

Por que ler “A descoberta do *spin* do elétron”, de Samuel Abraham Goudsmit?

Why to read "The discovery of the spin, by Samuel Abraham Goudsmit?"

Francisco Caruso

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF

Rua Dr. Xavier Sigaud, 150, 22290-180 - Urca, RJ, Brasil

Vitor Oguri

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,

Instituto de Física Armando Dias Tavares,

20550-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Submetido: 22/01/2025 Aceito: 30/01/2025

Resumo: Faz-se uma breve análise de alguns pontos históricos envolvidos na consolidação do conceito teórico de *spin*, à luz da transcrição de uma palestra ministrada por um dos autores da hipótese teórica deste importante conceito, introduzido para explicar o comportamento dos átomos submetidos a campos eletromagnéticos, formulada em 1925 pelos jovens físicos holandeses Samuel Abraham Goudsmit e George Eugene Uhlenbeck. A ênfase a este texto deve-se, muito mais do que aos detalhes históricos bem conhecidos, à sinceridade com que Goudsmit relata seu envolvimento no assunto, seus receios, suas dificuldades, desmistificando a ideia de que a Física evolui com a contribuição de gênios. Entende-se que seus conselhos direcionados aos jovens estudantes e físicos são de grande utilidade e muito oportunos nos dias de hoje. Desta forma, o artigo deve, igualmente, interessar os professores de Física. Para facilitar o acesso, segue, ao final do texto a tradução da referida palestra feita pelos autores.

Palavras chave: Spin; Mecânica Quântica; Física Moderna; História da Física; Depoimento.

Abstract: A brief analysis is made of some historical points involved in the consolidation of the theoretical concept of *spin*, in light of the transcript of a lecture given by one of the authors of the theoretical hypothesis of this important concept, introduced to explain the behavior of atoms subjected to electromagnetic fields, formulated in 1925 by young Dutch physicists Samuel Abraham Goudsmit and George Eugene Uhlenbeck. The emphasis in this text is due, much more than to the well-known historical details, to the sincerity with which Goudsmit reports his involvement in the subject, his fears, his difficulties, demystifying the idea that Physics evolves with the contribution of geniuses. It is understood that his advice aimed at young students and physicists is of great use and very timely today. Therefore, the paper should also be of interest to Physics teachers. To facilitate access, the translation of the aforementioned lecture given by the authors follows at the end of the text.

Keywords: Spin; Quantum Mechanics; Modern Physics; History of Physics; Testimony.

O progresso da Física não depende exclusivamente do trabalho de alguns poucos cientistas geniais. O jovem precisa dedicar-se com paixão ao problema que está estudando e não se preocupar com o destaque que seu trabalho vai obter. Deve, isso sim, procurar ter prazer no que faz, entendendo que é uma etapa de sua formação e que a Ciência é, e sempre

será, uma atividade coletiva, fruto do esforço de estudiosos de várias nacionalidades. Esta, na opinião dos autores, talvez seja a mensagem mais importante da palestra oferecida por Goudsmit na *Dutch Physical Society*, em 1971.

O palestrante começa referindo-se à sua visão crítica sobre a História da Física. Ele condena os historiadores que

tendem a construir uma história que ressalta apenas a contribuição de grandes físicos. Com delicadeza, corrige alguns exageros históricos resultantes da vaidade de certos colegas. Claramente, essa tendência (e ele dá alguns exemplos) distorce o que é realmente “fazer ciência”. Segundo ele, não há como desconsiderar, em geral, aspectos como o acaso ou a sorte em determinada descoberta. É preciso ter humildade para reconhecer isso e Goudsmit demonstra tê-la de sobra com suas colocações. Um bom exemplo.

É bem sabido que o conceito de *spin* do elétron, introduzido em 1925 por Goudsmit e Uhlenbeck, veio a se tornar uma peça essencial para que a nova Física Quântica fosse capaz, finalmente, de explicar o mistério da Tabela Periódica. Por outro lado, quando os jovens físicos holandeses fizeram seu trabalho, a Mecânica Quântica não havia sido ainda formalizada. Portanto, tudo era feito com base na “Velha” Mecânica Quântica de Bohr-Sommerfeld, de uma forma ainda bastante intuitiva, observando-se a separação de algumas raías espectrais quando certos átomos eram colocados na presença de campos eletromagnéticos, como o átomo de hidrogênio.

Posteriormente, os resultados do experimento que evidenciou a quantização do momento angular, realizados pelos físicos alemães Otto Stern e Walther Gerlach, em 1922, foram satisfatoriamente explicados como consequências do *spin* do elétron.

