

LEGAL NOTICE

This report was prepared as an account of Government sponsored work. Neither the United States, nor the Commission, nor any person acting on behalf of the Commission: A. makes any warranty or representation, expressed or implied, with respect to the accuracy, completeness, or usefulness of the information contained in this report, or that the use of any information, apparatus, method, or process disclosed in this report may not infringe upon privately owned rights; or B. Assumes any liabilities with respect to the use of, or for damages resulting from the use of any information, apparatus, method, or process disclosed in this report. As used in the above, "person acting on behalf of the Commission" includes any employee or contractor of the Commission, or any person performing any service for, or under the supervision or direction of, any information pursuant to his employment or contract with the Commission, or his employment with such contractor.

(English version of BNL 9497)

*attached*

THE DISCOVERY OF ELECTRON SPIN

MASTER

by

S. A. Goudsmit

Brookhaven National Laboratory, Upton, N. Y.

In recent years several of my colleagues have become interested in the history of physics of the 1920's. I think that this is merely a sign of old age, a desire to relive the glorious days of atomic discoveries. Unfortunately, such historical endeavors often degenerate in scientifically unimportant but emotionally irritating priority questions.

In the past, historians of science were often excited by finding the papers of some obscure soul who had prematurely guessed at some great discovery, but not published it. I consider such a precursor to be just an historical curiosity. A work of science is not complete until it has been communicated to fellow scientists and therefore this precursor should not get credit for his secret discovery. Sometimes a researcher publishes a new idea at a time when his colleagues are not able or willing to accept it. Though later the same idea may be rediscovered and proven correct, the original discoverer deserves little or no credit since he failed in a major part of the work, namely to convince his colleagues. Usually, in such cases, some decisive evidence was not available until the time of the rediscovery.

Some historians wrote lucid and convincing stories about how a discovery should have been made. Unfortunately it is most unlikely that the development was as logical as in the fabricated story. Chance and luck play a much larger role than we like to admit. Some other historians made up their minds in advance and used the historical record to confirm their prejudices about priorities. An interesting clue in such cases is sometimes furnished by Freudian slips, such as uncorrected misprints. For example, an author who wanted to prove that Einstein got most of his ideas from Lorentz, accidentally quoted a relevant paper by Lorentz as having been published one year earlier than the correct date. I know of a similar example in the history of electron spin. I want to stress that such misprints are definitely unintentional.

NOT APPROVED FOR PUBLIC RELEASE. AVAILABE TO THE AEC AND ITS CONTRACTORS ONLY.

## **DISCLAIMER**

**This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency Thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof.**

## **DISCLAIMER**

**Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.**

Another complaint I have about the historians of physics is that they make it appear as if all physics was created by a handful of geniuses. This is very unfair to the many who have contributed valuable results on which the geniuses based their great discoveries. This oversimplification discourages beginners who may realize that they will never equal an Einstein or a Heisenberg. This tendency to present history of science in terms of a few famous people is obviously taken over from ordinary history. There, too, we find a Kaiser or a dictator blamed (or praised) for all that happened, but the wide support by a large number of followers is usually conveniently forgotten.

The historians of physics are also unfair to experimenters. Though primarily interested in the evolution of ideas, they should not neglect the experimental genius whose discoveries and whose verifications are essential to the creation and acceptance of a theory.

Recently, historians have introduced the so-called "oral history" method. They believe that if we want to know what happened in the 1920's, we simply ask someone who was there. This, of course, does not work very well; the story one tells forty years later is enormously influenced by what happened in those forty years.

Published articles are not a very reliable history source either. A good article is written in a way to convince the reader and that is seldom the same as the way the author arrived at his conclusions. Moreover, footnote references are often meant to lend prestige to the paper and do not always indicate a relationship with the author's line of thought. For example, a manuscript was submitted to *The Physical Review* with a footnote citing an article in a hard-to-find Italian journal written by two Nobel Prize winners, though the same article had also appeared in German in the *Zeitschrift für Physik*. If the author had really read either the Italian or the German paper, he would have found, at the end, a paragraph added in proof telling him that essentially the same results had been published in *The Physical Review* itself, but that was by an obscure author, with no prestige value.

Perhaps the most reliable sources for the history of recent physics are old letters, by preference handwritten letters. They are frank and uninhibited. In the 1920's, a typewritten letter was meant to be read by a wider public and spe-

cially composed.

After these critical remarks about some of the history of physics I must add that recently a new trend has started which seems extremely promising. The project "Sources for the History of Quantum Physics" under the directorship of Dr. Thomas S. Kuhn is gathering a large amount of material which can eventually be used for a truly objective account of that period in science. I strongly urge anyone who knows about letters, notes and other unpublished relevant data to cooperate with that project. N. R. Hanson's books on the philosophy and history of recent physics deal with concepts rather than people and can thus give a more balanced account of events.<sup>1</sup> I am not able to judge whether his attempts at correctness and objectivity have been fully successful. I also want to call attention to articles by Martin J. Klein; for example, his fine pieces about Max Planck.<sup>2</sup> There is evidence that the critical remarks I have made above may soon become invalid.

I shall now tell you my story of the discovery of electron spin. It will suffer from all the defects which I mentioned though I have reread the handwritten letters I received from colleagues at that time. I shall tell my story in the first person, not out of lack of modesty but, on the contrary, to stress that it is only my side of the story, what I saw and experienced.

I especially want to avoid, if I can, to guess the thoughts of others. For example, I can not understand that Pauli, in his Nobel Prize lecture, volunteers the information that his 1924 article<sup>3</sup> explaining hyperfine structure "influenced Goudsmit and Uhlenbeck in their postulation of a spin of the electron." That this was absolutely not so I have described in an article<sup>4</sup> a few years ago. Moreover, Pauli's 1924 article can definitely not be considered as introducing the concept of spin, which is a property of a single particle. He only expected an angular momentum caused by orbital motions for complex nuclei; he did not predict a hyperfine structure and a nuclear angular momentum for hydrogen. In fact, the spin of the proton was not discovered until 1927 and not at all as a result of fine-structure considerations. It was proposed by Hund<sup>5</sup> and soon after proven by Dennison<sup>6</sup> in his brilliant explanation of the anomalous behavior of the specific heat of molecular hydrogen.

I shall tell my story in chronological order. The first significant occurrence

was that in 1919 my high-school teacher, Van Lohuizen, who himself was a pupil of Zeeman, introduced me to Ehrenfest. In 1920 I had to interrupt my studies for a few weeks to accompany my father on a business trip to Reutlingen. Ehrenfest urged me to visit Paschen in nearby Tübingen. Paschen received me as a colleague and not as an 18-year-old student. He showed me the structure of the  $4686\text{\AA}$  line of ionized helium, the confirmation of Sommerfeld's brilliant relativistic theory of fine structure. I was greatly impressed by my reception and later made it a point to learn all I could about that important spectral line. The following year (1921) I spent the summer months at Tübingen and learned personally from Paschen some of the techniques of spectroscopy. Paschen was a great physicist and also a very fine person. This year is his centennial, but he is almost forgotten by physicists and ignored by historians, though much of his work was fundamental for the development of atomic physics. I returned to Tübingen in later years to continue with Back what I had learned from Paschen. When Paschen left for Berlin his successor, Gerlach, continued the atmosphere of hospitality in Tübingen.

