



HAL
open science

La découverte du spin de l'électron

S.A. Goudsmit

► **To cite this version:**

S.A. Goudsmit. La découverte du spin de l'électron. Journal de Physique, 1967, 28 (1), pp.123-128.
10.1051/jphys:01967002801012301 . jpa-00206480

HAL Id: jpa-00206480

<https://hal.science/jpa-00206480>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LA DÉCOUVERTE DU SPIN DE L'ÉLECTRON

Par S. A. GOUDSMIT,

Brookhaven National Laboratory, Upton, N.Y., U.S.A.

Pendant ces dernières années, plusieurs de mes collègues se sont intéressés à l'histoire de la physique depuis 1920. A mon avis, ceci est un signe de vieillesse, un désir de revivre les belles années des découvertes de la physique atomique et quantique. Malheureusement, ces tentatives d'intérêt historique dégénèrent trop souvent en discussions émotionnelles — et sans intérêt scientifique — sur d'irritantes questions de priorité.

Dans le passé, des historiens de la science se sont fréquemment excités à déterrer les papiers de quelque âme obscure qui avait prématurément pressenti une grande découverte, mais qui n'avait rien publié. Je pense qu'un tel cas n'est qu'une curiosité historique. Une œuvre de science n'est complète que dans la mesure où elle a été communiquée à des scientifiques contemporains. C'est la raison pour laquelle des précurseurs obscurs ne méritent pas qu'on leur accorde un crédit scientifique. Il arrive aussi qu'un chercheur publie une idée nouvelle à une époque où ses collègues ne sont pas préparés à l'accueillir.

A une époque ultérieure, la même idée est redécouverte et scientifiquement établie. Là encore, je suis d'avis qu'on ne doit pas surestimer le mérite de la découverte initiale, car son auteur n'a pas réussi à convaincre ses contemporains. En général, il s'agit de cas où des faits importants manquaient encore pour étayer la découverte initiale et devenaient disponibles au moment de la redécouverte.

Certains historiens ont écrit de belles et convaincantes histoires pour expliquer comment telle découverte aurait dû être faite. Malheureusement, il est peu probable que le développement réel ait été aussi logique que ces histoires postfabriquées. La chance et le hasard jouent un rôle plus grand que celui qu'on est prêt à admettre. D'autres historiens, prévenus d'avance, arrangent les faits historiques pour démontrer leurs préjugés, attitude fréquente dans des questions de priorité.

Un autre reproche que j'adresse aux historiens de la physique est qu'ils font croire que la physique est

l'œuvre d'une petite poignée de génies. Ceci constitue une grave injustice à l'égard de tous ceux qui ont contribué, par leurs travaux, à rendre possibles les découvertes géniales. De telles simplifications découragent les débutants qui se rendent compte qu'ils ne seront jamais des Einstein ou des Heisenberg. Cette tendance à présenter l'histoire de la science comme l'œuvre d'un petit nombre de héros a été de toute évidence empruntée à l'histoire générale. Celle-ci également blâme ou loue un empereur ou un dictateur

est alors rarement le même que celui qui l'a conduit à sa découverte. Souvent les références citées sont destinées à donner du lustre à son article, alors que la liaison entre la référence citée et la pensée de l'auteur est souvent très lâche.

Peut-être la source la plus sûre pour l'histoire de la physique récente est-elle le recours à des lettres échangées entre physiciens, de préférence des lettres manuscrites. Celles-ci sont en général franches et dépourvues d'inhibition. Dès 1920, une lettre tapée à



Photographie prise à Leiden en 1924

1^{er} rang de gauche à droite : G. H. Dieke, P. Ehrenfest, E. Fermi
2^e rang : S. A. Goudsmit, J. Tinbergen, R. Kronig

pour tout ce qui arrive sous son règne et passe sous silence les multitudes qui l'ont aidé.

On peut également remarquer que les historiens de la science sont injustes à l'égard des expérimentateurs. Bien que l'évolution des idées doive retenir en premier lieu leur intérêt, ils auraient tort de négliger l'ingéniosité des expérimentateurs dont les découvertes et les vérifications sont essentielles pour l'éclosion et la confirmation des théories.

