies

Autor(en): **Perrier, Albert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **56 (1925-1929)**

Heft 216

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-271577

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Albert Perrier. — Sur la théorie des courants transversaux dans le champ magnétique ; résistivité, quantités de mouvement et énergies.

Présenté à la séance du 3 juin 1925.

I. Dans le présent travail, je reprends la théorie des effets thermomagnétiques et galvanomagnétiques, plus particulièrement celle des premiers, qui n'avait été guère développée, à la suite de ses échecs devant l'interprétation des faits expérimentaux. Je pense montrer qu'en faisant usage des hypothèses introduites [1], nombre de faits se classent commodément, qu'en outre, on en prévoit de nouveaux avec un nombre si restreint de suppositions qu'ils me paraissent avoir de fortes chances d'être confirmés par l'expérience. On trouvera en particulier des résultats dont j'ai dû faire usage par anticipation dans une publication précédente [2].

La présente note est un résumé où je n'esquisse que le sens des démonstrations.

II. Admettons avec H.-A. Lorentz que le courant électrique dans un métal est dû au seul mouvement des électrons; dans les calculs, nous ne tiendrons cependant pas compte de la répartition de Maxwell pour les vitesses d'agitation thermique des électrons; on sait que les résultats ne diffèrent alors que par un facteur numérique et les conclusions (relatives) que nous tirerons n'en doivent pas être affectées. Je raisonnerai *tout d'abord* en considérant atomes et ions positifs de la matière comme passifs, pour considérer ensuite à part les changements qu'introduit l'hypothèse des *actions électromotrices intérieures*.

Je conserverai intentionnellement dans les expressions la vitesse moyenne d'agitation thermique des électrons libres, sans introduire explicitement la température, introduction qui im-

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

[2] *Alb. Perrier.* — *Sur des effets magnétomécaniques que peuvent présenter des courants électriques et calorifiques*, etc. *Bull. Soc. vaud. sc. nat.*, séance du 20 mai 1925.

plique le choix d'une dépendance que l'on peut aisément expliciter s'il y a lieu, mais qui suppose alors aussi la connaissance du nombre des électrons libres en fonction de la température, ce qui est loin de correspondre à la réalité.

Enfin, conformément à la méthode que j'ai suivie jusqu'ici, je me garde d'introduire dans les formules théoriques la résistivité expérimentale: la raison se trouve dans une des notes précitées et apparaîtra mieux dans la suite.

Le but de cette ligne de conduite est manifestement d'obtenir, au moins tout d'abord, des prévisions, en plus petit nombre sans doute, mais d'une généralité beaucoup plus grande.

Les phénomènes que nous avons à étudier sont essentiellement les actions d'un champ magnétique sur des courants d'électricité ou de chaleur et dans une direction normale aux courants et au champ. Pour fixer les signes commodément et sans ambiguïté, nous faisons les conventions suivantes: dans un système d'axes rectangulaires *à droite* (« direct »), nous plaçons les courants (électrique ou calorifique), et le champ parallèlement aux directions respectives des X et des Z, les sens positifs étant logiquement les sens positifs des coordonnées; les effets transversaux parallèles alors à OY seront comptés positivement s'ils sont dans le sens positif de cet axe. Effet transversal signifie ici « *chute* » de température ou de potentiel (gradient changé de signe) qui s'établit dans une plaque rectangulaire parcourue dans sa longueur par le courant X (« primaire »); mais le sens du *courant transversal* (« secondaire ») qui s'établirait dans une plaque discoïde parcourue radialement par le courant primaire est *inverse*.

Soient: N le nombre d'électrons libres par unité de volume, l leur libre parcours moyen, u leur vitesse moyenne d'agitation thermique, τ la durée moyenne de l ($l = \tau u$), J, $\mathcal{E}$ et $\mathcal{H}$ les intensités de courant, de champs électrique et magnétique; les composantes des vecteurs suivant une direction d'axe seront affectées d'une lettre-indice nommant cet axe.

III. Je ne m'arrêterai pas à la théorie de l'effet Hall que l'on présente en détail dans divers traités; je rappellerai seulement qu'elle revient à calculer la différence des effets inverses de $\mathcal{H}$ sur les électrons «remontant» et les électrons «descendant» simultanément le courant primaire. Les premiers étant les plus nombreux et leur vitesse plus grande, l'effet de leurs

déviations est prépondérant, le bord de la plaque vers les $-Y$ devient négatif, l'effet « normal » est *négatif* dans les conventions faites: le courant qui naîtrait sous l'action de la force électromotrice transversale serait dans le sens *des Y positifs*. Cette théorie simple ne fait donc appel qu'à l'action « extérieure » et, comme on sait, est en opposition même de signe avec plusieurs résultats expérimentaux.