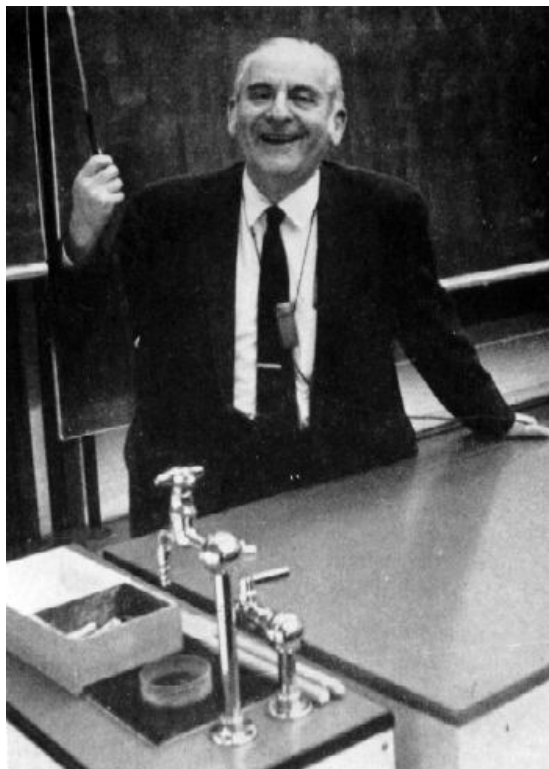
Em várias etapas desse estudo foi muito importante a presença e o incentivo de Paul Ehrenfest, a quem Einstein uma vez se referiu como o melhor professor que conheceu. Foi Ehrenfest quem orientou Goudsmit a aprender espectroscopia com Friedrich Paschen. Sempre generoso com seus estudantes, Ehrenfest deu todo apoio a Goudsmit e, mais tarde, estendeu-o também a Uhlenbeck. Como disse o próprio Goudsmit, “mas o Ehrenfest nunca desanimava alguém”. *En passant*, ele lembra que Enrico Fermi só não abandonou a Física, quando retornava de Göttingen para a Itália, por influência de Ehrenfest. Quando este lhe disse, referindo-se a Uhlenbeck, “Você deveria trabalhar junto com ele por um tempo, e então ele poderá aprender algo sobre a nova estrutura atômica e todo esse negócio espectral”, Goudsmit, com uma dose de humor, entendeu assim o comentário: “Talvez ele possa aprender realmente um pouco de Física com Uhlenbeck”.

Em 1924, Wolfgang Pauli havia proposto um novo grau de liberdade (ou número quântico) com dois valores possíveis, para resolver inconsistências entre os espectros moleculares observados e a teoria em desenvolvimento da mecânica quântica. Assim, ele formulou o princípio de exclusão de Pauli, um de seus trabalhos mais importantes, afirmando que não poderiam existir dois elétrons no mesmo estado quântico, identificados por quatro números quânticos, incluindo seu novo grau de liberdade de dois valores.

No início de 1925, Ralph Kronig sugeriu que esse novo grau de liberdade era produzido pela auto-rotação do elétron. Quando soube dessa ideia, Pauli, que tinha uma índole completamente diversa da de Ehrenfest, fez críticas tão duras que Kronig decidiu não publicar sua ideia. Goudsmit, ao falar do princípio de exclusão de Pauli com seu colega Uhlenbeck, ouviu dele: “Mas você não vê o que isso implica? Isso significa que existe um quarto grau de liberdade para

o elétron. Isto significa que o elétron tem *spin*, que ele gira”. Desse modo, um ano depois do trabalho de Pauli, Uhlenbeck e Goudsmit identificaram corretamente o novo grau de liberdade de Pauli como o *spin* do elétron, no qual Pauli por muito tempo erroneamente se recusou a acreditar. Empolgados, eles escreveram um pequeno artigo para submeter à revista *Naturwissenschaften*. Logo após, Uhlenbeck teria pedido a Ehrenfest que não enviasse o trabalho para publicação, pois provavelmente estaria errado. Ouviu uma resposta seca: “Tarde demais, eu já enviei”, com a justificativa que, sendo os dois muito jovens, ainda não tinha reputação e, portanto, nada tinham a perder. Note a diferença com relação à postura de Pauli. Sem dúvida, essa é uma importante lição para os orientadores. Também nesse sentido, a sorte não abandonou os dois jovens cientistas que acabaram tendo seus nomes gravados na história, um pouco por acaso.

Em seguida a esse preâmbulo, espera-se que o leitor se sinta motivado para ler a tradução do texto integral aqui citado, em anexo.



Goudsmit em sua apresentação, em 1971.

Então, hoje, existem outras pessoas que estão interessadas e eles são os psicólogos. Eles querem saber por que você se tornou um físico, por que você fez tudo o que fez, e começam a interrogá-lo sobre isso. Eles querem saber sobre sua família, esperando que seu avô tenha sido um grande químico ou um grande matemático, e depois ficam sempre terrivelmente desapontados quando eles vêm até mim.