Récemment, les historiens ont introduit la méthode dite d'« histoire orale ». Ils pensent que si nous désirons connaître la science des années 1920, il suffit de questionner ceux qui y ont participé. Cette méthode est très sujette à caution. La manière dont nous présentons les événements d'il y a quarante ans est influencée énormément par tout ce qui est arrivé au cours de ces quarante années.

Les articles publiés par les auteurs de découvertes nous renseignent mal sur la conception de leur découverte. Le but de l'auteur qui écrit un article est de convaincre le lecteur, et le cheminement de sa pensée

la machine était probablement destinée à un public assez vaste et était composée dans ce but.

Après ces remarques critiques sur l'histoire de la physique, je dois ajouter qu'une nouvelle tendance semble extrêmement prometteuse. Le projet « Sources for the History of Quantum Physics » dirigé par le Dr Thomas S. Kuhn est en train de réunir une foule de documents qui pourront servir de base à l'élaboration d'un compte rendu objectif de la période qui nous intéresse. Je convie tous ceux qui ont connaissance de lettres, de notes et d'autres données non publiées de coopérer avec ce projet.

Les ouvrages de W. R. Hansen [1] sur la philosophie et l'histoire de la physique moderne s'intéressent davantage aux concepts qu'aux personnes et sont de ce fait susceptibles de donner une vue équilibrée des événements. Je ne me sens pas capable de juger si cette tentative pour atteindre l'objectivité est correcte et réussie.

Je voudrais aussi attirer l'attention sur les articles écrits par Martin J. Klein, en particulier ceux qu'il a

écrits avec finesse sur Max Planck [2]. Il y a quelque espoir que les critiques que j'ai formulées plus haut deviendront bientôt superflues.

Et maintenant, je vais essayer de vous raconter ma propre histoire de la découverte du spin de l'électron. Cette histoire est affectée de tous les défauts que je viens d'énumérer bien que j'aie pris soin de relire toutes les lettres manuscrites que les collègues m'ont adressées à l'époque. Je raconterai cette histoire à la première personne, non point par manque de modestie, mais pour bien marquer qu'elle présente mon interprétation personnelle telle que je l'ai vue et vécue.

Je voudrais en particulier éviter, dans la mesure du possible, de deviner les pensées des autres. Et dans cet ordre d'idées, j'avoue que je ne comprends pas Pauli qui, dans son allocution de Prix Nobel, déclare que sa note de 1924 [3] sur l'interprétation de la structure hyperfine a inspiré Goudsmit et Uhlenbeck dans l'établissement de l'hypothèse du spin de l'électron ⁽¹⁾. J'ai réfuté cette interprétation dans un article écrit il y a quelques années [4]. D'ailleurs, la note de 1924 de Pauli ne peut nullement être considérée comme affirmant le concept de spin en tant que propriété fondamentale d'une particule élémentaire. Il n'y a considéré que le moment angulaire d'un noyau composé dû aux mouvements orbitaux des particules composantes; il n'a pas prédit l'existence de la structure hyperfine de l'atome d'hydrogène et du moment angulaire du proton. Le spin du proton n'a été découvert qu'en 1927 et cette découverte n'a pas résulté de considérations sur la structure fine. L'existence d'un spin du proton a été proposée par Hund [5] et brillamment confirmée par Dennison [6] par l'explication que celui-ci a donnée du comportement anormal de la chaleur spécifique de l'hydrogène moléculaire.

Je vais raconter mon histoire dans l'ordre chronologique. Le premier événement significatif de ma vie de physicien a été le fait d'être introduit en 1919 auprès d'Ehrenfest par mon professeur de lycée, Van Lohuizen, qui avait été lui-même élève de Zeeman. En 1920, je me vis obligé d'interrompre mes études à Leyde pendant quelques semaines pour accompagner mon père dans un voyage d'affaires à Reutlingen (dans le Wurtemberg). Ehrenfest me recommanda d'en profiter pour rendre visite à Paschen à l'Université de Tübingen toute proche. Paschen m'accueillit comme un collègue et non comme un jeune étudiant de 18 ans. Il me montra la structure fine de la

raie 4 686 Å de l'hélium ionisé, structure qui confirma la brillante théorie relativiste de Sommerfeld.

