



I. Appenzeller
D. Dubbers
H.-G. Siebig
A. Winnacker
(Hrsg.)

HEIDELBERGER PHYSIKER BERICHTEN 1

Rückblicke auf Forschung
in der Physik und Astronomie

Wege zur modernen Physik



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
HEIDELBERG

Heidelberger Physiker berichten

1

Wege zur modernen Physik

Heidelberger Physiker berichten

Rückblicke auf Forschung
in der Physik und Astronomie

Herausgegeben von

Immo Appenzeller, Dirk Dubbers, Hans-Georg Siebig
und Albrecht Winnacker

Band 1

Wege zur modernen Physik



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
HEIDELBERG

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist unter der Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY-SA 4.0) veröffentlicht.

Texte © 2017. Das Copyright der Texte liegt beim jeweiligen Verfasser.

Die Online-Version dieser Publikation ist auf heiBOOKS, der E-Book-Plattform der Universitätsbibliothek Heidelberg, <http://books.ub.uni-heidelberg.de/heibooks>, dauerhaft frei verfügbar (Open Access).

urn: urn:nbn:de:bsz:16-heibooks-book-192-0

doi: 10.11588/heibooks.192.255

Umschlagbild: Das historische Gebäude Philosophenweg 12, das zwischen 1912 und 2012 das Physikalische Institut der Universität Heidelberg beherbergte. Foto: H. G. Siebig.

ISBN 978-3-946531-37-1 (Softcover)

ISBN 978-3-946531-36-4 (PDF)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Peter Brix	
<i>Erinnerungen an die Physik von 1945 bis 1970 – Göttingen, Ottawa, Heidelberg, Darmstadt</i>	9
Rudolf Fleischmann	
<i>Vom Atomkern bis zur Uranspaltung – Erfahrungen aus meinem Berufsleben</i>	35
Otto Haxel	
<i>Wie ich die Entstehung der Physik der Atomkerne erlebte</i>	63
Joachim Heintze	
<i>43 Jahre Elementarteilchenphysik</i>	101
Heinz Maier-Leibnitz	
<i>60 Jahre Forschung, Lehre und Forschung, Forschungspolitik</i>	141
Berthold Stech	
<i>Elementare Teilchen und Kräfte der Physik – Verständnis und Probleme gestern und heute</i>	169

Vorwort

Der vorliegende Band knüpft an eine lang zurückliegende Vortragsreihe an der Universität Heidelberg an, die unter dem Titel „Emeriti erinnern sich. Rückblicke auf die Lehre und Forschung in Heidelberg“ firmierte und von Otto M. Marx und Annett Moses im Verlag VCH herausgegeben wurde. Wichtige organisatorische Unterstützung erfuhr diese erste Vortragsreihe und ihre Publikation seinerzeit durch unseren Kollegen Gisbert zu Putlitz. In einem ersten Band, erschienen 1993, wurden Vorträge namhafter Kollegen aus der Medizinischen Fakultät festgehalten, in einem zweiten Band, der 1994 erschien, solche aus den Naturwissenschaftlichen Fakultäten. Gerade im Abstand so vieler Jahre wird der Wert eines derartigen Unterfangens deutlich. Die auf diese Weise festgehaltenen Erinnerungen halten zum einen ein persönliches Bild bedeutender Forscher und Lehrer unserer Universität fest, zugleich geben sie immer auch ein Stück Wissenschaftsgeschichte wieder. Es mag erstaunen, wie stark dieser Aspekt immer wieder hervortritt, wo doch die Arbeiten auch des bedeutendsten Wissenschaftlers immer nur einen begrenzten Sektor seiner Wissenschaft umfassen. Aber in der persönlichen Sicht auf sein Lebenswerk und dessen Einordnung spiegelt sich eben doch immer auch der Blick auf das Ganze. Beides, das Persönliche und das Historische, machen den Reiz dieser Erinnerungen aus.

Die Serie wurde etwa 10 Jahre später, in den Jahren 2006/2007, fortgesetzt mit weiteren 7 Vorträgen aus der Fakultät für Physik und Astronomie, die dann zwar gehalten, aber noch nicht gedruckt wurden. Dieser Umstand, wie auch die Überzeugung von der Sinnhaftigkeit des Gesamtunternehmens, haben uns, die Herausgeber aus der Fakultät für Physik und Astronomie, veranlasst, das Projekt wieder aufzugreifen und eine weitere Vortragsreihe, beginnend 2015, ins Leben zu rufen, in welcher emeritierte Kollegen unserer Fakultät über ihr Leben und ihr wissenschaftliches Lebenswerk berichten. Im Interesse einer Vollständigkeit aus der Sicht der Fakultät für Physik und Astronomie wurden in diesem vorliegenden

Vorwort

Band I mit der freundlichen Genehmigung der Wiley-VCH-Verlagsgesellschaft und von Frau Annett Moses noch einmal die schon in dem oben erwähnten Band „Die Naturwissenschaftlichen Fakultäten“ aus dem Jahr 1994 gedruckt vorliegenden sechs physikalischen Vorträge als Faksimile zusammengestellt. In einem Band II werden in der Folge die Vorträge der Jahre 2006/2007 präsentiert, die seinerzeit unter der Ägide des Kollegen Hans-Christian Schultz-Coulon gehalten, aber nicht abgedruckt wurden. Ein weiterer Band III wird die in jüngster Zeit, also in den Jahren 2015/2016 gehaltenen Vorträge enthalten. Es ist beabsichtigt, die Reihe 2017 fortzuführen, mit einem weiteren Band IV ist also zu rechnen.

Seit dem Erscheinen der ersten Bände in den 90iger Jahren des vorigen Jahrhunderts ist die technische Entwicklung wesentlich weitergegangen, neue Medien gestatten neue Formen der Dokumentation. In Zusammenarbeit mit der Universitätsbibliothek Heidelberg ist die Nutzung dieser Möglichkeiten vorgesehen. Der Inhalt der nun erscheinenden Bände liegt daher in digitaler Form vor, sie werden als „Book on Demand“ und im Internet zur Verfügung stehen. Wir danken an dieser Stelle Frau Maria Effinger, Herrn Jochen Apel, Herrn Frank Krabbes und Frau Daniela Jakob von der Universitätsbibliothek für ihre wertvolle Beratung und Unterstützung bei diesen Vorhaben. Frau Claudia Krämer aus dem Physikalischen Institut hat sich sehr verdient gemacht um die Erstellung der schriftlichen Fassungen der zunächst auf Video aufgenommenen Vorträge, besten Dank dafür!

Die Vorträge der Serie 2015/2016 (Band III) wurden nicht in einem großen Auditorium, sondern im Stil eines Teeseminars gehalten, an welchem Kollegen, Schüler und Zeitgenossen teilnahmen. Im Vordergrund stand nicht die Präsentation vor einem großen vorwiegend studentischen Publikum, sondern die Dokumentation. Man muss in dem darin liegenden Verzicht nicht unbedingt ein Zeichen der Zeit sehen. Schon im Vorwort des Bandes aus dem Jahr 1994 bemerkt Otto. M. Marx im Rückblick auf die Medizinischen Vorträge: „Obwohl wir keine große Zuhörerschaft – vor allem nicht unter den Studenten und auch unter den Vertretern

der Medizinischen Fakultät nur in sehr geringem Maße – erreicht hatten, so hatten wir doch den Zweck der Vortragsreihe erfüllt, und eine, wenn auch relativ kleine, aber treue Gruppe begleitete die Vorträge und die jeweils anschließende Diskussion mit großem Interesse.“ Welches aber ist dann der Zweck, den die Vortragsreihe und ihre Dokumentation erfüllen soll? Sie stellt erstens ein Stück der ruhmreichen Geschichte der Universität Heidelbergs dar, der ältesten und traditionsreichsten in Deutschland. Lehrreich ist sie aber auch, indem sie gewisse Merkmale erfolgreicher wissenschaftlicher Karrieren und damit des wissenschaftlichen Prozesses erkennen lässt. Er ist erstaunlich, wie sehr sich solche Karrieren ähneln. Verbindendes Merkmal scheint die Postdoktorandenzeit an einer exzellenten Universität im Ausland zu sein, offenbar ein wichtiger Schritt bei dem Bemühen, zu Eigenständigkeit und zu einem eigenen Weg in der Wissenschaft zu finden. Fast immer wird auch ein bedeutender Mentor hervorgehoben, in der Doktorandenzeit und häufig auch darüber hinaus. Dieser Gedanke ist heute vielfach in Zweifel gezogen, es heißt, dadurch würden Abhängigkeiten erzeugt, denen das System durch eine Objektivierung der Kriterien entgentreten müsse. Dabei wird aber übersehen, dass von diesem Mentor im zweiten Satz immer ausgesagt wird, dass er es verstand, prägend zu wirken und zugleich aber maximale Freiheit zu geben. Schließlich vernehmen wir in diesen Vorträgen manches über das historische Zustandekommen einer wissenschaftlichen Erkenntnis. Auch das ist verdienstvoll. Häufig ist der historische Weg nicht der, der sich später als folgerichtiger Gedankengang in den Lehrbüchern findet, sondern einer, der von Neugier und Intuition geleitet war. Die historische Sichtweise kommt der wissenschaftlichen Produktivität offenbar entgegen und kann für den Lernenden und Suchenden auch später noch ein Weg zu tieferem Verständnis sein. So hoffen die Herausgeber, dass das Projekt auch längerfristig eine Leser- und Zuhörerschaft finden möge, die daraus Gewinn zieht.

Heidelberg, im Januar 2017

Die Herausgeber

Peter Brix



Foto: A. Zschau, Nov. 1991

Peter Brix

Peter Brix wurde 1918 in Kappeln geboren. Er studierte Physik in Kiel, Rochester und Berlin. Nach dem Wehrdienst (1940-1944) war er wissenschaftlicher Assistent in Göttingen bei Hans Kopfermann. 1946 promovierte er bei Wilhelm Walcher über die photographische Wirkung mittelschneller Protonen. 1952 erhielt er die *Venia legendi* für Physik in Göttingen. Herr Brix war von 1952 bis 1953 als Postdoctorate Fellow am National Research Council of Canada bei Gerhard Herzberg. Von 1953 bis 1957 war er Privatdozent, dann Dozent für Physik am I. Physikalischen Institut der Universität Heidelberg.

Von 1957 bis 1972 war Herr Brix Professor und Direktor des Instituts für Technische Kernphysik der Technischen Hochschule Darmstadt; Rufe der Universitäten Freiburg, Karlsruhe, München und Bonn lehnte er ab. 1972 wurde er wissenschaftliches Mitglied und Mitglied des Direktorenkollegiums des Max-Planck-Instituts für Kernphysik in Heidelberg. 1976 verlieh ihm die Universität Heidelberg ein persönliches Ordinariat für Physik; 10 Jahre später wurde unser Referent emeritiert.

Die Arbeitsgebiete von Professor Brix umfassen u.a. die Bereiche Hyperfeinstruktur der Atomspektren, Größe und Form der Atomkerne, Kernradius-Differenzen von Isotopen, Kernphotoeffekt, Myonenatome, elastische und unelastische Elektronenstreuung an Atomkernen, Schwerionen-Physik, Reaktionen zwischen schweren Atomkernen.

Von seinen Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien seien hier die wissenschaftlichen Räte des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY und der Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI, der Beirat des Hahn-Meitner-Instituts, Beratergremien des Bundes, der DFG (auch als Vizepräsident) sowie der Lichtenberg-Gesellschaft genannt. Seit 1973 ist Herr Brix o. Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und seit 1975 der Leopoldina. Die Freie Universität Berlin verlieh ihm 1988 den *Dr.rer.nat.h.c.*

Erinnerungen an die Physik von 1945 bis 1970 - Göttingen, Ottawa, Heidelberg, Darmstadt

Vorbemerkung

Der relativ lange Vortrag wurde mit fast 50 Diapositiven ohne ausgearbeitetes Manuskript anhand ausführlicher Unterlagen gehalten. Der vorliegende Text ist nachträglich mit Hilfe des Tonbandprotokolls niedergeschrieben, dabei gestrafft und gelegentlich etwas ergänzt worden. Der Charakter des zwanglosen Vortrags wurde beibehalten. Änderungen gegenüber dem gesprochenen Wort waren schon wegen der weggelassenen Bilder unvermeidlich. Viele der im Videofilm dokumentierten Dias stammen aus den zitierten Veröffentlichungen, die den Zugang zu der hier nur knapp besprochenen Physik geben. Die unter (1) angegebene Literatur mag diese *Erinnerungen* ein wenig ergänzen.

Ich bin Schleswig-Holsteiner, aufgewachsen auf einer kleinen Bootswerft außerhalb einer kleinen Stadt (1). Da war nachts der Sternenhimmel noch in seiner vollen Pracht sichtbar. Auf der Schule liebte ich die Mathematik und saß in den Ferien über mathematischen Fragen. Ich wollte Astronom werden, wußte nicht, wie das anzustellen wäre, sah im kleinen Knaur-Lexikon nach, wo die berühmteste Sternwarte Deutschlands wäre: in Babelsberg. Ich schrieb an den Direktor und fragte, was ich tun könne. Und da hat er diesem Abiturienten oben im fernen Schleswig-Holstein einen eine Seite langen Brief geschrieben. (Das habe ich nie vergessen und mich später daran erinnert, wenn mir jemand so einen Brief schrieb und Rat haben wollte.) Er meinte, nicht Astronomie, sondern zunächst Physik solle ich studieren. Es gebe nur ganz wenige Stellen für Astronomen.

Nach dem Studium und vier Jahren Krieg kam ich im Frühjahr 1944, von Hans Kopfermann angefordert und zu meinem Glück aus der Wehrmacht entlassen, an das II. Physikalische Institut der Universität Göttingen. Ich kümmerte mich um das Praktikum, wobei nach jedem

Schluß wichtige Geräte vom 2. Stock in den Keller geschafft werden mußten wegen der Luftangriffgefahr. Außerdem sollte ich den Dampfdruck von Uran messen. Dabei kam nicht viel heraus.

Göttingen: 1945 bis 1952

Ich entsinne mich, wie der Krieg zu Ende ging und Samuel Goudsmit (Leiter der "ALSOS-Mission") mit Stahlhelm und Maschinenpistole ins Institut kam, aber das sind Erinnerungen, die verschwimmen. Ich wohnte im Institut, weil ich als Luftschutzwart eingeteilt war, in einem Raum des Praktikums im 2. Stock, in der "Wärme", wie wir diesen Raum nannten. Dort hinein habe ich auch geheiratet. Das Institut war bis zum Sommer 1945 besetzt. Mit meinem Amerikanisch war es kein Problem, mich mit den Posten zu unterhalten, ins Labor zu gehen und ein wenig nach dem Rechten zu sehen.

Der Neuanfang begann voller Dankbarkeit mit großem Engagement. Die Stadt war praktisch unzerstört, das Institut gut über die Runden gekommen. Ich erinnere mich an die erste Physiker-Tagung 1946, die vom 4. bis 6. Oktober in Göttingen im Auditorium maximum des Mathematischen Instituts stattfand. Der "Nestor der Deutschen Physik, Geheimrat Professor Max Planck", war dabei. Das lese ich jetzt ab aus einem kleinen Bericht, den ich damals für die Göttinger Universitätszeitung geschrieben habe, Nummer 19 vom 1. November 1946. Über 20 Vorträge gab es auf dieser Tagung. Prof. von Laue (Göttingen) wurde zum Vorsitzenden der neuen Deutschen Physikalischen Gesellschaft in der britischen Zone gewählt. Ein "ermutigendes Zeichen für den Wiederbeginn internationaler Fühlungnahme" war, daß von den drei ausländischen Gästen zwei sich der Mühe des Gebrauchs der deutschen Sprache unterzogen; das wurde von den deutschen Teilnehmern dankbar aufgenommen.

Die nächste Tagung im September 1947 erstreckte sich schon über drei Tage. Es berichteten z.B. O. Haxel und F.G. Houtermans (Göttingen) über *Koinzidenzen beim β -Zerfall und Zerfallskonstante des Rubidiums*, P. Brix und H. Kopfermann (Göttingen) zum *Isotopie-*

verschiebungseffekt der schweren Elemente, W. Paul (Göttingen) über *Versuche mit einer 6 MeV-Elektronenschleuder*. Mit "Elektronenschleuder" war das Betatron gemeint.

Das, was ich Ihnen bisher erzählt habe, waren aufgefrischte Erinnerungen, durch das Stöbern in alten Papieren wieder ins Gedächtnis gerufen. Nun möchte ich etwas von dem berichten, was in dem groben Sieb meines schlechten Gedächtnisses haften geblieben ist.

Was aus den Nachkriegsjahren im II. Physikalischen Institut der Universität Göttingen ist mir besonders deutlich in der Erinnerung geblieben? Zuerst weiterhin das Praktikum, für das ich mich stets engagiert habe. Ich war vor allem für die Elektrizität zuständig und arbeitete sorgfältige Anleitungen für jeden Versuch aus.

Zweitens die Aufstellung und Inbetriebnahme des Betatrons durch Hans Kopfermann, den Institutsdirektor, aber entscheidend durch Wolfgang Paul. Das Gerät mußte unter abenteuerlichen Umständen von Erlangen per Lastwagen ins Institut gebracht werden. Wir waren sehr stolz auf diesen Beschleuniger, der meistens "Zwille" genannt wurde.

Drittens erinnere ich mich lebhaft an den Schock, welchen die Nachricht von der "Lamb-Shift" auslöste, und die anschließende Aktivität im Institut. Dabei handelt es sich um folgendes: Das einfachste Atom ist das Wasserstoff-Atom. Dessen Spektrum galt als exakt beschrieben durch die Sommerfeld-Diracsche Theorie. Zwei Spektroskopiker argwöhnten jedoch 1938, daß etwas nicht stimmen würde an der Aufspaltung, der Feinstruktur, der roten Wasserstoff-Linie. Nach dem Krieg (1947) zeigten Lamb und Retherford in den USA durch ein großartiges Experiment, daß diese Feinstruktur in der Tat durch den dann "Lamb-Shift" genannten Effekt modifiziert werden muß. Für mich (und andere) war es ein entscheidendes Erlebnis, daß eine scheinbar fest etablierte Theorie zusammenbrach. Kopfermann hat das besonders bewegt, denn er hatte vor dem Krieg in einer Dissertation genau die erwähnte Wasserstoff-Feinstruktur messen lassen. Deshalb startete er sofort ein Programm, die Feinstruktur einer Linie des wasserstoffähnlichen He^+ -Ions zu untersuchen, wo die Linien schmaler sind als beim Wasserstoff. Die Lamb-Verschiebung war da (2)! Das ist ein

gutes Beispiel dafür, daß manchmal bereits mit vorhandenen Mitteln etwas ganz Neues gefunden werden kann, wenn nur dem richtigen Argwohn nachgegangen wird.

Als viertes möchte ich die außerordentlich intensive Seminararbeit erwähnen. Kopfermann ließ das, was er wissenschaftlich im Institut ansiedeln wollte und was neu aus den USA herüberkam, in wöchentlichen Seminaren durcharbeiten. Dabei wurde jeder Vortrag mindestens dreimal geprobt, bevor er im Seminar gehalten wurde: zuerst mit dem Assistenten, dann verbessert noch einmal mit diesem. Danach kam Kopfermann hinzu. Es wurde nicht nur auf das Didaktische geachtet und daß die Zeit stimmte, sondern vor allem, ob die Physik restlos verstanden war. Anschließend wurden die Vorträge schriftlich ausgearbeitet. Ich habe noch das Heft *Seminar über Kernquadrupolmomente* mit acht Vorträgen vom Wintersemester 1949/50. Nur einer ist namentlich gezeichnet, nämlich der über *Kernquadrupolfrequenzen im festen Dichloräthylen* von Hans-Georg Dehmelt und Hubert Krüger. Deren Entdeckung dieser reinen Quadrupolresonanzen, 1949 in Göttingen war eine große Leistung und ein Erfolg, der den Autoren und dem Institut internationale Anerkennung einbrachte. Auch Wolfgang Paul erwähnt gerne, daß manche gedankliche Grundlage für seine elektromagnetischen Käfige für geladene und neutrale Teilchen - und damit für seinen Nobelpreis - aus den Göttinger Seminaren stammt.

Jetzt will ich bei meinen Leisten bleiben. Abbildung 1 zeigt die erste Eintragung ins Protokollheft für meine Doktorarbeit, die ich bei Wilhelm Walcher anfertigen durfte. Man sieht die Skizze einer Glas-Apparatur mit einem "MacLeod" zum Vakuum-Messen. Herzstück war ein Thomsonscher Parabel-Spektrograph, der Protonen (von etwa 10 keV) durch ein elektrisches und magnetisches Feld ablenkte. Bei B wurde eine Photoplatte hineingebracht; meine Aufgabe bestand darin, die Abhängigkeit der Schwärzung von Intensität und Energie der Protonen zu messen und zu deuten. Die ganze Apparatur stellte Walcher mir von einem Vorgänger zur Verfügung (3).

Lebenswichtig waren die Heizplatte der Pumpe P1 und ein Paar glücklicherweise aufgetriebene Asbest-Handschuhe. Meine Frau half stets bei den Experimenten. Anschließend konnten wir die noch heiße Heizplatte zwei Stockwerke höher tragen, um unser Essen zu kochen. Mit dem neuen Geld nach der Währungsreform kauften wir uns als erstes eine eigene Kochplatte. Die war recht primitiv, längst nicht so solide wie die von der Pumpe.

Das Schema meiner späteren, selbst zusammengeblasenen Glas-Apparatur mit einer Hohlkathode als Lichtquelle für die Hyperfein-Spektroskopie war ähnlich wie in Abb. 1. Leider besitze ich kein Photo davon. Das ist wohl auch im Leben so: Man photographiert zu selten den Alltag. Deshalb rate ich den jungen Zuhörern: Photographieren Sie die Versuchsanordnungen Ihrer Diplom- und Doktorarbeiten! Das wird Sie später freuen. An der Apparatur von Abb. 1 hat später mein erster Diplomand, Hans-Georg Dehmelt, seine Diplomarbeit gemacht (4). Als er 40 Jahre später den Nobelpreis bekam, lud er meine Frau und mich zu unserer großen Freude zur Preisverleihung nach Stockholm ein. Bei der Auswahl des ersten Diplomanden kann man nicht sorgfältig genug sein!

Nach der Promotion bot mir Kopfermann an, in dasjenige Gebiet einzusteigen, auf dem er international angesehener Experte war: das Studium "hyperfeiner" Aufspaltungen von Spektrallinien der Atome. Sie rühren her sowohl vom Magnetismus der Atomkerne als auch von den verschiedenen Massen oder winzigen Unterschieden in den Kernradien der Isotope ("Isotopieverschiebung"). Damit begann meine lebenslange Liebe zur Spektroskopie und gleichzeitig die bis heute fortdauernde Neugierde, Größe und Form der Atomkerne kennenzulernen.

Ich begann mit gründlichen Messungen am Samarium, für das Hermann Schüler und Theodor Schmidt 1934 einen "Sprung" in der Isotopieverschiebung zwischen den Massenzahlen 150 und 152 bemerkt hatten. Es zeigte sich, daß dieser Sprung quantitativ beschrieben werden konnte durch die Annahme, daß die betreffenden Samarium-Kerne unterschiedlich stark (zitronenförmig) deformiert waren, und zwar gerade so, wie dies für die jeweils um ein Proton größeren Europium-Kerne 151 und 153 aus den von Schüler und Schmidt gemessenen

Kernquadrupolmomenten zu entnehmen war. (Diese im Vortrag anhand von Bildern erläuterten umfangreichen Messungen und recht umständlichen Überlegungen können hier übersprungen werden, denn sie sind von mir in (7) ausführlich, auch im historischen Zusammenhang, dargestellt worden.)

Die überraschende Entdeckung der "intrinsichen" Kerndeformationen, d.h. die Erkenntnis, daß Atomkerne mit Kernspin null, denen quantenmechanisch wegen des fehlenden Drehimpulses eine kugelsymmetrische Ladungsverteilung zukommt, dennoch eine nicht kugelförmige Gestalt haben können, fand zunächst kaum Zustimmung. Der Göttinger Theoretiker Richard Becker hat wohl nie daran geglaubt. Aber da war Kopfermann wirklich gut. Ich entsinne mich, daß er (fast wörtlich) sagte: "Brix, machen Sie sich nichts daraus; der Becker ist viel zu klug, der versteht das nicht." In diesem Satz steckt eine Weisheit. Wenn man sehr viel weiß, glaubt man oft gar nicht an das ungewöhnliche Neue.

Allmählich wurden wir anerkannt, z.B. durch Carl Friedrich von Weizsäcker, der damals in Göttingen war. Er brachte das Beispiel, daß ein Elefant in einem S-Zustand, also ohne Drehimpuls, zwar kugelsymmetrisch sei, aber trotzdem ein Elefant bleibe. Viel später, 1985, fragte ich v. Weizsäcker, ob er sich daran erinnern könne. Er sagte sofort, daran erinnere er sich genau, aber das Beispiel stamme von Heisenberg.

In Deutschland griff seinerzeit kein Theoretiker die neue Idee von intrinsichen Kerndeformationen auf. Sehr schnell war jedoch Aage Bohr, Sohn von Niels Bohr, daran interessiert. Kopfermann trug 1948 in Kopenhagen über unsere Überlegungen vor, die wir zuerst 1947 in einer Mitteilung der Göttinger Akademie versteckt hatten (5). Die ausführliche Veröffentlichung *Zur Isotopieverschiebung im Spektrum des Samariums* (6) ging am 8. Februar 1949 bei der *Zeitschrift für Physik* ein. Ich habe noch einen vier Seiten langen Brief, den Aage Bohr am 4. Januar 1949 an Kopfermann schrieb, in dem er unsere theoretischen Abschätzungen ergänzt hatte und uns durch sein Interesse ermutigte. Vier Tage nach dem Einreichen bei der *Z. Physik* schickten wir A. Bohr eine Kopie an die Columbia University in New York. Er hat

dann entscheidende weiterführende Überlegungen angestellt und 1951 darauf hingewiesen, daß die von uns benutzten spektroskopischen Quadrupolmomente der Europium-Isotope sich um einen erheblichen (vom Kernspin abhängigen) Faktor von den intrinsischen unterscheiden. Das hatten wir nicht bedacht, aber "glücklicherweise" wurde dieser Fehler bei unserer Abschätzung von anderen Unsicherheiten teilweise kompensiert (7).

Nachträglich betrachtet, war es ein unverzeihliches Versäumnis, den Fingerzeig auf die Deformationen von Atomkernen mit geraden Protonen- und Neutronenzahlen im Gebiet der Seltenen Erden nicht ernst genug genommen und bis zu den Kern-Rotationsspektren konsequent weitergedacht zu haben: ein Lehrstück! Kopfermann und ich konzentrierten uns völlig darauf, die Systematik des Isotopieverschiebungseffekts in Abhängigkeit von der Protonen- und Neutronenzahl zu studieren. Für eine Festschrift zur Feier des 200jährigen Bestehens der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen (8) wertete ich die Kernradius-Änderungen für Isotope von 19 schweren Elementen aus und stellte sie in einem Diagramm als Funktion der Neutronenzahl dar. Das war zunächst in der "Festschrift" vergraben. Nicht einmal der von meiner Frau und mir erhoffte Effekt trat ein, daß wir zum Fest eingeladen würden, zur ersten feierlichen Veranstaltung an der Universität nach dem Kriege, in Anwesenheit des Bundespräsidenten Heuss. Darauf hatten wir beide uns nach all der Auswerte-Arbeit gefreut. Erst die Publikation einer kurzen Zusammenfassung der Isotopieverschiebungssystematik in den *Physical Reviews* 1952 (10) wurde beachtet und zitiert. Das mit der "Festschrift" war keine so gute Idee gewesen.

Für den Springer-Verlag hatte ich (mit meiner Frau zusammen) die mühselige Aufgabe übernommen, sämtliche bis dahin überhaupt gemessenen Hyperfeinstrukturen der Atomterme und Atomlinien für die nach dem Krieg neu erscheinende sechste Auflage des "Landolt-Börnstein" zusammenzutragen (66 Seiten voll mit Tabellen und Literaturzitate, erschienen 1952). Dadurch bekam ich einen hervorragenden Überblick und merkte z.B., daß die publizierte Deutung der Hyperfeinstruktur der Silber-Resonanzlinien falsch sein mußte. Beide Silber-Isotope 107 und 109 haben den Kernspin $\frac{1}{2}$, und beide sind un-

gefähr gleich häufig. Von den beobachteten 4 Hyperfein-Komponenten waren die beiden äußeren dem 109, die inneren dem 107 zugeordnet worden. Das bedeutete ein etwa doppelt so großes magnetisches Kernmoment des 109, verglichen mit 107, und praktisch keine Isotopieverschiebung. Letzteres widersprach aber der Systematik.

Mein Doktorvater Walcher betrieb im Institut einen Massen-Trennspektrographen, an dem auch meine Frau lange gearbeitet hatte. Walcher hat gleich die Ag-Isotope getrennt; sechs Stunden Betrieb ergaben bereits 100 Mikrogramm. Zwei Hohlkathoden wurden mit den getrennten Isotopen beschickt und siehe da: Die Fabry-Perot-Aufnahmen enthüllten sofort die falsche Zuordnung. Nicht die Komponenten Nr. 1 + 4 sowie 2 + 3 gehörten zusammen, sondern 1 + 3 sowie 2 + 4, wie vermutet (9). Das Schöne war, daß die genauen Wellenzahl-Differenzen gerade sorgfältig mit einem aufwendigen Atomstrahl-Experiment in Kanada vermessen worden waren. Diese Präzisionsmessung konnten wir mitbenutzen, brauchten sie nur richtig zu interpretieren. Die Kernmomente der Kanadier waren damit überholt. Das gab, ich gestehe es, eine vergnügliche Publikation.

Damit endet diese Geschichte jedoch nicht. Einer der kanadischen Autoren war A.L. Schawlow, der 1981 den Nobelpreis für die Entwicklung der Laser-Spektroskopie erhielt. Warum haben wir denn damals in Göttingen (oder später in Heidelberg) den Laser nicht erfunden? Man darf ruhig sagen, weil die Amerikaner schlauer waren. Dennoch steckt vielleicht ein wenig mehr dahinter. In Deutschland begann man nämlich, die Atomphysik zu vernachlässigen; sie wurde als weitgehend identisch mit der Spektroskopie freier Atome angesehen, und die galt als abgegrast. Drastisch ausgedrückt: Atomphysiker bekamen das Image von unmodern gewordenen Wissenschaftlern. Als die jungen, dynamischen galten Anfang der 50er Jahre die Kernphysiker (später wurden es die Hochenergiephysiker). Auch Kopfermann war im Grunde seines Herzens Kernphysiker. Sein Interesse galt den Kernmomenten. *Kernmomente* ist auch der Titel seiner berühmten Monographie (1940, 1956).

In seiner Vorlesung ließ Kopfermann das Kapitel *Absorption, Emission, Dispersion* mit den Einsteinschen Beziehungen nie aus. Darin

stecken die Grundlagen für die Physik des Lasers, und die haben wir, seine Schüler, frühzeitig gelernt. Vermutlich schielten wir alle damals zu sehr nach der Kernphysik. Jüngere mögen jetzt daraus lernen.

Zurück in die glücklichen Jahre meiner Hyperfeinstruktur-Forschung. Bereits 1948, besonders 1950, zeigte uns die Isotopieverschiebung schwerer Elemente, daß es im Atomkern so etwas wie Neutronenschalen gab und daß bei der "magischen" Neutronenzahl 82 die Änderung der Kernradien sprunghaft zunahm. Nun waren wir sehr neugierig, ob ein ähnlicher Sprung auch bei der magischen Neutronenzahl 126 auftrat. Beim Blei-Isotop 208 ist die Neutronenschale mit 126 Neutronen abgeschlossen. Das nächste gerade Blei-Isotop 210, ist radioaktiv mit 22 Jahren Halbwertszeit (die alte radiochemische Bezeichnung lautet RaD). Zusammen mit Fritz Houtermans und Haro von Buttlar, welche sich um die radioaktive Präparation kümmerten, wurde eine Hohlkathode mit etwa einem Mikrogramm Blei-Isotop 210 beschickt. Das reichte aus für acht interferometrische Aufnahmen. Der Sprung war da! Den Rest des Präparats brauchten wir nicht mehr (11).