Quando me matriculei pela primeira vez como estudante em Leiden, o bedel me disse: “O Reitor gostaria de vê-lo por um momento”. Ele me levou para aquela sala com todos aqueles retratos de pessoas famosas e ali, ao lado do retrato de Hugo de Groot,¹ estava pendurado uma grande pintura de um famoso jurista. “Aqui”, diz ele, “está o seu avô”, eu respondo: “nunca ouvi falar deste homem”. Sendo Goudsmit o nome do grande jurista, minha resposta deixou-o nervoso. Na verdade, com a minha própria família os psicólogos nada puderam fazer. Meu avô era guia turístico no Hotel des Indes em Haia, minha mãe tinha uma chapelaria, e meu pai, um negócio atacadista de assentos ... para sanitários.

O que os historiadores esquecem – e também os físicos – é que nas descobertas da Física o acaso, a sorte, desempenha um papel muito, muito importante. É claro que nem sempre reconhecemos isso. Se alguém é rico então diz: “Sim, eu tenho sido inteligente, é por isso que sou rico”! E o mesmo está sendo dito de alguém que faz algo em Física: “sim, um cara realmente inteligente”. É certo que há casos como Heisenberg, Dirac e Einstein, existem algumas

Hoje falarei um pouco sobre história. A história da descoberta do *spin* do elétron por George Uhlenbeck e por mim. Isso é complicado: eu não gosto de História da Física, sempre fui contra a maneira como os historiadores escreviam sobre isso em épocas anteriores. Hoje em dia está melhor; alguém como Martin Klein, realmente, traz algo novo. Mas os historiadores anteriores sempre descreveram a Física como tendo sido feita por três ou quatro pessoas, e esqueceram que essas pessoas famosas só puderam fazer o seu trabalho por causa de muitos outros que também deram contribuições. Eles não podem ajudar já que esse é o caminho que eles aprenderam com os historiadores comuns. Você ouve sobre um homem como Hitler^a e eles esquecem os milhões que lhe deram o apoio necessário.

^a N.E.: Ao longo do texto original, notam-se variadas formas de reticências, com um número bem diferente de pontos. Às vezes, se tem a impressão de se tratar de alguma falha na transcrição da palestra. De qualquer forma, sem entender bem o motivo, preferiu-se manter essas escolhas na tradução.

exceções. Mas para a maioria de nós, a sorte desempenha um papel muito importante, e isso não deveria ser esquecido.

Esse ponto é relevante porque, quando fui para Leiden, acabei nas turmas de Ehrenfest. Suas turmas eram pequenas, e havia uma interação muito boa com o professor, que sempre ficava preocupado quando interrompíamos nossas aulas quando tínhamos que ir a algum lugar. Uma vez, tive que acompanhar meu pai à Alemanha por causa de negócios dele, e, então, Ehrenfest disse: “Você precisa interromper suas aulas novamente?” Mas meu pai não poderia viajar sozinho. Aí ele perguntou: “Onde você vai?” Quando eu contei, ele disse: “Perto há uma universidade onde trabalha um espectroscopista, Paschen. Você está interessado em espectroscopia (meu interesse surgiu por meio de meu professor de ensino médio Lohuizen); vá dar uma olhada”. Isso foi importante e eu fiz isso. Fui visitar Paschen, que não me tratou como aluno, mas como colega, e me mostrou o aparato experimental que possuía para o estudo das linhas espectrais do hélio ionizado, o que confirmou inteiramente as órbitas relativísticas dos elétrons de Sommerfeld. Não entendia nada disso. Mas, creio, que consegui esconder a minha incompreensão, e depois do meu regresso a Leiden, estudei muito bem tudo aquilo. Uma das coisas que me marcou nos experimentos de Paschen sobre as linhas do hélio, sua estrutura fina e a explicação relativística, foi que havia uma componente proibida que estava obviamente presente. No verão seguinte, fui enviado para uma estada com Paschen, e ele e Back me ensinaram as técnicas de espectroscopia. Quando conversei com os teóricos sobre essa componente proibida mas você sabe como são os teóricos eles então disseram: “Pobres experimentos”. Essa linha proibida já foi um marco importante. Vou narrar mais alguns desses marcos.

¹ N.E.: Humanista e jurista holandês nascido no final do século XVI.

Se falo na primeira pessoa, há dois motivos. Primeiro: falta de modéstia, e segundo: ao contar essa história, só posso falar das minhas próprias experiências. Você sabe, quando Uhlenbeck conta a história do *spin*, ele conta uma história diferente. Eu não acho que qualquer um de nós esteja mentindo. Mas se alguém está mentindo deve ser um pouco mais eu do que ele.