Je fus profondément impressionné et je mis mon point d'honneur à approfondir mes connaissances de cette fameuse raie spectrale. L'année suivante (1921), je retournai à Tübingen pour y passer les mois d'été, et Paschen m'initia personnellement aux techniques de la spectroscopie. Paschen était un grand physicien et une personnalité attachante. C'est cette année (1965) le centenaire de sa naissance, mais les physiciens l'ont oublié et les historiens l'ignorent. Cependant, son œuvre fut fondamentale pour le développement de la physique atomique. Plus tard, j'eus l'occasion de retourner à Tübingen pour continuer auprès de Back mon apprentissage. Après le départ de Paschen pour Berlin, son successeur Gerlach avait à cœur de continuer la tradition d'hospitalité de Tübingen.

En 1921, je crus avoir trouvé une formule « relativiste » pour les doublets des spectres atomiques, formule analogue à celle de Sommerfeld pour les doublets de rayons X. Ehrenfest m'avoua plus tard qu'il était persuadé que ma formule était incorrecte, mais sur le moment il ne me découragea pas. Il me proposa de publier une brève note dans *Naturwissenschaften* et un long papier dans les *Archives des Sciences exactes et naturelles* [7], périodique hollandais édité en langue française et devenu pratiquement ignoré du monde scientifique. Personne ne lut mon papier, mais j'en étais très fier.

Trois ans plus tard (1924), la même formule fut retrouvée par Landé et par Millikan et Bowen [8]. Leur conclusion était fondée sur un grand nombre de données expérimentales; mon propre papier n'avait été qu'une heureuse divination. Mais il eut le mérite de fixer mon attention pour plusieurs années à venir sur le problème des doublets et plus tard sur celui des multiplets.

Ehrenfest qui, vers 1924, avait compris que je n'étais pas un vrai théoricien, me trouva une position dans le laboratoire de Zeeman à Amsterdam. Pendant une moitié de la semaine, je me muai ainsi en un spectroscopiste expérimental, l'autre moitié de la semaine je travaillais à Leyde dans l'équipe d'Ehrenfest. C'est pendant ces années que je rédigeai plusieurs articles sur les spectres complexes et leur effet Zeeman.

J'écrivis un papier avec Coster sur les intensités des raies X, et j'établis avec Kronig — qui visita les Pays-Bas en 1924 — des formules d'intensité pour les composantes Zeeman. C'était de la devinette, car la mécanique quantique n'était pas encore née. Nous nous contentions de manipuler, avec un peu d'intuition, les nombres quantiques et les « règles de somme » pour deviner les formules correctes.

Ceci eut l'avantage de me familiariser avec les règles de nombres quantiques que je connaissais maintenant au bout des doigts. Mais cela m'amena aussi à commettre une grave erreur de jugement : car je m'imaginai que ce formalisme était l'essentiel de la physique théorique. Ehrenfest me fit comprendre plus

(1) *Note du traducteur* : La phrase originelle en anglais du discours de Pauli est la suivante : "I may include the historical remark that already in 1924 before the electron spin was discovered, I proposed to use the assumption of a nuclear spin to interpret the hyperfine structure of spectral lines. This proposal met on the one hand strong opposition from many sides but influenced on the other hand Goudsmit and Uhlenbeck in their claim of an electron spin" (W. PAULI, Nobel Lecture 1945, présentée le 13 décembre 1946).

tard que mes connaissances en physique théorique étaient tout à fait insuffisantes. Heureusement j'étais très au courant de l'ensemble des données expérimentales sur les spectres atomiques et les faits connexes. La situation ressemblait alors aux spéculations actuelles du type $SU(6)$ en physique des particules élémentaires. Mais en 1925 les données expérimentales étaient plus étendues et plus précises qu'actuellement et permettaient une confrontation avec les spéculations théoriques.

Au début de mai 1925, je publiai un article [9] dans lequel je montrai qu'il était possible de simplifier considérablement l'application du principe d'exclusion de Pauli aux spectres en utilisant les nombres quantiques m_l et m_s de Landé à la place de ceux de Pauli. De cette manière, il devenait possible de déterminer immédiatement la structure multiplet des niveaux d'énergie atomique. Il se révéla dans la suite, comme conséquence la plus importante, que le nombre m_s prenait toujours les valeurs $+1/2$ ou $-1/2$. J'aurais dû dès ce moment-là songer à un spin de l'électron, mais comme j'étais un pur formaliste une telle interprétation physique ne me vint pas à l'esprit.

