Prédiction d'un nouvel "effet A.B.C."

O. COSTA DE BEAUREGARD

Fondation Louis de Broglie, 23, rue Marsoulan, 75012 Paris

RÉSUMÉ. Un fait trop peu remarqué est que la formule exprimant en un point r de l'espace la dépendance localement observable des franges de l'effet A.B. en fonction du flux piégé Φ sélectionne une jauge de A : celle adhérente à la source. Ceci confirme une idée familière à Louis de Broglie, que le 4-potentiel est lui aussi une grandeur localement observable dont la jauge s'interprète comme une condition d'intégration. Si tel est le cas le potentiel vecteur est observable en tout point r de l'espace, en amont comme en aval du solénoide. Un test est proposé.

ABSTRACT. Something of significance has been overlooked : the formula expressing at a given point r the locally observable dependence of the A.B. fringes as a function of the trapped flux Φ selects A's gauge as the source adhering one ; This vindicates an idea often expressed by Louis de Broglie, namely that the 4-potential is a locally observable magnitude, the gauge of which can be likened to an integration condition. If this is so a local observation of the vector potential is possible at any point r in space, upstream no less than downstram the A.B. testing solenoid. An experimental test is proposed.

1 Le potentiel vecteur dans l'œuvre et les pensées de Louis de Broglie

L'onde matérielle postulée de façon très bien argumentée dans la Thèse de Louis de Broglie, soutenue en 1924 et publiée en 1925, sembla folle à plusieurs, mais fut validée avec éclat par l'expérience de Davisson et Germer. Dès 1929 Louis de Broglie reçut le Prix Nobel.

Modulo la constante h de Planck Louis de Broglie égalait à la 4-fréquence k^1 de l'onde la 4-impulsion canonique P^1 d'un électron contenant le terme potentiel $-eA^1$, ce qui conférait beaucoup de physicalité au 4-potentiel électromagnétique. Celle-ci s'afficha dans l'effet Aharonov-Bohm, dont la publication suscita un déluge de commentaires car un fameux décret de Heavis-

ide refusait toute physicalité au 4-potentiel, considéré comme un artifice de calcul. Nous autres, « anciens de l'équipe Broglie », ne nous pardonnons pas de n'avoir pas prédit cet effet !

Que pensait Louis de Broglie concernant la physicalité du potentiel ? On le sait très bien, car il l'a souvent dit ou écrit. Bon, la force appliquée à un électron par un champ électro-magnétique est une grandeur physique à lui proportionnelle. Quant à la 4-impulsion canonique, qui est souvent mesurable, elle contient un terme proportionnel au 4-potentiel dont la jauge se trouve alors fixée. Par exemple, un « défaut de masse électrique » est proportionnel au potentiel de Coulomb. Comme autre exemple on a l'effet Meissner qui, comme y insiste Tonomura [1], fixe la jauge du potentiel vecteur.

De façon générale [2] [3] l'arbitraire de la jauge équivaut à celui d'une condition d'intégration lors du passage d'une force et de son travail à une impulsion et une énergie. En général c'est « la jauge adhérente à la source » qui se trouve ainsi sélectionnée. L'effet Meissner, par exemple, sélectionne [4] la jauge associée à l'énergie cinétique des électrons supraconducteurs.

On argue ici qu'un exemple de cette sorte, trop peu remarqué, sous-tend l'effet Aharonov-Bohm. On va l'expliciter et proposer un test utilisant un « biprisme électronique » à la manière de Möllenstaedt et Bayh [5].

En raison de sa parenté avec l'effet Aharonov-Bohm on appelera ABC cet effet.

2 Nouveau regard sur l'effet Aharonov-Bohm

Tel qu'il est manifesté dans les expériences de Möllenstaedt et Bayh [5] utilisant un biprisme électronique et un long solénoide droit piégeant un flux Φ, l'effet A.B. consiste en un déphasage d'ensemble des franges proportionnel au flux Φ donc invariant de jauge. Cet effet est observé en aval du solénoide.

Quelle est en fonction d'une variation arbitraire du flux Φ l'expression en un point r du déplacement d'une frange donnée, par exemple la frange centrale de déphasage mécanique zéro ? Il s'agit d'un effet localement observable; la réponse à la question est donc univoque.

L'expression de la valeur locale en r, en aval du solénoide, du déphasage entre les deux faisceaux est

$$d\varphi(r) = h^{-1}\{m\,\Delta v - 2e\,A\,(r)\}\,.dr \qquad (1)$$

m Δv = m (v_2-v_1) note la différence des impulsions mécaniques des électrons issus du biprisme et (attention ! un facteur e par faisceau !) -2 eA la contribution potentielle induite en r par les impulsions canoniques. On reconnaît en 2e/h le semi quantum de flux bien connu par ailleurs.

Dans cette formule tout est mesurable. A(r) note le potentiel vecteur dans la jauge adhérente à la source, celle telle que $A \equiv 0$ si $\Phi \equiv 0$; en coordonnées cylindriques r, θ, z adaptées au solénoide droit, on a $A_r = 0$, $A_\theta = \Phi/2\,\pi r$, $A_z = 0$ Ainsi le potentiel vecteur est mesuré dans la jauge adhérente à la source. En accord avec les idées de Louis de Broglie A se montre localement observable.

Mais une remarque très significative a été omise. Si le potentiel vecteur exprimé dans la jauge adhérente à la source est localement mesurable ceci vaut en général, en tout point r de l'espace, en amont comme en aval du solénoide. Voyons cela.

3 Test où le film photo sera placé en amont du solénoide

Postulant que le potentiel vecteur **A** exprimé dans la jauge adhérente à la source est localement observable, modifions le dispositif de Möllenstaedt et Bayh en plaçant le film photo en amont du solénoide : cela dans un plan parallèle à l'axe du solénoide.

En tout point r de l'espace, en amont comme en aval du solénoide, l'équation (1) formulera le déphasage observable. L'effet sera spectaculaire si l'axe du solénoide est orthogonal à Δv, auquel cas la frange centrale sera en forme de S.

Telle est la prédiction de l'effet ABC. Elle surprendra peut-être. Mais je la crois bien argumentée.

Remarque ajoutée à la correction. Soit dit incidemment, l'étroite parenté entre les vues exprimées ici et celles indépendamment proposées par G. Lochak m'avait échappé.

Références

[1] A. Tonomura, The quantum world unveiled by electron microscopy, World Scientific Singapore 1998 ; voir note en bas de la page 133.

[2] O. Costa de Beauregard in Advanced Electrodynamics T.W. Barrett and D/M/ Grimes eds, World Scientific, Singapore 1995 p. 77.

[3] O. Costa de Beauregard, Physics Essays, 10, 492 et 646 (1997).

[4] O. Costa de Beauregard, Found. Phys. 34 1695 (2004).

[5] W. Moellenstaedt and W. Bayh

(Manuscrit reçu le 3 février 2006)