Mit dem Entwickeln der Photoplatten mit Interferometer-Aufnahmen in der Dunkelkammer verbindet sich meine intensivste Erinnerung an die optische Spektroskopie. Da war man mit sich ganz allein, wartete, bis die Platte entwickelt war, mußte die Neugierde bezähmen, bis sie lange genug im Fixierbad gelegen hatte. Dann wurde kurz gespült. Gegen das Dunkelkammerlicht gehalten, verriet die Platte das Ergebnis: Die Linie vom Blei-Isotop 210 war darauf, der Sprung vermutlich vorhanden! Bei den Silber-Isotopen war es ähnlich. In diesen Augenblicken wußte ich als erster etwas, was niemand sonst wußte. Jetzt wirst du bald eine Zahl auswerten, dachte ich, die nicht unbedingt besonders weltbewegend sein muß, die aber ganz, ganz neu ist - vielleicht im ganzen Universum noch niemals gemessen wurde. Die Atomkerne, fundamentale Bausteine der Welt, haben ja überall dieselben Eigenschaften. Wie aufregend!

Kopfermann war genauso neugierig. Manchmal stand er schon vor der Dunkelkammertür, klopfte und fragte: "Brix, kann man schon etwas sehen?" Die Belichtungen mußten meistens nachts gemacht werden, weil dann alles stabiler war. Dann kam er morgens zu unserem Zim-

mer im Institut. Meine Frau schirmte mich ab nach der durcharbeiteten Nacht, und Kopfermann wollte dann von ihr wissen: "Hat Ihr Mann etwas über das Ergebnis gesagt?" Ich erzähle das im ganz positiven Sinn. Kopfermanns Neugierde, sein Interesse an den neuesten Messungen im Institut war entscheidend für die Begeisterung, die uns damals beseelt hat. Alle wußten: Das interessiert den Chef. Darin lag anspornende Anerkennung.

Ottawa: 1952 bis 1953

Nach der Habilitation 1952 bekam ich als Postdoctorate Fellow des National Research Council of Canada die Möglichkeit, für ein menschlich und wissenschaftlich sehr anregendes Jahr zu Gerhard Herzberg nach Ottawa zu gehen. Herzberg war (und ist) der große Meister der Molekülspektroskopie; 1971 wurde ihm der Nobelpreis für Chemie verliehen. Herzberg (geboren 1904) hatte in Darmstadt studiert. Als er dort 1928 promoviert wurde, wies sein Schriftenverzeichnis bereits 12 Publikationen auf. Nach 1933 wurde das Leben in Deutschland für ihn und seine Frau zunehmend unerträglich; sie mußten 1935 emigrieren. In Saskatoon, wo es im Winter bitterkalt war, schrieb er seine berühmten Bücher über Molekülspektren und Molekülstruktur; 1948 nahm der den Ruf nach Ottawa an.

Bei Herzberg habe ich in einer wichtigen Lebensphase sehr viel gelernt. Molekülspektren sind noch komplizierter als Atomspektren Seltener Erden, die mich in Göttingen beschäftigt hatten. Meine Aufgabe war, die im Ultravioletten liegenden sogenannten Schumann-Runge-Banden des zweiatomigen Sauerstoffmoleküls neu zu vermessen und zu analysieren. Das führte zu einer Neubestimmung der wichtigen Dissoziationsenergie dieses Moleküls. Es stellte sich heraus, daß der bisherige Wert um 0,6 % falsch war (12).

An Herzberg bewundere ich seine Bescheidenheit und die souveräne Beherrschung seines Faches bis ins hohe Alter. Seine lebenslange Erfahrung gibt ihm einen untrüglichen Blick für die Deutung neu entdeckter Spektren, z.B. im Licht von Kometen.

Die Sorgfalt der Spektroskopiker hatte ich bereits bei Kopfermann gelernt. Als Meßfehler gaben wir stets den dreifachen statistischen Fehler an, im Sinne einer "Fehlergrenze". Wenn man ein Jahr lang an jedem Tag eine Messung macht, liegen die wahren Werte im Mittel nur an einem Tag außerhalb dieser "Fehlergrenze". Das erschien angemessen, war dennoch unklug. Weil nämlich andere Autoren in der Regel den einfachen Fehler angaben, wurden unsere Daten bei Zusammenstellungen so gewichtet, als ob sie ganz ungenau wären. Es hat mich später Überwindung gekostet, meinen Mitarbeitern zu folgen und zuzustimmen, daß auch wir einfache statistische Fehler angaben. Man muß das allerdings immer dazuschreiben.

In Ottawa mußte ich wegen einer Pilzerkrankung an den Händen fast während des ganzen Jahres weiße Handschuhe tragen. Meine Frau kochte sie täglich in großen Konservendosen aus. Diese Infektion behinderte meine Dunkelkammer-Arbeit. Als Gregory Breit, ein berühmter Theoretiker und Pionier in der Deutung der Isotopieverschiebung, mich zu einem Vortrag an die Yale-Universität einlud, bekam ich kein Visum, weil ich keine Fingerabdrücke hatte. Später konnte ich den Besuch nachholen, leider nicht den Vortrag.

Bei Herzberg bestand die Gruppe damals aus etwa 10 Leuten. Regelmäßig gab es einen Anschlag: "There will be a meeting in the director's office at 2 o'clock this afternoon" (meistens dienstags). Dort guckte Herzberg in die Runde und sagte z.B.: "Brix, what have you been doing lately?" Dann mußte man erzählen. Weil man nie wußte, wer dran kam, gab man sich vor jedem Dienstag Rechenschaft über den Stand der eigenen Arbeit und erfuhr, was die anderen taten.

Heidelberg: 1953 bis 1957

Im Herbst 1953 kamen meine Frau und ich nach Deutschland zurück und reisten direkt nach Heidelberg, wohin Kopfermann inzwischen einen Ruf angenommen hatte (13). Ich schlug gleich vor, im Institut ähnliche wöchentliche Treffen wie bei Herzberg als "Palaver" einzurichten. Das Erzählen ohne Vorwarnung bürgerte sich jedoch nicht

ein. Kopfermann ging vorher zu den Mitarbeitern und sagte: "Sie reden beim nächsten Mal, aber sagen Sie nicht dem Brix, daß Sie das schon wissen." (Auch später in Darmstadt gab es ganz stur jede Woche ein "Palaver").

In Heidelberg kümmerte ich mich zuerst um das Praktikum. Dann gehörte die Erneuerung der Elektro-Installation zu meinen Aufgaben. Da wurden wohl viel zu dicke Kupferleitungen verlegt. Die Entwicklung der Elektronik war noch nicht abzusehen. Ich durfte leider nur ein knappes Jahr in Kanada bleiben, weil ich das von Kopfermann bestellte 35 MeV-Betatron betreuen sollte. Das wurde jedoch erst Anfang 1956 geliefert. Kopfermann wollte ursprünglich Kernradien messen, durch elastische Elektronenstreuung. Darüber war die Entwicklung hinweggegangen. So konzentrierte sich die "Schleudergruppe", die aus begeisterten Mitarbeitern und Studenten bestand, auf den Kernphotoeffekt, d.h. Kernreaktionen mit energiereicher Gammastrahlung.

Inzwischen zum Diätendozent ernannt, nutze ich die Heidelberger Zeit, um mir eigene Spezialvorlesungen auszudenken. Ein Höhepunkt, an den ich mich besonders erinnere, war Kopfermanns 60. Geburtstag am 26. April 1955. Zu der Festveranstaltung (Abb. 2) kamen viele hoch angesehene Gäste aus dem In- und Ausland (die Zu- und Absagekarten habe ich noch). Für uns Jüngere markierte dies Erlebnis die Wiedereinbindung des Heidelberger Physikalischen Instituts in die internationale Welt der Wissenschaft. Bei der Verabschiedung des Werkmeisters Otto Gegusch 1957 feierte das Institut ein großes Fest mit Aufführungen und einer Oper. Auch die Erinnerung an dieses fröhliche "Festival" ist geblieben.

Darmstadt: 1956 bis 1970

Im Oktober 1956 erhielt ich einen Ruf auf das neue Ordinariat für Technische Kernphysik an der Technischen Hochschule Darmstadt (THD). Ein Institut gab es noch nicht. J.H.D. Jensen sagte damals: "Soll man gratulieren oder kondolieren?" Dann erzählte er die Ge-

Die Universität,
das Max-Planck-Institut für med. Forschung und
die Akademie der Wissenschaften Heidelberg

veranstalten anlässlich des 60. Geburtstages von Hans Kopfermann im großen Hörsaal des Physikalischen Institutes, Heidelberg, Philosophenweg 12, die folgenden Vorträge:

26. 4. 55, 17.15 Uhr: W. Walcher (Marburg). Eröffnung und Überreichung des Festeftes.

G. Placzek (Princeton).
Kristalldynamik und Neutronenstreuung.

27. 4. 55, 10.15 und 15.15 Uhr:

A. Bohr (Kopenhagen). Über neuere Arbeiten aus dem Kopenhagener Institut für Theoretische Physik

H. M. Foley (z. Zt. Oxford). Hyperfine spectra of diatomic molecules.

W. A. Fowler (z. Zt. Cambridge). Energy generation and element synthesis in stars.

D. Frisch (z. Zt. Oxford). Induced magnetic dipole transitions within protons and neutrons.

H. Halban (Oxford). Kernorientierung bei tiefen Temperaturen.

W. Paul (Bonn). Fokussierung polarer Moleküle.

N. Ramsey (z. Zt. Oxford). Thema noch nicht bekannt.

P. Scherrer, (Zürich). Neuere Experimente über Richtungskorrelation und Supraleitung.

Abb. 2: Einladung zum festlichen Kolloquium anlässlich des 60. Geburtstags von Hans Kopfermann.

schichte von dem, der ins Hessische ging und dort verkam. Das war natürlich keine Ermutigung.

Die THD wollte damals nördlich von Darmstadt in einem herrlichen Buchenwald bei Bayers Eich auf einem 27 ha großen Gelände einen Kernreaktor bauen. Es existierte bereits eine Entwurfszeichnung mit Abwasserbecken, Stollen, Chemielabor usw. Ein Ausschuß "Kernenergie" der THD, dem die Professoren Frühauf, Jaroschek, Klöppel, Kogon, Kohlschütter, Krischer, Neufert, Oppelt, Scherzer und Wiegand angehörten, beschloß am 17.12.1956 auf einer Sitzung, zu der ich als Gast geladen war:

1. Es ist alles zu tun, um das im Senatsbeschluß vom 16.5.1956 vorgesehene Reaktorgelände ostwärts Bayers Eich für den vorgesehenen Zweck baureif zu machen.
2. Nach Abschluß der Berufungsverhandlungen wird Herr Dr. Brix die Verantwortung für die Planung und den Bau des Reaktors übernehmen. Bis dahin wird der Ausschuß alle Arbeiten unter Hinzuziehung des Rates von Herrn Brix wie bisher weiter verfolgen. Die Verpflichtung von Herrn Brix geht bei Berufung eines Ordinarius für Reaktortechnik auf diesen über.
3. Der Ausschuß ist der Meinung, daß außerdem ein Extraordinariat für theoretische Kernphysik vor der Ernennung von Herrn Dr. Brix vom Ministerium zugesichert werden muß.

Als technisches Personal waren zunächst nur ein Oberwerkmeister und zwei Handwerker vorgesehen. Die mir zuge dachte Aufgabe konnte und wollte ich nicht übernehmen. Inzwischen gab es bereits ein Reaktorzentrum in München, Karlsruhe und Jülich. Dagegen war ich davon überzeugt, daß es wichtig wäre, an der THD im Hochschulbereich in enger Nachbarschaft zu den anderen Physikern ein Institut für Kernphysik aufzubauen. Dieses aktuelle Gebiet der Physik war noch gar nicht vertreten. Vorlesungen und ein modernes Praktikum über *Kernstrahlung und Strahlenschutz* erschienen mir notwendig. Es bedurfte intensiver Verhandlungen: Nach gut einem halben Jahr hatte ich Hochschule und Ministerium davon überzeugt, daß ein Lehrstuhl für Reaktortechnik an die Fakultät für Maschinenbau kommen und ich die

Kernphysik in Lehre und Grundlagenforschung vertreten sollte. Am 1. August 1957 unterschrieb ich die Berufungsvereinbarung; meinen Dienst trat ich am 1. Oktober 1957 an.

Es war kein Beginn bei null, sondern bei minus drei (wie ich oft sagte). Das vorgesehene Baugelände an der Schloßgartenstraße war nämlich noch gar nicht frei. Es standen Ruinen darauf von der furchtbaren Bombardierung Darmstadts. Auch ein noch bewohnbares Haus mußte unglücklicherweise abgebrochen werden. Während der ersten Jahre zogen meine Mitarbeiter und ich von einem Provisorium in das nächste um. Wenn man noch kein Institut hat, muß man versuchen, woanders zu forschen. Damals überlegten wir zwei Alternativen: Myonen-Atome oder Mößbauer-Effekt. Letzterer war gerade entdeckt worden. Durch Heinz Maier-Leibnitz, den ich regelmäßig im Frühjahr in Arosa traf, wußte ich gut über Rudolf Mößbauers Entdeckung und die Ideen von Maier-Leibnitz Bescheid. Wir meinten jedoch in Darmstadt, daß wir den Vorsprung von zwei bis drei Jahren, den andere hatten, nicht würden aufholen können. Das war viel zu kleinmütig.

Unsere Wahl fiel also darauf, am CERN myonische Röntgenstrahlung zu untersuchen, um mit dieser neuen Methode Radien von Atomkernen zu messen. Die Darmstädter waren die erste deutsche Besuchergruppe am CERN. Allerdings waren wir nicht gerne gesehen. Die Elementarteilchen-Physiker fanden es dämlich ("stupid"), komplexe Atomkerne zu studieren. Deswegen mußte ich meine Energie und Zeit hauptsächlich darauf verwenden, das Überleben der Gruppe zu sichern. Ohne die Hilfe von Wolfgang Gentner und später Victor Weisskopf wäre das nicht gegangen.

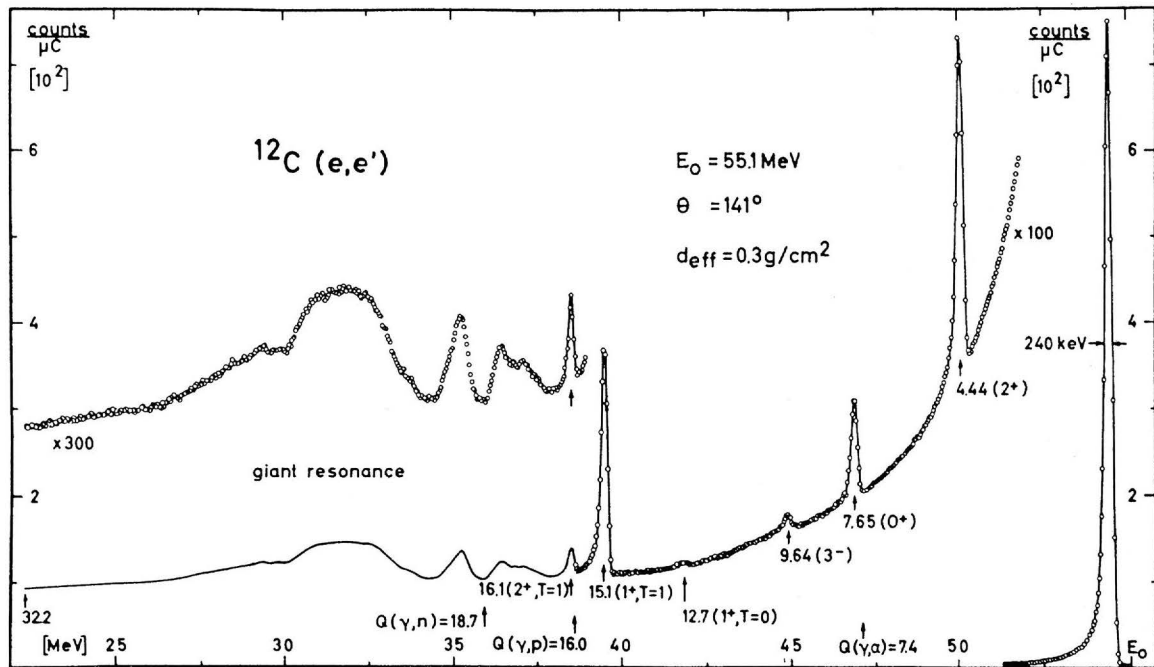
Die Faszination über die an vielen Elementen zum ersten Mal gemessenen myonischen Röntgenlinien und die daraus ausgewerteten Kernradien (14) ist mir in lebhafter Erinnerung. Für uns in Darmstadt war es entscheidend wichtig, am CERN moderne Experimentiertechnik zu lernen. Kollegen und Mitarbeiter haben noch viele weitere Jahre von Darmstadt aus am CERN geforscht. (Hinsichtlich des Einschubs über Größe und Form von Atomkernen, der im Vortrag mit Bildern illustriert wurde, sei auf (7) und (18) verwiesen.)

Zentrales Forschungsgerät des Instituts in Darmstadt wurde der von uns DALINAC genannte 60 MeV Elektronen-Linearbeschleuniger. Ende der 50er Jahre hatten sich fast alle Kernphysik-Institute in Deutschland für Tandem-van-de-Graaffs entschieden, um Protonen und schwerere Ionen zu beschleunigen. Experimente mit energiereichen Elektronen sind mühsamer, aber viel besser zu interpretieren, weil Elektronen den Kern sanfter "anpacken". Ursprünglich wollte ich ein Betatron anschaffen. Aber Heinz Lindenberger, der als mein engster Mitarbeiter von Heidelberg aus nach Saskatoon ging, besuchte auf meinen Wunsch Stanford und schrieb mir am 1.7.1957: "Wenn Sie das Geld irgendwie zusammenkratzen können, würde ich das Betatron ganz sausen lassen und gleich einen Linearbeschleuniger kaufen, man hat auf Dauer bestimmt mehr davon." Diesen äußerst klugen Ratsschlag habe ich befolgt.

Weihnachten 1957 war ich von Robert Hofstadter zu einer Konferenz nach Stanford eingeladen, sah dort bei Carl Barber die ersten Spektren von Kernanregungen durch Elektronen mit einem 40 MeV-Linac. Friedrich Gudden und anschließend Gerhard Fricke durften von Darmstadt aus jeweils ein Jahr bei Barber arbeiten und lernen. Der Liefervertrag über eine 60 MeV-Maschine wurde im Juni 1960 mit der Firma Varian in Palo Alto abgeschlossen. Ich war immer stolz darauf, daß der DALINAC "nur" 985.000 DM gekostet hat: ein Heidengeld, aber andere Beschleuniger in Deutschland waren viel teurer.

Der 6 m lange Beschleuniger kam im Januar 1962 in einem Stück mit einem Großraum-Flugzeug in Frankfurt an. Im Juli 1964 konnte über erste Experimente berichtet werden (15, 16). Abbildung 3 zeigt, wie schön die Anregungszustände eines Atomkerns (hier das Kohlenstoff-Isotop 12) durch unelastische Elektronenstreuung bei relativ niedriger Energie studiert werden können (17). Mit solchen Messungen waren wir weltweit ohne Konkurrenz. Übrigens sind die beiden niedrigsten Niveaus des C^{12} wichtig für die Elementsynthese in Sternen (18).

Das kernphysikalisch aufregendste Erlebnis meiner Darmstädter Zeit war die Entdeckung der Form-Schwingung der Atomkerne 1971 durch meine Mitarbeiter Rainer Pitthan und Thomas Walcher (19). Der Fachausdruck lautet "elektrische Quadrupol-Riesenresonanz".



Besonderen Spaß hatte ich an einer gemeinsam mit Stefan Hüfner, Paul Kienle und Dieter Quitmann publizierten Arbeit, in der meine alten Samarium-Messungen von Nutzen waren, um die winzige Änderung eines Kernradius bei Kernanregung auszuwerten (20). Es handelte sich um Mößbauer-Experimente, die inzwischen durch Kienle im Institut angesiedelt worden waren. Wenn man sich das betreffende Atom auf einen Kilometer Durchmesser vergrößert vorstellte, war der Atomkern so groß wie eine Zitrone, und die erwähnte Radius-Änderung betrug nur einige hundertstel Millimeter. Etwas so Kleines genau messen zu können, hat mich stets begeistert.

Ende der 60er Jahre (seit 1966) überlegten sich Kernphysiker an den hessischen Hochschulen Darmstadt, Frankfurt und Marburg die Zukunft unseres Faches. Nach manchem Hin und Her gelang es zu erreichen, daß Christoph Schmelzer seinen, seit 1960 in Heidelberg entwickelten Schwerionen-Beschleuniger Unilac im Rahmen der GSI nördlich von Darmstadt bauen konnte. Dem ersten GSI-Direktorium habe ich noch ein Jahr lang ehrenamtlich angehört. Doch das ist ein anderes Kapitel (21).

Das alte "Reaktorgelände" bei Bayers Eich, das sich die THD auf mein Bestreben hin noch länger als Vorbehaltsgelände reserviert hatte, spielte noch einmal eine Rolle bei der Geländewahl für die GSI. Die Forstleute hätten ihren schönen Buchenwald nicht hergegeben. Das schlechte, sumpfige Waldstück etwas südlich davon, auf dem die GSI entstand, stellten sie jedoch zur Verfügung.

Im März 1971 erhielt ich einen Ruf an das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, den ich zum 1. April 1972 annahm. Damit beende ich diesen Rückblick.

Abb. 3: Spektrum der von einer Graphit-Folie gestreuten Elektronen (Primärenergie 55,1 MeV). Rohdaten ohne Abzug eines Untergrunds. Die statistischen Fehler der Meßpunkte sind kleiner als die Durchmesser der Kreise. Man sieht (auf dem kontinuierlichen "Bremsstrahlungs-Schwanz") die Streuung an den angeregten Zuständen des Kerns des Kohlenstoff-Isotops 12. Messungen am DALINAC 1969 (17).

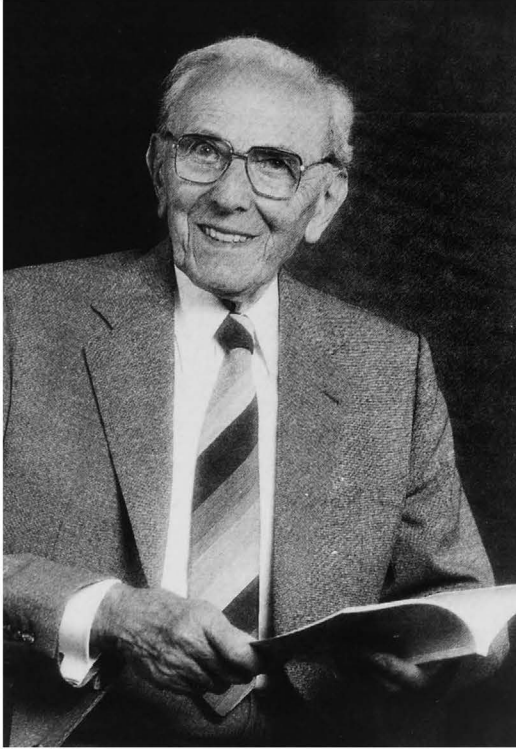
Literatur

- (1) Brix, P.: Geburtsort: Kappeln an der Schlei. In: Schleswig-Holsteiner unter sich über sich, W. Schmidt (Hg.), Frankfurt 1979, 20.
Ders.: Antrittsrede. In *Jahrb. Heidelb. Akad. d. Wiss. für 1974*, 50.
Ders.: (Atomkerne, die Bausteine des Weltgebäudes) Festvortrag. In: *Vierzig Jahre Freie Universität Berlin: 1948-1988. Ehrenpromotionen 1988*, Berlin 1990, 58.
- (2) Kopfermann, H., Krüger, H., Öhlmann, H.: Zur anomalen Feinstruktur der He^+ -Linie $\lambda=4686$ Angström. *Z. Physik* 126 (1949), 760.
- (3) Brix, P.: Die photographische Wirkung mittelschneller Protonen. (Messungen an Agfa-Autolith-Platten). *Z. Physik* 126 (1949), 35.
- (4) Brix, P., Dehmelt, H.-G.: Die photographische Wirkung mittelschneller Protonen. (Messungen an Ilford-Q-Platten). *Z. Physik* 126 (1949), 728.
- (5) Brix, P., Kopfermann, H.: Über den Isotopieverschiebungseffekt der schweren Elemente. In: *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Klasse* 1947, 31.
- (6) Brix, P., Kopfermann, H.: Zur Isotopieverschiebung im Spektrum des Samariums. *Z. Physik* 126 (1949), 344.
- (7) Brix, P.: Fifty Years of Nuclear Quadrupole Moments. *Z. Naturforsch.* 41a (1986), 3.
- (8) Brix, P., Kopfermann, H.: Neuere Ergebnisse zum Isotopieverschiebungseffekt in den Atomspektren. In: *Festschrift Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Klasse* 1951, 17.
- (9) Brix, P., Kopfermann, H., Martin, R., Walcher, W.: Über die Kernmomente der Ag-Isotope und die Isotopieverschiebung im Silberspektrum. *Z. Physik* 130 (1951), 88.
- (10) Brix, P., Kopfermann, H.: Magic Numbers and the Isotope Shift in Atomic Spectra of Heavy Elements. *Phys. Rev.* 85 (1952), 1050.

- (11) Brix, P., v. Buttler, H., Houtermans, F.G., Kopfermann, H.: Die Isotopieverschiebung zwischen RaD und den stabilen Bleiisotopen. *Z. Physik* 133 (1952), 192.
- (12) Brix, P., Herzberg, G.: Fine Structure of the Schumann-Runge-Bands near the Convergence Limit and the Dissociation Energy of the Oxygen Molecule. *Canad. J. Phys.* 32 (1954), 110.
- (13) Brix, P., zu Putlitz, G.: Rückblicke auf die Heidelberger Physik im Jubiläumsjahr der Universität. *Phys. Blätter* 42 (1986), 65.
- (14) Brix, P., Engfer, R., Hegel, U., Quitmann, D., Backenstoss, G., Goebel, K., Stadler, B.: Energy Measurements of the $2p-1s$ Transitions in Mu-mesonic Atoms. *Physics Letters* 1 (1962), 56.
Quitmann, D., Engfer, R., Hegel, U., Brix, P., Backenstoss, G., Goebel, K., Stadler, B.: Study of Mu-Mesonic X-Rays: Elements from Sulphur to Molybdenum. *Nucl. Physics* 51 (1964), 609.
- (15) Brix, P., Clerc, H.-G., Engfer, R., Fricke, G., Gudden, F., Liesem, H., Spamer, E.: Electron Scattering Experiments at Low Momentum Transfer. *Compt. Rend. du Congr. Intern. de Physique Nucl.*, Vol. II, Paris 1964, 372.
- (16) Gudden, F., Fricke, G., Clerc, H.-G., Brix, P.: Eine Anordnung für Experimente zur Elektronenstreuung unterhalb 60 MeV. *Z. Physik* 181 (1964) 453.
Brix, P., Gudden, F.: Das Institut für Technische Kernphysik der Technischen Hochschule Darmstadt. *Darmstädter Hochschul-Nachrichten* 4 (1966), 23.
- (17) Theissen, H.: Spectroscopy of Light Nuclei by Low Energy (below 70 MeV) Inelastic Electron Scattering. *Springer Tracts in Modern Physics* 65 (1972), 1.
- (18) Brix, P.: Wie das Bild der Atomkerne sichtbar wurde. *Heidelberger Jahrbücher XXX* (1986), 1. Auch in: *Jahrb. Heidelb. Akad. d. Wiss. für 1986*, 105.
- (19) Pitthan, R., Walcher, Th.: Inelastic Electron Scattering in the Giant Resonance Region of La, Ce and Pr. *Physics Letters* 36B (1971), 563.

- (20) Hüfner, S., Kienle, P., Quitmann, D., Brix, P.: Isomeriever-schiebung im Eu 151. *Z. Physik* 187 (1965), 67.
- (21) Buchhaupt, S.: Die Vor- und Gründungsgeschichte der Gesell-schaft für Schwerionenforschung (GSI), Rohmanuskript 1993.

Rudolf Fleischmann



Rudolf Fleischmann

Professor Fleischmann wurde 1903 in Erlangen geboren. Nach dem Abitur studierte er von 1922 bis 1926 Mathematik und Physik an den Universitäten Erlangen und München. Anschließend legte er die erste und zweite Staatsexamensprüfung ab. Von 1927 bis 1929 arbeitete unser Referent bei B. Gudden in Erlangen an seiner Dissertation. In der Folgezeit war er Assistent bei R.W. Pohl an der Universität Göttingen. 1932 wurde unser Referent Assistent von W. Bothe, und zwar bis 1934 am Physikalischen Institut der Universität Heidelberg und anschließend am Kaiser-Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung, Teilinstitut Physik, ebenfalls in Heidelberg. Herr Fleischmann wurde 1941 zum außerordentlichen Professor der Universität Straßburg ernannt. Von 1944 bis 1946 befand sich unser Referent in Kriegsgefangenschaft in den USA. Nach seiner Rückkehr wurde er 1947 ordentlicher Professor und Direktor des Physikalischen Staatsinstituts der Universität Hamburg. 1953 nahm Professor Fleischmann einen Ruf der Universität Erlangen an. Emeritiert wurde er am 1.10.1969.

Professor Fleischmann hat sich in seiner wissenschaftlichen Laufbahn vor allem mit den nachfolgenden Arbeitsgebieten beschäftigt: Äußerer Photoeffekt, auch selektiver an Alkalimetallen, Kernphysik (γ -Strahlung, ausgelöst durch Neutronen), künstliche Radioaktivität, Isopentrennung mit Trennrohr, Verwendung künstlicher radioaktiver und angereicherter stabiler Isotope für tracer-Experimente. Ab 1947: Optische Interferenz mit polarisiertem Licht bei Amplitudenausgleich, Gruppenstruktur des Dimensionensystems, polarisierte Elektronen, Erstentwicklung einer Quelle für polarisierte Protonen und Deuteronen, Kernumwandlung mit solchen Teilchen im Tandembeschleuniger. Professor Fleischmann ist Autor des Buches *Einführung in die Physik*; zudem ist unser Referent Verfasser von zahlreichen Zeitschriftenbeiträgen, insbesondere in den *Annalen der Physik*, in der *Zeitschrift für Physik*, in den *Physikalischen Blättern* und den *Ergebnissen der Exakten Naturwissenschaften*.

Vom Atomkern zur Uranspaltung - Erfahrungen aus meinem Berufsleben

Zunächst möchte ich dem Veranstalter dieser Vortragsreihe danken, daß er mir Gelegenheit gegeben hat, heute zu Ihnen zu sprechen. Der erste Teil *Vom Atomkern zur Uranspaltung* berichtet von einem Entwicklungsabschnitt der Kernphysik, den ich als Student und junger Assistent miterlebt habe, und bei dem ich in Heidelberg in die Forschungsarbeiten einbezogen wurde.

Das war eine aufregende Zeit! Alle Augenblicke, wenn ich so sagen darf, wurde etwas unerwartet Neues entdeckt, das von keiner Theorie vorausgesagt worden war. Sie wissen alle, daß die Röntgenstrahlen 1895 entdeckt wurden, und Becquerel 1896 feststellte, daß von Uran und Uranmineralien eine Strahlung ausgeht, ähnlich wie von einer Röntgenröhre. Das war die Entdeckung der Radioaktivität und der Beginn der Kernphysik.

Ich übergehe die weitere Entwicklungsgeschichte und nenne nur Madame Curie. Sie hat aus Uran mit chemischen Mitteln Radium abgetrennt, das Polonium entdeckt und vieles andere. In den darauffolgenden Jahren war Ernest Rutherford einer der erfolgreichsten Forscher. Zu ihm kam Hans Geiger aus Erlangen und wurde an den Forschungsarbeiten beteiligt. Geiger befaßte sich insbesondere mit der Frage: Kann man einzelne Alphateilchen mit elektrischen Methoden feststellen. Geiger versuchte zunächst, die stark ionisierenden Alphateilchen nachzuweisen, indem er sie gegen eine Nadelspitze laufen ließ, an die beträchtliche elektrische Spannung gegenüber der Umgebung angelegt war (Größenordnung 1000 - 2000 Volt). Das elektrische Feld in der Nähe der Spitze war der empfindliche Bereich. Die Alphateilchen lösen durch Stoß gegen Gasatome Ionen und Elektronen aus, und - wenn die geometrischen Feldbedingungen entsprechend gewählt sind - dadurch erzeugt jedes einzelne Alphateilchen einen kurzen Stromstoß. Dieser läßt sich leicht an einem Ableitwiderstand mit einem Fadenvoltmeter beobachten. Später gelang es Geiger auch, die weniger stark ionisierenden Elektronenstrahlen auf diese Weise

nachzuweisen und auch die Gammastrahlen, denn sie lösen schnelle Elektronen aus. In viel späteren Jahren, nämlich 1928, entstand im Geigerschen Institut in Tübingen das Zählrohr. Es unterscheidet sich vom Spitzenzähler nur durch ein viel größeres strahlenempfindlicheres Volumen.