Je dois mentionner ici que j'avais envoyé une épreuve de ce papier à Copenhague. Kronig, avec qui j'avais travaillé quelques années auparavant sur les formules d'intensité, m'accusa réception de ce papier. Dans sa longue lettre, il discuta surtout un papier de Heisenberg en gestation et me parla de ses propres études sur les intensités sans faire allusion à un spin.

C'est alors qu'Uhlenbeck entra dans mon histoire. George Uhlenbeck avait interrompu ses études à Leyde pour devenir précepteur des fils de l'ambassadeur des Pays-Bas à Rome. Il y apprit beaucoup de choses en physique classique, mais il ne sut pratiquement rien du développement florissant de la physique atomique et des spectres. Je me souviens qu'il me parla de Volterra et de Levi-Civita, noms qui ne me disaient alors rien. Mais je dois vous dire une chose importante qu'il fit pour la Physique moderne pendant son séjour à Rome. Ehrenfest lui avait demandé de s'occuper d'un jeune physicien nommé Fermi qui avait déjà fait des publications pleines de promesses. C'était le moment où Fermi revenait de Göttingen, découragé et persuadé qu'il ne deviendrait jamais un bon physicien. Uhlenbeck insista auprès de lui pour qu'il persévère et qu'il accepte d'aller auprès d'Ehrenfest. Heureusement pour l'avenir de la Physique, Fermi suivit ce conseil, et je le rencontrai la première fois qu'il vint à Leyde, en 1924. Les encouragements d'Ehrenfest remirent Fermi d'aplomb. Ainsi débuta sa brillante carrière.

Vous avez dû remarquer que jusqu'à présent j'ai davantage parlé d'Ehrenfest que de spin.

Quand Uhlenbeck retourna à Leyde, Ehrenfest nous demanda de travailler ensemble pendant les vacances de l'été 1925. Je devais enseigner à Uhlenbeck les merveilles du calcul magique des vecteurs quantiques,

et en échange il devait m'apprendre de la vraie physique.

La manière fraîche dont Uhlenbeck attaqua les problèmes atomiques, ses nombreuses remarques sceptiques, ses questions avisées nous conduisirent vers des résultats nouveaux et significatifs. Et tout d'abord vers une interprétation entièrement nouvelle de la structure fine de l'atome d'hydrogène [10]. Je ne comprenais pas entièrement le raisonnement d'Uhlenbeck fondé sur un papier de Wentzel. J'étais fasciné par le fait que dans la nouvelle manière de voir le spectre de l'hydrogène apparaissait comme un cas particulier des spectres des alcalins ou des spectres de rayons X. La vieille formule « relativiste » apparut comme une conséquence naturelle de notre modèle. J'étais particulièrement heureux de constater que nous arrivions à expliquer une mystérieuse composante de structure fine de la raie 4 686 Å de l'hélium que Paschen avait trouvée, mais qui aurait dû être « interdite » dans la théorie de Sommerfeld. Uhlenbeck et moi donnions cette explication dans un article de *Physica* écrit en hollandais. Sans doute ne nous rendions-nous pas compte de l'importance de ce résultat. Par contre, nous envoyions à la *Zeitschrift für Physik* un papier sur le couplage des vecteurs quantiques et sur les facteurs g de Landé. Vers la même époque, Slater, aux États-Unis [11], arriva indépendamment de nous au même résultat concernant le spectre de l'hydrogène. Il publia son papier un peu plus tard que nous, en novembre 1925.

Un beau matin, vers la fin de l'été 1925, je parlai à Uhlenbeck du principe de Pauli, utilisant pour ce faire les nombres quantiques m_l et m_s . Il me fit remarquer immédiatement que cela signifiait que tous les électrons possédaient quatre degrés de liberté, comme si chaque électron était doté d'un spin.