Eu estava interessado em linhas espectrais e a primeira coisa que fiz... encontrei uma fórmula para os dubletos nos espectros, alegando que era exatamente a mesma fórmula usada por Sommerfeld para os dubletos de raios X. E eu contei isso para Ehrenfest. Nessa altura estava tudo errado, mas o Ehrenfest nunca desanimava alguém e disse: “Que legal, vamos publicar”. E havia uma breve notinha em *Naturwissenschaften* e um artigo muito extenso em *Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*, que foi publicado na Holanda em francês para garantir que ninguém leria. É claro que, sendo um jovem estudante, eu tinha muito orgulho disso.

Agora, o que aconteceu? Dois anos e meio depois foi feito exatamente o mesmo trabalho, precisamente a mesma fórmula, por Millikan, na América, e Koster deu um seminário sobre isso em Leiden. Claro que ele não sabia que eu já tinha feito isso. No final do seminário, eu disse: “Falei aqui exatamente sobre isso há dois anos e meio”.

Agora há um ponto importante que quero destacar. Devo obter o reconhecimento dos historiadores por eu ter sido o primeiro? Eu simplesmente adivinhei, enquanto Millikan, quando obteve a fórmula, tinha novo material experimental que demonstrava sua correção. Não se entendia que a fórmula estava correta, mas os novos dados experimentais deixaram claro que foi ele quem tinha a fórmula certa. Ele tinha motivos para isso, eu simplesmente adivinhei, não consegui nem convencer Ehrenfest, e [meu trabalho] foi publicado em francês.....

Naqueles dias, Kronig veio da América e foi para Leiden; nós colaboramos em espectroscopia e trabalhamos nas intensidades do efeito Zeeman, para o qual encontramos as expressões exatas [2]. Claro, era bem diferente de hoje; não havia Mecânica Quântica naquela época, não esqueça que isso ainda não existia! Era preciso adivinhar essas pequenas fórmulas; desenvolveu-se uma intuição para elas. É o mesmo que acontece com a veterinária e a medicina humana. As pessoas podem dizer onde dói, mas um médico veterinário tem que adivinhar onde dói. Um cavalo ou uma vaca não podem dizer isso. É assim com essas pequenas fórmulas. É muito curioso era uma espécie de numerologia, e um milagre que chegamos às expressões corretas que mais tarde puderam ser derivadas pela Mecânica Quântica. Agora, quando é derivada torna-se bastante simples. Se se conhece alguma Matemática, pode-se derivar todas essas coisas. Tivemos que adivinhar todas; eu tinha uma intuição para isso. E foi assim que Kronig e eu fizemos aquelas coisas.

Bem, Ehrenfest logo descobriu que eu não era propriamente um teórico, e então me enviou para Amsterdã. Três dias por semana eu era assistente de meio período de Zeeman e as coisas eram bem diferentes aqueles dias. De fato, nas noites de quarta-feira eu voltava de trem para Leiden e então tive a sensação de que deveria mudar; as piadas ouvidas em Amsterdã não poderiam ser contadas em Leiden.

Isso não era feito; elas não eram adequadas o suficiente. O ambiente em Amsterdã era bastante amigável. O professor Zeeman, naturalmente, era um pouco mais formal do que eu estava acostumado a ser.

Eu fiz outra coisa na época. O princípio de Pauli foi publicado no início de 1925 [3]. Estou convencido de que embora seja uma das publicações mais importantes da Física, quem o lê agora, da geração mais jovem, achará difícil de entender. Mesmo esse não entenderá tudo. Eu escrevi uma nota em maio [4] para torná-lo mais fácil de entender, introduzindo diferentes números quânticos. Os números quânticos que usei para o princípio de Pauli foram m_L e m_s ; m_s sendo sempre igual a mais ou menos 1/2. (Naquela época era um pouco diferente, usava-se 1 e 0, mas isso realmente não importa.) E se você usasse esses números para o princípio de Pauli, então ele se torna muito mais simples, como acontece hoje em dia, é claro. Vocês não sabem disso, mas tal mudança era necessária, pois Pauli introduziu números quânticos diferentes. Como disse um matemático, a mudança era equivalente a uma transformação linear simples – que é trivial, claro, matematicamente trivial, mas não tanto para a compreensão e para o ensino.

Bem, eu tinha introduzido esses números quânticos, mas, se eu fosse um bom físico, teria notado, já em maio de 1925, que isso implicava que o elétron possuía *spin*. Mas eu não era um bom físico, não sou um bom físico, e, portanto, não percebi isso.

Enviei minha nota a Copenhague para obter a opinião de Kramers e Kronig; Kronig havia então ido para Copenhague. Recebi uma longa carta de Kronig sobre outras coisas mas ele não disse nada sobre minha nota. Isso não lhe interessava, aparentemente. Isso é outro ponto importante, além da linha proibida de Paschen, a componente da estrutura fina proibida. Tudo isso aconteceu na primavera de 1925. Então, Uhlenbeck aparece em cena.