In 1921 I believed that I had found a "relativistic" formula for doublets in atomic spectra similar to Sommerfeld's formula for x-ray doublets. Ehrenfest, as he later told me, was convinced that I was wrong, but he did not discourage me. He made me write a short note about it in "Die Naturwissenschaften" and a long paper<sup>7</sup> in the "Archives des Sciences Exactes et Naturelles," which had become a very obscure journal published in Holland in the French language. No one read it, but I was very proud of that first publication.

Three years later (1924) the same formula was rediscovered by Landé and by Millikan and Bowen.<sup>8</sup> They had based their conclusion on a large number of new experimental data; my original work had only been a lucky guess. However, the doublet problem and, later, multiplets, gained my attention for several years to come.

Ehrenfest, who by 1924 had noticed that I was not a real theorist, arranged a position for me in Zeeman's laboratory in Amsterdam. During half of each week I was an experimental spectroscopist, and the other three days I spent in Leiden with Ehrenfest's group.

In those years I wrote several articles on complex spectra and their Zeeman

effect. I wrote about x-ray line intensities with Coster and obtained intensity formulas for Zeeman components with Kronig, who visited Holland in 1924. This was inspired guesswork, since quantum mechanics was still unknown. Guessing the right formulas consisted of manipulating quantum numbers and "sum rules," combined with intuition.

I became thoroughly familiar with all these quantum-number rules. However, I must now confess that I made a serious error in judgment: I believed, namely, that this formalism was all theoretical physics. My knowledge of true theoretical physics, as Ehrenfest later pointed out, was totally inadequate. Fortunately, I was fully acquainted with the wealth of experimental material on atomic spectra and related observations. The situation at that time was similar to the present "SU(6)" speculations in the physics of elementary particles. However in 1925 more extensive and more accurate experimental data were available for testing the speculative guesses than is the case at present.

Early in May 1925 I published a paper<sup>9</sup> in which I showed that the application of the Pauli Exclusion Principle to spectra could be simplified considerably by using Landé's quantum numbers  $m_l$  and  $m_s$  instead of those used by Pauli. In this way, the multiplet structure of the atomic energy levels could be determined immediately. More important, as it turned out later, was the fact that these quantum numbers indicated that  $m_s$  was always  $+1/2$  or  $-1/2$ . I should have thought of electron spin at that time, but since I was merely a formalist, such a physical interpretation did not enter my mind at all.

I must mention here that I had sent a preprint of this paper to Copenhagen. Kronig, with whom I had worked on intensity formulas, acknowledged the receipt of my paper, but his long letter dealt primarily with an important forthcoming paper by Heisenberg and with his own work on intensities, and did not mention spin.

This is where Uhlenbeck enters my story. George Uhlenbeck had interrupted his studies in Leiden to become houseteacher of the sons of the Netherlands Ambassador in Rome. There he learned a lot of classical physics but knew almost nothing of the flourishing field of atomic structure and spectra. I remember him mentioning the names of Volterra and Levi-Civita, which, at the time, meant nothing to me.

I must, however, tell you one important thing he did for modern physics while in Rome. Ehrenfest had written him to look up a young man named Fermi, who had published some promising papers. Fermi had just returned from Göttingen, completely discouraged and convinced that he could never become a good physicist. Uhlenbeck urged him not to give up physics before first having spent some time with Ehrenfest. Fortunately for physics, Fermi followed the advice, and I met him for the first time when he came to Leiden in 1924. Ehrenfest's encouragement put Fermi back on his feet. It was the beginning of his brilliant career.

You may have noticed by now that my story seems to tell more about Ehrenfest than about spin.

When Uhlenbeck returned to Leiden, Ehrenfest urged us to work together during the summer vacation of 1925. I should instruct Uhlenbeck about the wonders of quantum vector magic and, in return, I might learn some real physics.

The completely fresh approach of Uhlenbeck to atomic problems and his many skeptical remarks and pointed questions, led us to a number of significant new results. The first was an entirely new interpretation of the hydrogen fine structure.<sup>10</sup> I did not fully understand Uhlenbeck's reasoning, based on a paper by Wentzel. What appealed to me was that in our scheme the hydrogen spectrum had become merely a special case of an alkali spectrum or of x-ray spectra. The old "relativistic" doublet formula was a natural consequence of our new scheme. I was especially pleased that we finally could explain a mysterious component of the helium 4686 Å fine structure, which Paschen had observed, but which was "forbidden" in Sommerfeld's theory. Uhlenbeck and I published this work in the Dutch language in "Physica." We were obviously not aware of its great significance. In contrast, we sent a paper on quantum vector coupling and Landé  $g$ -values to the "Zeitschrift für Physik." Fortunately, Slater,<sup>11</sup> in America, had independently arrived at the same result for the hydrogen spectrum, and published it somewhat later in November 1925.

One morning, near the end of the summer vacation, I believe, I told Uhlenbeck about the Pauli Principle, using, of course, the quantum numbers  $m_l$  and  $m_s$ . He immediately said that this meant that all electrons had four degrees of freedom, as if every electron had a spin.



At this point, it is well to stress again the difference between us as physicists. It can best be described by the following oversimplified example. When I told him about Landé  $g$ -factors, he asked, to my great surprise, "Who is Landé?" and when he mentioned four degrees of freedom for the electron, I asked him "What is a degree of freedom?".

After his remark about "spin," we found that it fully explained why  $m_s$  was always  $+1/2$  or  $-1/2$ , that all Zeeman effects could at once be explained by giving the electron a magnetic moment of a whole Bohr magneton, and that it fitted in perfectly with our new interpretation of the hydrogen spectrum. I was later able to guess at the correct formula for the fine structure by combining Sommerfeld's relativistic expressions with the expression known for x-ray and alkali doublets.

For me, this was the end of the problem. The spin model had at once simplified enormously the interpretation of the quantum vectors and their relation to atomic spectra, which was my domain in physics. But Uhlenbeck is a true physicist. He took the model seriously and tried to investigate the theory of rotating charged bodies, of which I understood little. Ehrenfest had called our attention to an old paper on this subject written by Abraham in 1903.

We had composed a short preliminary note<sup>12</sup> about our spin idea and given it to Ehrenfest to forward to "Die Naturwissenschaften." At one time, Uhlenbeck tells, his studies of the model and his discussions about it with Lorentz discouraged him so much that we decided to withdraw the paper. Ehrenfest told him that it was too late, it had been sent off already. I do not remember anything about this. It may have happened during the part of the week I spent at Amsterdam. I did not understand Uhlenbeck's arguments and from my narrow point of view, I could see nothing wrong with the spin concept since it fitted perfectly in my spectroscopic vector formalism. I remember Ehrenfest saying to me, "This spin idea may be wrong, but you have no reputation yet, thus you have nothing to lose if you publish it."