Im Rutherford-Institut untersuchte man um 1910 den Durchgang von Alphateilchen durch dünne Folien. Darin werden die Alphateilchen abgebremst und gestreut. Streuung heißt Ablenkung aus der bisherigen Flugrichtung. Diese Streuung lieferte ganz überraschende Ergebnisse. Man läßt ein nahezu paralleles Bündel von Alphateilchen auf eine dünne Folie fallen, z.B. Blattgold, diese kann so dünn sein, daß die Geschwindigkeit der Alphateilchen beim Durchgang noch kaum geändert wird. Dann stellt man fest, daß manche der Alphateilchen aus der Richtung abgelenkt werden, und zwar um einen kleinen Winkel ziemlich häufig, um einen größeren selten. Zur Feststellung der gestreuten Alphateilchen diente ein Spitzenzähler. Und jetzt kommt der entscheidende Punkt: Es kamen Alphateilchen vor, die bis zu fast 180° abgelenkt waren. Ein solches Alphateilchen wurde also sozusagen nach rückwärts reflektiert. Man mußte fragen, woran es reflektiert wurde. Rutherford überlegte: Dann muß es in den Atomen von Gold vermutlich Zentren mit so großer Masse geben, daß der Vorgang dem Stoß einer kleinen Stahlkugel gegen eine große vergleichbar ist.

Zur damaligen Zeit wußte man bereits, daß im Inneren der Materie positive und negative elektrische Ladungsträger enthalten sind, über deren Verteilung gab es allerdings nur Vermutungen. Rutherford überlegte, es könnte sein, daß praktisch die gesamte Masse des Atoms in diesem Zentrum vereinigt ist. Nun ist das Alphateilchen positiv geladen. Wenn dieses Zentrum oder wie man bald sagte, der Kern, auch die gesamte im Atom vorhandene positive Ladung enthält, dann läßt sich ausrechnen, welche Winkelverteilung bei der Streuung entsteht, wenn die positiv geladenen Alphateilchen in statistisch verteilten Abständen an solchen positiv geladenen Zentren vorbeifliegen. Er fand ein Winkelverteilungsgesetz, bei dem die Strehäufigkeit proportional $\sin^4(\varphi/2)$ ist, wo φ den Ablenkwinkel gegenüber der ursprünglichen

Strahlrichtung bedeutet. Zu diesem Ergebnis war Rutherford im März/April 1911 gelangt.

Die Winkelverteilung wurde von Geiger und Marsden an Folien aus verschiedenen Stoffen gemessen. Sie fanden vollkommene Übereinstimmung mit der von Rutherford angegebenen Formel. Daraus war zu folgern: Dieses Zentrum, also der "Kern", enthält fast die gesamte Masse des Atoms und hat eine positive Ladung, die bei einem chemischen Element, das im Periodensystem die Ordnungszahl Z hat, das Z -fache der elementaren Ladung beträgt. Das war die Entdeckung des Atomkerns! Zu dieser Beobachtung, daß die Alphateilchen auch nach rückwärts gestreut werden können, sagte Rutherford später: "Das war bestimmt das unglaublichste Ergebnis, das mir je in meinem Leben widerfuhr. Es war fast so unglaublich, als wenn einer eine 15-Zoll-Granate auf ein Stück Seidenpapier abgefeuert hätte und diese zurückgekommen wäre und ihn getroffen hätte."



Abb.1: Künstliche Kernumwandlung. Nebelkammeraufnahme des Prozesses ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$ kurz ${}_{7}^{14}\text{N}(\alpha, p){}_{8}^{17}\text{O}$. Aufnahme P.M.S. Blackett u. D.S. Lees, Proc. Roy. Soc. A 136, 325 (1932).

Einige Jahre später wurde von Rutherford und Mitarbeitern gefunden, daß es Fälle gibt, in denen ein Alphateilchen in den Kern eindringt und dafür ein Wasserstoffteilchen, ein Proton, aus dem getroffenen Kern herausfliegt. Das war im Jahr 1919 und war der erste Fall einer künstlichen Kernumwandlung (vgl. Abb. 1).

Bald darauf bemerkte man noch etwas Neues. Obwohl alle einfallenden Alphateilchen dieselbe kinetische Energie hatten, hatten die herausfliegenden Protonen bei gewissen Stoffen unterschiedliche kinetische Energie, es gab Geschwindigkeitsgruppen. Einen solchen Fall haben dann Bothe und Fränz damals in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Charlottenburg genau untersucht. Sie bestrahlten Bor mit Alphastrahlen einheitlicher kinetischer Energie und erhielten zwei Protonengruppen. Bothe überlegte etwa so: Wir wissen, daß beim Durchgang von Elektronen durch Quecksilberdampf manchmal ein Elektron kinetische Energie verliert und gleich darauf Licht ausgesandt wird, dessen Quantenenergie genau dem Verminderungsbetrag der kinetischen Energie des Elektrons entspricht. Etwas Vergleichbares schien ihm beim Stoß von Alphateilchen gegen Borkerne vorzuliegen. Die Energiedifferenz der beiden Protonengruppen war rund 3 Millionen Elektronenvolt. Bothe hielt es daher für möglich, daß Gammastrahlung der Quantenenergie 3 MeV ausgesandt wird und er entschloß sich, danach zu suchen. Er verwendete Alphateilchen von Polonium, weil dieser Stoff keine Gammastrahlung aussendet. Er ließ die Alphateilchen der Reihe nach auf mehrere chemische Elemente fallen und bekam bei Bor, bei Lithium, bei Beryllium und bei Fluor eine schwache, mit dem Spitzenzähler nachweisbare Gammastrahlung. Am stärksten war sie bei Beryllium, dann bei Lithium, dann bei Bor. Er versuchte, ihre Quantenenergie abzuschätzen, war sich aber im klaren, daß man bei Quantenenergien über 1,5 MeV die Quantenenergie nicht aus der Absorbierbarkeit in Blei ableiten kann, außer, wenn es möglich ist, ein schmales Bündel auszublenzen, aber nicht bei einer schwachen Strahlenquelle; daher entwickelte er eine neue Methode zur Abschätzung der Quantenenergie dieser Strahlung.

Jetzt komme ich zu einem wichtigen Punkt: Gammastrahlung löst bekanntlich, vor allem durch Comptoneffekt, schnelle Elektronen aus. Er

hatte nun die Absicht, die durch die Gammastrahlung ausgelösten Sekundärelektronen auf ihre Absorbierbarkeit zu untersuchen, um daraus auf die Quantenenergie der auslösenden Gammastrahlung zu schließen. Wie kann man dabei vorgehen? Er ließ die Gammastrahlung auf Aluminium fallen und sorgte dafür, daß die ausgelösten Sekundärelektronen zwei dicht nebeneinander stehende dünnwandige Zählrohre durchsetzten. Mit Hilfe einer geeigneten Röhrenschialtung wählte er solche Ausschläge aus, die in den beiden Zählrohren gleichzeitig eintraten. Ein solches Ereignis gleichzeitiger Zählsignale nennt man eine Koinzidenz.

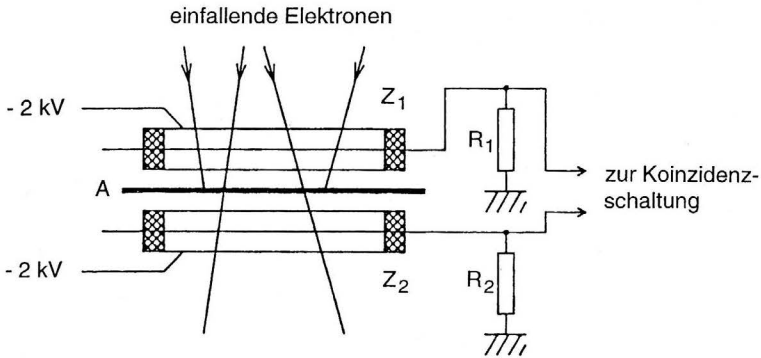


Abb. 2: Zwei Zählrohre Z_1 und Z_2 zur Bestimmung der Koinzidenzrate einfallender Teilchen. Gezählt werden nur solche Elektronen, die beide Zählrohre durchsetzt haben.

Wenn man jetzt *zwischen* die beiden Zählrohre dünne Aluminium-Bleche mit zunehmender Dicke einschiebt, nimmt die Anzahl der Koinzidenzen ab, und man kann daraus auf die kinetische Energie der Elektronen und damit auch auf die Quantenenergie der auslösenden Gammastrahlung schließen. Zur Eichung des Verfahrens verwandte er eine Gammastrahlung mit der Quantenenergie 2,62 MeV (von $\text{ThC}'' =$

$^{81}_{208}\text{Tl}$). Er bekam für die Gammastrahlung aus B plus α , wie erwartet, rund 3 MeV, für die Strahlung aus Be plus α rund 5 MeV.

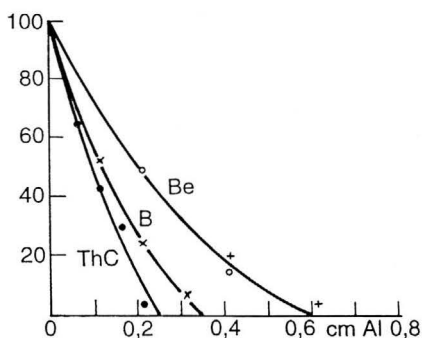


Abb. 3: Abnahme der Koinzidenzhäufigkeit durch Einschieben einer Al-Schicht. Die Absorbierbarkeit (Halbwertdicke) für Elektronen hängt mit der Quantenenergie zusammen. Vergleich mit ThC " 2,62 MeV ergibt für B rund 3 MeV, für Be rund 5 MeV.

Die Herkunft der Gammastrahlung bei Be plus α war damals zunächst rätselhaft, denn es wurden keine Protonen ausgesandt, und man konnte gute Gründe angeben, daß Anregung durch unelastischen Stoß nicht in Frage kam.

Bereits nach Bothes erster Mitteilung stürzten sich andere Forscher auf das Problem. Hier sind zunächst Curie und Joliot zu nennen. Irène Curie war die Tochter der Madame Curie, die das Radium entdeckt hatte und Joliot ihr Ehemann. Die beiden hatten sehr starke Polonium-Präparate zur Verfügung, wenn ich mich recht erinnere, 70mal stärker als die von Bothe. Sie stellten Beobachtungen mit einer Nebelkammer im Magnetfeld an und fanden einerseits Elektronen mit kinetischen Energien bis 4,5 MeV, die von der Botheschen Gammastrahlung herührten, aber sie beobachteten noch etwas ganz Überraschendes. Mit-ten in der Nebelkammer traten Spuren von stark ionisierenden schnell

bewegten Atomionen auf, offenbar aus der Gasfüllung der Nebelkammer. Sie veröffentlichten ihren experimentellen Befund und dazu eine Deutung, die aber ganz falsch war.

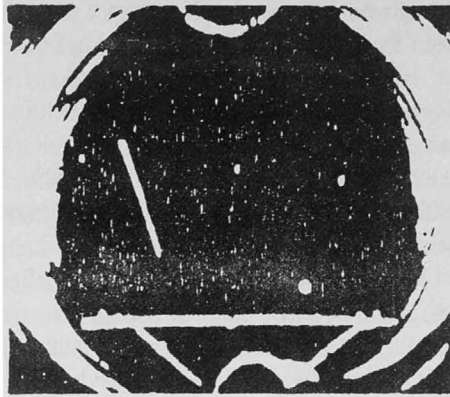


Abb. 4: H-Kern, angestoßen durch ein Neutron

Als Chadwick in Cambridge davon erfuhr, es gibt darüber einen amüsanten Bericht, war ihm sofort klar: "Das ist sicher eine Wirkung von Neutronen, nach denen wir seit Jahren vergeblich suchen." Das hatte folgenden Hintergrund: Die Atomgewichte der Isotope verhalten sich nahezu wie ganze Zahlen. Ganz allgemein dachte man damals, der Kern könne vielleicht aus einer Vielzahl von Protonen, also Wasserstoffkernen, und Elektronen zusammengesetzt sein, der Urankern also aus 238 Protonen und 146 Elektronen. Seine Ladung würde dann $Z = 92$ positiven Elementarladungen entsprechen. Es gibt schlagende Gründe, daß dann der Kern ein riesiges Volumen haben müßte, was aber mit den experimentellen Erfahrungen nicht vereinbar war.

Zu diesem Problem sagte Rutherford schon 1920 in einem Vortrag: "Nehmen wir einmal an, es gäbe Teilchen mit einer Masse, etwa von der der Wasserstoffkerne, aber ohne elektrische Ladung. Nennen wir

ein solches Teilchen einmal "Neutron". Dann wäre der Urkern aus 92 Protonen und 146 Neutronen zusammengesetzt." Dadurch war Chadwick vorbereitet. Man hatte sich überlegt, daß freie Neutronen, wenn es sie gibt, auf einen anderen Kern stoßen und ihn in Bewegung setzen können. Beim zentralen Stoß auf einen Wasserstoffkern würde die gesamte kinetische Energie des Neutrons auf diesen übergehen, ähnlich wie beim Stoß einer kleinen Stahlkugel auf eine gleich große. Wenn dagegen ein Neutron auf einen Stickstoffkern stoßen würde, würde es mit verminderter kinetischer Energie reflektiert, ähnlich wie wenn eine kleine Stahlkugel auf eine Stahlkugel mit 14mal größerer Masse stößt. Er baute schnell eine geeignete Apparatur, bestimmte die bei Wasserstofffüllung und bei Stickstofffüllung auftretende maximale kinetische Energie, wendete den Energie- und den Impulserhaltungssatz an und erhielt innerhalb seiner beschränkten Meßgenauigkeit für die Masse des Neutrons einen Wert etwas größer als eine Atomgewichtseinheit, für die kinetische Energie der stoßenden Neutronen ungefähr 4,5 MeV. Damit war das Neutron entdeckt! Die Mitteilung davon wurde in Göttingen, wo ich damals war, im Februar 1932 bekannt. James Franck teilte bei Beginn des Kolloquiums mit, was er eben in *Nature* gelesen hatte.

Dann möchte ich eine Zwischenbemerkung machen: Zahlreiche Physiker glaubten nun, Bothe habe eine durchdringende Strahlung beobachtet und sie für Gammastrahlung gehalten, in Wirklichkeit seien es aber Neutronen gewesen. Das ist vollkommen falsch. Die damalige Bothesche Apparatur war für Neutronen absolut unempfindlich. Denn durch den Stoß von Neutronen kann man keine Elektronen auf 4,5 MeV bringen. Er hatte von zwei Strahlenarten, die von Be plus α -Teilchen ausgehen, die eine entdeckt, nämlich Gammastrahlung aus künstlicher Kernanregung durch Stoß, aber von der anderen überhaupt nichts gemerkt.

Diese Arbeit war in Gießen durchgeführt worden. Zum 1.10.1932 wurde Bothe nach Heidelberg berufen als Nachfolger von Philipp Lenard, und zum selben Zeitpunkt wurde ich Bothes Assistent und wurde damit in die Forschungsarbeiten seines Instituts einbezogen. Meine erste Aufgabe war, mit einem von Becker und Bothe inzwi-

schen gebauten Zählrohr, das im Inneren mit einer Paraffinschicht ausgekleidet war und dadurch auch zum Neutronennachweis geeignet war, die Schwächung der Neutronen und der Gammastrahlen, die von Po plus Be ausgingen in 10 cm Blei und in 10 cm Paraffin in identischer geometrischer Anordnung zu messen. Dann sollte ich danach suchen, ob man auch durch Bestrahlen mit Neutronen Gammastrahlung auslösen kann, ähnlich wie es mit Alphastrahlen bei Bor und Beryllium gelungen war.

Nach der Entdeckung des Neutrons setzte eine stürmische Entwicklung ein. Bevor ich davon berichte, muß ich eine andere Entdeckung nennen, die auch äußerst überraschend war und bald für die Kernphysik Bedeutung gewann. Im September 1932 wurde bei Untersuchung der kosmischen Ultrastrahlung von Anderson in Californien ein neues Teilchen entdeckt, das positive Elektron, oder wie man dann sagte, das Positron. Bothe referierte Ende 1932 darüber in einem Abendvortrag. Bald wurde gefunden, daß bei der Absorption von Gammastrahlen mit Quantenenergien größer als 1 MeV Elektronenpaare ausgesandt werden, d.h. Elektron plus Positron. Dadurch wurde das Positron im Labor greifbar und konnte untersucht werden.

Etwa ein Jahr später gab es wieder eine ganz unerwartete und überraschende Entdeckung. Curie und Joliot fanden, wenn man Polonium- α -Teilchen auf Bor oder Magnesium oder Aluminium fallen läßt, fliegen davon Positronen weg. Das gab eine neue Möglichkeit, die Positronen im Labor zu untersuchen. Kurze Zeit darauf machten sie eine zweite ganz überraschende Entdeckung. Auch wenn das Polonium-Präparat von diesen Stoffen entfernt wurde, gingen von ihnen immer noch eine Zeitlang Positronen aus. Es war also ein radioaktives Folgeprodukt aus einer Kernumwandlung darin entstanden. Damit war die künstliche Radioaktivität entdeckt. Außerdem handelte es sich um einen neuen Typ von Radioaktivität, nämlich eine solche mit Aussendung von Positronen. Die erste Mitteilung darüber ist vom 15.1.1934 datiert.

Curie und Joliot gelang es auch, mit schnell wirkender chemischer Analyse den entstehenden radioaktiven Folgestoff abzutrennen. Damit war der Nachweis einer künstlichen Umwandlung eines chemischen

Elements in ein anderes erstmalig mit analytisch chemischen Methoden gelungen. Zwei Monate später hatte sich Fermi in Rom eine Neutronenquelle beschafft, nämlich eine Mischung von Radium und Beryllium. Er bestrahlte zahlreiche chemische Elemente mit Neutronen und beobachtete in sehr vielen Fällen dabei künstliche Radioaktivität. Die erste Mitteilung darüber ist vom 25.3.1934 datiert. Es entstanden neue radioaktive Stoffe, aber diese sandten durchweg Elektronen aus, ganz ähnlich, wie man es bei den natürlich radioaktiven Folgeprodukten von Uran und Thorium kannte.

Was war damals im Heidelberger Institut? Als diese Nachricht eintraf, war gerade der Umzug des Botheschen Instituts in das KWI für Medizinische Forschung im Gang. Bothe selbst war damals in einem Lungen-Sanatorium. Nun hatte Bothe 120 mg Radium in wäßriger Lösung nach Heidelberg mitgebracht und dazu eine Pumpe, mit der man die darin gebildete Radium-Emanation abpumpen und reinigen konnte. Ich hatte gelernt, damit umzugehen. Nach dem Umzug in das KWI stellte ich ein Präparat mit Radium-Emanation und Beryllium her. Das war eine wesentlich stärkere Neutronenquelle als die Po- + Be-Präparate, hatte aber eine sehr starke Gammastrahlung. Ich bestrahlte einige Stoffe und sah, wie leicht man diese neuen von Fermi erstmals gefundenen radioaktiven Stoffe erzeugen kann. Damit bestrahlte ich einen Eisenklotz mehrere Halbwertszeiten lang und konnte leicht nachweisen, daß davon auch Gammastrahlung ausging, die mit derselben Halbwertszeit ($2 \frac{1}{2}$ Stunden) wie die Elektronenstrahlung abnahm.

Durch die Fermische Entdeckung ergab sich viel Neues. Die eben erwähnte in Eisen entstehende Radioaktivität hatte ihre Ursache in einem leicht verständlichen Prozeß. Ein Neutron tritt in den Kern ein, ein Proton fliegt heraus. Bei den weiteren Befunden war überraschend, daß auch Elemente mit großer Ordnungszahl umgewandelt wurden, z.B. Gold, Kernladung 79 und Uran. Wenige Monate später kam von Fermi eine überraschende Mitteilung, datiert vom 22.10.1934. Wenn man die Neutronen zuerst durch eine Paraffinschicht gehen läßt, entsteht in zahlreichen, aber nicht in allen Fällen eine viel stärkere Radioaktivität, manchmal 40mal stärker. Was ist die Ursache? Im Paraffin

verlieren die Neutronen durch Zusammenstöße mit Wasserstoffatomen den größten Teil ihrer kinetischen Energie. Wenn sie dann in einen Kern eindringen, werden sie einfach eingebaut (Einfangprozesse). Es gab rund 70 Beispiele dafür. Weiter fand man, daß dabei Bindungsenergie frei wird, bis zu 8 MeV, bei Wasserstoff allerdings nur 2,2 MeV und daß diese als Gammastrahlung ausgesandt wird. Mit dieser Einfang-Gammastrahlung, ihrer Entstehung, ihrer Absorbierbarkeit, ihren Quantenenergien, habe ich mich im Botheschen Institut in den Jahren 1934 bis 1938 beschäftigt.

Ich hatte Bothe vorgeschlagen, für die Suche nach Gammastrahlenentstehung durch Neutronen ein Beryllium + Radium-Emanationspräparat zu verwenden, denn dann seien die Teilchen von drei radioaktiven Stoffen nach allen Seiten wirksam, nicht nur die in Vorwärtsrichtung wie bei einem flachen Präparat. Zur Beseitigung der starken Gammastrahlen sollte das Präparat in das Innere eines großen Bleiklotzes gelegt werden. Die Gammastrahlung lasse sich so absorbieren, die Neutronen würden herauskommen. Als die Apparatur gerade fertig war, traf Fermis Mitteilung über Verstärkung der Radioaktivität durch Paraffin ein. Ich untersuchte gleich Paraffin zunehmender Dicke und erhielt eine für damalige Verhältnisse kräftige Gammastrahlung. Dann erzeugte ich eine Quelle mit langsamen Neutronen (Abb. 5a, b) und zeigte weiter, was beim Einschalten von Eisenplatten zunehmender Dicke zu beobachten war (Abb. 5 c,d,e).

Ich kehre noch einmal kurz zu Fermi zurück. Er und seine Mitarbeiter hatten gefunden, daß durch Neutronen auch Uran umgewandelt wird. Für eine der entstehenden Halbwertszeiten, nämlich 13 Minuten, glaubte er Gründe dafür zu haben, daß es sich um ein Neuklid mit der Kernladung 93 handelt, also um ein Transuran. Das war aber ein Irrtum. Später komme ich darauf zurück.

Otto Hahn, der früher mehrere natürliche radioaktive Stoffe entdeckt hatte, wie Protaktinium, Mesothorium und andere, begann bald darauf, in Zusammenarbeit mit Lise Meitner eine Analyse der aus Uran plus Neutron entstandenen künstlichen radioaktiven Stoffe. Das war 1934. Wenige Jahre vorher (1929) war die wellenmechanische Theorie des Alphaerfalls von Gamow aufgestellt worden. Danach können Alpha-

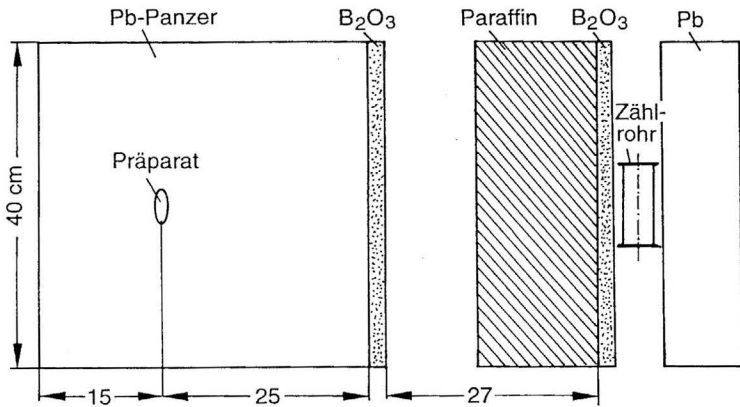


Abb. 5a: Beispiel einer Versuchsanordnung. Bestimmung der Anstiegskurve der Paraffin- γ -Strahlung "vorwärts". Die B_2O_3 -Schicht absorbiert "langsame" Neutronen, ohne daß Gammastrahlung entsteht.

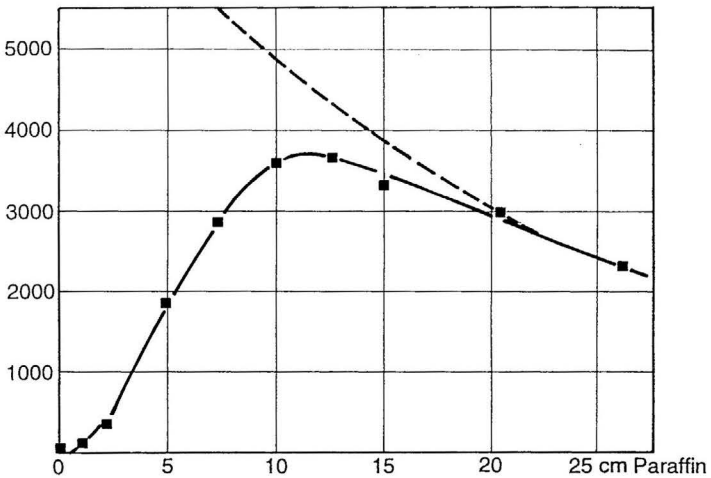


Abb. 5b: Anstiegskurve der Paraffin- γ -Strahlung "vorwärts", gemessen in der Anordnung Abb. 5a. Die Kurve steigt nicht sofort geradlinig an, weil die Neutronen erst verlangsamt werden müssen, bevor sie sich an H-Kerne anlagern können.

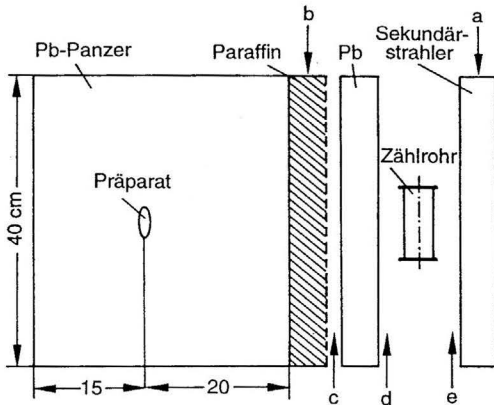


Abb. 5c: Versuchsanordnung für den Nachweis der sekundären γ -Strahlung. In der Paraffinschicht b werden die Neutronen verlangsamt, in der Pb-Schicht (c bis d) die im Paraffin entstandene Gammastrahlung absorbiert. Von d an sind nur mehr langsame Neutronen wirksam. In der gezeichneten Anordnung werden die in a entstandenen nach "rückwärts" laufenden Gammastrahlen gemessen.

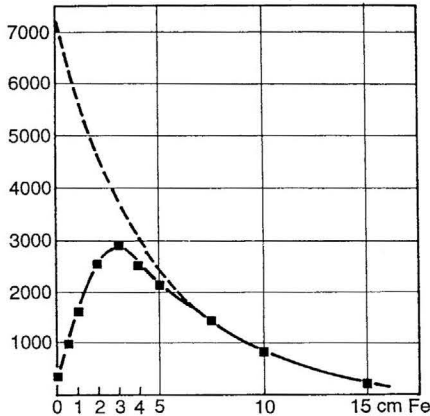


Abb. 5d: Anstiegskurve der Fe- γ -Strahlung vorwärts. Differenz zweier Exponentialfunktionen. Dieser Verlauf entsteht, wenn in Abb. 5c Eisenplatten zunehmender Dicke bei d eingeschoben werden; es handelt sich also um Strahlung nach "vorwärts". Schicht a ist bei dieser Messung entfernt. Hier steigt die Kurve sofort steil an.

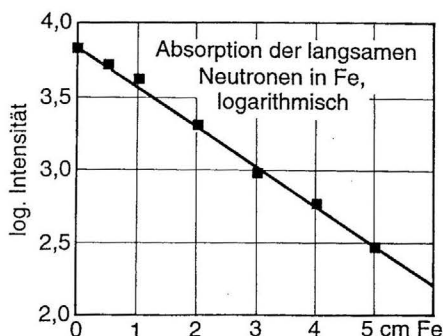


Abb. 5e: Absorption der langsamen Neutronen in Fe, (logarithmisch) aus dem Unterschied der ausgezogenen und gestrichelten Kurve in Abb. 5d.

teilchen und Protonen den Potentialwall des Atomkerns unter gewissen Voraussetzungen durchdringen und aus dem Kern austreten, wie beim natürlichen Alphazerfall, aber keine Teilchen mit größerer Ladung. Bei einer Kernumwandlung mit Alphateilchen können daher nur Nachbar-elemente des Ausgangsstoffes entstehen. Das übertrug man durch bloßen Analogieschluß auf Uran plus Neutron. Das war aber eine irrtümliche Extrapolation. Dadurch hielt man die aus Uran entstehenden künstlichen radioaktiven Stoffe für Transurane und hatte schließlich 22 solche. Die Beobachtungen und die Deutungen waren immer schwerer unter einen Hut zu bringen. Schließlich fanden Hahn und Straßmann, den Hahn seit einiger Zeit zu diesen Arbeiten herangezogen hatte, Ende 1938, daß drei der entstehenden radioaktiven Stoffe bestimmt keine Transurane waren, sondern Isotope des Elements Barium mit der Kernladung 56. Das war am 16.12.1938 endgültig klar. Hahn nannte das eine "Zerplatzreaktion" und teilte den Befund gleich Lise Meitner mit, die sich nicht mehr in Deutschland befand. Einiges dazu bespreche ich später.

Jetzt zeige ich noch das Zerplatzen des Uranatoms beim Eindringen eines Neutrons. In der Mitte befindet sich eine Folie mit einer dünnen Uranschicht. Die beiden Zerplatztrümmer fliegen in entgegengesetzte Richtung. Außerdem sieht man eine Vielfalt stark ionisierender Teil-

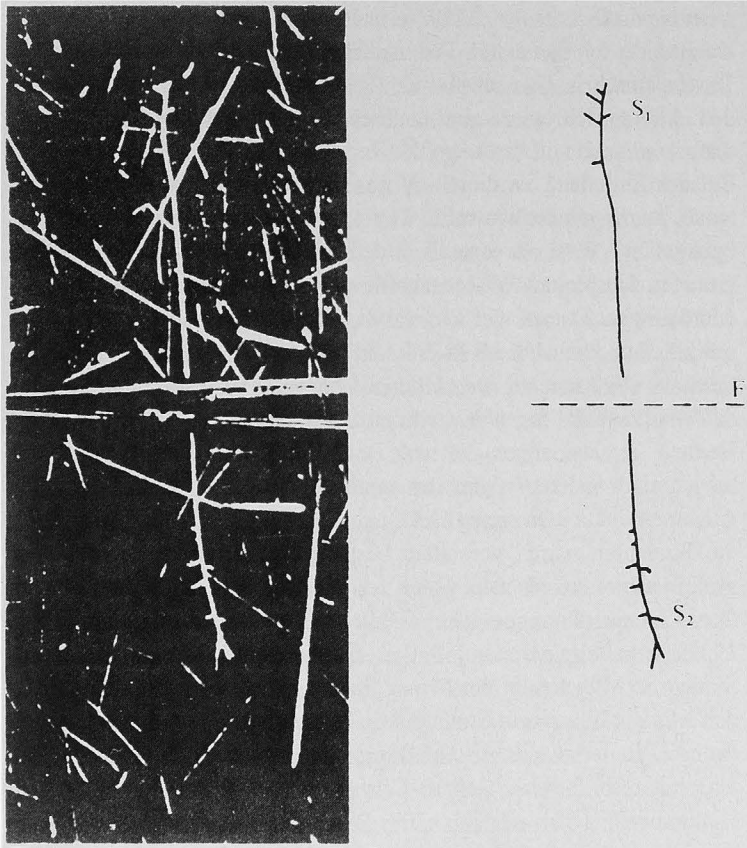


Abb. 6: Kernspaltung von Uran durch Neutronen. Eine dünne Folie F trägt Uran. Durch ein Neutron (im Bild unsichtbar) wurde ein Urankern in zwei geladene Bruchstücke mit großer Masse gespalten (S_1 , S_2). Diese stoßen auf ihrem Flugweg gegen Kerne der Gasfüllung der Nebelkammer, ohne selbst erheblich abgelenkt zu werden. Daraus erkennt man, daß die Bruchstücke S_1 und S_2 sehr viel größere Massen haben als die Gasatome. Die zahlreichen anderen Spuren rühren von Atomen des Gases der Nebelkammer her, die durch unsichtbare Neutronen angestoßen worden sind. Links: Nebelkammeraufnahme (Ausschnitt), rechts (herausgezeichnet): die Spuren von S_1 und S_2 mit den von ihnen angestoßenen Gasatomen. Nach I.K. Bogghild, Phys. Rev. 76, 988 (1949).

chen, entstanden durch den Stoß von Neutronen, die selbst nicht sichtbar sind.