George Uhlenbeck interrompeu suas pesquisas para se tornar tutor das crianças do Embaixador da Holanda em Roma. Ele deve ter feito isso muito bem porque, mais tarde, um deles chegou a ser embaixador em Washington, Van Rooyen. Mas, como disse Ehrenfest: “lá na Itália ele não aprendeu nada dessas coisas novas, lá eles só conhecem Física Clássica”. E George Uhlenbeck, que estava lá, também estudou física clássica; quando ele voltou para casa no verão, Ehrenfest me disse: “Você deveria trabalhar junto com ele por um tempo, e então ele poderá aprender algo sobre a nova estrutura atômica e todo esse negócio espectral”. O que ele claramente pensou, é claro, foi: “Talvez ele possa aprender realmente um pouco de Física com Uhlenbeck”.

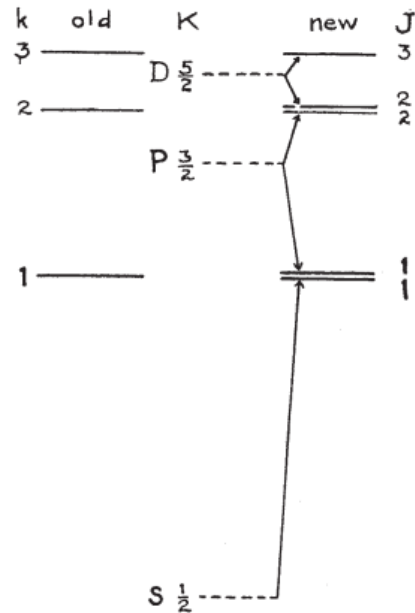


Leiden 1924. Da esquerda para a direita: Dieke, Goudsmit, Tinbergen, Ehrenfest, Kronig e Fermi. Nota: Tinbergen mais tarde trocou a Física pela Economia, e tornou-se o primeiro laureado com o Nobel de Economia, em 1969.

Uhlenbeck não sabia nada sobre a nova física, mas ainda assim fez uma coisa importante para a Física Moderna que estava por vir. Ehrenfest lhe escreveu uma carta na qual disse: “Li um artigo de um jovem, parece bom, e deveríamos tentar vê-lo”. Bem, naquela época, quando seu professor lhe escrevia, você o fazia. E George Uhlenbeck foi ver aquele jovem; o jovem tinha acabado de voltar da Alemanha e estava totalmente desanimado. Tinha passado um semestre em Göttingen e lá eles lhe deram o seguinte tratamento: “Bom, aquele homem não pode saber de nada, além de ser muito pequeno, ele nunca estudou em nenhum lugar que valesse a pena”. Então, o jovem ficou realmente desanimado e pretendia desistir da Física. Mas Uhlenbeck disse: “Não faça isso antes de falar com Ehrenfest; venha ver o Ehrenfest.” O homem veio para Leiden e ficou por dois ou três meses, de quem eu posso mostrar uma fotografia. Uma fotografia bem conhecida que você já pode ter visto antes: ali está aquele jovem, Enrico Fermi. Com o incentivo de Ehrenfest, ele percebeu que realmente era um físico competente. E se você olhar para a carreira de Fermi esses foram os dias em que ele realmente se tornou um grande físico.

De qualquer forma, Uhlenbeck veio para Haia – onde eu vivia e ele também viveu lá. Eu tinha prometido escrever um pequeno artigo para *Physica*, em holandês, e fiz isso junto com ele, o que foi realmente ótimo. Porque ele não sabia de nada, mas era muito bom; indagou todas aquelas questões que eu nunca tinha perguntado e, dessa colaboração, para deixar as coisas claras, surgiram, como sabemos agora, alguns resultados importantes. Um dos primeiros resultados encontrados foi uma nova interpretação do espectro do hidrogênio. Tínhamos o espectro do hidrogênio de Sommerfeld e, por razões formais e porque eu tinha investigado todas essas coisas, obtivemos uma nova interpretação do espectro do hidrogênio. O esquema do novo termo. Eu tenho uma foto disso, mas você sabe porque é isso que você aprende hoje. Na Figura a seguir, está o antigo esquema de Sommerfeld, à direita o verdadeiro O curioso é que eu, por conhecer todas as regras de intensidade, e assim por diante, já tinha adivinhado as fórmulas corretas. Essa

foi a minha contribuição; eu sabia quais fórmulas eram adequadas. Tomamos as expressões clássicas e, em vez dos números quânticos inteiros, colocamos números quânticos semi-inteiros e fizemos outras poucas coisas; foi como mágica, mas no entanto, se encaixou com precisão, e o que eu achei tão encantador – se você realmente acredita – a linha “proibida” que Paschen tinha visto não era proibida, mas uma verdadeira linha espectral que deveria estar presente, o que me divertiu muito.