Il m'a paru nécessaire en revanche de reprendre la théorie de l'effet électrique transversal à un courant de chaleur (Nernst et v. Ettingshausen). Classons les électrons en deux catégories valables en moyenne à un instant quelconque, les électrons « montants » par rapport aux températures ou électrons « froids » et les électrons « descendants » ou électrons « chauds ». — Dans un régime permanent, les *nombres* des uns et des autres qui passent dans le même temps à travers une surface limitée quelconque sont égaux [1], ce qui nécessite l'intervention hypothétique d'une force électromotrice thermoélectrique. L'effet électrique transversal s'obtient en calculant la densité de courant J_y normale au courant primaire dans un champ $\mathcal{H}$ et pour un gradient de température suivant OX donnés.

Le calcul m'a donné l'expression:

$$J_y = -\frac{Ne}{6\sqrt{3}} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{l^2}{u} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \mathcal{H}$$

où

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{du}{dT} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

elle signifie que l'effet prévu par cette théorie simple est négatif, autrement dit que le courant transversal serait dans le sens des Y positifs, le potentiel le plus élevé sans courant transversal s'établissant aussi du côté des Y positifs. Cela est contraire à un résultat publié [2].

Outre la marche du calcul, j'indiquerai dans un mémoire plus détaillé comment on se rend compte physiquement de ce signe de l'effet.

IV. Cela établi, étudions les effets *mécaniques* suivant OY en régime permanent. Le calcul est essentiellement celui de la

[1] Il est expressément fait usage de cette condition dans la suite.

[2] Cf. Müller-Pouillet. *Lehrbuch der Physik*, seconde édit. (1914), vol. IV, § 371.

variation moyenne de quantité de mouvement des électrons durant une seconde et suivant cette direction.

Sous l'action de $\mathcal{H}$ et durant un libre parcours moyen, un électron gagne une quantité de mouvement comptée suivant y, de

$$-\mathcal{H}eu_x \cdot \frac{l}{u}$$

La sommation de ces accroissements, étendue à tous les électrons, en tenant compte d'un mouvement d'ensemble dirigé suivant OX, conduit à l'expression classique de l'action transversale de Laplace, à laquelle il n'y a pas lieu de s'arrêter pour l'instant (effet mécanique simultané de l'effet Hall).

Mais appliquons le même calcul aux électrons porteurs d'un courant calorifique stationnaire. La variation de quantité de mouvement par cm³ peut s'exprimer sous la forme

$$-\mathcal{H}e\,[N_c u_{cx} + N_f u_{fx}]$$

Mais la parenthèse (proportionnelle au courant d'électrons global suivant OX) s'annule nécessairement en régime permanent: il n'y a donc pas de gain ni de perte de quantité de mouvement transversale, *partant pas de force résultante sur le système fixe.*

C'est ce résultat nouveau dont j'ai fait usage dans la note rappelée en tête: j'ai indiqué là aussi ce qu'il faut prévoir dans un régime non permanent.

V. Considérons enfin les *effets énergétiques* des courants transversaux.

Les questions que nous nous poserons sont celles des *quantités d'énergie* dégagées calorifiquement par ces courants et de *leur origine*, l'expérience étant toujours disposée en sorte qu'ils se développent pleinement.

Pour le courant Hall, v. Ettingshausen [1] a trouvé par l'expérience que cette énergie se prend au courant primaire et qu'un accroissement apparent de résistance pour celui-ci en est la manifestation extérieure mesurable.

Je me contenterai ici de faire la réserve, logique avec une de mes prévisions théoriques antérieures [2], que *cette énergie*

[1] V. *K. Baedeker. Die elektrischen Erscheinungen in metallischen Leitern*, Braunschweig, 1911, p. 119.

[2] *Alb. Perrier.* — loc. cit. 22 avril 1925.

peut être complètement différente du produit de la « résistance » du métal par le carré de l'intensité transversale (car je prévois que la résistance peut être complètement différente).