Damit habe ich den ersten Teil meines Themas zu einem wesentlichen Teil besprochen. Es war eine Erfolgs-Story. Ein Erfolg reihte sich an den anderen. Ich werde aber noch einmal auf einiges zurückkommen, dann wird auch von Irrtümern die Rede sein.

Bei der Einladung zu diesem Vortrag wurden mir einige Fragen genannt, an die ich denken sollte. Darunter z.B. wie kamen Sie zu Ihrem Fachgebiet? Was war damals anders als heute? Welche Ratschläge möchten Sie jungen Wissenschaftlern heute mit auf den Weg geben und ähnliche. Darauf will ich jetzt eingehen. Schon mit 15 Jahren war mir ziemlich klar, daß ich Physik und Mathematik studieren würde. Im Frühjahr 1922 machte ich Abitur und begann gleich mit dem Studium der Mathematik. Sie war zunächst mein Hauptfach, die Physik nur Beifach. Zur damaligen Zeit war Deutschland durch Reparationszahlungen und andere Folgen des ersten Weltkrieges schwer belastet. Allgemein hatte man wenig Geld, man war sehr bescheiden geworden, die Studenten waren vor allem bestrebt, möglichst schnell ihr Abschlußexamen zu machen. Dann war es nicht ganz einfach, in einen Beruf hineinzukommen. Der Geldwert sank fortgesetzt und führte 1923 zur galloppierenden Inflation. Im November 1923 zahlte ich als Student in München in der Mensa für das normale Essen 200 Milliarden Mark. Nach einem Studium von 8 Semestern - so gehörte es sich damals - legte ich das Abschlußexamen ab und zwar das Bayerische Staatsexamen für das Höhere Lehramt in Mathematik und Physik, Diplomprüfung gab es noch nicht. Das Staatsexamen bestand aus 12 Klausuren mit Aufgaben, identisch für München, Würzburg, Erlangen; zur mündlichen Prüfung mußten alle Kandidaten nach München. Die Prüfungskommission war aus Professoren aller drei Landesuniversitäten zusammengesetzt. Dann begann ich eine Doktorarbeit bei Gudden in Erlangen, der kurz vorher aus Göttingen gekommen war. Hier wurde ich zum Physiker. Ich lernte kennen, was damals moderne Physik war. Nach meiner Doktorprüfung war ich 2 ½ Jahre bei Pohl in Göttingen. Auf diese Zeit komme ich nachher noch einmal zurück. Am 1. Oktober 1932 wurde ich planmäßiger Assistent bei Bothe in

Heidelberg im Universitäts-Institut am Philosophenweg und ging am 1. April 1934 mit Bothe an das Kaiser-Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung, Teilinstitut Physik, auch in Heidelberg. Dort befaßte ich mich, wie schon erwähnt, vor allem mit der beim Einfangsprozeß von Neutronen entstehenden Gammastrahlung (bis 1938, vgl. Abb. 5). Im Frühjahr 1938 wurde bekannt, daß Clusius in München das Trennrohrverfahren zur Isotopentrennung gasförmiger Stoffe erfolgreich entwickelt hatte. Das war für die Kernphysik sehr interessant. Denn dadurch bestand Aussicht, auch seltene Isotope für kernphysikalische Untersuchungen in die Hand zu bekommen. Auf Vorschlag von Bothe begann ich mit diesem Verfahren, Stickstoff mit dem Atomgewicht 15 anzureichern, der nur $\frac{1}{3}$ % des natürlichen Stickstoffs ausmacht. Im Januar 1939 wurde die Uran-Spaltung bekannt. Im Juni 1939 erschien in den *Naturwissenschaften* ein Artikel von Flügge, in dem die Möglichkeit der Energiegewinnung aus Uran besprochen wurde. Damals ließ sich noch nicht sagen, ob ein Reaktor mit natürlichem Uran oder erst nach einer kleinen Anreicherung des Isotops 235 kritisch werden würde.

Wenige Monate später begann der Krieg. Die Forschungsabteilung des Heereswaffenamtes zog die Vorbereitungen zum Bau eines Uranreaktors (damals sagte man Uranmaschine) an sich. Die entsprechenden Physiker wurden durch Gestellungsbefehl einberufen und unterstanden dann der Forschungsabteilung des Heereswaffenamtes. Ich selbst bekam die Aufgabe, die Möglichkeit der Anreicherung des Isotops 235 im Trennrohr mit gasförmigem Uranhexafluorid zu untersuchen. Zunächst mußte der Thermodiffusionsfaktor bestimmt werden, denn das Hexafluoridmolekül konnte ein weiches Molekül sein und dadurch einen niedrigen Thermodiffusionsfaktor haben. Innerhalb meiner Meßgenauigkeit ergab sich dieser Faktor als 0. Es hatte also keinen Sinn, eine größere Trennanlage nach diesem Prinzip zu bauen. Wie wir heute wissen, wurde dasselbe in England etwa zur selben Zeit von Peierls und Frisch gefunden.

Ende 1941 schied ich aus dem sogenannten Uranverein aus und wurde Professor an der eben wieder eröffneten deutschen Universität Straßburg. Ich sollte in einem neu zu gründenden medizinischen For-

schungsinstitut die Abteilung Physik übernehmen und künstlich radioaktive Stoffe für medizinisch-biologische tracer-Experimente bereitstellen und an solchen Untersuchungen teilnehmen. Dazu war eine starke Neutronenquelle erforderlich. Es gelang mir, den Bau eines Teilchenbeschleunigers mit 1,5 MV durchzusetzen. Während des Krieges waren die Liefermöglichkeiten für nicht-militärische Zwecke stark eingeschränkt. Aber für Straßburg gab es Ausnahmen. Wenn uns gesagt wurde, das ist während des Krieges nicht zulässig, war die nächste Frage: "Und wer erteilt die Ausnahmegenehmigung?". Der Beschleuniger, mit dem Deuteronen auf Beryllium geschossen werden sollten, war im Sommer 1944 betriebsbereit, etwa zu der Zeit, als nach der Landung in der Normandie der Rückzug aus Frankreich begann. Ende November 1944 wurde Straßburg ganz überraschend besetzt. Für mich interessierte sich die amerikanische Alsos-Mission, deren Aufgabe es war, ausfindig zu machen, wie weit die Deutschen in der Uranentwicklung gekommen waren.

Hier möchte ich einfügen: Die Amerikaner hatten schon seit 1941 einen Reaktor in Betrieb und entwickelten die Atombombe. Das war uns aber vollkommen unbekannt. Zwar lasen wir in *Nature*, daß die Amerikaner für ein kriegswichtiges Projekt 125.000 Arbeitskräfte heranziehen. Für uns war aber unverständlich, wofür. Über Schweden erreichte uns die Mitteilung über eine Riesenbombe. Sie wurde im Juli 1944 in den Physikalischen Blättern abgedruckt. Sie klang so fantastisch, daß wir sie als Journalistengeschwätz ansahen. Beides betraf tatsächlich den Bau der Atombombe.

Von den deutschen Regierungs- und Wehrmachtstellen war Ende 1941 festgestellt worden, daß eine Atombombe vielleicht denkbar sei, daß die dazu nötige Isotopentrennung, d.h. Abtrennung von ^{235}U auf jeden Fall einen riesigen technischen Aufwand erfordern würde, der während dieses Krieges, den man in vielleicht einem Jahr zu gewinnen hoffte, nicht möglich sei. Die Arbeiten zum Bau eines Reaktors (einer "Uranmaschine") mit Natururan wurde weitergeführt, aber es gelang bis zum Kriegsende nicht, einen solchen betriebsfertig zu machen. Soviel darüber.

Dann wurde ich als Kriegsgefangener nach USA gebracht. Im August 1946 war ich zurück in Deutschland und fand bei meiner Mutter in Erlangen bereits einen Brief aus Hamburg vor: "Wir hätten Sie gerne als Physik-Ordinarius." Am 1. April 1947 wurde ich in Hamburg ernannt, Kernphysik war damals für uns verboten. Ich wandte mich zu optischen Problemen, sie wurden unser Hauptarbeitsgebiet. Dann begannen wir auch den Bau einer Quelle für polarisierte Protonen zwecks späterer Verwendung an einem Teilchenbeschleuniger in der Hoffnung, daß Arbeiten über Kernphysik in nicht zu ferner Zukunft wieder erlaubt werden würden.

1953 wurde mir der Erlanger Lehrstuhl angeboten. Ich kehrte in meine Heimatstadt zurück. Mit Hilfe eines dann beschafften Beschleunigers konnten wir polarisierte Protonen auf 12 MeV bringen und damit eine Reihe interessanter Arbeiten durchführen. Darauf will ich aber nicht eingehen, sondern stattdessen einige Erfahrungen aus meinem Berufsleben beschreiben. Ich sagte schon, durch meine Doktorarbeit bei Gudden wurde ich zum Physiker. Gudden sagte manchmal: "Die Schwierigkeit ist immer klein, sie muß nur überwunden sein." Diesen Satz kann man oft anwenden, denn der Fortschritt besteht sehr häufig aus sehr vielen ganz kleinen Schritten, und es kommt immer wieder vor, daß man sich fragt, warum bin ich nicht schon viel früher auf diese einfache Idee gekommen. Gudden war vorher im Institut von Pohl in Göttingen. Nach meiner Doktorprüfung vermittelte er mir den Aufenthalt in Göttingen. Ich bekam zunächst eine Hilfskraft-Stelle bei Pohl. Bei Gudden und bei Pohl wurde mir sehr deutlich, daß man mit der Physik nur vertraut wird, wenn man die physikalischen Erscheinungen selbst beobachtet hat und darüber nachdenkt. Beschreibungen an der Tafel oder in einem Buch reichen nicht aus. Bei vielen Aussagen der Physik wurde immer wieder gefragt: Woher weiß man das eigentlich? Beruht das vielleicht auf einer Hypothese, oder erwartet man das aus einer Theorie, oder gibt es einen einwandfreien experimentellen Beweis dafür, und wie sieht dieser aus? Den jüngeren Kollegen sage ich daher: Die Vorlesung über Experimentalphysik muß sich laufend auf vorgeführte Experimente stützen. Bloße Beschreibungen an der Tafel, sogenannte "Kreidephysik" ist unzureichend. Die

Fähigkeit zu sicherer Anwendung grundlegender Aussagen muß entwickelt werden.

Dann noch ein wichtiger Punkt: Als Institutsdirektor muß man sich überlegen, welche Vorbedingungen notwendig sind, damit die Arbeit des Instituts erfolgreich laufen kann. Dazu muß einerseits im Institut ein Umgangston des Vertrauens herrschen, so wie ich ihn bei Gudden und bei Pohl erlebt habe. Andererseits muß man es fertigbringen, vor allem befähigten Nachwuchs ins Institut zu ziehen. Deshalb habe ich mir die Abnahme der Diplomvorprüfung der künftigen Diplomphysiker stets vorbehalten. Man bekommt dabei fast immer einen zuverlässigen Eindruck, was von dem Kandidaten in der Zukunft erwartet werden kann, seine geistige Beweglichkeit, ein waches Interesse an der Physik, Klarheit im Ausdruck und Denken sind zu erkennen. Wenn sich der Betreffende als gut erwiesen hatte und sich auch im Fortgeschrittenen-Praktikum bewährte, wurde ihm eine Diplomarbeit angeboten. In meinen letzten Amtsjahren habe ich oft Assistenten als Beisitzer zur Vorprüfung hinzugezogen, vor allem, um diesen Assistenten zu zeigen, was man bei einer solchen Prüfung erkennen kann. Begabung läßt sich entwickeln, aber mangelnde Begabungsanteile lassen sich durch Schulung nicht beheben. Es gibt heute leider zahlreiche Pädagogen, die das nicht wahr haben wollen.

Zum Schluß komme ich noch einmal zurück auf die Vorgeschichte der Uranspaltung. Fermi glaubte, wie bereits erwähnt, gefunden zu haben, daß die Substanz mit der Halbwertszeit 13 Minuten ein Transuran mit der Ordnungszahl 93 sei. Ida Noddack, die zusammen mit ihrem Mann einige wenige Jahre vorher das Element Rhenium, das Element mit $Z = 75$ entdeckt hatte, nahm zur Arbeit von Fermi Stellung und schrieb wörtlich: "Bevor man behaupten kann, ein Transuran liege vor, muß man alle chemischen Elemente ausschließen, denn bei der Umwandlung eines so schweren Kerns wie Uran kann man annehmen, daß bei dieser neuartigen Kernzertrümmerung durch Neutronen erheblich andere Kernreaktionen stattfinden, als man sie bisher bei Einwirkung von Protonen und Alphastrahlen beobachtet hat [...]. Es wäre denkbar, daß bei der Beschießung schwererer Kerne mit Neutronen diese Kerne in mehrere größere Bruchstücke zerfallen, die zwar

Isotope bekannter Elemente, aber nicht Nachbarn der bestrahlten Elemente sind."

Bei den Physikern wurde diese "Meinung einer Chemikerin", ich möchte sagen, glatt vom Tisch gewischt. Das sei eine "unphysikalische Vorstellung". Denn seit Gamow wissen wir ja, daß nur benachbarte Elemente entstehen können. Damit war das Urteil verbunden: "Andere Prozesse gibt es nicht." Vor einer solchen Schlußweise möchte ich nachdrücklich warnen. Die Physiker waren damals "alle", wenn ich so sagen darf, der Meinung, daß nur benachbarte Elemente entstehen können. Auch Lise Meitner war keine Ausnahme. Sie betonte Hahn gegenüber von 1935 bis 1938 immer wieder: "Es können nur Elemente in der direkten Nachbarschaft des Elements 92 entstehen", und sie postulierte daher Transurane. Als die Anzahl der Transurane immer größer wurde, nahm sie die Existenz isomerer Zerfallsreihen von Transuranen an. Das war schon damals für viele ganz ungläubhaft und war ein Irrweg.

Wie sieht die damalige Entwicklung nachträglich aus? Segrè, ein damaliger Mitarbeiter von Fermi, der später zur Aufklärung dieser Probleme wesentlich beigetragen und den Nobelpreis erhalten hat, hielt vor zwei Jahren, kurz vor seinem Tod einen Vortrag über die Geschichte der Entdeckung der Kernspaltung. Er spricht jetzt, d.h. 50 Jahre später, offen über die Irrtümer, die damals passiert sind. Er schrieb: "Wir waren damals blind für die Möglichkeit einer Spaltung." Er nannte die Entwicklungsgeschichte eine "comedy of errors" und zählte 15 Irrtümer auf, die dabei passierten. Ich will nur einen davon besprechen.

Im Periodensystem gibt es bekanntlich die Gruppe der 14 Seltenen Erden, die nicht in die sonstige Periodizität passen. Im Jahr 1934 war zwar schon einigen wenigen Physikern aufgrund der Systematik des Aufbaus der Elektronenhülle bekannt, daß etwas Analoges bei den Ordnungszahlen 90 bis 103 auftreten muß. Fermi und seine Mitarbeiter wußten das damals noch nicht. Man glaubte, Element 93 sei chemisch homolog zu den Elementen Re und Mn. Hätten Fermi und seine Mitarbeiter schon damals gewußt, daß das Element 93 ganz andere chemische Eigenschaften hat, dann hätten sie die Substanz mit der

Halbwertszeit 13 min nicht für Element 93 gehalten, sondern sie hätten schließen können, daß es das noch fehlende Element der homologen Reihe, nämlich das Element 43 sei. Wenn sie das dann einwandfrei nachgewiesen hätten, wäre damit die Kernspaltung entdeckt gewesen, denn es handelte sich tatsächlich um das Isotop mit der Masse 101 des Elements 43, das man heute Technetium nennt.

Hahn und Straßmann wiesen die Uranspaltung Ende 1938 nach. Auch in Paris wurden die chemischen Eigenschaften der Umwandlungsprodukte von Uran plus Neutron mit großer Intensität untersucht, und zwar von Curie und Savitch. Sie waren nahe an der Entdeckung. Sie berichteten im Sommer 1938 über einen Stoff von 3,5 Stunden Halbwertszeit: "Es scheint also, daß dieser Körper nichts anderes sein kann, als ein Transuranelement, das aber von den anderen bekannten Transuranelementen sehr unterschiedliche chemische Eigenschaften besitzt, eine Hypothese, die Interpretationsschwierigkeiten aufwirft." Und weiter: "Insgesamt sind die Eigenschaften diejenigen des Lanthan, von dem man es anscheinend nur durch Fraktionierung trennen kann." Nachträglich weiß man, sie hatten eine Mischung aus einem Lanthan-Isotop und einem Yttrium-Isotop vor sich, zwei Spaltprodukten mit ganz ähnlichen Halbwertszeiten. Hätten sie den einen 3,5 Stunden-Körper eindeutig als Lanthan identifiziert, dann wären sie die Entdecker der Kernspaltung gewesen.

Hahn und Straßmann haben als erste fehlerhafte chemische Analysen, die allerdings mit unsichtbaren und unwägbaren Mengen ausgeführt werden mußten, durch richtige ersetzt. Seinen aufregenden Befund teilte Hahn sofort brieflich Lise Meitner mit, informierte sein eigenes Institut, aber erst 17 Tage später (am 2. Januar 1939). Lise Meitner konnte dann aufgrund der Mitteilung zusammen mit ihrem Neffen Frisch, der gerade bei ihr war, durch Vergleich der genauen Atomgewichte feststellen, daß beim "Zerplatzen" des Urans oder bei der "fission", wie Frisch es ins Englische übersetzte, auch eine beträchtliche Energiemenge, nämlich rund 200 MeV je zerplatzendem Urankern als kinetische Energie freiwerden.

Als sich später herausstellte, daß bei der "Spaltung", wie man den Prozeß dann auf deutsch bald nannte, auch einige Neutronen entste-

hen, war sofort weltweit klar, ich betone weltweit, bei allen Personen, die sich mit Kernumwandlung usw. befaßt hatten, daß dann höchstwahrscheinlich Energie aus Uran gewonnen werden kann, daß also ein Reaktor Energie liefert. Einige Zeit später wußte man dann auch, daß Isotop 235 maßgeblich beteiligt ist, und daß man wahrscheinlich Atombomben bauen kann, wenn die sehr sehr schwierige Abtrennung dieses nur 0,7 % ausmachenden Isotops gelingt.

Es gibt Leute, die sagen, Hahn hätte den Befund geheim halten sollen, dann hätte es keine Atombombe gegeben. Diese Folgerung ist irrig. Dann wäre die Uranspaltung kurze Zeit später von Curie und Savitch entdeckt worden. Im übrigen läßt sich ein Naturvorgang, den jeder beobachten kann, der sich die Hilfsmittel dazu beschafft, überhaupt nicht geheim halten. Meist trägt jeder Forscher zu den bisherigen Erkenntnissen nur eine kleine neue Teilkenntnis bei, und wir müssen uns darüber im klaren sein, daß wir überhaupt nur Teilkenntnis besitzen. Zwar bemühen wir uns, sie zu verbessern und zu vervollkommen, aber daß wir dabei, und sei es auch nur auf einem Teilgebiet, der Weisheit letzten Schluß schon gefunden hätten, dürfen wir uns auf keinen Fall einbilden.

Otto Haxel



Otto Haxel

Professor Haxel wurde 1909 in Neu-Ulm geboren. Er studierte in München und in Tübingen, wo er im Jahre 1933 promovierte. Unser Referent habilitierte sich 1936 in Berlin und war bis 1945 an der dortigen Technischen Hochschule als Dozent für Physik tätig. Hier kam er bei der Beschäftigung mit den bei der Bestrahlung des Urans entstehenden radioaktiven Nukliden zum ersten Mal mit Otto Hahn in engeren Kontakt. Nach dem Kriege war Herr Haxel von 1946 bis 1950 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Physik in Göttingen, das unter Leitung von Werner Heisenberg stand.

1950 nahm Professor Haxel einen Ruf nach Heidelberg an das Physikalische Institut an. Hier beschäftigte er sich u.a. mit dem Nachweis von radioaktiven Spurenstoffen in der Atmosphäre. Herr Haxel war von Anfang an Mitglied der Deutschen Atomkommission; ebenso war er am Aufbau des Kernforschungszentrums Karlsruhe, dessen Aufsichtsrat er von der Gründung an bis 1970 angehörte, maßgeblich beteiligt. Im Jahre 1970 unterbrach unser Referent seine Hochschultätigkeit für fünf Jahre und übernahm hauptamtlich die wissenschaftlich-technische Leitung dieses Forschungszentrums. Ab 1975 war Professor Haxel wieder an der Universität Heidelberg tätig und arbeitete dort über Fragen der Beeinflussung des Klimas durch anthropogene Faktoren.

Von seinen zahlreichen Veröffentlichungen soll hier nur auf die Publikationen *Das Schalenmodell des Atomkerns* (mit J.H.D. Jensen u. H.E. Suess) sowie auf *Entstehung, Eigenschaften und Wirkungen ionisierender Strahlen* hingewiesen werden.

Professor Haxel gehört seit 1951 der Heidelberger Akademie der Wissenschaften an und war ab 1978 deren Präsident; er ist Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. 1971 wurde ihm der große Verdienstorden des Bundesverdienstkreuzes verliehen; 1973 erhielt er den Ehrendoktor in Karlsruhe, und 1980 wurde ihm der Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt verliehen.

Wie ich die Entstehung der Physik der Atomkerne erlebte

Einleitung

Die Entstehung der Physik der Atomkerne kann man in zwei Epochen einteilen. Die erste, die sich Radioaktivität nannte, dauerte von 1896 bis 1938, als Otto Hahn die Uranspaltung entdeckte. Es war nur ein kleiner Kreis von Physikern und Chemikern, der sich mit diesem Außenseitergebiet zwischen Physik und Chemie befaßte. Als sich herausstellte, daß man die Hahnsche Entdeckung technisch nutzen kann, erwachte plötzlich das Interesse an den Atomkernen, und es gab die Kernphysik. Dieses Wort ist doppeldeutig, denn neben der Physik der Kerne, kann man es auch im Sinne eines Kernes der Physik gebrauchen. Bis zu einem gewissen Grad war auch die Kernphysik eine Zeitlang der Mittelpunkt der Physik, denn alles drehte sich um das Wissen über die Kerne. Es mußten die Wirkungsquerschnitte, Halbwertszeiten, Strahlenenergien, Massen usw. gemessen werden, wenn man technisch dieses Gebiet beherrschen wollte.

Da ich nicht alles schildern kann, was zu diesem großen Gebiet gehört, greife ich nur einige wenige, aber entscheidende Entdeckungen heraus, die ich entweder selbst miterleben durfte, oder aus den Erzählungen meines Lehrers Hans Geiger gut kenne. Ich hoffe, ich kann Sie damit bis zu einem gewissen Grade die Entstehungsgeschichte dieses Gebietes der Physik und Technik nacherleben lassen. Noch ein weiteres möchte ich mit meinem Erlebnisbericht erreichen: Aus vielen Diskussionen mit geisteswissenschaftlich geprägten Gesprächspartnern weiß ich, daß in der Öffentlichkeit vielfach falsche Vorstellungen über die Arbeitsweise des Physikers bestehen, die ich gerne berichtigen möchte. So mußte ich oft bei Diskussionen über Energiefragen gegen den Vorwurf kämpfen, wir Physiker würden die Erforschung der Grundlagen der alternativen Energien zugunsten der Kernphysik vernachlässigen, da letztere unseren Liebhabereien mehr entgegenkomme. Ich hoffe, mein Erlebnisbericht zeigt, daß die heute bekannten

Fakten der Kernphysik nicht Liebhabereien entsprungen sind, sondern in mühevoller, mit Enttäuschungen gespickter Kleinarbeit der Natur abgerungen werden mußten.

Die Entdeckung der Radioaktivität (1896)

Das Gebiet der Kernphysik ist mit der Entdeckung der Radioaktivität eröffnet worden. Diese wurde von H. Becquerel als Nebeneffekt in einem Experiment gefunden, von dem er zunächst glaubte, es sei völlig mißlungen. Becquerel arbeitete über das kalte Leuchten des Lichtes, also Fluoreszenz und Phosphoreszenz; ein damals sehr beliebtes Arbeitsgebiet, da man glaubte über diese Phänomene die Emissions- und Absorptionsvorgänge des Lichtes ergründen zu können. Ein Jahr zuvor waren die Röntgenstrahlen entdeckt worden. Becquerel vermutete wie viele andere mit ihm, daß diese neue Strahlung dem sichtbaren Licht verwandt sein müsse. Es lag daher nahe, daß er feststellen wollte, ob die Erscheinungen, die er am sichtbaren Licht untersuchte, auch bei den Röntgenstrahlen zu finden sind. Die Mineraliensammlung seines Vaters kam ihm dabei zu Hilfe. Er legte die einzelnen Mineralien, die er zuvor mit einer Röntgenröhre kräftig bestrahlt hatte, auf eine photographische Platte, um zu sehen, ob es das Phänomen der Phosphoreszenz, also das Nachleuchten, auch bei Röntgenstrahlen gibt. Und siehe da, bei einigen Materialien gab es die gesuchte Schwärzung auf der Platte. Seine Freude über die Entdeckung schlug aber in eine ebenso große Enttäuschung um, als er bei genauerem Studium erkennen mußte, daß die Schwärzung nichts mit der Röntgenbestrahlung zu tun hatte, sondern eine Eigenschaft der Mineralien an sich ist. Aber immerhin, er hat, wenn auch unabsichtlich, die Radioaktivität entdeckt und damit ein wichtiges Gebiet der Physik erschlossen.

Im Jahre 1903 wurde Antoine Henri Becquerel für seine Entdeckung mit dem halben Nobelpreis geehrt. Die andere Hälfte ging an das Ehepaar Pierre und Marie Curie, er Physiker und sie Chemikerin, die in der Zwischenzeit festgestellt hatten, daß sich aus den Uran- und Tho-

riumminerale Becquerels neue chemische Elemente isolieren ließen, deren Strahlungsintensität das Millionenfache der des Urans und des Thoriums betrug. In diesem denkwürdigen Jahr fanden P. Curie und A. Laborde, daß ein Radiumpräparat laufend Wärme produziert, eine Erscheinung, für die es bis dahin keine physikalische Erklärung gab. Der Kreis der an diesen Erscheinungen der Radioaktivität interessierten Forscher hatte sich inzwischen merklich vergrößert, insbesondere Rutherford und seine Mitarbeiter waren dazugestoßen. Rutherford wußte bereits, daß die Strahlung aus zwei Komponenten bestand: einer, die bereits durch ein Blatt Papier absorbiert werden konnte, die er Alphastrahlung nannte, und einer etwas durchdringenderen, zu deren Absorption man schon ein Schreibheft benötigte, die er Betastrahlung nannte. Magnetische und elektrische Ablenkungsversuche brachten ihn zu der Überzeugung, daß die Betastrahlen mit den damals bereits bekannten Kathodenstrahlen identisch sind, und daß die Alphastrahlen aus doppelt positiv geladenen Heliumatomen bestehen. Bereits in diesem Jahr (1903) vermutete er, daß die vielen neu gefundenen radioaktiven Elemente durch Atomumwandlungen auseinander hervorgehen. Ernst Rutherford erntete aber mit diesen neuen Vorstellungen keineswegs die Bewunderung seiner Kollegen, sondern, wie mir Geiger öfter erklärte, eher Verwunderung und Verärgerung. Da hat man sich eben mit dem Gedanken angefreundet, daß es Atome wirklich gibt, und diese nicht nur eine angenehme Arbeitshypothese der Chemiker sind, da kommt so ein Phantast und macht die Atome, die Unteilbaren, wieder kaputt.

Erst 10 Jahre später (1913) kam das Gebiet der radioaktiven Elemente zu einem gewissen Abschluß, als Kasimir Fajans und gleichzeitig Frederick Soddy die sogenannten Verschiebungssätze fanden. Diese sagten aus, daß durch einen Betazerfall ein Tochterelement entsteht, dessen Ordnungszahl um eine Einheit größer ist als die der Muttersubstanz. Die Massenzahl wird durch den Zerfall nicht verändert. Beim Alphazerfall nimmt die Ordnungszahl um zwei Einheiten ab und die Masse um vier Einheiten, entsprechend dem Atomgewicht des Heliums. Um die vielen radioaktiven Elemente - heute sagt man Nuklide - unterzubringen, mußten mehrfach Substanzen mit verschiedenen

radioaktiven Eigenschaften an derselben Stelle des Periodischen Systems der Elemente eingereiht werden: als sogenannte Isotope, die zwar gleiche chemische Eigenschaften aber verschiedene Massen besaßen. Alle radioaktiven Substanzen ließen sich in zwei mit Uranisotopen, der Massen 238 und 235, beginnende Familien sowie eine mit Thorium beginnende Familie einreihen. Als schließlich der Physikochemiker Otto Hönigschmid bei seinen Präzisionsbestimmungen der Atomgewichte zeigen konnte, daß Blei ein unterschiedliches Atomgewicht zeigte, je nachdem ob es aus Uranmineralien oder Thormineralien gewonnen war, nahm die Zahl der Zweifler ab. Doch blieb die Radioaktivität ein Außenseitergebiet der Physik, obgleich viele bedeutende Forscher, darunter Otto Hahn und Lise Meitner ihre Lebensarbeit diesem Gebiet widmeten. Es hatte nur magere Kontakte mit den anderen Gebieten der Physik. Aus der an sich sehr spannenden Entstehungsgeschichte will ich nur einen kurzen Abschnitt herausgreifen, den ich über die Erzählungen meines Lehrers Geiger näher kenne.

Die anomale Streuung von Alphastrahlen

Durch reinen Zufall, nicht etwa weil ihn das Arbeitsgebiet von Rutherford fasziniert hätte, kam Geiger zu Rutherford und wurde einer seiner bedeutendsten Schüler und Mitarbeiter. Geiger hatte 1906 in seiner Vaterstadt Erlangen mit einer Arbeit über elektrische Entladungen in Gasen promoviert. Sein Doktorvater verschaffte ihm einen Arbeitsplatz bei einem Kollegen in Manchester, der auf einem verwandten Gebiet arbeitete. Nach einem Jahr war nicht nur das Stipendium abgelaufen, auch Herr Schuster, der Chef der Physik in Manchester, ging in den Ruhestand, so daß der Englandsaufenthalt von Geiger zu Ende war. Die Koffer waren bereits gepackt, da kam ein Herr Rutherford ins Institut, um es anzusehen, denn er sollte die Nachfolge von Schuster antreten. Da niemand anderer anwesend war, zeigte Geiger dem Gast die Einrichtungen. Offenbar fanden beide Gefallen aneinander, jedenfalls bot Rutherford Geiger die Stelle des Verwaltungsassistenten

an; dieser sagte sofort zu und packte die Koffer wieder aus. Geiger blieb 5 Jahre bei Rutherford. Es waren die physikalisch erfolgreichsten Lebensjahre, nicht nur für Geiger.

Rutherford war gerade damit beschäftigt, die Zahl der Zerfälle pro Zeiteinheit einer genau definierten Menge einer radioaktiven Substanz zu ermitteln. Kennt man die Lebensdauer und die Zerfallsrate, so läßt sich daraus die Loschmidtsche Zahl, also die Zahl der Atome pro Mol errechnen. Rutherford wollte diese Zahl haben, als einen Beweis für die Richtigkeit seiner Zerfallshypothese. Die bisherigen Messungen ergaben zwar die richtige Größenordnung, doch waren sie nicht gegen alle Einwände gefeit, denn sie wurden mit der Szintillationsmethode gefunden. Diese beruht darauf, daß die Alphateilchen in der Leuchtsubstanz Zinksulfid kleine Lichtblitze auslösen, die mit einem Mikroskop ausgezählt werden können. Um dem Einwand zu begegnen, daß mit dieser Methode möglicherweise nur ein Teil der Zerfälle erfaßt wird, mußte eine unabhängige Zählmethode gefunden werden. Jetzt kamen Geigers Erfahrungen über Gasentladungen zum Tragen. Mit Hilfe der Stoßionisation konnte die Zahl der von einem Alphateilchen ausgelösten Ionen soweit verstärkt werden, daß sie mit einem auf höchste Empfindlichkeit gezüchteten Elektroskop nachgewiesen werden konnten. So entstand das erste Zählrohr - wir würden es heute Proportionalzählrohr nennen. Diese erste elektrische Nachweismethode bestätigte die Szintillationszählungen. Nach Erfüllung dieser wichtigen Aufgabe verschwand das Zählrohr wieder in der Versenkung, denn das Handhaben der empfindlichen elektrischen Nachweismethoden war wesentlich umständlicher als die Szintillationsmethode. Erst 20 Jahre später, als es eine Verstärkertechnik gab, erschien das Zählrohr wieder als Geiger-Müller-Zählrohr, das dann das wichtigste Meßgerät für den Nachweis ionisierender Strahlen wurde.