O antigo e o novo esquema de termos do hidrogênio [5]. O esquema mostra a divisão de multipletos dos estados excitados do átomo de hidrogênio com número quântico principal $n = 3$, apresentado por Goudsmit na forma em que apareceu no original publicações de 1926. A atribuição na notação atual foi adicionada à direita. Com o desenvolvimento da mecânica quântica a notação mudou. Os números quânticos L e J agora usado para o momento angular orbital e total, respectivamente, correspondem a $K - 1/2$ e $J - 1/2$ no figura. A “componente proibida” a que se refere Goudsmit é do tipo $3^2P_{1/2} \rightarrow 2^2S$ em que o momento angular total é conservado e L muda em mais ou menos 1 unidade.

E isto, claro, é algo que quero repetir; as pessoas não acreditam. No começo, quando você faz algo, você nunca sabe se é importante ou não, e nós não tínhamos absolutamente nenhuma ideia de que uma nova interpretação do espectro do hidrogênio era importante. Assim, esse artigo foi publicado em *Physica*, em holandês [5]. Também tivemos um artigo sobre aqueles vetores quânticos $\vec{L}$ e $\vec{S}$, o acoplamento de vetores quânticos, tudo isso tolice,² não sei como vocês chamam, e foi enviado para o *Zeitschrift für Physik*. Você nota a diferença? Não sabíamos o que era importante. Todos trabalhavam nesses vetores quânticos, e aquilo foi publicado no *Zeitschrift für Physik*. O espectro do hidrogênio foi publicado em *Physica*, mas observe, esse artigo sobre o espectro apontou na direção certa.

² N.E.: No original, “tommy rot”. “Tommyrot” é um substantivo que significa total absurdo ou tolice.

Quando chegou o dia, eu tive que contar a Uhlenbeck sobre o princípio de Pauli – claro, usando meus próprios números quânticos – então ele me disse: “Mas você não vê o que isso implica? Isso significa que existe um quarto grau de liberdade para o elétron. Isto significa que o elétron tem *spin*, que ele gira”. Agora, eu posso também dizer exatamente a diferença entre Uhlenbeck e eu como físicos. Naqueles dias, durante todo o verão, quando contei a Uhlenbeck sobre Landé e Heisenberg, por exemplo, ou sobre Paschen, ele perguntou: “Quem é esse?” Ele nunca tinha ouvido falar deles, estranho. E quando ele disse: “Isso significa um quarto grau de liberdade”, então lhe perguntei: “O que é um grau de liberdade?” De qualquer forma, quando ele fez sua observação, foi sorte eu saber todas essas coisas sobre o espectros, e eu então disse: “Isso cabe precisamente em nosso esquema do hidrogênio sobre o qual escrevemos há quatro semanas. E, se agora permite-se que o elétron seja magnético, com um momento magnético apropriado, então se pode entender todos aqueles complicados efeitos Zeeman. Eles surgem naturalmente, bem como as fórmulas de Landé, e tudo funciona lindamente”.

E foi isso: dessa maneira, o *spin* foi descoberto. Claro que contamos a Ehrenfest sobre isso, e então, o verão acabou, fui novamente para Amsterdã e vários episódios se seguiram. Naturalmente achei maravilhoso, porque, no formalismo que eu conhecia, tudo se encaixava perfeitamente. E a Física rigorosa por trás disso, eu não compreendia. Mas Uhlenbeck, sendo um bom físico, começou a pensar nisso. “Uma carga que gira”? Ele afirma que, então, foi até Lorentz e ele respondeu: “Sim, isso é muito difícil porque faz com que a energia própria do elétron esteja errada”.

Uhlenbeck também conta isso Tínhamos acabado de escrever um pequeno artigo em alemão e entregue ao Ehrenfest, que queria enviá-lo para a *Naturwissenschaften*. Agora tem sido dito que Uhlenbeck ficou assustado, foi ao Ehrenfest e disse: “Não envie isso, porque provavelmente está errado; é impossível, não se pode ter um elétron que gire em tão alta velocidade e tenha o momento certo”. Ehrenfest respondeu: “É tarde demais, eu já enviei”. Mas não me lembro do acontecimento, nunca tive a ideia de que estava errado porque eu não sabia o suficiente. A única coisa que me lembro é que o Ehrenfest me disse: “Bem, essa é uma boa ideia, embora possa estar errada. Mas vocês ainda não têm uma reputação, então não têm nada a perder”. Essa é a única coisa que me lembro.

Bem, a nota foi submetida e publicada [6]. Imediatamente, no dia seguinte, recebi uma carta de Heisenberg referindo-se à nossa “mutige Note” (nota corajosa). Eu nem sequer sabia que precisávamos de coragem para publicar aquilo. Eu não fui nada corajoso. Acho que ainda tenho a carta de Heisenberg. Nela, ele escreve uma fórmula Não entendi nada. E então ele diz em algum lugar: “O que você fez com o fator 2?” Qual fator? Nem a menor noção, e a fórmula dada sem derivação.