Avec le flux calorifique *permanent*, les choses se présentent tout autrement, brièvement ainsi:

Avec ce flux calorifique permanent, je dis que *le courant électrique transversal ne saurait coûter d'énergie :* en effet, si elle se prélève sur l'énergie calorifique du courant même, elle se reconstitue au fur et à mesure comme chaleur et le flux de chaleur sortant reste égal au flux entrant, au total, ni gain ni perte. Mais, d'autre part, le champ magnétique (respectivement les corps qui l'entretiennent) ne saurait fournir d'énergie, car ses actions sur les électrons ne peuvent, à n'importe quel instant, qu'être normales à leurs trajectoires et ne « travaillent » pas [1].

Cela bien entendu ne touche pas le régime d'établissement du courant: son énergie électrocinétique est déterminée par son intensité et sa configuration, abstraction faite du mécanisme du courant; elle doit donc être prélevée sur la chaleur même du flux, ou mécaniquement (aimants permanents), ou sur la force électromotrice entretenant le champ magnétique, la répartition entre ces trois sources dépendra des conditions de l'expérience.

VI. Dans un travail précédent, j'avais fait prévoir que les résistances opposées aux courants transversaux correspondant aux effets Hall et von Ettingshausen et Nernst pourraient être différentes et entre elles et de la valeur de la résistance mesurée par les procédés classiques. La théorie qui vient d'être esquissée va donc beaucoup plus loin, et de manière très inattendue:

Le courant thermomagnétique est entretenu en régime permanent sans dépense extérieure d'énergie, il se comporte en ce sens comme courant de superconduction.

J'ai indiqué déjà [2] d'autres circonstances dans lesquelles on est conduit à considérer des phénomènes de superconduction à température ordinaire, mais il ne s'agissait encore que de tron-

[1] Ce dernier raisonnement est évidemment tout à fait général; il s'applique par exemple encore intégralement à l'effet Hall : aucune énergie ne saurait être empruntée à la source de champ magnétique pour entretenir les courants transversaux.

[2] *Alb. Perrier.* — Superconduction accidentelle. — *Bull. Soc. vaud. des sciences nat.*, séance du 22 avril 1925, 2e note.

çons de circuit. Ici, nous avons affaire à un circuit entier. Cette conclusion se formule également ainsi: *dans des dispositions suffisamment symétriques et en régime permanent, le courant thermomagnétique transversal s'entretient sans force électromotrice apparente.*

Dans une prochaine publication consacrée à des méthodes d'observation de ces phénomènes, je discuterai des objections (par exemple: comment interpréter la force électromotrice observée réellement?) que suggèrent des prévisions si inattendues et apparemment si peu admissibles.

VII. Tout ce qui a été établi jusqu'ici fait abstraction complète des *forces électromotrices intérieures*. On sait qu'elles peuvent modifier du tout au tout les intensités des courants transversaux, et corrélativement les forces électromotrices qu'accusent les mesures par compensation [1]. Je vais montrer que les prévisions essentielles n'en sont pas altérées. Reprenons séparément les effets mécaniques et les énergies.

Pour ce qui touche les premiers, je remarquerai que les forces électromotrices en question correspondent à des forces exercées mutuellement entre les atomes (ou ions) et les électrons; elles constituent *un système de forces intérieures au système entier et ne peuvent entraîner en conséquence aucun effet extérieur en régime permanent.*

Puis, au passage d'un régime permanent à un autre, il ne saurait apparaître d'effet global supplémentaire autre que celui attribuable à l'*inertie mécanique des électrons*, négligeable en regard de l'inertie inductive, laquelle est à la base du phénomène prévu antérieurement. Le dit effet doit donc subsister, mais il doit être proportionnel à la part seulement de l'intensité attribuable à l'action magnétique d'origine extérieure, non a l'intensité totale.

Et quant à l'énergie cinétique additionnelle que peuvent communiquer aux électrons durant leur libre parcours les actions des molécules, il est clair qu'en régime permanent elle est continuellement restituée sous forme d'agitation thermique [2].

[1] *Alb. Perrier*, loc. cit. 22 avril 1925, 1re note.

[2] Ce raisonnement n'est rigoureux bien entendu qu'en postulant ici comme plus haut une *symétrie* de révolution complète du système. D'autre part, il vaut quel que soit le mécanisme des actions électromotrices intérieures; rien n'empêche d'admettre par exemple que des électrons soient projetés d'un atome à l'autre avec prédominance moyenne de la direction transversale, et avec accompagnement d'un phénomène quantique.

Ce phénomène n'est en définitive qu'une modification du débit de la circulation transversale d'énergie, corrélative de la modification de l'intensité du courant électrique, mais pas une production supplémentaire de chaleur; si en particulier il y a superconduction apparente sans ces actions, elle doit subsister en leur présence.

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