Bei der genauen Auszählung der Zerfälle des Radiums gab es noch ein weiteres Problem. Es zeigte sich, daß die Alphateilchen nicht ganz genau geradlinig durch die Materie fliegen. Offenbar werden sie in den Atomen um sehr kleine Winkel abgelenkt. Im Mittel gleichen sich diese Ablenkungen gegenseitig aus, aber in manchen Fällen können sie sich auch aufsummieren, so daß eine kleine Abweichung von der

Geradlinigkeit beobachtet wird. Blendet man mit einer Metallblende einen Strahl aus, so zeigen sich auch in dem von der Blende abgeschatteten Bereich noch einige Strahlen, so daß die Strahlenbündelgrenze nicht ganz scharf ist.

Um sicher zu gehen, wie er die mangelhafte Bündelbegrenzung bei der Auszählung zu korrigieren habe, untersuchte Geiger diese Vielfachstreuung eingehend und fand sie in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Statistik. Die genaue Kenntnis der Gesetze der Statistik gehörte damals schon zum unabdingbaren Handwerkszeug der Forscher. Der radioaktive Zerfall gab ja auch eine wunderbare Prüfungsmöglichkeit für diese Gesetze, denn das von den beiden Wolfenbüttlern Gymnasiallehrern J. Elster und H. Geitel gefundene exponentielle Abfallgesetz für den radioaktiven Zerfall konnte, wie vor allem E.v. Schweidler gezeigt hatte, nur verstanden werden, wenn der einzelne Zerfallsakt nur vom reinen Zufall abhängt und nicht etwa kausal bedingt ist. Ein soeben entstandenes Radiumatom muß dieselbe Zerfallswahrscheinlichkeit haben wie eines, das schon einige tausend Jahre alt ist. Für die Atome gibt es also keinen Alterungseffekt. Jedenfalls bei dem Vorgang der Vielfachstreuung schien alles mit den Gesetzen der Statistik in bester Ordnung zu sein.

Eines Tages kam zu Geiger dessen Schüler Marsden und verkündete ihm, er finde nicht nur Alphateilchen, die ein oder zwei Grad abgelenkt wurden, sondern auch solche, die in einer Metallfolie hinten herauskommen, also um mehr als 90° abgelenkt worden seien. Geiger war ärgerlich und machte Marsden den Vorwurf, er habe geschweigt und radioaktive Substanz unkontrolliert ins Innere seiner Apparatur gebracht und damit die primitivste und oberste Regel bei allen Arbeiten mit Radioaktivität verletzt. Von Dreckeffekten wolle er nichts wissen. Doch Marsden widersprach energisch und konnte Geiger überzeugen, daß es sich bei seiner Beobachtung um Physik und nicht radioaktive Kontamination handelt. Geiger und Marsden experimentierten weiter und fanden, daß Goldfolien ein Vielfaches an gestreuten Teilchen ergaben, verglichen mit Glimmer oder Aluminium. Alle Resultate waren reproduzierbar, auch bei Veränderungen der Versuchsanordnung. Als Geiger Rutherford Bericht erstatten wollte, bereitete

dieser Geiger denselben Empfang, den Geiger seinem Schüler hat zuteil werden lassen. Schließlich mußte sich auch Rutherford den Fakten beugen und den Effekt anerkennen. Eine Erklärung für die Großwinkelstreuung gab es nicht. Eine statistische Häufung von Kleinwinkelstreuungen war undenkbar, aber auch eine Einzelstreuung war im damaligen Atommodell, bei dem die Masse des Atoms gleichmäßig über das Atomvolumen verteilt angenommen wurde, nicht vorstellbar. Wo sollten die riesigen Kräfte herkommen, die ein Heliumatom mit $1/50$ Lichtgeschwindigkeit um einen großen Winkel ablenken können. Rutherford prägte das Bild, das wäre ja gerade so, als wenn eine Gewehrkugel von einem Blatt Papier zurückgeworfen würde. Wenn auch keine Deutung zu finden war, bekam der Effekt wenigstens einen Namen. Er war: "Die anomale Streuung von Alphastrahlen".

Rutherford kreiert den Atomkern

Einer meiner Vorgänger hier in Heidelberg, P. Lenard, hat in seinem Vortrag bei der Nobelpreisverleihung 1905 den Gedanken geäußert, daß die Atome in ihrem Innern leer sein müssen und nur von Kraftfeldern ausgefüllt sein können. Nur so wären seine Versuche über den Durchgang von Kathodenstrahlen durch Materie zu verstehen. Die Kathodenstrahlen durchqueren die Atome, ohne steckenzubleiben; sie werden nur in ihrer Richtung abgelenkt und abgebremst. Dasselbe gilt für den Durchgang von Alphastrahlen durch Materie, nur sind ihre Richtungsänderungen wegen der größeren Masse entsprechend kleiner.

Solche Vorstellungen müssen Rutherford Pate gestanden haben, als er sein Atommodell entwarf. Die Anomalie bei der Alphastreueung beschäftigte ihn unablässig. Er erkannte, daß nur in nächster Nähe einer elektrischen Punktladung so hohe Feldstärken auftreten können, daß ein Alphastrahl zurückgeworfen werden kann, sofern in der Punktladung auch genügend Masse verankert ist, damit der Impuls aufgenommen werden kann. So stellte er die Hypothese auf, daß im Innern

des Atoms die ganze Masse in einem Punkt vereinigt ist, der eine kräftige positive Ladung trägt. Offenbar hat er diesem Modell selber nicht viel zugetraut, denn, um keine Zeit mit unnötigem Rechnen zu verlieren, hat er einen Studenten - sozusagen als Übungsaufgabe - damit beauftragt, auszurechnen, wie die Winkelverteilung von geladenen Teilchen aussieht, wenn man ein Bündel von ihnen an solchen punktförmigen Streuzentren vorbeischießt. Die Rechnung ergab, daß das Gros der Teilchen nahezu ohne Ablenkung eine Schicht solcher Streuzentren durchsetzt. Nur einige wenige, die sehr nahe an die Punktladungen herankommen, erleiden einen größeren Ablenkwinkel, und nur ganz selten werden die Teilchen zurückgeworfen. Rutherford ließ Geiger die Rechenergebnisse experimentell überprüfen und siehe da, die Übereinstimmung war hervorragend. Dies war beeindruckend, da die Teilchenzahlen zwischen kleinen und großen Winkeln um mehrere Zehnerpotenzen variierten. Erst nachdem auch die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Streurrate mit der Hypothese übereinstimmte, wagte es Rutherford, seine Streuformel und damit sein Atommodell zu publizieren. Chadwick hat dann in einer nach meiner Meinung viel zu wenig bekannten Arbeit gezeigt, daß die Experimente am besten wiedergegeben werden, wenn man die Ladung des Streuzentrums proportional zur Ordnungszahl des streuenden Materials macht. Der Atomkern war damit geboren. Er enthält die gesamte Masse des Atoms, und er trägt eine positive Ladung, deren Betrag gleich Ordnungszahl mal Elementarladung ist.

Damit war aber noch nicht die Kernphysik geboren, sondern erst die Atomphysik. Der Atomkern war nicht sehr populär im Kreise der Physiker. Die Hypothese vom Massenpunkt, nur um eine Anomalie bei der Alphastrahlenstreuung zu erklären, schien etwas weit hergeholt. Dies galt jedoch nicht für den als Gast bei Rutherford weilenden jungen Dänen Niels Bohr. Dieser war von Rutherfords Idee begeistert, interessierte sich jedoch weniger für den positiv geladenen Kern, sondern mehr für die diesen umgebende Elektronenhülle. Das Bohrsche Atommodell feierte seine Triumphe, indem es die Balmerformel erklärte, den Einfluß elektrischer und magnetischer Felder auf die Spektren verständlich machte und der Chemie eine neue Basis gab.

Damit war auch der Atomkern, ohne den das Modell nicht auskam, etabliert. Aber von Kernphysik wurde immer noch nicht gesprochen, das Gebiet hieß immer noch Radioaktivität. Dies mit einer gewissen Berechtigung, denn die Arbeiten auf diesem Gebiet waren nur so gut wie die radioaktiven Strahlenquellen und andere Strahlenquellen als die der radioaktiven Elemente gab es noch nicht.

Auf dem Gebiet der Atomkerne wurden weiter wichtige Entdeckungen gemacht. Geiger und Nuttall hatten gefunden, daß zwischen der Energie der Alphateilchen eines radioaktiven Elementes und dessen Halbwertszeit ein enger Zusammenhang besteht. Alphastrahler, die energiereiche Strahlen aussenden, haben eine kurze Lebensdauer; solche mit kleiner Alphastrahlenenergie, wie etwa Uran und Thorium, haben Lebensdauern von Milliarden von Jahren, während die energiereichsten Strahler nur Mikrosekunden leben. Diese Beobachtung schrie direkt nach einer Erklärung. Auch die Entstehungsgeschichte der Alphastrahlen schien mit dem Modell des Kerns zugänglich zu werden. Die naheliegendste Idee war die, daß durch die Zahl der Ladungen und den Durchmesser des Kerns die Höhe des Potentialberges gegeben ist, den die Alphateilchen herunterfallen und damit ihre kinetische Energie bekommen. Leider hielt dieser schöne Gedanke der Nachprüfung nicht stand. Mit Hilfe der Einzelstreuung, die jetzt längst nicht mehr anomale hieß, von Alphateilchen an Uranfolien konnte gezeigt werden, daß die Alphateilchen eines Thoriumabkömmlings mit der doppelten Energie des Urans keinen Gipfel des Potentialberges bei der Energie der Uranteilchen finden konnten. Des Rätsels Lösung fand erst viele Jahre später George Gamow (1928). Er nahm an, daß das Alphateilchen im Kern schon seine Emissionsenergie besitzt, aber durch die starken Kernkräfte festgehalten wird. Es befindet sich daher in einem Potentialtopf, dessen hoher Rand das Entweichen verhindert. Dank seiner Wellennatur kann es aber die Wand durchtunneln. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist umso größer, je dünner die Potentialwand ist. Energiereiche Alphateilchen, die sich am oberen Rand des Potentialtopfes befinden, werden daher durch eine viel dünnere Wand zurückgehalten als energieärmere. Gamow konnte zeigen, daß die Rechnungen genau die Entweichwahrscheinlichkeiten und deren Abhän-

gigkeit von der Alphaenergie ergaben, die Geiger und Nuttall in ihrer berühmten Beziehung gefunden hatten. Mit der Gamowschen Zerfallstheorie war ein großer Fortschritt im Verständnis des Kernes gelungen. Es ließen sich jetzt auch die Wahrscheinlichkeiten für den Umkehrprozeß, also das Eindringen eines Teilchens in den Kern ausrechnen. Damit war das Problem der künstlichen Kernumwandlung der Berechnung zugänglich. Es zeigte sich, wenn auch nur rechnerisch, daß bei den hohen Temperaturen im Innern der Sterne Kernreaktionen stattfinden können. Damit war die bis dahin unbekannte Energiequelle der Sterne erkannt. Ein neues Gebiet der Astronomie, die Astrophysik, war eröffnet worden.

Diese aufregende Phase der beginnenden Kernphysik vollzog sich zur selben Zeit, in der ich mein Studium aufnahm. Es wäre rückblickend das Naheliegendste, anzunehmen, daß die Faszination, die von diesem Gebiet der Physik ausging, meinen Weg zu meinem Lehrer Geiger bestimmt hätte. Dem ist nicht so, dafür waren nahezu banale Faktoren verantwortlich.

Wie ich zu meinem Lehrer Geiger kam

Als Schüler war ich begeisterter Radiobastler und kannte die einschlägige Literatur, soweit sie mir zugänglich war, weit besser als mein Schulpensum. Es lag daher nahe, daß ich das Ingenieurstudium ergreifen wollte und zunächst eine halbjährige Praktikantentätigkeit ausübte, wie sie für dieses Studium vorgeschrieben war. Bereits im ersten Semester erkannte ich, daß für mich die Physik das Richtige ist. Die Vorlesungen von Zenneck, den ich als Pionier der Hochfrequenztechnik verehrte, waren mir eine Offenbarung. Da es an der Technischen Hochschule München einen Studiengang Technische Physik gab, ließ ich mich auf diesen umschreiben. Mit derselben Begeisterung besuchte ich die Vorlesungen von Gerlach an der Universität. Das Studium verlief normal, ja ich hatte sogar ein gewisses Vertrauensverhältnis zu Zenneck gefunden, denn im Physikalischen Praktikum, das er regelmäßig aufsuchte, sprach er oft lange mit mir; ich durfte

Fragen stellen über den Vorlesungsstoff, die er mir offensichtlich gerne und ausführlich beantwortete. Erst viele Jahre später habe ich erfahren, daß ich diese Vorzugsbehandlung nicht meinen klugen Fragen verdankte, sondern nur dem Umstand, daß Zenneck in seiner bajuvarischen Umgebung zur Abwechslung wieder einmal den heimatischen Dialekt gebrauchen wollte. Das Vordiplom konnte ich termingemäß mit guten Noten ablegen.

Meine Mutter war über das Diplomzeugnis zutiefst erschrocken, denn es lautete nicht auf ein ihr bekanntes Fach wie Maschinenbau oder Elektrotechnik, sondern auf Technische Physik. Sie erkundigte sich bei einem statistischen Amt nach den Berufsaussichten auf diesem Gebiet und erhielt die Antwort: Das Berufsbild des Physikers gäbe es nicht, daher sei ihre Frage nicht beantwortbar. Meine Mutter erklärte mir, daß sie unter diesen Umständen mein Studium nicht weiter finanzieren könne.

Hier muß ich nachtragen, daß mein Vater sowie der Bruder meiner Mutter im ersten Weltkrieg gefallen waren, und meine Mutter als alleinstehende Frau mit dem Geschäft ihres Vaters sich und zwei Kinder, von denen eines auch noch studieren wollte, durchbringen mußte. Dadurch ist sie eine resolute und nüchterne Frau geworden. Ich mußte unbedingt einen Gegenbeweis erbringen und ging zum Münchner Kultusministerium, um mich zu erkundigen, ob ich mit meinem Studium mit einer Anstellung an einer höheren Schule rechnen könne. Offenbar war ich an einen subalternen Beamten geraten. Er empfing mich wenig freundlich und wurde unfreundlich, als ich ihm mein Abiturzeugnis zeigte. Die Noten waren ihm fremd, denn ich hatte mein Abitur in dem württembergischen Ulm gemacht. Die Unfreundlichkeit schlug in Zorn um, als ich auf die Frage, warum ich mein Abitur außerhalb Bayerns abgelegt hätte, zur Antwort gab, das sei nicht meine Schuld, sondern die des bayerischen Staates, der in meiner Vaterstadt Neu-Ulm keine Schule mit Abiturabschluß unterhalte. Die wütende Antwort, daß ich keine Chance hätte, je in den Bayerischen Staatsdienst übernommen zu werden, war zu erwarten.

Ich wollte jedoch nicht aufgeben und fuhr umgehend nach Stuttgart. Dort wurde ich im Kultusministerium sehr freundlich in der heimati-

chen Mundart empfangen, mein Abiturzeugnis fand Gefallen, und man ließ mich wissen, daß ich gute Chancen für eine Anstellung als Lehrer an einer höheren Schule hätte. Etwas ängstlich wagte ich die Frage, ob dem nicht mein in Bayern liegender Geburtsort Neu-Ulm im Wege stünde. Als ich die Antwort erhielt, daß dies doch absolut belanglos sei, fiel mir ein Stein vom Herzen, und ich brach in ein Lachen der Erleichterung aus. Um meinem Gesprächspartner meine eigenartige Reaktion zu erläutern, erzählte ich, was ich tags zuvor in München erlebt hatte. Nun war das Lachen an ihm. Er ging aus dem Zimmer und holte einen weiteren Kollegen, und ich mußte die Geschichte nochmals in allen Details erzählen. Es ergab sich ein angeregtes Gespräch, an dessen Schluß ich den kameradschaftlichen Rat erhielt, doch das Abschlußexamen in Stuttgart oder Tübingen abzulegen, denn alles gestalte sich viel einfacher, wenn man im Lande zurückfragen könne.

Ich beschloß darauf, sofort die Hochschule zu wechseln. Schweren Herzens erklärte ich Zenneck, daß ich nicht wie vorgesehen in sein Labor eintreten könne und bat um Rat, ob ich nach Stuttgart oder Tübingen gehen solle. Zenneck empfahl mir zu Geiger nach Tübingen zu gehen. Geiger sei eben erst von Kiel nach Tübingen gekommen und habe noch Platz in seinem Institut, außerdem würde mir dessen Arbeitsgebiet bestimmt gefallen, womit er mehr als recht hatte. Geiger nahm mich in sein Institut auf und gab mich in die Obhut seines Oberassistenten Chr. Gerthsen, dem ich bei dessen Kanalstrahluntersuchungen assistieren sollte. Es war eine völlig neue Welt für mich, die mich vollkommen in Anspruch nahm. Nie wieder habe ich in so kurzer Zeit soviel Physik gelernt, da mir Gerthsen alle Einzelheiten seiner Apparatur und deren Aufgaben erklärte. Schon nach wenigen Wochen durfte ich eine eigene Apparatur aufbauen, um für Gerthsen mit Hilfe der Kathodenzerstäubung Berylliumfolien herzustellen. Gerthsen hat mir natürlich die nötigen Anleitungen dazu gegeben. Er war mit mir zufrieden, denn ich konnte ihm doch etwas behilflich sein, wenn auch nicht mit meiner Physik, so doch mit meinen Fähigkeiten als Mechaniker, die ich mir während meiner Praktikantenzeit erworben hatte. Als ich die ersten brauchbaren Berylliumfolien hergestellt hatte und eben

dabei war, die Apparatur umzubauen und zu optimieren, kam Geiger zu Gerthsen und mir. Ich war von Gerthsen schon darauf vorbereitet worden.

Geiger ließ sich von mir meine Apparatur erklären, für die er nur mäßiges Interesse zeigte. Als ich erzählen wollte, was ich weiter vorhatte, winkte er ab und meinte, dies würde jemand anderer machen; er habe für mich eine neue Aufgabe. Ich schaute hilfeschend zu Gerthsen und erkannte an dessen strahlendem Gesicht, daß alles weitere schon abgesprochen war. Geiger nahm mich mit in sein Cheflabor, das ich ehrfürchtig betrat. Ich solle die nächste Zeit hier arbeiten, sagte mir Geiger, und zeigte mir die bereits in Betrieb befindliche Apparatur. Es war ein Proportionalzählrohr, winzig klein verglichen mit dem über einen Meter langen Verstärkerkasten, an dessen Ausgang ein Trichterlautsprecher angeschlossen war. In einem großen Regal standen einige Dutzend Anodenbatterien, wie sie damals für den Betrieb von Radioempfängern üblich waren, die hintereinandergeschaltet die Hochspannung für das Zählrohr lieferten. Geiger brachte ein Alphastrahlenpräparat vor das Fenster des Zählers, das im Lautsprecher gut hörbare Knackse ergab. Mit einem Relais und einem elektrischen Zähler (Telefongesprächszähler) sollten später die Teilchenzahlen erfaßt werden, doch das funktionierte noch nicht. Geiger brachte dann noch ein Gammstrahlenpräparat in die Nähe und zeigte, daß die Alphastrahlen auch in Gegenwart der Gammastrahlen nachgewiesen werden konnten. Meine Aufgabe sollte es nun sein zu versuchen, ob nicht auch Protonenstrahlen in Gegenwart von Beta- und Gammastrahlen nachzuweisen sind. Ich dürfe dazu alles verändern, was ich wolle, nur an dem Verstärker dürfe ich nichts tun. Dieser sei tabu, denn er sei von einem Kieler Kollegen eigens für ihn (Geiger) entwickelt und gebaut worden. Letztlich sollte ich die Versuche von Bothe in Berlin und Chadwick in England, die beide die bei Atomumwandlungen durch Alphastrahlen ausgelösten Protonen ausgemessen hatten, wiederholen. Ich sollte aber nicht wie Bothe und Chadwick die energiearmen Alphastrahlen des Poloniums benutzen, sondern Alphastrahlen hoher Energie. Solche Strahler sind aber kurzlebig und daher nur in Verbindung mit einer längerlebigen Muttersubstanz und den

Tochtersubstanzen als Quellen zu verwenden, was den Nachteil hat, daß eine massive Beta- und Gammabegleitstrahlung in Kauf genommen werden muß. Gelänge es mir, die Protonen in Gegenwart dieser Begleitstrahlung zu finden, dann würde ich das Gebiet der Atomumwandlungen erheblich verbreitert haben; wahrlich eine verlockende Aufgabe.

Ich studierte die Literatur und ließ mich von Gerthsen beraten. Geiger selbst gab mir die meisten Hilfestellungen. Er zeigte mir, wie man mit einem Blatt Zigarettenpapier, das man vor eine Alphastrahlen-Quelle hielt, natürliche Protonen erzeugen kann. Das größte Erlebnis war die Herstellung eines Radiumemanationspräparates. In einem nur mit einer roten Dunkelkammerlampe und einer schwachen Glühbirne erleuchteten Kellerraum befand sich ein Kolben mit einer Radiumsalzlösung, über der sich die durch den Radiumzerfall gebildete Emanation ansammelte. Mit einer Döplerpumpe wurde das Gas, das im wesentlichen aus durch Radiolyse entstandenem Wasserstoff bestand, in ein fingerhutförmiges Glasröhrchen gepumpt, das unten durch Quecksilber abgedichtet war. Mit diesem Röhrchen wurden die zwei bis drei cm^3 Gas in eine mannshohe, etwa einen Meter breite Apparatur gebracht, die aus einer Unzahl von Glasröhren, Druckgummischläuchen und vielen kg Quecksilber bestand. Als erstes wurde das Gas mit etwa der gleichen Menge Luft versetzt und dann expandiert, soweit das möglich war. Mit einem elektrischen Funken wurde der Wasserstoff entzündet. Trotz des niedrigen Gasdruckes war der Explosionsstoß ganz beachtlich; ich habe mich jedesmal gewundert, daß die Glasapparatur nicht zu Bruch ging. Danach kam das Gas in ein Gefäß mit Trockensubstanz, um Wasserdampf und Kohlendioxid zu adsorbieren. Während der Verweilzeit war Zeit für Gespräche, in denen mir Geiger über seine Erlebnisse bei Rutherford berichtete. Ich erfuhr, wie durch Zusammenarbeit fast aller Mitarbeiter im Laufe der Jahre diese Apparatur entstanden war, vor deren Kopie wir jetzt saßen. Vieles aus diesen Unterhaltungen habe ich in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben. Die Unterhaltung wurde im Dunkeln geführt, nicht um der Romantik willen, sondern um unsere Augen an die Dunkelheit zu adaptieren, denn die folgenden Schritte der Manipulation wurden im

Eigenlicht der Emanation ausgeführt. Die intensive Alphabestrahlung bringt das Glas zum Fluoreszieren, so daß man bequem sehen kann, wo sich die Emanation jeweils befindet, was das Experimentieren sehr erleichtert. Nach der Trocknung wurde die Emanation durch ein U-Rohr gepumpt, das mit flüssiger Luft gekühlt wurde. Schon bevor das Gas in die Höhe des Spiegels der flüssigen Luft kam, wurde die Emanation vollständig an der Glaswand auskondensiert, so daß ein heller gelbgrüner Ring entstand, dessen Licht für die Bedienung der Apparatur mehr als ausreichend war. Die nichtkondensierbaren Gase wurden soweit möglich weggepumpt und danach die Emanation durch Erwärmen des U-Rohres (meist mit den Fingern) freigesetzt und mit Quecksilber in ein kleines Glaskügelchen gedrückt, das am Ende einer dünnen Kapillare saß. Am Eigenleuchten konnte man sehen, ob man die Emanation an die richtige Stelle gebracht hatte. Die Herstellung dieser Glaskügelchen hatte ich von Geiger gelernt. Viele Stunden, wenn nicht Tage habe ich mit der Herstellung verbracht und sie in großer Serie hergestellt. Als erstes wurden sie ausgepumpt. Diejenigen, die implodierten, schieden damit aus. Von den Überlebenden habe ich dann dasjenige ausgewählt, das die dünnste Haut hatte. Je weniger Energie die Alphastrahlen in der Quelle verloren, desto wertvoller war mein Präparat.

Mit der Herstellung solcher Glaskügelchen, so erzählte mir Geiger, hänge die größte Blamage seines Lebens zusammen. Rutherford fragte ihn, schon in der allerersten Zeit der Zusammenarbeit, ob er, Geiger, nicht Glasröhrchen herstellen könne, die so dünn wären, daß die Alphastrahlen austreten können. Diese Röhrchen könne man dann in Bleiröhrchen stecken und aus dem Blei das Helium austreiben. Ramsay sei in der Lage, diese kleine Menge spektroskopisch nachzuweisen. Geiger meinte, dies sei aus Festigkeitsgründen unmöglich. Rutherford gab nicht nach und fragte weiter. Royss konnte die besagten Kügelchen blasen, und so wurde Royss der Mitautor der berühmten Arbeit, die die Identität von Alphateilchen und Helium bewies. Für Geigers Zögern bei diesem Experiment gibt es mildernde Umstände. Für ihn war die Frage der Identität von Alphateilchen bereits gelöst, denn einige Jahre zuvor hatten Ramsay und Soddy bereits gefunden,

daß in radioaktiven Mineralien gehäuft Helium vorkommt. Rutherford sah sich aber der Kritik seiner geologischen Kollegen ausgesetzt, die ihm klar machten, daß dieses Helium anderen Ursprungs sein müsse, denn die Welt sei gar nicht so alt, daß die gefundene Menge hätte entstehen können. Die Aussagekraft der damaligen Radiologie war eben sehr viel geringer als die der geologischen Altersbestimmung. Das hat sich inzwischen gewaltig geändert.

In der Zusammenarbeit mit Geiger gab es nur einmal eine zum Glück nur kurz dauernde Unstimmigkeit. Es war am Anfang; ich kam sehr rasch voran und hatte bald alle Optimierungsmöglichkeiten ausgeschöpft bis auf den Verstärker, der ja tabu war. Von außen konnte ich feststellen, daß der Verstärkungsfaktor nicht optimal war, die Leistung der Endröhre völlig unzureichend war und, was mich am meisten störte, der Zugang zum Gitter der Eingangsröhre war blockiert, offensichtlich durch einen Kondensator. Ich wollte nur kurz nachsehen und schraubte den Deckel auf, hob ihn leicht an und sah die ältesten Radoröhren, die ich kannte, und eine unmögliche Leitungsführung. Mein Respekt vor dem Tabu sank weit unter den Nullpunkt. Ich machte den Deckel ganz auf, um wenigstens den Eingangskondensator zu überbrücken. Als ich gerade mit dem LötKolben in der Hand loslegen wollte, stand Geiger in der Tür, schlug die Hände über dem Kopf zusammen, wurde rot im Gesicht und rief: "Ach, diese jungen Leute, die haben auch vor gar nichts mehr Respekt." Ich versuchte zu beschwichtigen und versprach, alles wieder so herzustellen wie es gewesen war. Ich bat nur darum, einen neuen Verstärker bauen zu dürfen. Geiger meinte, das können Sie doch gar nicht. Dieser Verstärker wäre von einem der angesehensten Hochfrequenztechniker gebaut worden und soviel hätte ich bei Zenneck gar nicht lernen können, um es mit diesem aufzunehmen. Ich wagte einzuwenden, daß der Bau aber doch schon viele Jahre zurückliegen müsse, denn die Röhren seien nicht auf dem Stand der Technik. Diesen würde ich einigermaßen kennen, denn bis vor einigen Monaten, als ich in sein Institut eintrat, war dieses Gebiet mein ausschließliches Hobby. Ich überzeugte Geiger, daß mein Vorhaben sinnvoll sei, und die Harmonie war wieder hergestellt.

Ein weiteres Erlebnis hat das kollegiale, väterlich-wohlwollende Verhältnis Geigers zu mir vor allem für die weitere Zukunft sehr gefestigt. Ich hatte zufällig beobachtet, daß meine Aluminiumfolie, die ich mit Alphastrahlen bestrahlt hatte, radioaktiv war. Offenbar war mein Präparat undicht geworden, doch nichts paßte dazu. Weder war eine Undichtigkeit zu erkennen, noch paßte die gefundene Halbwertszeit zu den Substanzen in meiner Strahlenquelle. Ich ging zu Geiger, um mir Rat zu holen, doch auch er wußte keine Erklärung. Auf die Frage, ob ich den Effekt weiter untersuchen soll, meinte Geiger, nur wenn er gravierend stören sollte, andernfalls soll ich den Nebeneffekt vergessen und mich ganz meiner Doktorarbeit widmen und so rasch es geht ins Examen gehen, sonst könne er mir die vorgesehene Assistentenstelle nicht geben. Da ich in Geldnöten war, schlug dieses Argument durch.

Zwei Jahre später, als ich mein Examen hinter mir hatte und wohlbestallter Assistent war, kam Geiger zu mir und zeigte mir die Arbeit des Ehepaares Joliot vom Pariser Radiuminstitut, in der die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität mitgeteilt wurde. Geiger erinnerte sich sofort daran, daß ich zwei Jahre zuvor die von den Joliot beschriebene Substanz schon in den Händen hatte. Geiger meinte etwas bedrückt, daß sein damaliger Rat, die Erscheinung nicht weiter zu verfolgen, ein schlechter gewesen sei. Ich konnte ihm ehrlich versichern, daß ich mit dem Verlauf der Dinge äußerst zufrieden sei, denn ohne finanzielle Basis hätte ich ja die Physik aufgeben müssen; eher müßte ich mir Vorwürfe machen, daß ich die Erscheinung nicht besser fundiert hätte, denn der nächste notwendige Schritt sei ja ein radiochemischer gewesen, den ich nie hätte gehen können, wohl aber er mit seinem engen Freund Otto Hahn. Der Nobelpreis, den das Ehepaar Joliot kurz darauf erhielt, war nicht der für Physik, sondern der Chemiepreis.

Die Entdeckung der Uranspaltung durch Otto Hahn

Im Wintersemester 1936/37 ging Geiger nach Berlin-Charlottenburg an die Technische Hochschule und nahm mich als einen seiner engeren Mitarbeiter mit. In Berlin hatte ich einige Freunde, so daß ich sehr rasch in einen großen Freundekreis kam, der im wesentlichen aus Industriephysikern bestand. Die politisch sehr traurige Zeit hatte wenigstens den einen Vorteil, daß sie gleichgesinnte Menschen sehr eng zusammenrücken ließ, um sich gegenseitig helfen zu können. In diesem Kreise stellte ich einmal die Frage, ob man sich darüber freue, daß Geiger die Nachfolge von Gustav Hertz angetreten habe. Die Antworten, die ich erhielt, waren für mich doch leicht deprimierend, wenn auch nicht überraschend. Die Person und der Wissenschaftler Geiger seien sehr willkommen, doch sei es eine Fehlbesetzung, denn ein so esoterisches Gebiet wie die Radioaktivität gehöre nicht an die Technische Hochschule der Stadt Berlin, in der die gesamte Großindustrie des Reiches konzentriert sei.

Einige Jahre später haben die Donnerschläge von Hiroshima und Nagasaki gezeigt, daß dieses Gebiet leider Gottes gar nicht so esoterisch ist, sondern im Gegenteil Eingriffe in das Weltgeschehen hervorgerufen hat wie vor dem keine andere naturwissenschaftliche Erkenntnis.

Aus meiner Berliner Zeit will ich nur einige Erlebnisse der Jahre 1938/39 herausgreifen, die nicht nur physikalisch sehr ereignisreich waren. Im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie hatten O. Hahn und F. Straßmann gefunden, daß bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen neben einigen anderen ein radioaktives Produkt entstand, das sie als ein Radiumisotop chemisch identifizieren konnten. Ich hätte auch gerne auf diesem Gebiet gearbeitet, denn man durfte hoffen, daß man durch Neutronenanlagerung in das Gebiet der Transurane kommen kann und dort eine Antwort auf die Frage findet, warum es in der Natur keine schwereren Atome als das Uran gibt. Die Entstehung des von Hahn gefundenen Radiums schien mir mit physikalischen Mitteln angebar. Um vom Uran zum Radium zu kommen, sind mindestens zwei Alphazerfälle nötig. Da das Radium kurz nach der Bestrahlung

bereits gefunden werden kann, müssen die radioaktiven Zwischenprodukte sehr kurzlebig sein. Kurzlebige Alphastrahler haben aber energiereiche Strahlen, die neben den energiearmen Strahlen des Urans zu finden sein müßten. Als Ausgangssubstanz benötige ich aber für solch einen Versuch eben frisch gefälltes Uran, das vollkommen frei von kurzlebigen Folgeprodukten ist. Ich fragte Geiger, ob ich mir im Chemieraum einen diesbezüglichen Arbeitsplatz herrichten könne. Geiger lehnte strikte ab, mit der Begründung, ich würde dabei das Institut radioaktiv kontaminieren und damit die am Institut laufenden Arbeiten über kosmische Strahlung verhindern. Ich sollte mir das Uran bei Otto Hahn besorgen. Dies leuchtete mir ein, denn ich durfte ein berechtigtes Mißtrauen der Höhenstrahler gegen mich nicht noch weiter schüren. Zwar lagen unsere Arbeitszimmer so weit wie dies möglich war auseinander, aber gelegentlich mußte ich doch ein starkes Präparat durch das Institut tragen und die Höhenstrahler bitten, solange ihre Apparaturen abzuschalten. Nie hätte ich gewagt, einen so berühmten Mann wie Hahn um so eine lapidare Hilfestellung zu bitten, wenn ich nicht gewußt hätte, daß Hahn und Geiger durch ihre langjährige gemeinsame Arbeit bei Rutherford sehr eng befreundet waren. Auch war ich Hahn und seinen Mitarbeitern schon bekannt, denn die Geigersche Zählrohrtechnik war ihr wichtigstes Handwerkszeug.