Ehrenfest gave me still another significant piece of advice, namely, to make sure that Uhlenbeck's name came first. Since I had published several papers on spectra, he feared that readers would only remember my name and forget Uhlenbeck's. And, after all, it was Uhlenbeck who thought of the spin. Ehrenfest was

right: in early quotations of our work Uhlenbeck's name was sometimes omitted, even now the order is often reversed.

The very day the note was published, Heisenberg wrote me a letter calling it a "courageous note" and asked how we had gotten rid of the factor 2. We were completely puzzled, what factor 2? Heisenberg's letter also contained a formula for the doublet splitting but no derivation. In all our considerations we had never tried to derive from the spin model the size of the fine structure, the energy difference between spin up and spin down with respect to the orbit. We had neglected this for the simple reason that we did not know how to do it. I thought of it as a very difficult problem and that some day a very learned physicist might do it. I did not doubt that he then would get the right answer, namely the x-ray doublet formula. Well, my prediction was later fulfilled! If we had known how to compute the doublet in the obvious way we would have found the result twice as large as the observations.

Fortunately for us, Bohr and Einstein visited Leiden just at that time, early December 1925, to celebrate Lorentz's 75th birthday. We had many discussions with them at Ehrenfest's home. In the end everyone present was convinced that the spin idea was sound, but the factor 2 remained a mystery. Uhlenbeck and I prepared that month a second note<sup>13</sup> which incorporated our interpretation of the hydrogen fine structure, for publication in "Nature." See Figure 1.

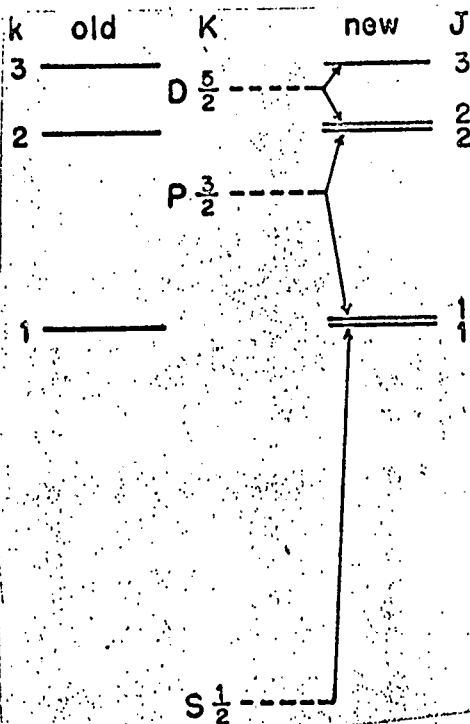


Fig. 1. Comparison between "old" (Sommerfeld) and "new" (spin) interpretation of the  $n=3$  level of hydrogen. Nowadays one uses the quantum numbers  $l = k-1 = K-1/2$  and  $j = J-1/2$ .

Bohr made one mistake: he invited me, instead of Uhlenbeck, to visit him in Copenhagen. For about six weeks in January and February 1926, Bohr tried in vain to give me an insight into the new problems created by the spin concept, especially the incomprehensible separation between singlets and triplets in the neutral helium spectrum. This problem was far beyond my competence, and Bohr sent me home. Soon afterwards Heisenberg returned to Copenhagen, and we know how his brilliant solution of that problem led to far-reaching consequences.

While I was in Copenhagen, L. H. Thomas, who had come from Cambridge, had been given the task of investigating the mysterious factor 2. In a famous paper<sup>14</sup> he showed that a relativistic precession, overlooked by others, had just the required effect. On my way home from Copenhagen, Bohr urged me to stop over in Hamburg and to convince Pauli of the correctness of the spin concept. I failed; I was unable to explain Thomas's work satisfactorily, and Pauli also thought that the Zeeman effect of the hydrogen spectrum might disagree with our interpretation. Later, after he had studied Thomas's work in detail, Pauli wrote me a postcard, dated March 13, 1926, withdrawing all his objections.

This should be the end of my story. But, I must still discuss the facts about some rumors which have been going around for years. The actual situation that gave rise to these rumors is described in a letter I received from L. H. Thomas from Copenhagen in March 1926, after our notes on the spin had been published. One paragraph read:

"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."

Kronig had returned to Columbia University and published both in Nature and in the Proceedings of the National Academy, a paper<sup>15</sup> aiming to prove that the spin hypothesis could not be correct. One of his arguments was the same as that earlier brought up by Lorentz: a literal interpretation of the spin leads classically to an impossible model for the electron. A second argument was that the atom-

ic nucleus was known to contain electrons and that our hypothesis would incorrectly predict a large magnetic moment for atomic nuclei. Kronig was not impressed by the favorable evidence obtained since he thought of spin, such as the new interpretation of the hydrogen fine structure, and the use of  $m_s$  and  $m_l$  with the Pauli Principle. In fact, early in 1925 the Pauli Principle itself had not yet been published, though it may have been talked about. In January 1925 Landé wrote a postcard informing me that Pauli and Kronig were in Tübingen and engaged in very interesting discussions, but he did not mention the subject. Kronig's side of the story is beautifully told in his article "The Turning Point."<sup>16</sup>

Bichowsky and Urey also wrote a paper<sup>17</sup> saying that they, too, had thought of electron spin but found that it gave the wrong result for the size of doublets. They used an incorrect magnetic moment and, of course, also were not aware of the "Thomas factor 2."

It is now certain that many physicists, before Uhlenbeck and me, must have thought of electron spin. But our luck was that the idea arose just at the moment when we were saturated with a thorough knowledge of the structure of atomic spectra, had grasped the meaning of relativistic doublets, and just after we had arrived at the correct interpretation of the hydrogen spectrum. We were thus able to offer strong evidence in support of the spin hypothesis. But it was equally important that we had Ehrenfest's encouragement.

That is all I can tell you about the discovery of electron spin. I still believe that such a microhistory is of doubtful value. Perhaps beginners can learn from it that one does not have to be a genius to make a contribution to physics though it helps. Every contribution, each creative achievement, gives an enormous amount of satisfaction. Whether it is important is often a matter of chance and may not be known even by its author, until much later. I believe that the spin concept, with its wide ramifications in nuclear physics, in particle physics and now also in technology, is one of the outstanding advances in modern physics. I hasten to add that in 1925 Uhlenbeck and I were, of course, not aware of the very great significance of our work. I am convinced that most discoverers have similar experiences.