Eu lhe disse, o *spin* se encaixou perfeitamente em todo o formalismo. Mas, claro, também devíamos fazer um cálculo quantitativo do tamanho das separações. Se se acredita no *spin*, ele pode ser “para cima” ou “para baixo”, e qual é a diferença de energia – ela é obtida corretamente? Já tínhamos as fórmulas, mas era possível derivar essas fórmulas?

Não fizemos isso porque imaginávamos que seria muito difícil. Agora, qualquer aluno iniciante faz isso; como você o chama? um calouro, um novato? Ele consegue, mas não sabíamos como fazer e, portanto, não fizemos. Felizmente não sabíamos, porque se o tivéssemos feito, teríamos incorrido em um erro de um fator 2. Não teria funcionado, mas não sabíamos; todas as outras coisas se encaixavam perfeitamente, ainda que isso não.

Bem, ficamos desanimados mas, novamente, foi uma questão de sorte. Exatamente naqueles dias, Lorentz comemorava o quinquagésimo aniversário de seu doutorado. Bohr, Einstein e muitos outros grandes cientistas vieram para Leiden. Bohr tinha visto nossa nota e estava bastante interessado. Todos os dias tínhamos uma reunião, com Bohr, Einstein e Ehrenfest sobre o problema do *spin* e todas aquelas coisas, na casa de Ehrenfest. Lá aprendemos muito.

De passagem, devo mencionar uma anedota típica do Ehrenfest, talvez não tão agradável. Lorentz morava em Haarlem e todas essas celebridades, Rutherford, Madame Curie, Bohr, Einstein e muitos outros viajaram de trem, um trem especial, de Leiden para Haarlem. Na semana anterior, ocorreu um daqueles raros acidentes fatais de trem e eu disse a Ehrenfest: “Não seria terrível se aquele trem tivesse sofrido um acidente?” Ehrenfest respondeu: “Sim, isso seria terrível, mas pense em todos os jovens físicos que então poderiam conseguir empregos”.

Bohr mostrou-se altamente otimista, especialmente quando viu que eu já tinha todas as fórmulas para a estrutura fina. Ele pensou, talvez, que ele [*i.e.*, o fator 2] fosse algo trivial; provavelmente algo relativístico. Eu nunca entendi o argumento precisamente. Quando Bohr e Einstein estavam conversando na casa dos Ehrenfest, eu não entendia nada.

De qualquer forma, Bohr cometeu um erro. Em vez de Uhlenbeck, ele me convidou para ir a Copenhague, para ver se eu podia aprender alguma coisa por lá. Isso não funcionou, é claro, e depois de seis semanas ele me presenteou com uma passagem de trem de primeira classe, para voltar a Haia. Mas, em Copenhague, havia um jovem, Thomas, que conhecia profundamente a Teoria da Relatividade. Enquanto eu estava lá, ele calculou que o fator dois de Heisenberg – que parecia perdido – na verdade representava o fator relativístico, e tudo estava em ordem [7].

O homem que nunca se importou em acreditar no *spin* foi Pauli. Então Bohr disse: “No caminho para casa você deve parar em Hamburgo e explicar o fator 2 para Pauli”. Tentei fazê-lo, mas como, na verdade, eu mesmo não entendia, fui, naturalmente, incapaz de explicar Mas Pauli não queria acreditar naquilo; no meu retorno, Einstein ainda estava em Leiden e tive que explicar a ele também, o que foi ainda pior. Eu não consegui, mas depois recebi um cartão postal de Pauli informando que ele tinha visto o trabalho de Thomas, e que acreditava nele.

Bem, isso teria sido o fim, como eu mesmo pensava. Thomas estava para voltar para Inglaterra e queria viajar passando pela Holanda para me visitar, então me escreveu uma carta. Aqui está uma parte dessa carta. Penso que isto representa um ponto importante e, em particular, os historiadores, naturalmente, apreciam isso. Os historiadores sempre tentam rastrear alguém que, em algum lugar num baú escuro, já escondeu a Teoria de Einstein. Mas isso eles também acharam

maravilhoso. Agora isso é absolutamente certo. Se Kronig não tivesse deixado Leiden e ficado com Ehrenfest, então as coisas teriam tomado outro rumo. Ehrenfest o teria encorajado e dito: “Isso você deveria publicar”. Com Pauli, claro, foi totalmente diferente. Mas admitindo a grande diferença a este respeito, se olharmos objetivamente Nos dias em que Kronig teve aquela ideia, a nova interpretação do espectro do hidrogênio não existia, m_L e m_s não existiam, e ele não sabia sobre essas componentes proibidas porque não

lhe interessavam. Portanto, na verdade, o material que convenceria as pessoas de que isso era certo, simplesmente não existia. Além disso, Kronig não foi realmente o primeiro. O primeiro a publicar sobre o elétron quantizado – Kronig não o fez – foi Compton. Por razões totalmente erradas, ele havia dito cerca de quatro anos antes no *Journal of the Franklin Institute*: “Talvez exista uma rotação quantizada dos elétrons”. Mas as razões que ele apresentou eram erradas e pouco convincentes.