Arrivé à ce point, il est bon que j'insiste sur la différence entre nous deux comme physiciens. Je peux l'illustrer le mieux par l'exemple suivant, schématisé : Lorsque je parlais à Uhlenbeck du facteur de Landé, il me demanda, à ma surprise : « Qui est Landé ? », et lorsqu'il me parla des quatre degrés de liberté de l'électron, je lui demandai : « Qu'est-ce qu'un degré de liberté ? »

Après sa remarque concernant le « spin », nous comprenions sans réserve pourquoi m_s ne pouvait prendre que les valeurs $+1/2$ et $-1/2$, nous saisissons qu'il était possible du même coup d'expliquer tous les effets Zeeman en attribuant à l'électron un moment magnétique égal à un magnéton entier de Bohr et que notre nouvelle interprétation du spectre de l'hydrogène entraînait bien dans le cadre du modèle de spin. J'arrivais plus tard à deviner la formule correcte de structure fine en combinant les expressions relativistes de Sommerfeld avec l'expression connue des doublets d'alcalins et de rayons X.

Pour moi, c'était la fin du problème. Le modèle du spin avait considérablement simplifié l'interprétation des vecteurs quantiques et leurs relations avec les

spectres, ce qui était mon domaine en physique. Mais Uhlenbeck est un vrai physicien. Il prit le modèle au sérieux, et il essaya d'approfondir la théorie des corps chargés tournants, théorie à laquelle je ne comprenais que peu de choses. Ehrenfest attira notre attention sur un vieux papier qu'Abraham avait écrit sur ce sujet en 1903.

Nous venions de rédiger une courte note préliminaire sur l'idée de spin [12] et nous l'avions transmise à Ehrenfest pour être envoyée à *Naturwissenschaften*. Peu après, les études d'Uhlenbeck — comme il l'a dit — et ses discussions avec Lorentz le décourageaient tellement que nous décidions de retirer le papier. Mais Ehrenfest dit à Uhlenbeck qu'il était trop tard, le papier était envoyé. Je ne me rappelle rien de tout cela. C'est arrivé sans doute pendant la partie de la semaine que je passais à Amsterdam. Je ne comprenais pas les arguments d'Uhlenbeck; de mon point de vue étroit, le concept de spin me paraissait correct puisqu'il cadrait si parfaitement avec mon formalisme des vecteurs spectroscopiques. Je me rappelle Ehrenfest me disant : « L'idée de spin est peut-être une erreur, mais qu'importe, vous n'avez pas encore de réputation et vous n'avez rien à perdre en vous compromettant. »

Ehrenfest m'avait donné encore un autre conseil important, celui de m'assurer que dans nos publications communes le nom d'Uhlenbeck soit cité le premier. Comme j'avais publié plusieurs articles sur les spectres, il craignait que les lecteurs ne retiennent que mon nom et oublient celui de mon partenaire. Et après tout, c'était Uhlenbeck qui avait eu l'idée du spin. Ehrenfest avait raison : dans certaines premières mentions de notre travail, le nom d'Uhlenbeck avait été effectivement omis, et aujourd'hui encore l'ordre se trouve souvent inversé.

Le jour même où notre note parut, Heisenberg m'écrivit une lettre dans laquelle il parlait de « note courageuse » et me demanda comment nous nous étions débarrassés du facteur 2. Nous étions perplexes, quel facteur 2 ? La lettre de Heisenberg mentionna également une formule pour l'intervalle de doublet mais sans démonstration. Dans toutes nos considérations, nous n'avions jamais essayé de déduire du modèle de spin la valeur absolue de la structure fine, la différence d'énergie entre « spin up » et « spin down » par rapport à l'orbite. Nous l'avions négligée pour la bonne raison que nous ne savions pas comment la calculer. Je pensais que le problème était très difficile et qu'un jour un physicien bien savant s'en occuperait.

J'étais persuadé qu'il trouverait alors la valeur correcte, c'est-à-dire la formule du doublet de rayons X. Bon, cette prédiction devait s'accomplir plus tard ! Mais si nous avions su calculer l'intervalle de doublet de la manière traditionnelle, nous aurions trouvé une valeur double de la valeur expérimentale.

Pour notre bonheur, Bohr et Einstein vinrent à Leyde juste à ce moment-là, au début de décembre 1925, pour assister à la célébration du 50^e anniversaire de la soutenance de thèse de Lorentz. Nous

eûmes avec eux de nombreuses discussions au domicile d'Ehrenfest. Finalement, nous fûmes tous persuadés que le concept de spin était valable, mais le facteur 2 restait mystérieux. Uhlenbeck et moi-même préparâmes alors une seconde note [13] qui incorporait au concept de spin notre interprétation du spectre de l'hydrogène, en vue d'une publication dans *Nature* (voir fig. 1).