REFERENCES

1. N. R. Hanson, "The Concept of the Positron" and "Patterns of Discovery" (Cambridge University Press, 1963 resp. 1958).
2. Martin J. Klein, "Max Planck and the Beginnings of The Quantum Theory" Arch. for History of Exact. Sci. I, 459 (1962), "Planck, Entropy and Quanta 1901-1906", The Natural Philosopher I, 83, 1963.
3. W. Pauli, Naturwiss. 12, 741 (1924).
4. S. A. Goudsmit, Phys. Today 14, 18 (1961).
5. F. Hund, Zeits. f. Phys. 42, 93 (1927).
6. D. M. Dennison, Proc. Roy. Soc. (London) A115, 483 (1927).
7. S. Goudsmit, Naturwiss. 9, 995 (1921) and Arch. Néerl. Sci. Ex. et Nat. IV, 116 (1922).
8. A. Landé, Zeits. f. Phys. 25, 46 (1924), R. A. Millikan and E. S. Bowen, Phys. Rev. 23, 764 (1924) and 24, 233 (1924).
9. S. Goudsmit, Zeits. f. Phys. 32, 794 (1925).
10. S. Goudsmit and G. E. Uhlenbeck, Physica 5, 266 (1925).
11. J. C. Slater, Proc. Nat. Acad. Sci. 11, 732 (1925).
12. G. E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, Naturwiss. 13, 953 (1925).
13. G. E. Uhlenbeck and S. Goudsmit, Nature 117, 264 (1926).
14. L. H. Thomas, Nature 117, 514 (1926).
15. R. Kronig, Proc. Nat. Acad. Sci. 12, 328 (1926); Nature 117, 550 (1926).
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. F. R. Bichowsky and H. C. Urey, Proc. Nat. Acad. Sci. 12, 801 (1926).

**DIE ENTDECKUNG DES ELEKTRONENSPINS**

von

**S. A. Goudsmit****Brookhaven National Laboratory, Upton, New York**

Eine Anzahl meiner Kollegen hat sich in den letzten Jahren für die Geschichte der Physik interessiert. Meiner Meinung nach ist das nur eine Alterserscheinung. Die Kollegen möchten gern die schönen Jahre der Atom- und Quantenentdeckungen einmal wieder erleben. Leider entarten sich solche Untersuchungen oft in eine für die Wissenschaft unwichtige, aber gefühlsmässig aufreizende Folge von Prioritätsfragen.

In früheren Jahren haben die Historiker der Wissenschaft sich manchmal aufgeregt bei dem Auffinden von Papieren einer armen Seele, die vorzeitig eine wichtige Entdeckung gemacht, aber sie nicht publiziert hat. Ich glaube ein solcher Fall ist nur eine historische Merkwürdigkeit. Eine wissenschaftliche Arbeit ist nicht vollendet bis sie publiziert worden ist, sodass die Kollegen davon lernen, und darüber urteilen können. Manchmal geschieht es auch, dass ein Wissenschaftler eine neue Idee zu einer Zeit publiziert, wo seine Kollegen noch nicht bereit sind diese anzunehmen. Später wird dann die neue

Idee von anderen wieder entdeckt und richtig befunden. Wenn man die Sachlage weiter untersucht, dann zeigt sich manchmal, dass der erste Entdecker einfach richtig geraten hat. Zu der Zeit wo er seine Arbeit vorbereitete fehlten noch wichtige Tatsachen, welche später die neue Idee unterstützt haben. Ich bin der Meinung, dass auch in einem solchen Fall der Erstentdecker nur wenig Anerkennung verdient.

Manche Historiker haben sehr schöne Geschichten geschrieben wie eine Entdeckung hätte gemacht werden sollen. Leider ist es sehr unwahrscheinlich, dass die Entwicklung so logisch war, wie diese fabrizierten Geschichten es darstellen. Glück und Zufall spielen meistens eine viel grössere Rolle, als man bereit ist zuzugeben. Auch gibt es Historiker, die bevorurteilt sind und die historischen Tatsachen dazu benutzen, ihr Vorurteil zu beweisen, besonders in Prioritätssachen. Ein merkwürdiger Fingerzeig ist in solchen Fällen gelegentlich durch eine Freudsche Fehlhandlung gegeben, wie unkorrigierte Druckfehler. Zum Beispiel, ein Autor der beweisen wollte, dass Einstein seine wichtigsten Ideen von Lorentz bekommen hatte, hat versehentlich in einem Artikel ein Zitat von Lorentz ein Jahr zu früh datiert. Ich kenne ein ähnliches Beispiel in der Geschichte des Elektronenspins. Ich muss betonen, dass solche Fehler nicht absichtlich gemacht worden sind.

Ich habe noch eine andere Beschwerde über die Historiker der Physik. Sie lassen es nämlich erscheinen, als ob alle

Physik nur von einer Handvoll Genies geschaffen worden ist. Das ist natürlich unrecht gegenüber den vielen Physikern dessen Arbeiten von den Genies für ihre grossen Entdeckungen benutzt wurden. Diese Vereinfachung der Geschichte kann Anfänger abschrecken, weil sie sich dessen bewusst werden, dass sie wohl niemals so gut wie Einstein oder Heisenberg sein können. Die Tendenz die Geschichte der Physik im Rahmen einer kleinen Gruppe von Helden zu beschreiben ist wahrscheinlich vom allgemeinen Geschichtsschreiben übernommen. Dort hört man auch von einem Kaiser oder Diktator der gepriesen oder beschuldigt wird, während die grossen Massen, die ihn unterstützten, bequemlich vergessen werden.

Die Historiker sind auch ungerecht gegenüber Experimentalphysikern. Wenn auch die Evolution der Ideen für die Geschichte sehr wichtig ist, so sollte man doch die Experimentalgenies nicht vernachlässigen, dessen Entdeckungen und Belege für die Erschaffung und für den Beweis der neuen Ideen unentbehrlich sind.

Kürzlich haben die Historiker eine neue Methode eingeführt - die sogenannte "Oral History". Sie glauben, dass wenn man herausfinden will was in den zwanziger Jahren passierte, dann fragt man einfach jemanden der dabei war. Das geht natürlich nicht; denn die Geschichte, die man nach vierzig Jahren erzählt ist sehr von dem beeinflusst was sich in diesen vierzig Jahren ereignet hat.



Publizierte Artikel sind auch nicht sehr zuverlässig als geschichtliche Quellen. In einem guten Artikel versucht der Autor die Leser zu überzeugen, und das ist meistens nicht derselbe Gedankengang als wie er auf die Idee gekommen ist. Auch die Fussnotizen in einem Artikel bestehen meistens nicht um dem Leser zu helfen, sondern nur um dem Artikel Ansehen zu verschaffen. Zum Beispiel, ein bei der Physical Review eingegangenes Manuskript enthielt eine Fussnote, die einen Artikel in einer schwer-auffindbaren italienischen Zeitschrift zitierte, obgleich derselbe Artikel auch in der Zeitschrift für Physik erschienen war. Der Artikel war von zwei Nobelpreissträgern geschrieben worden. Wenn der Autor wirklich entweder die italienische oder die deutsche Verfassung gelesen hätte, dann würde er am Ende eine Anmerkung bei der Korrektur gefunden haben, worin steht, dass dieselben Resultate schon in einem Artikel in der Physical Review selbst erschienen waren, aber leider nur von einem unbekanntem Autor ohne Ansehenswert stammend.

Eine verlässliche Quelle für die Geschichte der neuen Physik ist wahrscheinlich alte Briefe, vorzugsweise mit der Hand geschriebene Briefe - offen und ohne Einschränkung. In den zwanziger Jahren war ein mit der Maschine geschriebener Brief für ein grösseres Publikum gemeint und deshalb besonders verfasst.