I think you and Uhlenbeck have been very lucky to get your spinning electron published and talked about before Pauli heard of it. It appears that more than a year ago Kronig believed in the spinning electron and worked out something; the first person he showed it to was Pauli. Pauli ridiculed the whole thing so much that the first person became also the last and no one else heard anything of it. Which all goes to show that the infallibility of the Deity does not extend to his self-styled vicar on earth.

Parte de uma carta de L.H. Thomas para Goudsmit (25/03/1926).

Acho que você e Uhlenbeck tiveram muita sorte de publicar e conversar sobre seu elétron giratório antes de Pauli ouvir falar dele. Parece que há mais de um ano Kronig acreditou na rotação do elétron e descobriu algo; a primeira pessoa a quem ele mostrou foi Pauli. Pauli ridicularizou tanto tudo que a primeira pessoa se tornou também a última e ninguém mais ouviu nada sobre isso. O que tudo mostra é que a infalibilidade da Divindade não se estende ao seu autoproclamado vigário na Terra.

Depois houve um pequeno artigo de Kennard, um físico americano, que tinha argumentos mais convincentes, mas insuficientes para fazer as pessoas acreditarem nele. Urey tinha pensado nisso, mas não o publicou. Quando Kronig leu nosso artigo, ele publicou dois artigos para provar que estávamos errados; na *Nature* e nos *Proceedings of the National Academy*, em Washington ... Portanto, acho um pouco estranho que alguns historiadores digam: “Kronig fez isso, realmente, vocês não fizeram isso”. Esse é o mesmo historiador que diz isso é apenas uma transformação linear e, portanto, uma contribuição trivial.

É assim que a história parece e, de alguma maneira, é um tanto curiosa. Quem, precisamente, deveria receber crédito

por ela? Tais coisas não são possíveis sem também dar crédito a todas outras pessoas que contribuíram. Mas, um aspecto se destaca, que é de particular importância para os jovens. Primeiro: você não precisa ser um gênio para fazer uma importante contribuição para a Física porque, eu admito, o *spin* do elétron é um importante contribuição. Isso eu sei agora, mas não sabíamos, e agora sei. Todos me disseram isso.

Finalmente, quero dizer mais uma coisa: mesmo que você faça uma contribuição menor, que não seja importante, isso dá uma enorme satisfação. Portanto, acredito que nem sempre devemos aspirar a resolver o que é mais importante, mas tentar nos divertir trabalhando em Física, e obter resultados.

- [1] S.A. Goudsmit, De ontdekking van de electronenrotatie, *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* **37** (1971) 386.
- [2] S. Goudsmit and R. de L. Kronig, *Naturwissenschaften* **13** (1925) 90; *Verhandelingen Koninklijke Akademie van Wetenschappen* **34** (1925) 278.
- [3] W. Pauli, *Z. Physik* **31** (1925) 765.
- [4] S. Goudsmit, *Z. Physik* **32** (1925) 111; a relação com a notação corrente é menos trivial do que a sugerida por Goudsmit em sua

exposição.

- [5] S. Goudsmit and G.E. Uhlenbeck, *Physica* **6** (1926) 273.
- [6] G.E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, *Naturwissenschaften* **47** (1925) 953. Uma subsequente publicação pelos mesmos autores, em *Nature* **117** (1926) 264, é seguida por um *postscript* muito interessante de N. Bohr.
- [7] L.H. Thomas, *Nature* **107** (1926) 514.

O físico holandês Samuel Abraham Goudsmit, tinha 23 anos quando ele e George Uhlenbeck, em 1925, levantaram a hipótese de que o elétron tinha *spin*. No início da Segunda Guerra Mundial, ele já era um conhecido físico atômico que trabalhava na Universidade de Michigan, desde 1927, quando ele e Uhlenbeck foram para os Estados Unidos. Durante a guerra, seu primeiro trabalho foi com radares no Laboratório de Radiação do MIT, e depois, nos últimos dias de guerra na Europa, liderou uma missão para determinar até que ponto os

alemães conseguiriam desenvolver a bomba atômica. Após a guerra, chefiou o Departamento de Física do recém criado Laboratório Nacional de Brookhaven e, em 1950, a APS (*American Physical Society*) o nomeou como editor da *Physical Review* e da *Review of Modern Physics*, cargo que ocupou até sua aposentadoria em 1972. Foi também o fundador da *Physical Review Letters*, em 1958.