Bohr commit alors une erreur. Au lieu d'inviter Uhlenbeck, il m'invita à venir à Copenhague. Pendant environ six semaines, en janvier et février 1926, il essaya de m'inculquer en vain les problèmes soulevés

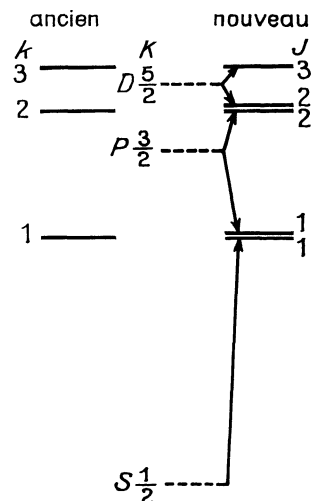


FIG. 1. — Comparaison entre la notation ancienne (Sommerfeld) et la notation nouvelle (spin) du niveau $n = 3$ de l'atome d'hydrogène. Aujourd'hui on emploie les nombres quantiques $l = k - 1 = K - 1/2$ et $j = J - 1/2$.

par le spin, en particulier la séparation, difficile à comprendre, entre niveaux de singulet et de triplet dans le spectre de l'hélium neutre. Ce problème dépassait de beaucoup mes capacités et Bohr me renvoya dans mes foyers.

Heisenberg revint bientôt après à Copenhague, et on sait que sa magnifique solution de ce problème conduisit à des conséquences profondes et de grande portée.

Pendant mon séjour à Copenhague, L. H. Thomas, qui était venu de Cambridge, avait été chargé d'examiner le mystérieux facteur 2. Dans un travail connu [14], il réussit à montrer qu'une précession purement relativiste, que d'autres avaient négligé de prendre en considération, donnait exactement le résultat voulu. Bohr me demanda de m'arrêter à Hambourg sur mon chemin de retour de Copenhague, afin d'essayer de convaincre Pauli de la validité du concept de spin. J'échouai dans cette tentative. J'étais incapable d'expliquer correctement le travail de Thomas, et Pauli était persuadé que l'effet Zeeman du spectre de l'hydrogène ne cadrait pas avec notre interprétation. Plus tard, lorsqu'il eut étudié le travail

de Thomas en détail, il m'écrivit une carte postale datée du 13 mars 1926 dans laquelle il retirait toutes ses objections.

Ceci devrait être la fin de mon histoire. Mais il faut que je dise encore quelque chose des rumeurs qui ont circulé pendant des années.

La situation de fait qui engendra ces rumeurs est décrite dans une lettre que je reçus de L. H. Thomas de Copenhague en mars 1926, après publication de nos notes sur le spin. Voici le texte d'un paragraphe de cette lettre :

« Je pense que vous et Uhlenbeck avez été bien chanceux de voir votre *spinning electron* publié et discuté avant que Pauli n'en ait eu vent. Il y a plus d'un an, Kronig avait conçu l'électron tournant et avait développé son idée; Pauli fut la première personne à laquelle il montra cela. Pauli tourna l'affaire en ridicule à tel point que la première personne fut aussi la dernière. Tout cela montre que l'infailibilité de Dieu ne s'étend pas à celui qui s'est nommé son vicaire sur terre. »

Kronig était retourné à l'Université Columbia et avait publié à la fois dans *Nature* et dans *Proceedings of the National Academy* un papier [15] tendant à prouver que l'hypothèse de spin ne pouvait être correcte. L'un de ses arguments était le même que celui qui nous fut objecté par Lorentz : une interprétation littérale du spin conduit pour l'électron à un modèle classiquement impossible. Un autre argument de Kronig était que le noyau atomique devait contenir des électrons et qu'il devait en résulter pour les noyaux atomiques des moments magnétiques d'une magnitude incorrecte. Kronig n'était pas impressionné par le fait que depuis qu'il avait conçu son idée la nouvelle interprétation du spectre de l'hydrogène et l'introduction des nombres m_l et m_s en relation avec le principe de Pauli avaient apporté un support favorable au concept de spin. Il est vrai qu'au début de 1925 le principe d'exclusion n'avait pas encore été publié, bien qu'il ait déjà été discuté entre initiés. En janvier 1925, Landé m'avait informé par une carte postale que Pauli et Kronig

étaient à Tubingen, engagés dans des discussions intéressantes, mais il ne fit pas mention du sujet traité. Le point de vue de Kronig est admirablement raconté dans son article *The turning point* [16].