Nach diesen kritischen Bemerkungen über Einiges in der Geschichte der Physik muss ich jetzt hinzufügen, dass

kürzlich eine viel versprechende Änderung eingetreten ist. Das Projekt "Quellen für die Geschichte der Quanten Physik" mit Herrn Dr. Thomas S. Kuhn als Direktor, sammelt jetzt eine grosse Menge Material, dass eventuell für eine wirklich objektive Behandlung dieses wichtigen Zeitabschnittes benutzt werden kann. Ich bitte jeden, der Briefe, Notizen oder andere zweckmässige nicht publizierte Informationen hat, sich mit diesem Projekt in Verbindung zu setzen.

Die Werke von N. R. Hanson<sup>(1)</sup> über Philosophie und Geschichte der neuen Physik behandeln Begriffe anstatt Personen und können deshalb eine mehr ausgeglichene Beschreibung der Vorgänge geben. Ich kann jedoch nicht beurteilen ob es ihm vollkommen gelungen ist, die Geschichte sowohl richtig als objektiv darzustellen. Weiterhin möchte ich noch auf die Artikel von M. J. Klein hinweisen, besonders seine schönen Notizen über Max Planck<sup>(2)</sup>. Im Allgemeinen bestehen Andeutungen, dass meine obengenannten kritischen Bemerkungen bald nicht mehr gültig sein werden.

Ich werde nun meine eigene Geschichte über die Entdeckung des Elektronenspins erzählen. Sie wird natürlich alle Fehler enthalten, die ich vorher genannt habe, obwohl ich die damals empfangenen, handgeschriebenen Briefe von meinen Kollegen wieder gelesen habe. Ich werde meine Geschichte in der ersten Person erzählen - nicht aus Mangel an Bescheidenheit, sondern im Gegenteil - um zu betonen, dass es nur meine Seite der Geschichte ist - wie ich es

gesehen und erlebt habe. Ich werde mich besonders bemühen es zu vermeiden, die Gedanken von anderen zu erraten. Zum Beispiel kann ich nicht verstehen, warum Pauli in seinem Nobelvortrag erklärt hat, dass sein Artikel<sup>(3)</sup> von 1924 über Hyperfeinstruktur "Goudsmit und Uhlenbeck bei ihrer Forderung eines Elektronenspins beeinflusste". Das dies nicht der Fall war, habe ich schon vor einigen Jahren in einem Artikel<sup>(4)</sup> auseinandergesetzt. Ferner kann Paulis Artikel vom Jahre 1924 sicher nicht als die Einführung des Spinbegriffs, welcher eine Eigenschaft eines einzelnen Elementarteilchens ist, betrachtet werden. Pauli erwartete nur für zusammengesetzte Kerne einen Drehimpuls, welcher von Bahnbewegungen herrührte. Er hat weder eine Hyperfeinstruktur, noch ein Kernmoment für Wasserstoff vorhergesagt. Der Spin des Protons wurde in der Tat erst 1927 entdeckt, und zwar garnicht als Resultat von Feinstrukturüberlegungen. Der Protonspin wurde von Hund<sup>(5)</sup> eingeführt und bald danach von Dennison<sup>(6)</sup> in seiner genialen Erklärung des abnormalen Verhaltens der spezifischen Wärme des molekularen Wasserstoffs bestätigt.

Ich werde jetzt meine Geschichte in kronologischer Reihenfolge vortragen. Das erste, für mich bedeutungsvolle, Ereignis war, dass mein Oberrealschullehrer van Lohuizen, der selber ein Schüler Zeemans war, mich 1919 bei Ehrenfest einführte. Anfang 1920 habe ich meine Studien in Leiden für ein paar Wochen unterbrechen müssen, um meinen Vater auf

einer Geschäftsreise nach Reutlingen zu begleiten. Ehrenfest riet mir dringend, Paschen im nahegelegenen Tübingen zu besuchen. Paschen empfing mich wie einen Kollegen, und nicht wie einen 18-jährigen Studenten. Er demonstrierte die Bestätigung Sommerfelds glänzender relativistischen Theorie der Feinstruktur - die Helium Linie  $4686\text{\AA}$ . Ich war von meinem Empfang stark beeindruckt und machte mir später zur Aufgabe, alles über diese wichtige Spektrallinie zu lernen. Im folgenden Jahr, 1921, verbrachte ich einige Monate im Sommer in Tübingen wo Paschen mich persönlich in die Technik der Spektroskopie einführte. Paschen war ein grosser Physiker und auch ein wunderbarer Mensch. In diesem Jahr sollte man sein Hundertjähriges Jubiläum feiern; jedoch ist er von den Physikern fast vergessen und von den Historikern unbeachtet, obgleich seine Arbeiten für die Entwicklung der Atomphysik grundlegend waren. In späteren Jahren kehrte ich nach Tübingen zurück, um dort mit Back fortzusetzen, was ich von Paschen gelernt hatte. Als Paschen nach Berlin berufen wurde, setzte sein Nachfolger, Gerlach, die Atmosphäre der Gastfreundschaft in Tübingen fort.

Im Jahre 1921 glaubte ich eine relativistische Formel für Dubletts in Atomspektren gefunden zu haben, ähnlich der Sommerfeldschen Formel für Roentgendubletts. Wie er mir später erzählte, war Ehrenfest überzeugt, dass meine Überlegungen falsch waren, aber er wollte mich nicht entmutigen.

Er veranlasste mich eine kurze Mitteilung darüber in den Naturwissenschaften und eine längere Abhandlung<sup>(7)</sup> in den Archives des Sciences Exactes et Naturelles zu schreiben - welche damals eine sehr unbedeutende Zeitschrift geworden war und in Holland in der französischen Sprache herausgegeben wurde. Niemand las sie. Jedoch war ich sehr stolz auf diese erste Veröffentlichung.

Später, 1924, wurde dieselbe Formel<sup>(8)</sup> von Landé, und von Millikan und Bowen wiederentdeckt. Sie begründeten ihre Schlussfolgerung auf eine grosse Anzahl von neuen experimentellen Tatsachen. Meine frühere Arbeit war nur, wie wir in Amerika sagen, ein "lucky guess" gewesen - ich habe Schwein gehabt! Jedoch, das Problem der Dubletts, und später Multipletts, fesselte mich in den folgenden Jahren.

Ehrenfest, der mittlerweile herausgefunden hatte, dass ich kein echter Theoretiker war, empfahl mich für eine Stelle in Zeemans Laboratorium in Amsterdam. Die erste Hälfte der Woche war ich ein Experimentalphysiker in Amsterdam, die andere Hälfte war ich in Leiden bei Ehrenfests Gruppe.