Als es soweit war, überreichte mir Hahn selbst das eben frisch gefällte Uran, bot mir weitere Hilfestellungen an und meinte, daß Geiger aus Erfahrung wisse, warum er keine Radiochemie in seinem Institut haben wolle. Ich kleidete die Innenwand eines Proportionalzählrohres mit dem Uran aus und überdeckte das Uran mit einer Aluminiumfolie, die gerade so dick war, daß die Uranalphateilchen nicht durchdringen konnten. Mit einer gleichartigen Apparatur hatte ich zuvor die Alphastrahlenemission des Bors unter Neutronenbeschuß erfolgreich ausgemessen. Der Nulleffekt meines Uranzählrohres war vernachlässigbar, ein Beweis, daß ich sauber gearbeitet hatte und das Uran keine störende Menge kurzlebiger Folgeprodukte enthielt. Ich setzte das Experiment in Gang und wartete gespannt auf die Alphateilchen, die auftreten sollten, wenn ich eine Neutronenquelle in die Versuchsanordnung einlegte. Aber nichts geschah. Wenn ein Effekt da sein sollte,

dann mußte er einige tausendmal kleiner sein als der, den ich beim Bor beobachtet hatte. Nachdem ich die Apparatur mehrmals überprüft hatte und sicher war, daß die kurzlebigen Vorprodukte des Radiums nicht existieren, berichtete ich mein negatives Ergebnis Geiger. Dieser meinte, ich müsse dies Hahn mitteilen. Als ich zu Hahn kam, wurde ich mit dem freudigen Ruf empfangen: endlich auch einmal ein Physiker, der nicht an das Radium glaubt.

Erst ein Jahrzehnt später, als ich viel mit Hahn reden konnte, da ich in seinem Sekretariat kleine Hilfsdienste ausführen durfte, wurde mir klar, wie dieser Ausspruch gemeint war. Hahn war von Anfang an der Meinung, daß die radioaktive Substanz ein Bariumisotop war. Lise Meitner aber und alle ihrer Mitarbeiter machten Hahn klar, daß dies maximaler Unsinn sei, es könne sich nur um ein chemisch verwandtes Element in der Nähe des Urans handeln. Dieselbe Auskunft erhielt er von allen anderen Physikern, mit denen er sprach. Ich wurde zum Glück nicht gefragt, aber ich hätte dieselbe Antwort gegeben. Vom Kern wußte man damals nicht viel, doch war klar, daß die Kräfte, die die Protonen und Neutronen im Kern zusammenhalten, millionenmal größer sind als die, mit denen die Atome in den Molekülen oder im Festkörper zusammen gehalten werden. Schießt man Teilchen auf den Kern, so bleiben sie entweder an der Oberfläche hängen, oder sie schlagen bestenfalls ein anderes Teilchen aus der Oberfläche heraus. Andere Reaktionen waren nicht bekannt. Das Herausbrechen eines größeren Stückes oder gar eine Aufspaltung waren absolut undenkbar. Daß der Kern trotz dieser großen Kernkräfte sich wie ein Flüssigkeitstropfen verhält und sich einschnüren kann, war keine leichte Kost für die Physikergehirne, dazu bedurfte es der Uranspaltung.

Ich wollte Hahn meine Gedanken auseinandersetzen, doch er lehnte lachend ab, das sei alles Physik, von der er nichts verstehe: "Gehen Sie hinauf zur Lise und überzeugen Sie diese." Mit großen Erwartungen auf eine anregende wissenschaftliche Diskussion mit der lebhaften und universellen Physikerin Lise Meitner, die ich ob ihrer großen Verdienste um die Physik der Betastrahlung bewunderte und verehrte, rannte ich die Treppe hoch und trat in ihr Zimmer ein. Doch Frau Meitner wirkte nicht wie sonst, eher apathisch und bedrückt. Nach

wenigen Sätzen sagte sie, daß sie meine Überlegungen kenne, sie habe dieselben angestellt und ihr Mitarbeiter Herr von Droste mache dasselbe Experiment wie ich. Er wisse alles, sie selbst habe keine Zeit, da sie anderweitig sehr in Anspruch genommen sei. Ich ging zu von Droste, fragte ihn, was mit Frau Meitner los sei. Er war überrascht, daß ich überhaupt vorgelassen wurde, denn Frau Meitner habe schon seit über einer Woche mit keinem ihrer Mitarbeiter mehr gesprochen. Er zeigte mir seine Apparatur, die sich von meiner nur durch eine etwas andere Geometrie unterschied. Wir trösteten uns gegenseitig darüber, daß wir nichts gefunden haben, aber uns gegenseitig bestätigen konnten.

Das bedrückte Verhalten von Frau Meitner fand wenige Tage später ein traurige Aufklärung. Frau Meitner war Jüdin, was ich gar nicht wußte. Welcher Physiker kümmert sich schon um die Religion seiner Kollegen. Durch die Annexion Österreichs entfiel die österreichische Staatsangehörigkeit, die der geborenen Wienerin bisher Schutz bot, und sie drohte in die Mühle der Rassengesetze zu kommen. Dank eines mutigen holländischen Kollegen, der sie über die Grenze gebracht hat, konnte sie zu Siegbahn nach Stockholm gehen und dort einen Arbeitsplatz finden.

Ich stellte die Apparatur beiseite und wollte warten, bis mir eine gute Idee kam, wie man dem Problem beikommen konnte. Die gute Idee kam nicht, aber dafür ein Einberufungsbefehl zum Heeresdienst im Zusammenhang mit der Sudetenkrise. Über Nacht war ich vom Physiker zum Lastwagenführer in einer Trainkolonne geworden. Die Fahrt nach Oberschlesien und ins Sudetenland war alles andere als langweilig, denn meine Kompaniekameraden waren fast ausschließlich Berliner Taxifahrer, alle wesentlich älter als ich. Es kam das Münchner Abkommen. Heute würde ich sagen, ein großes Unglück, denn durch die Nachgiebigkeit der Welt gegenüber Hitler ist es zum Weltkrieg gekommen. Damals dachte ich ganz anders über das Abkommen; insbesondere als ich die Fortifikationen auf tschechischer Seite sah, gegen die wir hätten anrennen sollen, dankte ich dem Schöpfer für diese Erlösung. Die wunderbare Qualität des Pilsener Bieres im Sudetenland habe ich heute noch in Erinnerung.

Als ich nach den Weihnachtsfeiertagen ins Institut zurückkam, sagte mir Geiger, daß Hahn soeben publiziert habe, daß das Radium falsch identifiziert worden sei und in Wirklichkeit Barium ist. Damit war die Verwirrung vollkommen, denn wie sollte ein Element in der Mitte des Periodischen Systems gebildet werden können? An der Aussage von Hahn zweifelten wir beide keinen Moment. Wir waren uns sofort klar, daß wenn Hahn recht hat und wider alle Erwartungen so große Bruchstücke entstehen können, dann müssen diese wegen der enormen Coulomb-Abstoßung mit Energien auseinanderfliegen, die die der Alphastrahlen um das Zehnfache übersteigen. Ihre Energie muß in der Gegend von 100 MeV liegen! Warum sind diese Teilchen bei meinem Experiment nicht aufgetreten? Ganz klar: wegen der hohen Kernladung ist ihre spezifische Ionisation so hoch, daß sie nur eine kleine Reichweite haben. Sie sind also in der Folie steckengeblieben. Nun war klar, was zu tun ist. Nicht nach Strahlen hoher Reichweite, nach solchen hoher Energie ist zu suchen.

Zum Glück war meine Apparatur noch nicht abgebaut. So rasch es ging, wurde die Folie herausgenommen und im Radiumkeller eine neue Neutronenquelle gemacht. Ich nahm die Verstärkung soweit zurück, daß die Alphastrahlen soeben noch zu sehen waren. Ich legte die Neutronenquelle ein und sah so große Peaks, so daß ich an eine elektrische Störung glauben mußte. Ich konnte es lange nicht fassen, es war alles in bester Ordnung. Nahm ich die Quelle weg, gab es keine Ausschläge, und beim Wegnehmen der Paraffinrückstreuschicht reduzierte sich - wie erwartet - die Impulszahl. Die maximalen Impulshöhen entsprachen etwa 100 MeV.

In meiner ersten Begeisterung holte ich Geiger und alle erreichbaren Kollegen. Zum ersten Mal eine Kernreaktion mit Energien, die die normalen Umwandlungsenergien um mehr als einen Faktor 10 überstiegen! Geiger riet zur Ruhe und meinte, jetzt beginne erst die Arbeit mit der Ausmessung aller erfaßbaren Größen. Dies tat ich auch und konnte zeigen, daß die Teilchen aus zwei Gruppen bestanden, deren Energien dem Befund von Hahn entsprachen.

Ich war mir natürlich bewußt, daß ich nicht der einzige und auch nicht der erste war, der das Erlebnis der physikalischen Beobachtung der

Kernspaltung hatte. Von Droste hatte sicher schon einige Tage vor mir die Folie vor seiner Uranschicht abgenommen. Vermutlich hatte Robert Otto Frisch, der Neffe von Lise Meitner, als erster die energiereichen Teilchen gesehen. Er hatte sich an Weihnachten mit seiner Tante in Südschweden getroffen, die von Hahn das Manuskript der zu veröffentlichenden Arbeit bekommen hatte. Frisch schreibt in seinen Erinnerungen ganz ehrlich, daß er sich zunächst geweigert habe, mit seiner Tante über diese Absurdität zu diskutieren, daß sie ihn aber überzeugen konnte, daß, wenn Hahn sagt, das ist Barium, man sich dann mit dieser Tatsache abzufinden habe. Sie erkannten, daß die Spaltung aufgrund des Verlaufs der Massendefekte zumindest energetisch möglich sein konnte. Frisch fuhr nach Kopenhagen zurück, wo er als Emigrant einen Arbeitsplatz gefunden hatte. Er zeigte Niels Bohr seine experimentellen Ergebnisse und berichtete, was er von seiner Tante erfahren hatte.

N. Bohr erahnte auch des Rätsels Lösung. Der Kern war eben nicht wie bisher angenommen der superharte Kristall, sondern hatte die Eigenschaften eines Flüssigkeitstropfens. Der übergroße Tropfen wird durch den Einbau des Neutrons zu Schwingungen angeregt und zerfällt in zwei kleinere. Ein kleiner Schönheitsfehler blieb, warum verläuft bei der Auslösung durch langsame Neutronen die Spaltung unsymmetrisch und warum geht die Natur nicht den energetisch günstigeren Weg, nämlich die symmetrische Spaltung. N. Bohr war gerade auf dem Sprung in die USA, und so verbreitete sich die Kunde von der Uranspaltung blitzartig weltweit über den interessierten Kreis der Physiker. In der internationalen Literatur hat sich dafür der Name Fission eingebürgert, den ihr Frisch gegeben hat. Dieser Kreis war aber immer noch der kleine, der auf dem Gebiet der Radioaktivität arbeitenden, mit nur wenigen Kontakten zur allgemeinen Physik und kaum welchen zur Technik.

Rutherford (1871-1937) hat kurz vor seinem Tode geschrieben, daß man jede Hoffnung, die in den Kernen schlummernden Energien jemals technisch nutzbar machen zu können, für alle Zeiten begraben müsse. Die bei einer Umwandlung freiwerdende Energie werde in den Hüllen der Nachbaratome sofort so weit degradiert, daß nie eine wei-

tere Umwandlung eingeleitet werden könne. Der ungarische Physiker Szilard hat dasselbe in die Form gekleidet, eine technische Reaktion könne es nur geben, wenn man eine Reaktion finden würde, bei der ein Neutron zwei weitere auslösen würde. Dies konnte nur sarkastisch gemeint sein, denn jedermann, insbesondere Szilard wußte, daß es - bis dahin - solche Reaktionen nicht geben konnte. Die Entdeckung der Uranspaltung hat eine neue Situation geschaffen. Der Verdacht, daß die Spaltung diejenige Reaktion ist, bei der durch ein Neutron neue Neutronen ausgelöst werden, war durchaus gegeben, denn der Neutronenüberschuß des Urans ist wesentlich größer als der der mittelschweren Kerne. Man konnte daher erwarten, daß neben den Spaltprodukten auch einige Neutronen emittiert werden. Als diese Neutronenemission in der Tat gefunden wurde, erwachte das allgemeine Interesse an diesem Gebiet der Physik und der Name Kernphysik tauchte auf, als Kurzwort für Physik der Kerne, nicht etwa Kern der Physik.

In den folgenden Jahren nahm die Zahl der auf diesem Gebiet (nuclear physics) tätigen Wissenschaftler enorm zu, nicht jedoch im damaligen Reichsgebiet, denn durch den Kriegsausbruch wurde die ungebundene wissenschaftliche Tätigkeit sehr behindert. Insbesondere fehlte der Kontakt mit dem Ausland, auf den ein so kleiner Kreis von Wissenschaftlern unbedingt angewiesen ist. Zwar war bekannt, daß für die Spaltung nur das seltene Isotop mit ungerader Masse in Frage kommt, und daß das häufigere Isotop mit gerader Masse als Neutronenfänger fungiert und zu den Transuranen führt. Eine technische Nutzung war also nur möglich durch eine Isotopenanreicherung des Urans oder mit Hilfe einer komplexen Anlage, in der ein Moderator dafür sorgt, daß die Neutronen bevorzugt dem selteneren Isotop zugeführt werden. Heisenberg hat für eine solche Anlage, die den Namen Uranmaschine erhielt, eine komplette und - wie sich hinterher herausstellte - auch vollkommen richtige Theorie entwickelt. Ein entsprechendes Experiment wurde auch aufgebaut, jedoch mit unzureichenden Mengen an Uran. So ist es bis zum Kriegsende im Reichsgebiet nie zu einer sich selbst tragenden Kettenreaktion gekommen. Der Versuch der Isotopentrennung ist im technischen Ausmaß erst gar nicht in Angriff

genommen worden. Zwar lebte der Erfinder der Isotopentrennung, Gustav Hertz, in Berlin als Leiter des Siemensforschungslaboratoriums, doch war es vorhersehbar, daß der nötige technische Aufwand und die Energie während des Krieges nicht verfügbar gemacht werden konnte.

In den USA hat dieser Weg zum Erfolg geführt. Ausschlaggebend war aber, daß Enrico Fermi schon im Jahre 1942 in Chicago mit einem graphit-moderierten Reaktor eine Kernkettenreaktion in Gang setzen konnte. Damit waren die physikalischen Spekulationen zu einer greifbaren technischen Realität geworden. Ich wundere mich heute noch, daß dieses Ergebnis des Fermischen Versuches - meines Wissens - keinem meiner deutschen Kollegen zu Ohren gekommen ist, Gott sei Dank. Das Leben im Staate Hitlers war auch so schon konfliktreich genug.

Damit habe ich das durch das Thema meines Vortrages gesteckte Ziel, nämlich über die *Entstehung der Kernphysik* zu berichten, erreicht. Ich möchte noch über eine Etappe im weiteren Verlauf der Entwicklung der Kernphysik berichten, die nicht unwichtig war und mein Leben sehr nachhaltig beeinflusste, da sie mir die Freundschaft mit meinem leider nicht mehr lebenden Kollegen Jensen verschaffte und damit meinen Berufsweg nach Heidelberg veranlaßte. Es war die Entstehung des Schalenmodells der Kerne.

Die Entstehung des Schalenmodells der Atomkerne

Im Frühsommer 1946 kamen Hahn, Heisenberg, v. Laue und die anderen Kernphysiker, die am Kriegsende gefangen gesetzt wurden, aus der Internierung zurück. Ich schrieb an Hahn, daß ich sehr gerne bei ihm arbeiten möchte, wenn er sein Laboratorium wieder aufmachen würde. In Göttingen, in der damaligen britischen Besatzungszone, dachte man über die Nachfolgeorganisation der alten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft nach, die heutige Max-Planck-Gesellschaft, und hatte andere Pläne. Hahn gab mein Bewerbungsschreiben an Heisenberg weiter, der mich in sein Institut aufnahm. Die Jahre bei Heisenberg

waren mir die schönsten meines Lebens. Keine Belastung durch Vorlesung und Praktika, den ganzen Tag frei für Physik. Die Seminare waren faszinierend. Neben von Laue, von Weizsäcker und mehreren, inzwischen berühmt gewordenen jungen Leuten aus dem eigenen Haus, kamen auch Richard Becker und Hans Kopfermann von der Universität. Selbst aus dem, bei den damaligen Verkehrsverhältnissen, relativ fernen Hannover kam J.H.D. Jensen, der gelegentlich auch noch Hans Suess mitbrachte.

Neben meinen Experimenten mit natürlicher Radioaktivität und mit kosmischer Ultrastrahlung, dachte ich viel über den Aufbau der Kerne nach, angeregt durch die vielen Theoretiker im Hause. Durch meine früheren Experimente mit Umwandlungen durch Alphastrahlen wußte ich über die Stabilität der leichten Elemente einigermaßen Bescheid. Ich vermutete, daß es im Kern sowohl für die Protonen als auch für die Neutronen eine Schalenstruktur gibt, analog zu den der Elektronen in der Atomhülle. Die erste Schale der Kerne könnte danach je zwei Teilchen enthalten und durch den Heliumkern mit zwei Protonen und zwei Neutronen repräsentiert sein.

Zu der Vorstellung, daß der Heliumkern aus einer abgeschlossenen Protonen- und einer abgeschlossenen Neutronenschale besteht, paßte sehr gut, daß beim Einbau des letzten Teilchens, sei es das Proton oder das Neutron, ein besonders markanter Stabilitätsgewinn eintritt. Soll der Heliumkern durch den Einbau eines weiteren Nukleons, also eines Protons oder Neutrons, aufgestockt werden, so muß dies in der nächst höheren Schale eingebaut werden. Aus der Physik der Elektronenschalen weiß man, daß solche Elektronen relativ schwach gebunden sind. Bei den Kernen scheint dies noch viel ausgeprägter der Fall zu sein, denn an den Heliumkern kann überhaupt kein Nukleon angebaut werden. Die Natur kennt keinen stabilen Kern der Masse fünf. Der nächst schwerere Kern ist das Lithium mit der Masse sechs, ein relativ wenig stabiler Kern. Der nächste stabile Kern, der seine Nachbarn im Massendefekt je Nukleon überragt, ist der Kohlenstoff mit je sechs Protonen und Neutronen. Sollte hier wieder eine abgeschlossene Schale vorliegen? Wenn ja, dann sind die Zahlenverhältnisse bei den Kernen anders als in der Elektronenhülle.

Die Vorstellung, daß es beim Kernaufbau eine Art Schalenstruktur gibt, ist in der physikalischen Literatur schon vielfach diskutiert worden. Allgemein anerkannt war, daß sich die Protonenzahlen 20, 50 und 82 sowie die Neutronenzahl 126 durch besondere Stabilität auszeichnen. Da niemand für diese Zahlen eine Erklärung wußte, erhielten sie in der Literatur den Namen "Magische Zahlen". Bei dem Versuch, diese magischen Zahlen auch im Bereich der niedrigen Atomgewichte zu finden, bin ich aus Spielerei oder Zufall auf eine Zahlenmystik gestoßen, die die magischen Zahlen wiedergibt. Sie sieht wie folgt aus:

2; 4; 2,6; 4,2,8; 6,4,2,10; 8,6,4,2,12; 10,8,6,4,2,14; 12, usw. Das sind die geraden Zahlen, in fallenden Folgen angeordnet, wobei die nächste Folge jeweils mit der nächst höheren geraden Zahl beginnt. Bildet man nun die Summe aller Zahlen dieser Folgen bis einschließlich der höchsten der nächsten - das sind die Stellen in der obigen Zahlenfolge, an denen ich das Zeichen ; gesetzt habe - so ergeben sich die Zahlen: 2, 6, 14, 28, 50, 82, 126. Die drei höchsten Zahlen sind die "Magischen Zahlen" der Literatur und die unteren waren die, die ich für Schalenabschlüsse hielt. Der einzige Schönheitsfehler war, daß in meiner Zahlenmystik die magische Zahl 20 fehlte. War diese Zahlenmystik reiner Zufall oder steckte eine gute Physik dahinter, das war die Frage.

Anläßlich eines Gesprächs mit Heisenberg wollte ich diese Frage diskutieren. Schon nach den ersten Sätzen, in denen ich Heisenberg die experimentellen Befunde aufzeigen wollte, die nach meiner Meinung für einen Schalenaufbau der Kerne sprechen, erkannte ich, daß ich Heisenberg nichts ihm Unbekanntes zu bieten hatte. Erheitert über meine Verblüffung sagte er lachend, wenn wir jetzt über dieses Problem weitersprechen, werde ich wortbrüchig, denn ich habe mir geschworen, darüber keine Minute mehr nachzudenken, da ich viele Hunderte von Stunden damit erfolglos vergeudet habe. Lachend erwiderte ich, damit wollen Sie sagen, auch ich soll die Finger davon lassen. Nein, sagte er, jetzt ernst und nachdrücklich, Sie müssen darüber nachdenken, denn Sie kommen von einer anderen Seite. Ich weiß nur, daß meine Wege nicht zum Ziel führen.

So charmant und lachend wie mich Heisenberg abwimmelte, ebenso barsch und knurrig ließ mich Jensen abfahren, als ich ihm meine Überlegungen nahebringen wollte. Ich interessiere mich nur für Physik, nicht für Magie, das war seine Einstellung. Zum Glück war Hans Suess zugegen, der begeistert auf meine Schalenvorstellungen einging, denn sie paßten bestens zu seinen Überlegungen über die Häufigkeitsverteilung der Elemente. Er konnte Jensen überzeugen, daß hinter der Magie Physik stecken müsse. Bei einem seiner nächsten Besuche in Göttingen ließ er sich von mir alle Details meiner Überlegungen geduldigst erklären, so daß ich es wagte sogar meine Zahlenmystik vorzuzeigen. Als er sah, wie die Zahlen 50, 82, 126 herauskamen, war er fasziniert. Offensichtlich hatte auch er, ebenso wie Heisenberg, etliche Stunden mit dem Problem vergeudet. Von meinen niedrigen magischen Zahlen, auf die ich so stolz war und die mich auf den Weg gebracht hatten, wollte er gar nichts wissen. Dies seien unwesentliche Nebensächlichkeiten.

Bei einem seiner nächsten Besuche kam er strahlend auf mich zu und sagte, er habe des Rätsels Lösung. Der Kern sei ein Potentialtopf, dessen Ausdehnung und Tiefe durch die Summe aller Nukleonen, also Protonen und Neutronen, gegeben sei, in dem sich die Nukleonen, die man gerade betrachte, mit definiertem Drehimpuls und Spin bewegen. Was man ad hoc einführen müsse, das sei eine sehr starke Spin-Bahnkopplung, die eine entsprechend starke Aufspaltung der Drehimpulsniveaus ergebe. Er zeigte mir das Niveauschema, wie man es heute im Lehrbuch findet. Nun war das Glauben an Magie an mir. Von Kopfermann hatte ich gelernt, daß die Spin-Bahnkopplung ein minimaler Effekt ist, der die Feinstruktur der Spektrallinien hervorruft. Der Energiebereich liegt im Milli-e-Voltbereich; um die Aufspaltung der Kernniveaus zu erklären, braucht man jedoch Millionen-e-Volt. Wie soll man den Faktor 10^9 , der hier auftaucht, erklären? Dieses Problem besteht heute noch und wartet auf seine Lösung.

In diesem Zusammenhang erinnere ich mich an eine Unterhaltung mit Kopfermann. Jensen sollte im nächsten Kolloquium über das Schalenmodell vortragen. Kopfermann wollte nicht ganz unvorbereitet sein und bat mich, ihm zu erzählen, was ich darüber wußte. Als ich fertig

war, meinte er scherzhaft: "Zu merken ist es ganz einfach. Alles ist gerade umgekehrt wie in der Elektronenhülle. Die Hauptquantenzahl der Elektronenhülle spielt im Kern überhaupt keine Rolle, wichtiger ist die Nebenquantenzahl, also der Drehimpuls, und das Wichtigste ist beim Kern die Spin-Bahn-Kopplung, die in der Elektronenhülle nur die Feinstruktur bringt. Außerdem ist die Reihenfolge der Niveaus im Kern gerade umgekehrt wie in der Hülle." Vielleicht hat dieser Kopfermannsche Scherz einen physikalischen Hintergrund, den ich aber bisher leider nicht finden konnte.

Gleichzeitig mit Jensen, Suess und mir hat in den USA Frau Maria Goeppert-Mayer ganz analoge Überlegungen angestellt. Maria, wie wir sie immer kurz nannten, startete ihren Weg vom anderen Ende her. Enrico Fermi, an dessen Institut sie arbeitete, gab ihr die Anregung, doch einmal nachzuschauen, ob es bei den Kernen nicht auch eine Spin-Bahnwechselwirkung gäbe. Sie hatte zwar beim Start des Rätsels Lösung in Händen, doch war ihr Weg nicht weniger mühsam, denn niemand hat ihr Kopfermanns Scherz erzählt, daß in den Kernen alles umgekehrt ist wie in der Hülle; diese Erkenntnisse mußte sie sich mühsam aus den Fakten erarbeiten.

Normalerweise ist eine solche Situation der ideale Nährboden für Prioritätsrivalitäten. Doch genau das Gegenteil trat ein. Zwischen Maria und Jensen entstand eine enge Wissenschaftlerfreundschaft, aus der im Laufe der nächsten Jahre eine solide Theorie des Schalenmodells der Kerne entsprang, die zu einem gemeinsam geschriebenen Buch führte und durch den gemeinsamen Nobelpreis im Jahre 1963 gekrönt wurde.

Lustigerweise haben die immer noch nachwirkenden Kriegswirren diese glückliche Entwicklung erleichtert. Die amerikanischen Wissenschaftler konnten an dem sehr lebhaften militärischen Luftverkehr zwischen ihrer Besatzungszone und der Heimat partizipieren. So kamen wir in Göttingen zu vielen höchst willkommenen amerikanischen Besuchen, die es erleichterten, den wissenschaftlichen Anschluß an den Weltstandard zu finden. Ich erinnere mich noch genau an den Besuch von Joe Mayer, der in Göttingen studiert hatte und hier Maria Goeppert, seine spätere Frau kennenlernte. Er saß an meinem

Schreibtisch, ließ lachend die vielen verschmierten Zettel durch seine Hände gleiten und meinte, er fühlte sich wie zu Hause am Schreibtisch seiner Frau. Diese versuche, offenbar ebenso wie ich, Kerne mit unbekanntem Momenten in ein Niveauschema zu pressen. Hoherfreut erzählte ich alles, was ich wußte und erfuhr, daß Maria auf dem gleichen Weg war. Das Hochgefühl, doch nicht ganz hinter dem Monde zu sein, wenn selbst am Enrico Fermi Institut über gleiches nachgedacht wird, überwog alle Rivalitätsängste. Jensen setzte sich sofort mit Maria in Verbindung.

Maria und wir hatten auch gemeinsame technische Schwierigkeiten bei der Publikation unserer Ergebnisse in einer amerikanischen Zeitschrift, wenn auch aus ganz verschiedenen Gründen. Maria konnte nicht publizieren, da ihre Arbeit noch unter die aus der Kriegszeit stammende Geheimhaltung fiel; wir hatten keinen Zugang zu Dollars, um die "page charge" zu bezahlen. Hier half ein amerikanischer Kollege: Er nahm unser Manuskript mit, bezahlte die page charge und erwirkte die Freigabe von Marias Arbeit, da unser Manuskript bewies, daß die Ergebnisse von Maria bereits anderweitig bekannt sind und damit die Geheimhaltung hinfällig geworden ist. (Das Schalenmodell wurde deklassifiziert, wie es in der Sprache der Geheimhalter heißt.) Es ist klar, daß in einer solchen Atmosphäre wissenschaftlicher Kame-radschaft Prioritätsstreite keinen Platz hatten.

Schlußbemerkungen

Darf ich zum Abschluß nochmals auf die eingangs gemachte Bemerkung zurückkommen, daß nach meiner Meinung die Einstellung der Öffentlichkeit zur Technik, und damit auch zur naturwissenschaftlichen Forschung aus dem Gleichgewicht geraten ist.

Mehrmals in meinem Leben bin ich bei Gesprächen mit Kollegen aus dem geisteswissenschaftlichen Bereich, auch solchen, die ich als große Denker hoch verehrte, vor die Frage gestellt worden: Warum hat Otto Hahn, der doch ein großer und grundständiger Mann war, nicht die menschliche Größe besessen, seine Entdeckung zurückzu-

halten. Er hätte uns so Hiroshima und Nagasaki erspart und das Leben in einer von Atomangst geprägten Welt. Ich hoffe, ich konnte jeweils meine innere Reaktion zurückhalten, nämlich das laute Lachen über soviel Realitätsferne. Für den Naturwissenschaftler ist sonnenklar: Hätte Hahn seine Entdeckung zurückgehalten, so wäre sie wenige Monate später z.B. am Curieschen Institut gemacht worden, und die Weltgeschichte wäre keinen Deut anders verlaufen. Analoges erlebte ich in noch viel stärkerem Maße bei Gesprächspartnern aus dem Bereich der Kunst und Literatur. Dies zwang mich über die Ursache der Realitätsferne des überwiegenden Teils unserer Bevölkerung nachzudenken.

Ich möchte an ein Essay des englischen Schriftstellers C.P. Snow anknüpfen, das vor mehr als drei Jahrzehnten unter dem Titel *Die zwei Kulturen* erschienen ist. Er glaubt, das Geistesleben in der westlichen Welt spalte sich immer mehr in zwei diametrale Gruppen auf, zwischen denen sich eine unüberbrückbare Kommunikationsschwierigkeit aufgetan habe. Die eine Gruppe ist die der künstlerisch, literarisch und geisteswissenschaftlich Gebildeten, ich will sie kurz die Geisteswissenschaftler nennen; die andere Gruppe ist die der ingenieur- und naturwissenschaftlich Gebildeten, ich will sie kurz die Naturwissenschaftler nennen. Beide benutzen sie dieselbe Sprache, dieselbe Logik und doch unterscheiden sie sich in ihrer Denkweise und vor allem in der Beurteilung einer wahrzunehmenden Situation. Wie kann man sich diese Unterschiede erklären?

Ich glaube, daß ein wesentlicher Grund der ist, daß der Geisteswissenschaftler zu wenig zur Kenntnis nimmt, daß die Ergebnisse des Naturwissenschaftlers ganz anderer Art sind als die seiner eigenen Sparte. Dasselbe gilt naturgemäß auch für den Naturwissenschaftler. Zwar sind die Verfahrensweisen in beiden Fällen nicht allzu verschieden, doch sind die Charaktere der gewonnenen Ergebnisse grundverschieden.

Die Produkte des Geisteswissenschaftlers, des Schriftstellers und des Künstlers sind reine Produkte ihres Geistes. Als solche haben sie keinen ewigen Bestand. Wirkt eine Philosophie, ein Roman, eine Skulptur oder ein Gemälde anstößig, so kann man die Schriften einstamp-

fen, die Skulpturen und Gemälde zerstören. Überlebt nicht zufällig eine gute Kopie, so sind die Werke für alle Zeiten verloren und ausgelöscht. Wahrscheinlich hat die Menschheit auf diese Weise oder durch andere widrige Umstände schon viele kostbare Gedankengebäude und Kunstwerke verloren. Selbst die von Juristen gemachten Gesetze haben keinen Ewigkeitswert. Erfüllen sie ihren Zweck nicht mehr, kann man sie kassieren oder verbessern. Gegen diese Gesetze ist auch ein Verstoß möglich.