Bichowsky et Urey publiaient également un papier [17] indiquant qu'eux aussi avaient envisagé un spin de l'électron mais qu'ils avaient obtenu un résultat incorrect pour l'intervalle de doublet. Ils ne s'étaient évidemment pas rendu compte du « facteur 2 de Thomas ».

Il est tout à fait certain que beaucoup de physiciens, avant Uhlenbeck et moi-même, ont dû penser à un spin de l'électron. Notre chance fut que l'idée nous vint au moment précis où nous étions saturés d'une connaissance détaillée des spectres atomiques, où nous venions de comprendre la signification des doublets relativistes, et juste au moment où nous venions de trouver l'interprétation correcte du spectre de l'hydrogène. Nous étions ainsi en mesure d'étayer notre hypothèse par des arguments solides. Mais le facteur essentiel fut l'encouragement que nous prodigua Ehrenfest.

Voilà tout ce que je puis vous dire sur la découverte du spin de l'électron. Je doute d'ailleurs fort de la valeur d'une telle micro-histoire. Sans doute les débutants peuvent-ils en tirer la leçon qu'il n'est pas nécessaire d'être un génie pour apporter une contribution à la physique, bien que cela puisse être d'un certain secours. Toute contribution, tout acte créateur vous donne une énorme satisfaction. La portée d'une contribution n'apparaît souvent, même à son auteur, que beaucoup plus tard. Je pense que le concept de spin, avec ses nombreuses ramifications en physique nucléaire, en physique des particules et, de nos jours, en technologie, est une des acquisitions fondamentales de la physique moderne. Je m'empresse d'ajouter qu'en 1925 ni Uhlenbeck, ni moi *a fortiori*, n'étions conscients de la portée de notre travail. Je suis convaincu que beaucoup de découvreurs ont fait des expériences similaires.

Manuscrit reçu le 8 juillet 1966.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HANSON (N. R.), "The Concept of the Positron" and "Patterns of Discovery" (Cambridge University Press, 1963, resp. 1958).
- [2] KLEIN (Martin J.), "Max Planck and the Beginnings of the Quantum Theory", *Arch. for History of Exact Sci.*, **1**, 459, 1962, "Planck, Entropy and Quanta 1901-1906", *The Natural Philosopher*, **1**, 83, 1963.
- [3] PAULI (W.), *Naturwiss.*, 1924, **12**, 741.
- [4] GOUDSMIT (S. A.), *Phys. Today*, 1961, **14**, n° 6, 18.
- [5] HUND (F.), *Z. Physik*, 1927, **42**, 93.
- [6] DENNISON (D. M.), *Proc. Roy. Soc.*, London, 1927, **A-115**, 483.
- [7] GOUDSMIT (S.), *Naturwiss.*, 1921, **9**, 995, et *Arch. Néerl. Sci., Ex. et Nat.*, 1922, **IV**, 116.
- [8] LANDÉ (A.), *Z. Physik*, 1924, **25**, 46; MILLIKAN (R. A.) et BOWEN (E. S.), *Phys. Rev.*, 1924, **23**, 764; et 1924, **24**, 233.
- [9] GOUDSMIT (S.), *Z. Physik*, 1925, **32**, 794.
- [10] GOUDSMIT (S.) et UHLENBECK (G. E.), *Physica*, 1925, **5**, 266.
- [11] SLATER (J. C.), *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1925, **11**, 732.
- [12] UHLENBECK (G. E.) et GOUDSMIT (S.), *Naturwiss.*, 1925, **13**, 953.
- [13] UHLENBECK (G. E.) et GOUDSMIT (S.), *Nature*, 1926, **117**, 264.
- [14] THOMAS (L. H.), *Nature*, 1926, **117**, 514.
- [15] KRONIG (R.), *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1926, **12**, 328; *Nature*, 1926, **117**, 550.
- [16] In "Theoretical Physics in the Twentieth Century" (Memorial Volume to Pauli), Ed. V. F. Weisskopf and M. Fierz (Interscience Publ., New York, 1960).
- [17] BICHOWSKY (F. R.) et UREY (H. C.), *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1926, **12**, 801.