In jenen Jahren schrieb ich verschiedene Artikel über komplexe Spektren und Zeemaneffekt. Ich arbeitete an Roentgenlinienintensitäten mit Coster und gewann Intensitätsformeln für Zeemankomponenten mit Kronig, der Holland 1924 besuchte. Diese Formeln waren das Resultat von inspirierten Vermutungen, weil die Quantenmechanik noch nicht

existierte. Um die richtigen Formeln zu erraten, benutzten wir einen Quantenzahlen Formalismus in der Form von mysteriösen Summensätzen in Gemeinschaft mit Eingebung. Ich wurde gründlich mit der Anwendung solcher Quantenzahlregeln vertraut. Ich muss jetzt gestehen, dass ich damals einen ernsthaften Urteilsfehler beging. Ich glaubte nämlich, dass dieser Formalismus der Hauptbestandteil der theoretischen Physik war. Ehrenfest hat mir später klar gemacht, dass meine Kenntnisse der echten Theorie völlig unäusreichend waren. Glücklicherweise war ich mit der Fülle an Experimentaldaten über Atomspektren und verwandten Beobachtungen vollkommen vertraut. Die damalige Lage war den heutigen "SU(6)" Spekulationen in der Physik der Elementarteilchen sehr ähnlich. Jedoch zur Prüfung der Spekulationen verfügte man 1925 über ein sehr viel reicheres und genaueres experimentelles Material als heute.

Anfang Mai 1925 veröffentlichte ich eine Arbeit<sup>(9)</sup> in welcher ich zeigte, dass die Anwendung des Pauliprinzips beträchtlich vereinfacht werden konnte wenn man die Landéschen Quantenzahlen  $m_l$  und  $m_s$  benutzte, an Stelle der von Pauli angewandten. Auf dieser Weise konnte die Multiplettstruktur der Atomniveaus direkt bestimmt werden. Wie sich später zeigte, war ein wichtiger Befund, dass die Quantenzahl  $m_s$  immer  $+\frac{1}{2}$  oder  $-\frac{1}{2}$  war. Ich hätte deshalb damals schon an Elektronenspin denken sollen, aber da ich nur ein Formalist war, kam diese physikalische Deutung mir nicht zum Bewusstsein.

Ich muss erwähnen, dass ich einen Vorabdruck dieser Arbeit nach Kopenhagen gesandt hatte. Kronig, mit dem ich an Intensitätsformeln gearbeitet hatte, bestätigte mir den Empfang meiner Arbeit, aber sein langer Brief handelte sich vorwiegend um eine wichtige, in Vorbereitung befindliche, Arbeit Heisenbergs, und sein eigenes Werk über Intensitäten. Er hat den Spin nicht erwähnt.

An diesem Punkt muss ich Uhlenbeck in meine Geschichte einführen. George Uhlenbeck hatte seine Studien in Leiden unterbrochen, um Hauslehrer der Söhne des niederländischen Botschafters in Rom zu werden. Dort lernte er viel klassische Physik, aber wusste fast nichts von dem aufblühenden Gebiet der Atomstruktur und Spektren. Ich erinnere mich, dass er die Namen von Volterra und Levi-Civita erwähnte, die für mich damals kein Begriff waren.

Ich muss jedoch eine bedeutungsvolle Handlung erwähnen, die Uhlenbeck für die moderne Physik tat, während er in Rom war. Ehrenfest hatte ihm geschrieben, er möchte einen jungen Mann namens Fermi aufsuchen, der einige vielversprechende Artikel publiziert hatte. Fermi war gerade aus Göttingen zurückgekehrt - völlig entmutigt und überzeugt, dass er niemals ein guter Physiker werden könnte. Uhlenbeck riet ihm dringend nicht die Physik aufzugeben bevor er zuerst einige Zeit mit Ehrenfest in Leiden verbracht hatte. Zum Glück für die Physik folgte Fermi diesem Rat und ich traf ihn dann zum ersten mal als er 1924 nach Leiden kam.

Ehrenfests Ermutigungen waren der Beginn von Fermis glänzender Laufbahn. Sie werden jetzt gemerkt haben, dass sich meine Geschichte mehr um Ehrenfest als um den Spin handelt.

Als Uhlenbeck nach Leiden zurückkehrte, forderte Ehrenfest uns auf während der Sommerferien 1925 zusammenzuarbeiten. Ich sollte Uhlenbeck die Wunder der Quantenvektorzahlen lehren, und er sollte mir etwas von der echten Physik beibringen.

Die vollkommen frische Annäherung Uhlenbecks zu Atomproblemen und seine vielen skeptischen Bemerkungen und klugen Fragen, führten uns zu einer Anzahl bedeutender neuer Resultate. Das erste Resultat war eine völlig neue Deutung der Wasserstoff-Feinstruktur<sup>(10)</sup>. Ich verstand Uhlenbecks Gedankengang, der sich auf einen Artikel von Wentzel stützte, nicht ganz. Was mir zusagte, war der Umstand, dass in unserem Schema das Wasserstoffspektrum ein Spezialfall der Alkalispektren und Roentgenspektren wurde. Die alte "relativistische" Dublettformel war eine logische Folgerung unseres neuen Schemas. Ich war besonders erfreut, dass wir endlich eine mysteriöse Komponente der Helium  $4686\overset{\circ}{\text{A}}$  Linie erklären konnten, welche von Paschen beobachtet worden, aber in Sommerfelds Theorie verboten war. Uhlenbeck und ich veröffentlichten diese Arbeit in der holländischen Sprache in Physica. Wir waren uns offensichtlich von der Wichtigkeit dieser Entdeckung nicht bewusst. Ganz im



Gegenteil, eine Arbeit über Quantenvektorkopplung und Landé  $g$ -Werte wurde von uns an die Zeitschrift für Physik gesandt. Slater<sup>(11)</sup>, in Amerika, gelang etwas später unabhängig zu denselben Resultaten für das Wasserstoff-Spektrum.

Eines morgens gegen Ende der Sommerferien, glaube ich, erzählte ich Uhlenbeck über das Pauliprinzip und benutzte natürlich die Quantenzahlen  $m_l$  und  $m_s$ . Sofort wies er darauf hin, dass dies bedeutete, dass alle Elektronen vier Freiheitsgrade hatten, als ob jedes Elektron einen Spin hätte. An dieser Stelle möchte ich wieder einmal den Unterschied zwischen uns als Physikern betonen. Es kann am Besten durch das folgende, übertrieben vereinfachte Beispiel erläutert werden. Als ich ihm über Landé  $g$ -Faktoren erzählte, fragte er, zu meinem grossen Erstaunen, "wer ist Landé", und als er vier Freiheitsgrade des Elektron erwähnte, da fragte ich ihn, "was ist ein Freiheitsgrad?"

Nach seiner Bemerkung über Spin sahen wir sofort ein, dass es völlig erklärte warum  $m_s$  immer  $+\frac{1}{2}$  oder  $-\frac{1}{2}$  war. Ferner fanden wir, dass alle Zeemanspaltungen erklärt werden konnten, indem man dem Elektron ein magnetisches Moment eines ganzen Bohrmagnetons zuschrieb. Ausserdem wurde es klar, dass der Spin vollkommen mit unserer neuen Deutung des Wasserstoffspektrums in Einklang stand. Es gelang mir später die richtigen Ausdrücke für die Wasserstoff-Feinstruktur zu formulieren, indem ich die Sommerfeldschen

relativistischen Formeln mit den Formeln für Roentgen und Alkalidubletts kombinierte. Für mich war das das Ende des Problems. Der Spin hat auf einmal die Deutung der Quantenvektoren, ebenso wie ihre Beziehung zu Atomspektren, enorm vereinfacht, und das war mein Gebiet in der Physik. Uhlenbeck, aber, ist ein wahrer Physiker. Er nahm das Modell ernst und studierte die Theorie von rotierenden, geladenen Körpern. Ehrenfest hatte uns eine alte Arbeit darüber gezeigt, welche von Abraham 1903 veröffentlicht war. Ich verstand wenig davon.