Ganz anders verhält es sich mit den Ergebnissen des Naturwissenschaftlers. Naturgesetze sind Erfahrungstatsachen, nicht Produkte unseres Geistes; daß sie nur mit Hilfe des Geistes gewonnen werden können, macht sie noch lange nicht zu Produkten dieses Geistes. Auch wenn sie als Naturgesetz erkannt worden sind, bleiben sie, was sie waren, ein Stück der Natur selbst. Gegen ein Naturgesetz kann niemand verstoßen, nicht einmal die Natur selbst. Ein solcher Verstoß wäre ein Wunder. An Wunder glaubt der Naturwissenschaftler nicht, sie sind für ihn die Aufforderung, die offenbare Erkenntnislücke zu schließen, oder den Fehler bei der Beobachtung des Wunders aufzuspüren.

Ist ein Naturgesetz von einem Gehirn erkannt und in eine kommunikable Form gebracht worden, so daß es von anderen Gehirnen aufgenommen werden kann, so ist die neue Erkenntnis nicht mehr auszulöschen; sie kann allenfalls in Vergessenheit geraten. Das Vergessen entfällt aber mit Sicherheit, wenn die neue Erkenntnis eine technische Anwendung möglich macht, die das Leben der Menschheit, sei es auch nur eines kleinen Menschenkreises, verbessert oder erleichtert. Es setzt dann eine nicht mehr zu stoppende Eigendynamik ein. Diese technische Entwicklung wird auf Teufel komm 'raus gemacht und ist nicht mehr aufzuhalten. Dies hat mit der Erfindung des Feuers, der Steinaxt, der Bronze, des Eisens angefangen und wird weiter so gehen, solange die Menschen eben Menschen sind. Dieser Urtrieb des Menschen, die Natur mit ihren eigenen Gesetzen zu dirigieren und sich dienstbar zu machen, ist das Geschenk der Vorsehung, das den Menschen gegenüber allen anderen Lebewesen dieser Erde auszeichnet.

Ich habe die Snowsche Kluft zwischen den zwei Kulturen auf die einfache Form gebracht: auf der einen Seite die Realitätsferne des Geisteswissenschaftlers und auf der anderen die vielleicht zu große Realitätsbezogenheit des Naturwissenschaftlers. Sicherlich ist diese Darstellung zu simpel, um die ganze Wahrheit zu erfassen, aber sie beleuchtet doch eine sehr ernstzunehmenden Gefahr, die aus dieser Kluft entstehen kann. Unsere Medienschaffenden nehmen ihr geistiges Fundament aus den Geisteswissenschaften. Die Massenmedien formen weitgehend die öffentliche Meinung. Diese bestimmt unsere Politik, denn unsere Politiker wollen ja gewählt werden. So kommt die Realitätsferne des Geisteswissenschaftlers auch in den Bereich des öffentlichen Lebens und kann dort zu Fehlentscheidungen führen, die unsere physische Zukunft gefährden. Die Kluft zwischen den zwei Kulturen darf nicht größer werden, sie muß abgebaut werden. Dies ist eine wichtige Zukunftsaufgabe, die vornehmlich dem Naturwissenschaftler zufällt. Sie ist so wichtig wie die Erweiterung unseres naturwissenschaftlichen Wissens. Die Harmonie zwischen Geistes- und Naturwissenschaften ist eine Voraussetzung dafür, daß die Erweiterung unserer naturwissenschaftlichen Erkenntnisse dem Wohle der Menschheit dienen kann.

Joachim Heintze



Joachim Heintze

Professor Heintze wurde 1926 in Berlin geboren. Dem Besuch des Schillergymnasiums folgten von März 1944 bis Mai 1945 der Reichsarbeitsdienst und der Wehrdienst. Von Juni bis Dezember 1945 machte unser Referent eine Rundfunkmechaniker-Lehre in Schwerin. Im Frühjahr 1946 nahm Herr Heintze das Studium der Physik an der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg auf. Nach dem Vordiplom wechselte unser Referent nach Göttingen und studierte zunächst am Max-Planck-Institut für Physik; ab dem Sommersemester 1949 auch an der Universität. Der Studienabschluß erfolgte im März 1951 mit dem Diplom. Anschließend wurde Herr Heintze Doktorand bei Professor Haxel und übersiedelte nach Heidelberg. Im Juli 1953 wurde er an der Universität Heidelberg zum Dr.rer.nat. promoviert. Die Arbeit behandelte das Thema "Natürliche Radioaktivität der Kerne Vanadium 50, Indium 113, Tellur 123 und Kalium 40". Unser Referent war von 1953 bis 1959 wissenschaftlicher Assistent am II. Physikalischen Institut der Universität Heidelberg. Während dieser Zeit erfolgte 1958 die Habilitation im Fach Physik.

In den Jahren 1959 bis 1964 war Professor Heintze am Kernforschungszentrum CERN in Genf tätig; und zwar zunächst als Research Associate und ab 1961 als Senior Physicist. Im November 1964 wurde Herr Heintze als Nachfolger von Professor Kopfermann zum Ordinarius und Direktor des I. Physikalischen Instituts an der Universität Heidelberg berufen. Professor Heintze hat es gemeinsam mit Professor Soergel in einzigartiger Weise verstanden, in Heidelberg die Voraussetzungen für die Entwicklung und den Bau neuartiger Teilchendetektoren zu schaffen und mit Heidelberger Studenten hochaktuelle Forschung am CERN in Genf und bei DESY in Hamburg zu betreiben. Als Dekan der Fakultät veranlaßte er die Gründung des Instituts für Umweltp Physik und den Neubau der Physikhörsäle im Neuenheimer Feld. Im September 1991 erfolgte seine Emeritierung.

43 Jahre Elementarteilchenphysik

Vielen Dank, Herr Brix, für die außerordentlich freundliche und liebenswürdige Einführung. Auch Herrn Marx möchte ich sehr herzlich dafür danken, daß er diese Vortragsreihe veranstaltet. Ich sehe mit großem Interesse dem entgegen, was meine älteren Kollegen aus der ehemaligen Naturwissenschaftlich-Mathematischen Fakultät über ihr berufliches Leben berichten werden; die "alte Fakultät" hat uns ja alle in große menschliche Nähe gebracht, ohne daß wir fachlich allzuviel voneinander wußten.

Erinnerungen enthalten stets allerlei Erfreuliches und weniger Erfreuliches. In meinem beruflichen Leben gibt es aber eines, das ich ganz vorbehaltlos als erfreulich einstufen kann: daß es mir vergönnt war, die großartige Entwicklung der Physik der Elementarteilchen mitzuerleben. Und darüber möchte ich Ihnen jetzt berichten.

Als ich das Licht der Welt erblickte, im Jahre 1926, war die Physik der Elementarteilchen noch wirklich eine ganz einfache Sache: Die Welt bestand aus Elektronen und Protonen, es gab auch das Photon, obgleich wahrscheinlich damals noch niemand auf die Idee verfallen wäre, das Photon als elementares Teilchen zu rechnen. Nun, die Liste hat sich dann im folgenden Jahrzehnt langsam, aber stetig erweitert. 1930 postulierte Pauli das Neutrino, um die experimentellen Befunde beim Betazerfall der Atomkerne zu erklären. 1932 merkte man, daß es im Atomkern keine Elektronen, sondern zusätzlich zu den Protonen auch neutrale, etwa gleich schwere Teilchen gibt, die Neutronen. Im selben Jahr wurde das Positron, also das positiv geladene Elektron, in der Höhenstrahlung entdeckt. Das Neutron war eine Überraschung, das Positron war hingegen schon von Dirac in gewisser Weise vorhergesagt worden. Insofern war das keine totale Überraschung, wenn auch wohl kaum jemand geglaubt hatte, daß es diese "Antiteilchen" tatsächlich geben könnte. 1934 gelang es Yukawa, einem japanischen Theoretiker, den ersten Ansatz für eine Theorie der Kernkraft zu machen. Kernkräfte sind kurzreichweitig, und in diesem Zusammenhang steht, daß sie durch ein Austauscheteilchen vermittelt werden, das eine

Masse hat, die zwischen der des Elektrons und der des Protons liegen sollte. Yukawa berechnete, daß diese Masse ungefähr 300 Elektronenmassen beträgt. 1937 wurde in der Höhenstrahlung ein Teilchen entdeckt, das etwa dieser Masse entsprach. Man nannte es damals ganz einfach das Meson, heute nennt man es das Myon. Es hat 200 Elektronenmassen und ist auch, wie Yukawa vorhergesagt hatte, instabil: Es zerfällt mit einer Lebensdauer von $2 \mu\text{s}$ in ein Elektron und zwei Neutrinos. Ebenfalls im Jahre 1934 stellte Enrico Fermi eine Theorie des Betazerfalls auf, der schwachen Wechselwirkung, so genannt im Gegensatz zur starken Wechselwirkung, der Kernkraft. Fermis Theorie war in mancher Hinsicht der Theorie der elektromagnetischen Wechselwirkung nachgebildet, der Quantenelektrodynamik, die schon zu Anfang der dreißiger Jahre entstanden war. Es sollte jedoch beim Betazerfall kein Austauschteilchen geben, sondern eine Kontaktwechselwirkung zwischen den beteiligten Elementarteilchen Proton, Neutron, Elektron und Neutrino. Damit schienen nicht nur die elementaren Teilchen bekannt zu sein, sondern zumindest in Ansätzen auch die Theorien der elementaren Wechselwirkungen.

Die vierziger Jahre

Dieses Szenario hielt bis zum Jahre 1947, denn während der Kriegsjahre hat sich auf diesem Forschungsgebiet nicht allzu viel getan. 1947 muß man aber als das gloriose Jahr des Neuaufbruches in der Physik der Elementarteilchen bezeichnen. Zunächst wurde entdeckt, daß das Myon nicht das Yukawa-Teilchen sein kann, weil es nämlich keine starke Wechselwirkung mit den Atomkernen aufweist. Im gleichen Jahr entdeckte man aber, Gott sei Dank, ein anderes Teilchen, das die geforderten Eigenschaften hat: das sogenannte π -Meson. Das mußte das Yukawa-Teilchen sein. Schließlich wurden im Jahr 1947 in der Höhenstrahlung die V-Teilchen entdeckt, etwas ganz Unerwartetes und Unerklärliches, auf das ich in Kürze zurückkommen werde. Herr Marx hat angeregt, man solle auch über seine Studienzeit berichten, und sagen, wie man überhaupt auf die Idee verfallen ist, sein Fach

zu studieren. Das will ich jetzt hier einschieben und auch gleich sagen, wie ich - 1947 war ich ja erst 21 Jahre alt - mit den eben genannten Entdeckungen in Kontakt gekommen bin. In meinem Elternhaus gab es Juristerei und Geisteswissenschaften, eigentlich keine Naturwissenschaften, wohl aber intensive Naturbeobachtung und Diskussionen über alles Mögliche. Das hat wohl bewirkt, daß ich mich schon als Junge lebhaft für Naturwissenschaft und Technik interessierte. Aus der Schule stammt jedenfalls keine Anregung zur Physik. Das einzige, woran ich mich aus dem Physik-Unterricht noch erinnere, ist, wie uns unser Lehrer ohne nähere Erklärung mitteilte, daß die Einheit der Kapazität ein Zentimeter ist und realisiert wird durch eine Kugel von einem Zentimeter Radius. Das kam mir sehr komisch vor, zumal ich als Radiobastler sehr wohl wußte, daß zu einem Kondensator immer zwei Platten gehören. Im übrigen wurde diesem Unterricht durch die Luftwaffenhelferei ein baldiges Ende gesetzt.

Nach dem Kriege, den ich noch ein Jahr lang als Soldat mitmachen mußte, begann ich an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg das Studium der Elektrotechnik. Ich habe das mit großer Begeisterung getan. Es ist überhaupt ganz unvorstellbar, wie diese mit Hunger und Kälte reichlich geschlagene Zeit so phantastisch schön war. Der Kontrast zwischen Studium und Freiheit gegenüber dem gräßlichen Krieg und der schrecklichen Nazizeit war fabelhaft. Wenn ich nur die Gebäude der Hochschule betrat, war ich sozusagen wie bezaubert.

Das Studium der Elektrotechnik begann mit einem Grundstudium "Allgemeiner Maschinenbau". Ich fand das, was uns dort geboten wurde - Werkstoffkunde, Maschinenelemente, Technische Mechanik, dazu Mathematik, Physik und Chemie und diverse Nebenfächer - außerordentlich interessant, besonders auch die zuerst genannten ingenieurwissenschaftlichen Fächer. Der Studienplan umfaßte 48 Wochenstunden (Vorlesungen, Praktika, Präsenzübungen), dazu kam etwa der gleiche Zeitaufwand zu Hause für Übungsaufgaben, Zeichnungen, Nacharbeiten von Vorlesungen. Letzteres war besonders wichtig, denn es gab praktisch keine Lehrbücher. Wie man mit diesem Pensum zurechtkommt, lernte man aber schon während des ersten Semesters.

Obgleich der Maschinenbau mich sehr interessierte und ich kein einziges weiteres Studiensemester nennen könnte, in dem ich so viel gelernt habe wie in diesem ersten, beschloß ich doch, vom zweiten Semester an Physik zu studieren, und zwar nicht etwa angeregt durch die Physikvorlesung, sondern durch das physikalische Praktikum und die mit Beispielen aus der Physik gespickte Mathematik-Vorlesung von Professor E. Mohr. Mein Vater war sehr gegen den Studienfachwechsel. Er war der Meinung, daß Physik eine brotlose Kunst wäre, fast ein Exotenfach wie Assyrologie. Damals dachte man, Physik kann man nur studieren, wenn man Lehrer werden will oder Universitätsprofessor, und weder das eine noch das andere hatte ich vor. Immerhin hatte ich aber gemerkt, daß es bereits damals vereinzelt auch Industrie-Physiker gab, und so ließ ich mich nicht abhalten.

Nach dem Vordiplom ging ich nach Göttingen. Als ich den Bahnhof Göttingen verließ, gefiel mir diese Stadt und ihre Atmosphäre so gut, daß ich sagte: "Hier bin ich und hier bleibe ich." Das erwies sich als nicht so einfach, denn ich bekam erst einmal keinen Studienplatz. Ich hatte aber Freunde in Göttingen und die rieten mir: "Wenn du hier nicht studieren kannst, dann geh doch zum Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, vielleicht können sie dich da irgendwie gebrauchen." Dieses Institut, heute heißt es Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik und befindet sich in München, war nämlich gegen Ende des Krieges von Berlin nach Göttingen verlegt worden.

Ich ging hin, in der Vorstellung mich in irgendeiner Weise nützlich machen zu können und geriet dort an Herrn Haxel, der hier in der ersten Reihe sitzt und der mich auch tatsächlich engagierte (natürlich ohne Bezahlung). Ich konnte also in Göttingen bleiben und ich kam sogleich mit einer Fülle von interessanten Dingen in Kontakt. Zunächst drückte mir Herr Haxel einige Elektronik-Kästen, die frisch aus der Institutswerkstatt kamen, in die Hand und sagte mir, ich solle die jetzt mal prüfen und damit eine Zählrohr-Koinzidenzschaltung aufbauen. Er erklärte mir natürlich, was das ist, und wie das im Prinzip funktionieren sollte. Als Impulsgeber diente ein auf Spannung gelegtes Bananensteckerkabel, mit dem man an die Eingangsbuchse tippte. Das war, wie auch die übrige Laborausstattung sehr urig, aber

nachdem ich damit dank meiner Erfahrungen in der Radiotechnik ganz gut zurecht kam, avancierte ich, ehe ich mich versah, zum Diplomanden. Physikstudenten waren nämlich damals, kurz nach dem Kriege, am Max-Planck-Institut noch eine Rarität. Meine Arbeit betraf das Zerfallsschema des ^{40}K , eine Frage, die für die Bestimmung der Lebensdauer des ^{40}K und damit für die Geophysik und Geochronologie wichtig war. Ich lernte nicht nur, wie das kernphysikalisch zusammenhing, sondern auch die Zählrohrtechnik von der Pieke auf und aus erster Hand, vom Geigerschüler Haxel. Die Arbeit im Labor faszinierte mich vollständig, was zur Folge hatte, daß ich keine einzige von Richard Beckers hervorragenden Vorlesungen über theoretische Physik gehört habe. Das war eine schwere Sünde, aber man kann nicht zwei Herren dienen. Das Notwendigste in der Theorie habe ich später aus Büchern gelernt. Neben der Laborarbeit gab es noch ein anderes Moment, das mich von den Veranstaltungen der Universität weitgehend fernhielt: In diesem Max-Planck-Institut gab es Heisenberg, Max von Laue, Carl Friedrich von Weiszäcker, Haxel, Houtermans, den Astrophysiker Biermann und noch einige andere Größen der Wissenschaft. In der Experimentierhalle liefen einige Höhenstrahlexperimente, von Haxel aufgebaut; Herr Teucher schleppte Photoplatten auf die Zugspitze, die dann im Institut entwickelt und mit dem Mikroskop nach interessanten Ereignissen durchmustert wurden. Jede Woche gab es ein Institutsseminar, an dem insgesamt vielleicht 25 Leute teilnahmen, und da wurden die neuen Entdeckungen in der Elementarteilchenphysik intensiv diskutiert. Ich saß natürlich nur als stilles Mäuschen dabei, aber ich bin auf diese Weise vom Herbst 1948 an fast an der Quelle mit der Elementarteilchenphysik in Kontakt gekommen. Ich konnte ganz gut verstehen, was gesprochen wurde, denn damals ging es zunächst einmal um die Klärung der Phänomene.

Ich möchte in diesem Vortrag auch versuchen, ein wenig die Geschichte der Experimentiertechnik zu beleuchten. Als Beispiel für ein Zählrohr-Experiment betrachten wir die Versuchsanordnung, mit der Conversi, Pancini und Piccioni bewiesen, daß das Myon eben nicht das Yukawa-Meson sein kann (Abb. 1). Dieses Experiment hat mich zeitlebens zutiefst beeindruckt.

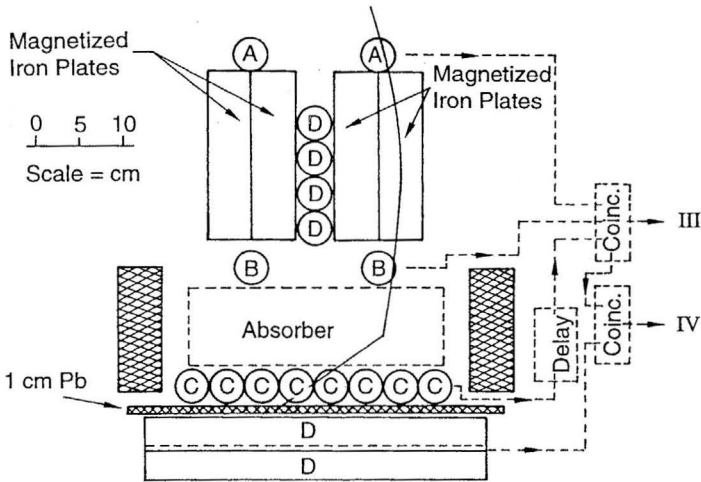


Abb. 1: Apparatur von Conversi et al. zur Untersuchung des Myon-Zerfalls in Materie.

Myonen aus der Höhenstrahlung fallen von oben ein und treffen zwei Zählrohre A und B, zwischen denen sich magnetisiertes Eisen befindet. Darunter befinden sich ein Absorber und weitere Zählrohren C und D. Durch eine elektronische Antikoinzidenzschaltung werden Myonen selektiert, die in dem Absorber zur Ruhe kommen. Beim Eintritt in die Apparatur müssen sie eine entsprechende Energie haben. Solche Myonen werden aber im magnetisierten Eisen derart abgelenkt, daß je nach der Polung des Magneten entweder nur positive oder nur negative Myonen registriert werden. Dann schaut man, ob sie zerfallen oder nicht, indem man die Zerfallselektronen in verzögerter Koinzidenz nachweist. Positive Myonen sollten jedenfalls zerfallen, negative Myonen müssen dagegen am Ende ihrer Bahn von einem Atomkern eingefangen werden. Wenn sie mit dem Yukawa-Teilchen identisch wären, müßten sie innerhalb von 10^{-20} sec mit dem Kern reagieren. Es zeigte sich aber, daß auch negative Myonen in der Apparatur zerfallen; sie müssen also ein Zeit von der Größenordnung 10^{-6} Sekunden in einem Atomkern überlebt haben!

Zunächst einmal beeindruckt das Grundkonzept des Experiments. Dann aber, damit es auch wirklich funktioniert, muß jede Einzelheit außerordentlich geschickt ausgedacht und dimensioniert werden. Was mir besonders imponierte, war die Koinzidenz mit einem Auflösungsvermögen von einer Mikrosekunde - in Göttingen versuchten wir nämlich auch schnelle Koinzidenzen zu bauen. Heutzutage sind einige Nanosekunden kein Problem, aber eine Mikrosekunde war damals, mit der Elektronenröhre, technisch fast unerreichbar.

Ein Experiment dieser Art ist auch heute noch typisch für ein sogenanntes "Zähler-Experiment": Der einfallende Teilchenstrahl wird magnetisch analysiert und in ein "Target" gebracht; das Target ist wiederum mit Detektoren umgeben, zum Nachweis der Zerfalls- oder Reaktionsprodukte. Geändert hat sich nicht die Grundphilosophie der Experimente, nur die technische Ausführung der Detektoren und natürlich die Elektronik. Das "Zählen" der Ereignisse geschah übrigens damals mit höchst raffiniert gebauten mechanischen Zählwerken. Ein guter Experimentalphysiker mußte auch ein guter Uhrmacher sein.

Eine zweite Technik war damals der Nachweis und die genaue Vermessung von Teilchenspuren in photographischer Emulsion. Eigens für die Höhenstrahlungsforschung wurden Photoplaten mit sehr dicken und hochempfindlichen Emulsionsschichten entwickelt. Mit dieser Technik wurde 1947 von Lattes, Muirhead, Occhialini und Powell das π -Meson entdeckt. In der Photoplatte wurde ein Höhenstrahlteilchen beobachtet, das zur Ruhe kommt und zerfällt. Das Tochterteilchen kommt nach einer Flugstrecke von 600 μm ebenfalls zur Ruhe und zerfällt unter Aussendung eines Teilchens, das nur eine sehr dünne Spur hinterläßt. Aus der Körnchendichte, aus der Streuung und aus der Reichweite der Teilchen kann man die Massen ermitteln. Man stellt fest, daß es sich um die Zerfallskette $\pi \rightarrow \mu + \nu$, $\mu \rightarrow e + \nu + \nu$ handelt, mit den Massen $m_\pi \approx 300 m_e$, $m_\mu \approx 200 m_e$. Daß es sich bei den Neutralteilchen um Neutrinos handelt, war zunächst nur eine Vermutung; daß beim π -Zerfall nur eines, beim μ -Zerfall aber zwei Neutrinos auftreten, konnte aber bald durch Studium der Zerfallskinetik festgestellt werden. Daß das π -Meson tatsächlich das Yukawa-Teilchen ist, sieht man daran, daß es am Ende seiner Bahn häufig einen so ge-

nannten Stern macht, d.h. es wird von einem Kern eingefangen und bringt dann diesen Kern zur Explosion.

Ich erinnere mich gut daran, wie diese Phänomene im Göttinger Institutseminar diskutiert wurden; auch gab es hitzige Diskussionen darüber, wie wohl jene Ereignisse zu deuten wären, bei denen man am Bahnende des Mesons weder ein Zerfallsteilchen noch einen Stern, sondern nur eine kleine Verdickung, einen sogenannten "Blob" erkennen konnte. Erst viel später stellte sich heraus, daß der "Blob" durch Auger-Elektronen bei der Bildung eines mesonischen Atoms zustande kommt, und daß sich nach dem Einfang eines Myons im Atomkern die Reaktion $\mu^- + p \rightarrow n + \nu$ abspielt, aber auf diese Idee ist damals noch niemand gekommen.

Die dritte Experimentiertechnik war der Einsatz der Wilsonschen Nebelkammer. Die Expansion der Kammer, die zur Tröpfchenbildung entlang der Teilchenspur führt, muß nach dem Teilchendurchgang erfolgen. Daher kann man die Expansion mit einer Zählrohanordnung so steuern, daß nur bestimmte Ereignistypen, z.B. stoppende Myonen oder die durch sehr energiereiche Höhenstrahlteilchen ausgelösten "Schauer" registriert werden. Mit dieser Technik wurden die oben erwähnten V-Teilchen entdeckt. Man sieht unterhalb einer in der Nebelkammer angebrachten Platte einen Schauer und daneben das V-Teilchen, ein Gebilde wie ein nach unten gedrehtes V (Abb. 2). Da sieht der Fachmann auf den ersten Blick, daß das etwas ganz Neues sein muß, denn daß etwa ein Neutron eine Reaktion im Gas auslöst, ist viel zu unwahrscheinlich. Es muß ein Teilchen sein, das in der dicken Platte entstanden ist und das nach einer Flugstrecke von ein paar Zentimetern wieder zerfällt, ein neutrales Teilchen, dessen Spur man in der Nebelkammer nicht sieht.

Das waren also die großen Entdeckungen der vierziger Jahre: Das Myon ist nicht das Yukawa-Meson, sondern es ist wohl eher als ein schwergewichtiger Vetter des Elektrons anzusehen. Als Yukawa-Teilchen gibt es das π -Meson, und schließlich gibt es noch die V-Teilchen, die etwas ganz Neuartiges zu sein scheinen.

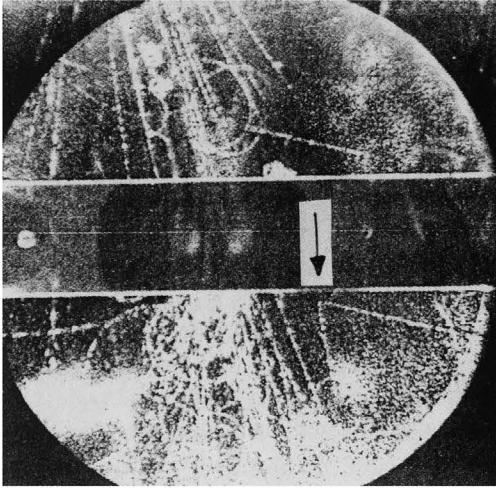


Abb. 2: Ein V-Teilchen in der Wilsonschen Nebelkammer.

Die fünfziger Jahre: Elementarteilchenphysik mit Beschleunigern und Sturz der Parität

Enrico Fermi baute in Chicago ein Zyklotron, mit dem man π -Mesonen in großer Zahl erzeugen konnte. Etwas später wurde in Brookhaven das Cosmotron gebaut, ein Protonensynchrotron, mit dem auch die Erzeugung von V-Teilchen gelang. Erst Experimente an diesen Beschleunigern machten es möglich, die Physik der neuentdeckten Teilchen auf eine quantitative Basis zu stellen.

Bei den näheren Untersuchungen der π -Mesonen stellte Fermi die erstaunliche Tatsache fest, daß der Wirkungsquerschnitt für die Streuung von π -Mesonen am Proton keineswegs gleichmäßig mit der Energie des π -Mesons ansteigt oder abfällt, sondern daß es einen Höcker auf der Kurve gibt mit der bekannten Form einer Resonanzkurve. Man könnte geneigt sein, dies als Anregungszustand des Pro-

tons zu deuten. Da aber ein Elementarteilchen keine inneren Freiheitsgrade haben sollte, war damals die Interpretation, daß es ein weiteres Elementarteilchen gibt, genannt Δ , das aufgrund seiner Masse in ein Proton und ein π -Meson zerfallen kann: $\pi + p \rightarrow \Delta \rightarrow p + \pi$. Die Breite der "Resonanz" ergibt sich mit der bei starken Wechselwirkungen erwarteten kurzen Lebensdauer des Δ -Teilchens ($\approx 10^{-20}$ s) und der Heisenbergschen Unschärfe-Relation.

Mit diesem Phänomen und mit den anderen Entdeckungen in der π -Mesonenphysik machte ich auf folgende Weise nähere Bekanntschaft: Ich war inzwischen nach Heidelberg gekommen, da ich nach meinem Diplom 1951 mit Herrn Haxel als Doktorand nach Heidelberg ging. Eines schönen Tages, Anfang der 50er Jahre, ging die Tür auf und Professor Kopfermann trat in mein Zimmer und sagte: "Herr Heintze, da gibt es jetzt diese interessanten Resultate über die π -Mesonen, halten Sie doch bitte in 4 Wochen im physikalischen Kolloquium einen Vortrag über π -Mesonen". Das war für mich gar nicht einfach, weil ich mich immer noch mit dem Zerfall von langlebigen, natürlich radioaktiven Isotopen beschäftigte. Ich mußte mich gewaltig auf die Hosen setzen, aber so rauh waren damals die Sitten, und ich habe auf diese Weise auch in Heidelberg nicht den Kontakt zur Elementarteilchenphysik verloren.

Auch bei den V-Teilchen gab es aufregende neue Erkenntnisse. Noch mit den Höhenstrahllexperimenten war es gelungen, die Massen der Teilchen zu bestimmen. Man stellte fest, daß es sowohl im Massenbereich der Mesonen (also zwischen Elektron und Proton) solche Teilchen gibt, als auch V-Teilchen, die schwerer sind als ein Proton, sogenannte Hyperonen. Alle diese Teilchen haben die überaus seltsame Eigenschaft, daß sie durch die starke Wechselwirkung erzeugt werden, aber nur aufgrund der schwachen Wechselwirkung wieder zerfallen können, selbst wenn die Zerfallsprodukte wiederum stark wechselwirkende Teilchen sind. Das ließ sich noch mit der Nebelkammer und der Höhenstrahlung einwandfrei feststellen. Die Wahrscheinlichkeiten für Prozesse der starken und der schwachen Wechselwirkung unterscheiden sich um viele, viele Größenordnungen. Es ist sehr seltsam, daß ein Teilchen bei der Erzeugung andere Wechselwirkungen

aufweist als beim Zerfall. Die V-Teilchen wurden deshalb alsbald auch "seltsame Teilchen" oder "strange particles" genannt.

Das Rätsel der Seltsamkeit wurde von Pais und von Gell-Mann durch die Hypothese gelöst, daß es eine assoziierte Produktion gibt, daß man also in einer Reaktion immer zwei unterschiedlich seltsame Teilchen machen muß. Stößt beispielsweise ein π^- -Meson auf ein Proton, so wird ein neutrales K-Meson - das ist ein seltsames Teilchen aus dem Mesonen-Bereich - zusammen mit einem neutralen Hyperon, dem Λ -Teilchen, erzeugt. Den Teilchen wird eine neue Quantenzahl zugeordnet, Strangeness $S = -1$ für das Λ -Teilchen, $S = +1$ für das K-Meson. Proton und π -Mesonen sollen die Strangeness $S = 0$ haben. Es wird nun postuliert, daß die Strangeness bei starken Wechselwirkungen erhalten bleiben muß, nicht aber bei schwachen Wechselwirkungen. Der Erzeugungsprozeß $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$ kann daher mit der starken Wechselwirkung ablaufen, die Summe der Strangeness ist rechts und links gleich Null. Bei den Zerfallsprozessen $\Lambda \rightarrow \pi^- + p$, $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ ändert sich hingegen die Strangeness, hier kann nur die schwache Wechselwirkung zum Zuge kommen. Daß die Reaktionen wie angegeben ablaufen, wurde alsbald am Cosmotron experimentel nachgewiesen. Das Rätsel der Seltsamkeit war damit zumindest phänomenologisch geklärt.

Es gab noch ein anderes Rätsel im Zusammenhang mit den seltsamen Teilchen: das sogenannte θ - τ -puzzle. Noch mit Höhenstrahlung und Nebelkammer hatte man entdeckt, daß es ein V-Teilchen gibt, welches in 2 π -Mesonen zerfällt, genannt θ , und eines, welches in 3 π -Mesonen zerfällt, genannt τ . Die Massen von diesen beiden Teilchen waren ähnlich, und je genauer man maß, desto dichter rückten die Massen zusammen. Ich erinnere mich noch an Diskussionen im Göttinger Seminar, wo es darum ging, ob es sich nicht einfach um zwei verschiedene Zerfallsarten ein und desselben Teilchens handeln könnte.

Eine genauere Analyse der experimentellen Daten zeigte jedoch, daß das so einfach nicht geht. Es schien zwei unterschiedliche Teilchen gleicher Masse zu geben. Nun, daß zwei verschiedene Teilchen die gleiche Masse haben sollen, ist außerordentlich kurios, und das führte

zu einer Entdeckung, die sozusagen einem Erdbeben in der Physik gleich kam. 1956 zeigten Lee und Yang, zwei sino-amerikanische Theoretiker, daß θ und τ doch ein und dasselbe Teilchen sein könnten, wenn man annimmt, daß bei schwachen Wechselwirkungen die Parität nicht erhalten ist. Sie zeigten auch, daß es für einen solchen Erhaltungssatz im Bereich der schwachen Wechselwirkung keine experimentelle Evidenz gab, auch nicht im Bereich des seit Jahrzehnten genau untersuchten Betazerfalls der Atomkerne. Das war ein absolut monströser Vorschlag, denn er impliziert, daß in einem elementaren Naturgesetz ein Schraubensinn bevorzugt wäre. In anschaulichen Worten ausgedrückt: daß der liebe Gott ein Linkshänder ist, vielleicht auch ein Rechtshänder, aber daß er jedenfalls bei der Abfassung der Gesetze der schwachen Wechselwirkung für einen bestimmten Drehsinn eine Vorliebe zeigte. Das war etwas, was man allgemein für absurd hielt.

