

Leyde, 3 novembre 1927

Chers Goudsmit et Uhlenbeck, cher Dieke,

Solvay de Bruxelles a été formidable ! Lorentz, Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, Kramers, Pauli, Dirac, Fowler, Brillouin, Bragg, Compton, Langmuir, Schrödinger, de Broglie, Curie, Wilson, Richardson, Knudsen, Debye et moi. BOHR surclassant tout le monde. D'abord totalement incompris (Born était là aussi), puis, pas à pas, triomphant de tous.

Naturellement, une fois de plus, l'épouvantable terminologie incantatoire bohrienne. Impossible à résumer par un autre. (Le pauvre Lorentz jouant les interprètes entre Français et Anglais totalement incapables de se comprendre. Résumant Bohr. Et Bohr répondant avec un désespoir poli.) (Tous les soirs, vers une heure, Bohr venait dans ma chambre pour me dire JUSTE UN MOT jusqu'à trois heures du matin.) C'était pour moi un délice d'assister aux conversations entre Bohr et Einstein. Comme une partie d'échecs. Einstein sortant sans cesse de nouveaux exemples. Une sorte de perpetuum mobile de la deuxième espèce pour briser la RELATION D'INCERTITUDE. Bohr cherchant constamment à tirer d'un obscur nuage de fumées philosophiques les instruments pour démolir exemple après exemple. Einstein comme un diable dans sa boîte : jaillissant à nouveau chaque matin inentamé. C'était savoureux. Mais je suis presque sans réserve pro-Bohr contra-Einstein. Il se conduit maintenant avec Bohr exactement comme les tenants de la simultanité absolue se conduisaient avec lui.

Dans l'un des tout prochains numéros de *Naturwissenschaften* vous trouverez un papier de Bohr avec les idées principales.

En corrigeant l'erreur commise par Heisenberg, il a poussé la relation d'incertitude au premier plan, mais en lui conférant une simplicité et une universalité merveilleuses. Quelque chose de ce genre : Ne considérez d'abord que la question de la LUMIÈRE. Alors de la seule CINÉMATIQUE DES ONDES [résulte] l'incertitude suivante  $\Delta t \cdot \Delta \nu \approx 1$ . Plus est courte la durée d'un signal d'onde, plus est grande l'incertitude sur sa fréquence. D'où, du fait des relations Planck Einstein  $\varepsilon = h\nu$ ,  $p = h / \lambda$  (moment), les « relations d'incertitude réciproques »

$$\partial t \cdot \partial \varepsilon \approx h \quad \partial x \cdot \partial p \approx h$$

Ainsi l'incertitude réciproque des données spatio-temporelles vis-à-vis des données dynamiques apparaît D'ABORD DANS LE DOMAINE DE LA LUMIÈRE [...]

Voilà pour la lumière. Maintenant, des phénomènes tels que l'effet Compton en particulier montrent que dans une interaction entre lumière et matière en mouvement la LOI DE CONSERVATION vaut pour le vecteur d'impulsion. DONC il s'ensuit que pour de telles interactions, du fait de la loi de conservation (!!!!!!!!!!!!!), les relations d'incertitude supra passent de la lumière à la matière (!!!!!!! BRAVO BOHR !!!!!!!). Il y aurait de quoi désespérer complètement si justement de Broglie-Schrödinger avec le calcul ondulatoire et Born-Heisenberg-Dirac avec le calcul matriciel non commutatif n'avaient pas « rencontré des incertitudes » du côté de la matière aussi. Et pas des incertitudes d'un autre ordre qu'en optique, mais, merveille des merveilles, là encore de l'ordre de  $h$ . Bohr : magnifique harmonie totalement imméritée !!!!! Et maintenant on peut en toute confiance laisser la relation d'incertitude envahir les moindres recoins de la physique grâce à la loi de conservation. Par exemple et avant tout [passer] des corps les plus petits (électrons) aux arbitrairement grands. Par exemple à un microscope entier ! Considérez simplement la collision entre un électron et la lune. La loi de conservation assure que l'incertitude sur les paramètres

dynamiques de l'électron passe de l'électron à la lune. Il est facile d'oublier que l'incertitude d'ordre  $h$  de  $x$  contre  $p$  vaut aussi pour les corps massifs. Parce qu'on peut déterminer avec une grande exactitude en même temps  $x$  et la VITESSE. Mais l'incertitude sur la vitesse doit être multipliée par cette masse énorme pour donner l'incertitude sur le moment.

Bohr a encore développé quelques idées assez coquettes dans ses discussions privées avec Einstein. Celle-ci, par exemple : les référentiels de grande taille, massifs et rigides, avec une horloge imperturbable, sont particulièrement adaptés à la définition de  $x$   $y$   $z$   $t$ . Mais en même temps incapables d'indiquer les transferts d'impulsion ou d'énergie. C'est ainsi que se manifeste (d'une manière difficile à voir, mais imparable) la relation d'incertitude réciproque dans la mécanique classique.

En éclairant à peine une fois par heure un petit corps en mouvement libre, on peut fort bien déterminer sa position chaque heure et évaluer avec une précision immense sa vitesse et son moment dans l'intervalle. Cela SEMBLE violer la relation d'incertitude. Mais ce n'est qu'une erreur d'analyse. On a ici seulement ÉVALUE le moment pour l'intervalle, mais on ne l'a pas mesuré. Qui plus est, on remarque aussi que ces mesures de position aux heures 0,1,2,3 ne permettent pas d'évaluer avec précision le moment AVANT zéro heures et APRÈS trois heures, mais seulement avec l'incertitude propre à l'effet Compton. Somme toute, l'idée de « suivre en pensée la particule entre les instants d'observation » doit être rejetée au même titre que celle de « suivre un corpuscule de lumière à travers le champ d'onde entre son émission et son absorption » (j'espère ne pas pécher contre les conceptions de Bohr avec cette formulation).

Dans l'article de *Naturwissenschaften*, vous verrez comment Bohr insiste sans cesse sur la « description complémentaire » de toutes les expériences. D'un

côté la clarté du calcul mathématique MULTIDIMENSIONNEL ou matriciel sur le ventre soigneusement isolé d'un système fermé (défini, d'une netteté sans faille, mais échappant à toute observation et toute description en  $x y z. t$ ). De l'autre, la terriblement grossière (car affectée d'une intrusion forte d'au moins  $h$  dans cette idylle à chaque observation) « inscription de la particule dans  $x y z t$  », mais avec la relation d'incertitude.

Bohr dit : Nous ne disposons pour l'instant que des mots et des concepts qui nous fournissent un tel mode de description complémentaire. Mais nous voyons déjà au moins que la célèbre CONTRADICTION INTERNE de la théorie des quanta provient seulement de ce que nous travaillons avec ce langage encore insuffisamment révisé (je sais avec certitude que Bohr serait COMPLÈTEMENT DÉSESPÉRÉ par cette dernière formulation). À présent, lisez-le vous même !

Votre très affectionné

P. Ehrenfest