Wir hatten einen kurzen Bericht<sup>(12)</sup> über unsere Idee des Spins verfasst und Ehrenfest gegeben um ihn an Die Naturwissenschaften zu schicken. Uhlenbeck erzählt, dass zu einem Zeitpunkt seine Studien des Modells und seine Diskussionen darüber mit Lorentz ihn so entmutigten, dass wir uns entschlossen die Arbeit zurückzuziehen. Ehrenfest sagte ihm, dass es schon zu spät sei, die Arbeit wäre schon versandt. Ich erinnere mich daran gar nicht; es könnte sich während meines Aufenthaltes in Amsterdam ereignet haben. Ich verstand Uhlenbecks Beweggründe nicht. Von meinem beschränkten Gesichtspunkt aus konnte ich nichts Falsches hinsichtlich des Spinbegriffs sehen, weil es genau in meinem spektroskopischen Vektorformalismus hineinpasste. Ich erinnere mich nur, dass Ehrenfest zu mir sagte: "Der Spin könnte schon falsch sein, aber Du hast bis jetzt noch keinen Ruf, also hast Du nichts zu verlieren wenn Du es

publizierst."

Ehrenfest gab mir noch einen anderen, bedeutungsvollen Rat - nämlich, sicher zu gehen; dass Uhlenbecks Name zuerst genannt würde. Da ich schon einige Arbeiten über Spektren publiziert hatte, fürchtete er, dass die Leser meinen Namen im Gedächtnis behalten und Uhlenbecks vergessen würden, und schliesslich war es Uhlenbeck, der an den Spin gedacht hatte. Ehrenfest hat Recht gehabt. In früheren Erwähnungen unserer Arbeit wurde Uhlenbecks Name manchmal ausgelassen und selbst heute ist die Reihenfolge oft umgekehrt.

Am gleichen Tage an dem unsere Arbeit erschien schrieb mir Heisenberg einen Brief worin er die Arbeit als "mutige Note" bezeichnete und gleichzeitig fragte, wie wir den Faktor 2 lossgeworden wären. Wir waren völlig in Verlegenheit - welchen Faktor 2? Heisenbergs Brief enthielt auch eine Formel für die Dublettspaltung, aber keine Ableitung. In all unseren Betrachtungen hatten wir niemals versucht die Grösse der Feinstruktur zu berechnen - die Energiedifferenz zwischen Spin nach oben und nach unten in Bezug auf die Bahn. Wir hatten dies aus dem einfachen Grunde vernachlässigt, dass wir nicht wussten wie man es tun sollte. Ich meinte, dass es ein sehr schwieriges Problem sei und dass eines Tages ein sehr gelehrter Physiker es lösen würde. Ich zweifelte nicht daran, dass er dann die richtige Antwort finden würde, nämlich die Roentgendublettformel. Meine Voraussage hat sich schliesslich als korrekt erwiesen.

Wenn wir gewusst hätten wie man das Dublett in der offensichtlichsten Weise berechnen sollte, würden wir gefunden haben, dass das Resultat zweimal so gross war wie die Beobachtungen.

Glücklicherweise besuchten Bohr und Einstein Leiden gerade zu dieser Zeit - früh im Dezember 1925 - um den 75ten Geburtstag von Lorentz zu feiern. Wir haben viel mit Beiden in Ehrenfests Wohnung diskutiert. Zum Schluss waren alle Anwesenden überzeugt, dass der Begriff des Spins richtig war, aber der Faktor 2 blieb ein Rätsel. Im gleichen Monat bereiteten Uhlenbeck und ich eine zweite Veröffentlichung<sup>(13)</sup>, welche unsere neue Deutung des Wasserstoffspektrums enthielt, für Publikation in Nature vor. (Figur 1)

Bohr hat einen Fehler begangen - er lud mich, anstatt Uhlenbeck zu einem Besuch nach Kopenhagen ein. Während etwa sechs Wochen im Januar und Februar 1926 versuchte Bohr vergeblich mir eine Einsicht in die neuen Probleme, welche der Spin hervorgerufen hatte, zu geben - besonders die unverständliche Trennung zwischen Singulettts und Triplettts im Spektrum von neutralem Helium. Dieses Problem überschritt bei weitem meine Fähigkeiten. Bohr schickte mich nach Hause.

Heisenberg kam bald danach wieder nach Kopenhagen und es ist bekannt, dass seine wundervolle Lösung dieses Problems zu weitgehenden und tiefen Folgerungen führte.

Während ich in Kopenhagen war hat L. H. Thomas, der aus Cambridge gekommen war, den Auftrag erhalten, den mysteriösen Faktor 2 zu untersuchen. In einer bekannten Arbeit<sup>(14)</sup> zeigte er, dass eine relativistische Präzession, welche von anderen übersehen worden war, gerade den gewünschten Effekt erzielte. Bohr hatte mich aufgefordert auf meiner Heimreise von Kopenhagen in Hamburg die Reise zu unterbrechen um Pauli von der Richtigkeit der Spintheorie zu überzeugen. Ich hatte keinen Erfolg. Ich konnte die Arbeit von Thomas nicht zur Genugtuung Paulis erklären, und Pauli meinte ausserdem, der Zeemaneffekt des Wasserstoffspektrums stimme nicht mit unserer Deutung überein. Später, nachdem er die Arbeit von Thomas in Einzelheiten studiert hatte, schrieb mir Pauli eine Postkarte, datiert 13. März 1926, wo er alle seine Einwände zurückzog.

Dies sollte das Ende meiner Geschichte sein. Doch muss ich noch die Tatsachen über einige Gerüchte erörtern, welche sich seit Jahren erhalten haben. Die tatsächlichen Verhältnisse, die Anlass zu diesen Gerüchten gaben, sind in einem Brief beschrieben, welchen ich von L. H. Thomas aus Kopenhagen im März 1926 erhielt, nachdem unsere Veröffentlichungen erschienen waren. Der betreffende Absatz lautet in Übersetzung:-

"Ich glaube, dass Du und Uhlenbeck grosses Glück gehabt haben, dass Eure Arbeit über das rotierende Elektron veröffentlicht und

diskutiert wurde, bevor Pauli davon gehört hatte. Es scheint, dass Kronig vor mehr als einem Jahr an das rotierende Elektron glaubte und etwas ausgearbeitet hatte. Die erste Person, der er es zeigte, war Pauli. Pauli verspottete die ganze Sache so weit, dass die erste Person auch die Letzte war und niemand sonst etwas davon hörte. All das zeigt, dass die Unfehlbarkeit des göttlichen Wesens sich nicht auf seinen selbsternannten Stellvertreter auf Erden erstreckt."

Kronig war an die Columbia Universität zurückgekehrt und veröffentlichte in Nature, sowohl wie in den Proceedings of the National Academy eine Arbeit<sup>(15)</sup>, die erzielte zu beweisen, dass die Spinhypothese nicht richtig sein konnte. Sein erster Einwand war derselbe, der früher von Lorentz erhoben worden war - eine wörtliche Auslegung des Spins führt klassisch zu einem unmöglichen Modell für das Elektron. Ein zweiter Einwand war, dass der Atomkern bekanntlich Elektronen enthält, und dass unsere Hypothese deshalb unkorrekterweise ein grosses magnetisches Moment für den Kern vorhersage. Kronig war nicht von der günstigen Unterstützung beeindruckt, welche die Spinhypothese, seit er daran gedacht hatte, erhalten hat; zum Beispiel, die neue Deutung der Wasserstoff-Feinstruktur, und die Quantenzahlen  $m_s$  und  $m_l$  beim Pauliprinzip. Es ist eine Tatsache, dass

zu jener frühen Zeit, Anfang 1925, das Pauliprinzip selbst noch nicht veröffentlicht war, obwohl es wahrscheinlich diskutiert wurde. Im Januar 1925 schrieb mir Landé auf einer Postkarte aus Tübingen "Mit Herrn Kronig haben wir viel diskutiert, besonders durch gleichzeitige Anwesenheit von Pauli war es sehr interessant." Er erwähnte aber nicht den Inhalt der Diskussionen. Kronig hat seine Seite der Spingeschichte in einem schönen Artikel<sup>(16)</sup> "Der Wendepunkt" (The Turning Point) erzählt.

Bichowsky und Urey<sup>(17)</sup> hatten ebenfalls einen Artikel publiziert dessen Inhalt zeigte, dass sie auch an Elektronenspin gedacht, aber gefunden hatten, dass es ein falsches Resultat für die Grösse des Dubletts ergab. Sie benutzten ein unrichtiges magnetisches Moment und sie waren sich selbstverständlich nicht des Thomas Faktor 2 bewusst.

Es ist sicher, dass manche Physiker vor Uhlenbeck und mir an Elektronenspin gedacht haben müssen. Aber zu unserem Glück kam bei uns die Idee gerade zu der Zeit auf, wo wir mit einer gründlichen Kenntnis der Atomstruktur und Spektren gesättigt waren, und gerade nachdem wir zu einem richtigen Verständnis des Wasserstoffspektrums gekommen waren und die relativistische Dublettaufspaltung erfassten. Deshalb waren wir in der Lage starkes Beweismaterial zur Unterstützung unserer Hypothese beizubringen.

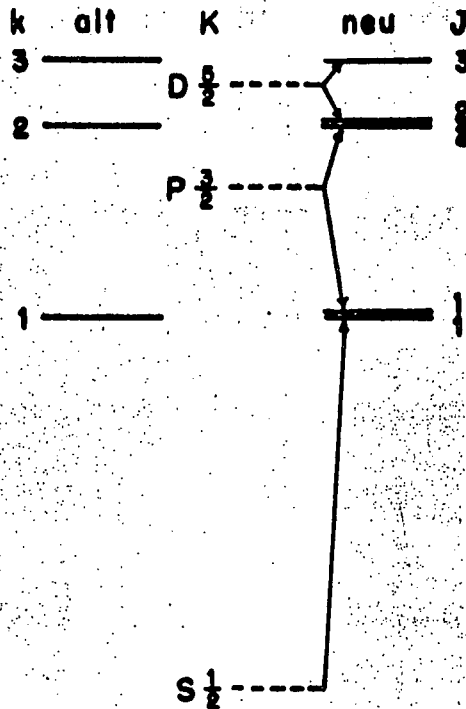
Das ist alles was ich Ihnen über die Entdeckung des Elektronenspins erzählen kann. Ich glaube noch immer, dass eine derartige Microgeschichtsschreibung nicht sehr wertvoll

ist. Vielleicht können Anfänger daraus lernen, dass man kein Genie zu sein braucht um einen Beitrag zur Physik zu liefern, obgleich es hilft. Jeder Beitrag, jede schöpferische Leistung gibt eine enorme Genugtuung. Ob es bedeutungsvoll ist, ist manchmal Glucksache und stellt sich oft, auch für den Autor, viel später erst heraus. Ich glaube, dass der Spin mit seinen weiten Verzweigungen in der Kernphysik, in der Physik der Elementarteilchen und sogar in der Technologie einen der hervorragendsten Fortschritte der modernen Physik darstellt. Ich möchte jedoch nicht versäumen hinzuzufügen, dass Uhlenbeck und ich sich 1925 der gewaltigen Bedeutung unserer Arbeit nicht bewusst waren. Ich bin überzeugt, dass die meisten Entdecker dieselbe Erfahrung machen.



LITERATUR

1. N. R. Hanson "The Concept of the Positron" und "Patterns of Discovery" (Cambridge University Press 1963 resp. 1958)
2. Martin J. Klein "Max Planck and the Beginnings of the Quantum Theory" Arch. for History of Exact. Sci. I, 459 (1962), "Planck, Entropy and Quanta 1901 - 1906" The Natural Philosopher I, 83, 1963
3. W. Pauli, Naturwiss. 12, 741 (1924)
4. S. A. Goudsmit, Phys. Today 14, 18 (1961)
5. F. Hund, Zeits. f. Phys. 42, 93 (1927)
6. D. M. Dennison, Proc. Roy. Sco. (London) A115, 483 (1927)
7. S. Goudsmit, Naturwiss. 9, 995 (1921) und Arch. Néerl. Sci. Ex. et Nat. IV, 116 (1922)
8. A. Landé, Zeits. f. Phys. 25, 46 (1924), R. A. Millikan und E. S. Bowen, Phys. Rev. 23, 764 (1924) und 24, 233 (1924)
9. S. Goudsmit, Zeits. f. Phys. 32, 794 (1925)
10. S. Goudsmit und G. E. Uhlenbeck, Physica 5, 266 (1925)
11. J. C. Slater, Proc. Nat. Acad. Sci. 11, 732, (1925)
12. G. E. Uhlenbeck und S. Goudsmit, Naturwiss. 13, 953 (1925)
13. G. E. Uhlenbeck und S. Goudsmit, Nature 117, 264 (1926)
14. L. H. Thomas, Nature 117, 514 (1926)
15. R. Kronig, Proc. Nat. Acad. Sci. 12, 328 (1926); Nature 117, 550 (1926)
16. In "Theoretical Physics in the Twentieth Century" (Memorial Volume to Pauli) Ed. V. F. Weisskopf und M. Fierz (Interscience Publ. New York 1960)
17. F. R. Bichowsky und H. C. Urey, Proc. Nat. Acad. Sci. 12, 801 (1926)



Figur 1. Vergleich zwischen "alter" (Sommerfeld) und "neuer" (Spin) Deutung des  $n=3$  Niveaus des Wasserstoffs. Heute benutzt man die Quantenzahlen  $l=k-1=K-\frac{1}{2}$  und  $j=J-\frac{1}{2}$ .