Lee und Yang schlugen auch ein Experiment vor, mit dem man die Paritätserhaltung beim Betazerfall prüfen konnte: Man muß ein radioaktives Präparat bis dicht über den absoluten Nullpunkt abkühlen, die Spins der Atomkerne in einem starken Magnetfeld ausrichten und dann nachschauen, ob mehr Betateilchen in Richtung des Spins oder entgegengesetzt dazu emittiert werden - ein sehr schwieriges Experiment.

Ich hatte die Arbeit von Lee und Yang gelesen, was mich natürlich infolge meiner lückenhaften Kenntnisse in der Theoretischen Physik viel Schweiß kostete. Aber nachdem ich sie schließlich verstanden hatte, kam ich zu dem Schluß, daß im Falle einer Paritätsverletzung die Betateilchen eine longitudinale Polarisation aufweisen müßten, d.h. sie müßten den Atomkern mit einer bevorzugten Spinrichtung verlassen, entweder in Flugrichtung (rechtsdrehend) oder entgegengesetzt (linksdrehend) polarisiert. Mit den in Jensens Vorlesung über relativistische Quantenmechanik erworbenen Kenntnissen in der " α -Gymnastik", d.h. im Umgang mit den Dirac-Matrizen, schaffte ich es sogar, die Polarisation der Elektronen mit Lee und Yangs Ansatz für die Paritätsverletzung auszurechnen. Ich überlegte mir auch, wie man die Polarisation auf recht einfache Weise messen konnte und ging mit

diesen Erkenntnissen zu Professor Jensen. Ich hatte mich zwar verrechnet, aber im Prinzip stimmte das Ergebnis. Dennoch, sagte Jensen, wäre alles Unsinn, was ich mir überlegt hätte. Die Parität sei unter allen Umständen erhalten, und ich möge mich doch mit vernünftigeren Sachen beschäftigen. Das habe ich dann auch getan, aber es gab Leute, die den Vorschlag von Lee und Yang ernst nahmen: Frau Wu in den USA tat sich mit einigen Tieftemperatur-Physikern zusammen und konnte auf dem von Lee und Yang vorgeschlagenen Wege zeigen, daß beim Betazerfall tatsächlich die Parität nicht erhalten ist! Wohl selten hat eine Entdeckung in der Physik solch eine Furore gemacht.

Ich holte daraufhin meine Pläne für den Nachweis der Elektronenpolarisation aus der Schublade und baute die Apparatur auf. Es war ein großes Erlebnis, wie tatsächlich auf Anhieb der Effekt der Paritätsverletzung zu sehen war. In Abbildung 3 ist die Apparatur gezeigt. Um die longitudinale Polarisation nachzuweisen, muß man sie zunächst in eine transversale verwandeln. Dies kann man durch Ablenkung der Teilchen in elektrischen Feldern erreichen. Dabei behält der Elektronenspin im wesentlichen seine ursprüngliche Richtung bei. Die einfachste Weise, eine solche Ablenkung zu realisieren, ist die Vielfachstreuung, die wiederholte Coulomb-Streuung der Elektronen um kleine Winkel. Das geschieht in einem dicken Kupferblech. Die Elektronen werden nun nochmals gestreut, diesmal aber in einer Einzelstreuung an einer dünnen Goldfolie. Wenn die Elektronen polarisiert sind, erwartet man bei dieser zweiten Streuung eine starke Rechts-Links-Asymmetrie bezüglich der Ebene, in der der Elektronenspin liegt. Diese Asymmetrie kann man messen, indem man den oberen Teil der Apparatur gegen den unteren dreht. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis; es wird ein sehr großer Effekt beobachtet. Die quantitative Auswertung zeigt, daß die Betateilchen praktisch vollständig polarisiert sein müssen und zwar linkshändig. Das heißt, es liegt sogar die maximal mögliche Paritätsverletzung beim Betazerfall vor! Nun, das war nach dem Experiment von C.S. Wu et al. nichts Neues mehr.

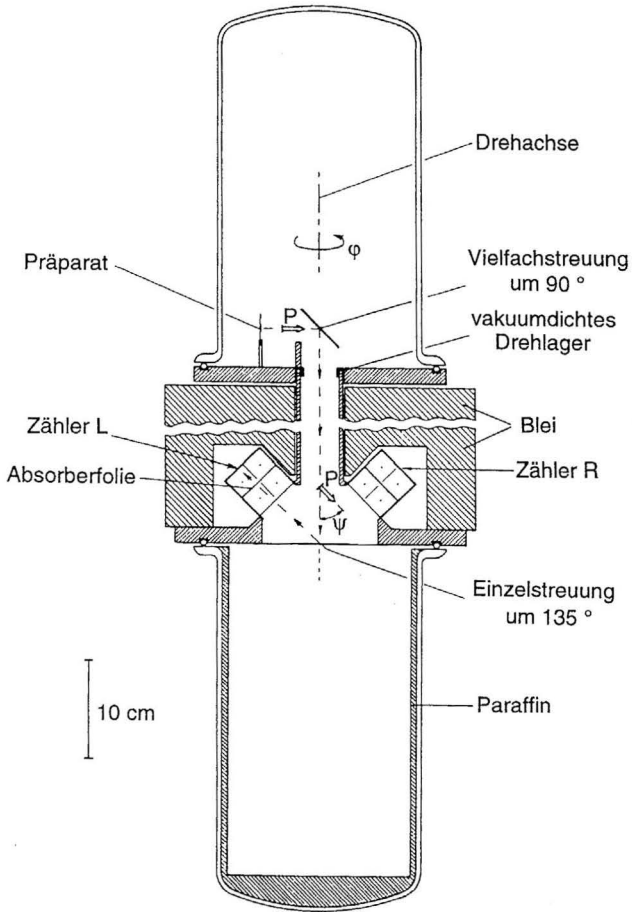
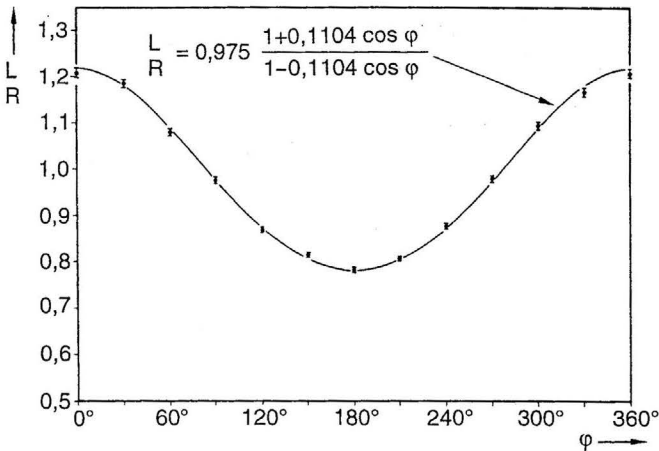


Abb. 3: Apparatur zur Messung der Elektronenpolarisation beim Betazerfall

Abb. 4: Zählratenverhältnis L/R als Funktion des Winkels φ .

Meine Arbeit wurde dann bei der *Zeitschrift für Physik* eingereicht - eine Zeitschrift, die damals selbst in Deutschland kaum jemand las - und dort erschien sie erst nach Monaten, so daß ich nicht einmal der erste war, der die Polarisation der Betateilchen nachweisen konnte; auch andere hatten bemerkt, daß es diesen Effekt geben müßte. Hätte ich auf Jensen nicht gehört, so wäre ich wahrscheinlich ein berühmter Mann geworden. Ich erwähne das nicht etwa, um Jensen irgendeinen Vorwurf zu machen, sondern nur um deutlich zu machen, daß man selber schuld ist, wenn man sich etwas ausreden läßt. Man ist selber schuld und niemand anders.

Auch auf dem Gebiet der elektromagnetischen Wechselwirkungen von Elementarteilchen gab es in den fünfziger Jahren bedeutende Fortschritte: In den USA gelang es, Linearbeschleuniger zu bauen, mit denen man Elektronen auf mehrere 100 MeV beschleunigen konnte. Durch elastische Streuung dieser Elektronen an Atomkernen konnte man die Ladungsverteilung im Kern ausmessen, auch die im Wasserstoffkern, dem Proton. Es zeigte sich, daß auch Proton und Neutron räumlich ausgedehnte Teilchen mit einem Radius von $1,3 \times 10^{-13}$ cm

sind. Wie sieht es im Inneren der Teilchen aus? Ist der Radius auf eine Wolke von virtuellen π -Mesonen zurückzuführen? Fragen, die damals ungeklärt blieben.

Wie sah die apparative Entwicklung in den fünfziger Jahren aus? Auch an den Beschleunigern ging es mit Zähler-Experimenten und Spurenkammern als zwei disjunkten Forschungsmethoden weiter. Das Zählrohr wurde durch Szintillationszähler, die Wilsonsche Nebelkammer durch die Blaskammer ersetzt. Letztere konnte viel schneller arbeiten, im Sekundenrhythmus der Beschleuniger, und man konnte sie überdies mit flüssigem Wasserstoff füllen, so daß man nun ein fast ideales Instrument für das Studium der Reaktionen am Proton hatte. Es änderte sich auch die Technik, wie man mit der anschwellenden Datenflut fertig wurde. In das Zählerexperiment zog mit dem "Unter-setzer", auf englisch "scaler", die Digitalelektronik ein. Damit konnte das zum Rennpferd hochgezüchtete mechanische Zählwerk in den Ruhestand gehen. Es war übrigens verblüffend schwierig, mit den damaligen Elektronenröhren eine solche Schaltung zum einwandfreien Laufen zu bringen. Ich bilde mir ein, daß wir unter den ersten waren, die das schafften. Bei den "Blaskammerern" zog eine Armee von "scanning girls" ein, die Filmrolle nach Filmrolle durchmustern und nach Maßgabe der Physiker die interessanten Ereignisse vermessen mußten. Das Weitere erfolgte dann mit Papier und Bleistift, allenfalls unter Zuhilfenahme eines Rechenschiebers oder eines elektromechanischen Tischrechners.

Die sechziger Jahre: Das Verständnis der schwachen Wechselwirkungen schreitet fort und das Quark-Zeitalter bricht an

Anknüpfend an die Experimente zur Paritätsverletzung gab es eine theoretische Arbeit, die besagte, daß die Kopplung beim Betazerfall eine (V-A)-Kopplung sein soll. V steht für eine Vektorkopplung, wie man sie schon von der elektromagnetischen Wechselwirkung her kennt, A steht für Axialvektorkopplung. Man kann die (V-A)-Theorie charakterisieren, ohne auf das theoretische Formelwerk einzugehen:

Linkshändige Teilchen und rechtshändige Antiteilchen nehmen an der schwachen Wechselwirkung teil; rechtshändige Teilchen und linkshändige Antiteilchen sind überhaupt blind für die schwache Wechselwirkung. Diese Arbeit von Feynman und Gell-Mann erwies sich als ein enorm wichtiger Schritt in der Elementarteilchenphysik. Die (V-A)-Hypothese war seinerzeit allerdings ein Schwimmen gegen den Strom, denn es gab experimentelle Methoden, die Form der Betazerfallswechselwirkung festzustellen, und man war damals aufgrund von Experimenten am ${}^6\text{He}$ fest überzeugt, daß die Betazerfallswechselwirkung nicht diese Vektor-minus-Axialvektor-Form hat. Feynman und Gell-Mann begründeten ihre Hypothese im wesentlichen damit, daß sich mit der (V-A)-Wechselwirkung die Theorie wunderschön formulieren läßt. Überhaupt muß man sagen, die theoretischen Physiker sind in erster Linie Ästheten. Theorien müssen mathematisch stimmen, das ist schon richtig, aber vor allen Dingen müssen sie schön sein. Es muß schön sein - was in der theoretischen Physik schön und elegant zu formulieren ist, ist meistens auch in der Natur realisiert. Das ist ein Kriterium, das erstaunlich gut funktioniert. Am Schluß der (V-A)-Arbeit steht: "These theoretical arguments seem to the authors to be strong enough to suggest that the disagreement with the ${}^6\text{He}$ recoil experiment and with some other less accurate experiments indicates that these experiments are wrong. The $\pi \rightarrow e + \nu$ problem may have a more subtle solution." Hier ist zuletzt angesprochen, daß nach der (V-A)-Theorie ein π -Meson nicht nur in Myon und Neutrino, sondern auch in ein Elektron und ein Neutrino zerfallen können muß, und zwar mit dem Verzweigungsverhältnis: $1,27 \times 10^{-4}$. Das Experiment hatte aber ergeben, daß dieser Zerfall selbst auf dem Niveau von 10^{-5} nicht beobachtet wird!

Feynman und Gell-Mann behielten recht: Alsbald zeigte sich, daß das ${}^6\text{He}$ -Experiment falsch war, ja sogar das $\pi \rightarrow e \nu$ -Experiment war falsch. Beim CERN konnten Fidecaro, Merrison et al. nachweisen, daß die V-A-Vorhersage stimmte.

Um diese Zeit kam ein neuer Gedanke auf, ebenfalls von Gell-Mann vorgeschlagen, nämlich die Erhaltung des Vektorstroms bei der schwachen Wechselwirkung. Diese Hypothese stellt einen unmittelba-

ren Zusammenhang zwischen der elektromagnetischen und der schwachen Wechselwirkung her, der bewirkt, daß die starke Wechselwirkung der Teilchen die Vektor-Kopplungskonstante des Betazerfalls ebensowenig modifiziert wie die elektrische Ladung. Wenn ein Proton aufgrund seiner starken Wechselwirkung virtuell in ein Neutron und ein π^+ -Meson übergeht, ändert das die Ladung des Protons nicht, denn aufgrund der Ladungserhaltung muß das π^+ -Meson die gleiche Ladung haben wie das ursprüngliche Proton. Ebenso soll das π^+ -Meson die gleiche "schwache Ladung" mitschleppen. Es muß dann auch einen Betazerfall $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu$ geben mit einer Zerfallskonstante, die sich aus Daten des Kern-Betazerfalls genau berechnen läßt. Das Ergebnis ist eine Vorhersage für das Verzweigungsverhältnis:

$$\frac{\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu}{\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu} = 1,2 \times 10^{-8}.$$

Das Verzweigungsverhältnis ist winzig, aber seine quantitative Messung hätte einen direkten Beweis für Gell-Manns Hypothese geliefert, die übrigens als eine erste Vorstufe für das heutige Standardmodell der elektroschwachen Wechselwirkung angesehen werden kann. Nur wurde damals die Messung eines Verzweigungsverhältnisses von 10^{-8} für platterdings unmöglich gehalten, was verständlich ist, weil man gerade eben die größte Mühe gehabt hatte, auf dem Niveau von 10^{-4} den seltenen Zerfall $\pi \rightarrow e + \nu$ nachzuweisen.

Im Jahre 1959 war ich zum CERN gekommen. Ich schloß mich der von Herrn Citron geleiteten Arbeitsgruppe an, die ein Experiment vorbereitete, bei dem es um die elastische Streuung von Myonen an Atomkernen ging. Der Vergleich mit der Elektronenstreuung, die ich vorhin erwähnt hatte, sollte zeigen, ob das Myon eine Extrawechselwirkung besitzt, die vielleicht auch seine höhere Masse erklären könnte, oder ob das Elektron unerklärtermaßen einen schwereren Vetter hat. Die Beteiligung an diesem Experiment war für mich nicht nur physikalisch sehr interessant, sie bot mir auch die Gelegenheit, das Handwerk des Experimentierens am Beschleuniger gründlich zu ler-

nen. Als das Experiment zu Ende ging (mit dem Ergebnis: das Myon zeigt keine andere Wechselwirkung als das Elektron), sah ich mich nach anderen Ufern um und begann, über Möglichkeiten nachzudenken, den $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e \nu$ -Zerfall nachzuweisen. In diesem Bemühen traf ich mich mit Carlo Rubbia, der heute Generaldirektor des CERN ist und mit Volker Soergel aus Freiburg, der eigens für dieses Experiment zum CERN gekommen war. Es gelang uns, mit unserem Experimentiervorschlag durchzudringen (was gar nicht einfach war), und noch verstärkt durch Pierre Depommier aus Grenoble und durch Klaus Winter das Experiment aufzubauen, und es funktionierte tatsächlich. Rubbia hat zwar nur die Anfangsphase mitgemacht, aber wir haben doch viel von ihm profitiert. Nicht so sehr auf dem rein experimentellen Gebiet, als vielmehr bei der Entwicklung einer Strategie für die Analyse: "We must construct a logical tree...". Die korrekte Abschätzung des Untergrunds ist natürlich sehr wichtig bei einem solchen Experiment. Schließlich erreichten wir für das Verzweungsverhältnis des $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e \nu$ -Zerfalls eine Meßgenauigkeit von besser als 10 %. Das Resultat stimmte mit der Vorhersage der Vektorstrom-Erhaltung überein.

Ich sollte vielleicht noch ein paar Worte über die Schwierigkeiten sagen, die wir hatten, um mit unserem Experiment zugelassen zu werden. Es galt nicht nur die zuständigen Gremien davon zu überzeugen, daß das Experiment funktionieren könnte. Auch die Gründung einer neuen Forschungsgruppe war etwas Besonderes. Die "schedule meetings", auf denen die Maschinenzeit verteilt wurde, glichen manchmal einer offenen Feldschlacht. Die Gruppenleiter hatten damals beim CERN etwa eine Stellung wie die Herzöge im mittelalterlichen Deutschland, und es war gar nicht einfach, in diesen erlauchten Kreis vorzudringen. Es glückte auch schließlich nur durch die Intervention von Victor Weißkopf, dem Generaldirektor des CERN, den wir von der Qualität unseres Experimentiervorschlags überzeugen konnten.

Zurück zu den schwachen Wechselwirkungen. Ein großes Ereignis schon in den frühen sechziger Jahren war der Nachweis von Reaktionen hochenergetischer Neutrinos. Bereits das erste Neutrinoexperi-

ment führte zu einer wichtigen Entdeckung: Es gibt zwei verschiedene Arten von Neutrinos, das Myon-Neutrino (ν_μ) und das Elektron-Neutrino (ν_e).

Beim Betazerfall von Elementarteilchen waren die Zerfallsprozesse $n \rightarrow p e \nu_e$, $\mu \rightarrow \nu_\mu e \nu_e$ und $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ experimentell sorgfältig untersucht und theoretisch im Rahmen der (V-A)-Theorie wohl verstanden. Wie stand es nun mit den Betazerfallsprozessen der seltsamen Teilchen? Gewöhnlich zerfallen sie in Hadronen, z.B. $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$. Man hatte aber in der Blaskammer in der Tat auch Betazerfallsprozesse beobachtet, wie $K \rightarrow \pi + e + \nu$ und $\Lambda \rightarrow p + e + \nu$. Die Zerfallswahrscheinlichkeiten betragen aber nur ein paar Prozent von dem, was nach der (V-A)-Theorie zu erwarten gewesen wäre!

Zur Erklärung dieser merkwürdigen Beobachtung machte Cabibbo, ein junger italienischer Theoretiker, folgenden Vorschlag: Die Kopplungsstärke der schwachen Wechselwirkung ist in vollem Umfang nur beim μ -Zerfall zu beobachten. Bei den anderen Betazerfallsprozessen teilt sich die Kopplungsstärke auf die Zerfälle der seltsamen Teilchen (K, Λ ,...) und der nicht-seltsamen Teilchen (π , n,...) auf, derart, daß letztere das meiste abbekommen. Mit der (V-A)-Theorie und mit Hilfe der SU(3)-Symmetrie (ich werde später darauf zurückkommen, was darunter zu verstehen ist) konnte dann Cabibbo die Betazerfälle aller Teilchen berechnen, wobei seine Theorie drei freie Parameter aufwies, die durch Anpassung an die experimentellen Daten zu bestimmen waren.

Mit den vorliegenden Daten war eine recht genaue Bestimmung dieser Parameter möglich, nicht aber eine Überbestimmung: Erst wenn mehr Meßgrößen als freie Parameter vorhanden sind, kann man die Richtigkeit einer Theorie prüfen. Wir (d.h. Herr Soergel und ich) bauten deshalb mit unserer Gruppe ein Experiment auf, um auch den Betazerfall des Ξ -Hyperons, eines Teilchens mit der "Strangeness" $S = -2$, nachzuweisen und zu untersuchen. Mit einigen Modifikationen wurde die gleiche Apparatur dann anschließend für eine detaillierte Untersuchung des Betazerfalls des Λ -Hyperons eingesetzt. Man kann transversal polarisierte Λ -Teilchen erzeugen, und damit konnten wir nicht nur die Übergangswahrscheinlichkeit, sondern auch die Winkelkorre-

lationen der Zerfallsteilchen bezüglich des Λ -Spins messen. Damit konnten wir den (V-A)-Charakter der Wechselwirkung wie auch die Cabibbo-Theorie in vollem Umfang bestätigen. Zur experimentellen Technik will ich später noch etwas sagen.

Wie sah in den sechziger Jahren die Entwicklung auf dem Gebiet der stark wechselwirkenden Teilchen aus? Es stellte sich heraus, daß die Δ -Resonanz kein Einzelfall war, sondern daß es eine große Zahl baryonischer und mesonischer "Resonanzen" gab. Wie auch die Δ -Resonanz wurden sie als Elementarteilchen betrachtet, die mit den Baryonen Proton, Neutron, Λ sowie mit den π - und K-Mesonen im Prinzip gleichberechtigt sind. 1961 brachten Gell-Mann und Nishijima zunächst einmal Ordnung in das sich anbahnende Chaos. Mit dem mathematischen Formalismus der "SU(3)-Symmetrie" konnten die Teilchen in Multipletts gruppiert werden, mit gruppentheoretischen Methoden, wie man sie früher schon mit Erfolg in der Atomspektroskopie angewandt hatte. Es ergaben sich aus der SU(3)-Symmetrie auch gewisse Relationen zwischen den Massen und anderen Eigenschaften der Teilchen. Ein Beispiel hatte ich schon bei der Cabibbo-Theorie erwähnt.

Drei Jahre später kamen Gell-Mann und gleichzeitig Zweig, ein junger Theoretiker beim CERN, auf die Idee, daß man genau diese SU(3)-Symmetrie erhält, wenn man annimmt, daß alle diese Teilchen aus Konstituenten zusammengesetzt sind, von Gell-Mann "Quarks" und von Zweig "Aces" genannt. Diese Konstituenten müssen eine sehr merkwürdige Eigenschaft haben, nämlich eine nicht ganzzahlige elektrische Ladung. Man benötigt ein "up"-Quark (u) mit der Ladung $+2/3 e$, ein "down"-Quark (d) und ein "strange" Quark (s), beide mit der Ladung $-1/3 e$. Die Antiteilchen, genannt Antiquarks, haben das entgegengesetzte Ladungsvorzeichen. Die Mesonen bestehen aus Quark und Antiquark, die Baryonen aus drei Quarks. Man spricht heutzutage nur von Quarks und denkt dabei an Gell-Mann, aber ich erinnere mich noch genau, wie Zweig, vor Erregung an allen Gliedern zitternd, am Tage nach dem Bekanntwerden von Gell-Manns Arbeit im großen Hörsaal beim CERN seine Arbeit vortrug. Das ist schon hart für einen jungen Theoretiker, wenn ihm der Ruhm für eine solche

Sache von einem der ganz Großen direkt vor der Nase weggeschnappt wird. Zweig hat seine Arbeit nie publiziert, es gibt nur einen CERN-Report darüber. Der wird auch heute noch in anständigen Lehrbüchern neben Gell-Manns Arbeit zitiert.

Die Quarks verursachten fast so ein Erdbeben wie die Paritätsverletzung. Man suchte überall nach freien Quarks, an Beschleunigern, in der Höhenstrahlung, in den Laborbüchern des alten Milikan und fand keine. Diese eindrittel oder zweidrittel geladenen Teilchen müßte man irgendwo finden! Die Physiker begannen sich wieder auf ihre Kenntnisse in Physikalischer Chemie zu besinnen, aber es half nichts. Es gab keine freien Quarks. Aber das Quark-Modell, mit Hilfe dessen man die Mesonen und die Baryonen aufbauen konnte, entwickelte sich prächtig. Alle beobachteten baryonischen und mesonischen Resonanzen - gegen Ende des Jahrzehnts waren es schon weit über 100 - ließen sich zwanglos einordnen. Außerdem erlaubte das Quarkmodell noch viel weiterreichende Folgerungen, als die SU(3)-Symmetrie allein. Da man aber keine freien Quarks gefunden hatte, hielten die meisten Physiker die Quarks doch mehr für ein mathematisches Werkzeug, und nicht für Wirklichkeit. Heisenberg beispielsweise hat bis zu seinem Tode die Quarks für Unfug gehalten. Die Einschätzung der Quarks als mathematische Hilfsmittel änderte sich erst gegen Ende des Jahrzehnts, als bei der tief unelastischen Streuung energiereicher Elektronen an Protonen sehr große Wirkungsquerschnitte beobachtet wurden, die darauf hinwiesen, daß in einem Proton irgendwelche punktförmigen Teilchen herumschwimmen, die man zunächst Partonen nannte, und die mit den Quarks identisch sein könnten.

Auch in der experimentellen Technik gab es in den sechziger Jahren enorme Fortschritte. Der Transistor verdrängte die Elektronenröhre. Sowohl die unvergleichlich bessere elektronische Stabilität der Transistorschaltungen als auch die höhere Packungsdichte ermöglichte bei den Zählerexperimenten einen qualitativ neuen Experimentierstil. Das alte Grundprinzip der Zählerexperimente wurde zwar beibehalten, aber die Zahl und Komplexität der Detektorelemente konnte gewaltig gesteigert werden. Beim CERN wurde meines Wissens das erste komplette Elektronik-System auf Transistor-Basis von Herrn Kiessler,

dem Techniker der Citron-Gruppe aufgebaut, und dadurch gehörten wir, in der Endphase des Myon-Streuexperiment und beim $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e \nu$ -Zerfallsexperiment zu den ersten, die von der neuen Technik profitieren konnten.

Die zweite große Neuerung war die Entwicklung von Spurenkammern, die in den Versuchsaufbau eines Zählerexperiments integriert werden konnten. Der erste Vertreter dieser Gattung war die Funkenkammer, in der sich nach Anlegen eines Hochspannungspulses entlang der Teilchenspur eine Kette von Funken bildete. Die Meßgenauigkeit blieb zwar hinter dem zurück, was man mit der Blaskammer erreichen konnte, aber man hatte den großen Vorteil, daß die Funkenkammer selektiv bestimmte Ereignisse registrierte, wenn der Hochspannungspuls durch die übrigen Detektoren des Experiments ausgelöst wurde. Die Blaskammer konnte dagegen nur blindlings ausgelöst und photographiert werden, denn die Expansion der Flüssigkeit mußte vor dem Eintritt des Strahls in die Kammer erfolgen.

Als Beispiel für ein Funkenkammer-Experiment zeigt Abbildung 5 die Anordnung der Detektoren, die wir zur Untersuchung des Λ -Betazerfalls aufgebaut hatten. Die Funkenkammern sind mit S bezeichnet, mit C Detektoren, die unter Ausnutzung des Cerenkov-Effekts selektiv auf die Geschwindigkeit der Teilchen ansprechen, mit H Szintillationszähler - "Hodoskope", mit denen die Topologie der Teilchenspuren grob definiert wurde.

In Wirklichkeit sah eine solche Apparatur weniger säuberlich und wohlgeordnet aus: Auf engstem Raum waren die verschiedenen Detektor-Elemente zusammengeschachtelt, so daß man an manche Teile der Apparatur nur kriechend gelangen konnte, umgeben von Stahlrohren und Kabelsträngen. Die Elektronik war in einer Hütte außerhalb der für den Strahlenschutz errichteten Betonwand installiert; man konnte hinter dem Gewirr der Verbindungskabel die Elektronik selbst kaum sehen. Ein solches Experiment war sozusagen "Experimentalphysik total": Hochspannungstechnik für die Funkenkammern, Optik für ein kompliziertes Spiegelsystem, mit dessen Hilfe die Funken photographiert werden konnten, Vermessungstechnik, bei den Cerenkov-Zählern kam es abermals auf die Optik an, sowie auf den Umgang

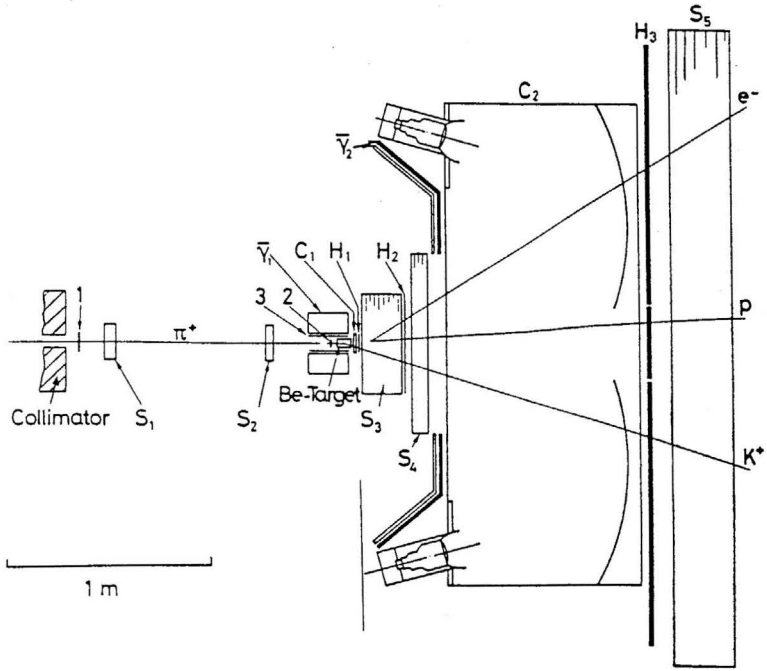


Abb. 5: Apparatur zur Untersuchung des Λ -Betazerfalls.

mit Flüssigkeiten, die fast jeden Klebstoff auflösten, und mit brennbaren Gasen, Fotomultiplier, Scintillatoren, Analog- und Digitalelektronik usw. Das Aufregendste war aber das Einfahren des Experiments, bei dem es darum ging, zu verstehen, was sich in der Apparatur abspielt und wie sie zu modifizieren ist, daß sie das leistet, was man bei der Planung des Experiments berechnet und im "Proposal" versprochen hatte. Ist hier noch ein Szintillationszähler oder ein Bleiabsorber anzubringen? Müssen wir die Laufzeit jenes Signals in der Elektronik noch um 2 oder 3 Nanosekunden verkürzen? Ist dort noch eine Diskriminatorschwelle zu verändern? Warum funktioniert der Cerenkov-Zähler nicht wie erwartet ... ein iterativer Prozeß, der sich

wochenlang hinzog und ein volles Verständnis sowohl der Detektorelemente als auch der möglichen Teilchenreaktionen erforderte.

Im Jahr 1964 war ich als Nachfolger von Prof. Kopfermann nach Heidelberg gekommen. Wir konnten unsere Experimente beim CERN fortführen, weil auch Herr Soergel bald einen Ruf nach Heidelberg erhielt, und wir konnten uns bei der gemeinsamen Arbeit in Heidelberg und in Genf abwechseln. In Heidelberg galt es, einen ordentlichen Beitrag zur Lehre zu leisten, das Institut zu leiten, eine leistungsfähige Elektronik-Werkstatt und vor allem eine Arbeitsgruppe "Hochenergie-Physik" aufzubauen, für die Vorbereitung unserer Experimente beim CERN, aber auch für apparative Neuentwicklungen. In Genf mußte die dortige Arbeitsgruppe durch alle Schwierigkeiten des Experiments und der Experiment-Auswertung gesteuert werden - das war schon ein Arbeitspensum für zwei Professoren.

Das schönste Ergebnis der apparativen Arbeiten in Heidelberg war sicher die 1968/69 von A.H. Walenta (damals Diplomand) erfundene Driftkammer, eine auf dem Zählrohrprinzip basierende Spurenkammer, die in den siebziger und achtziger Jahren die Funkenkammer und die Blasenkammer aus der Experimentiertechnik verdrängte. Ich stand der Entwicklung erst sehr skeptisch gegenüber, weil ich nicht recht glaubte, daß die Driftzeitmessung an vielen Zähldrähten in unserem finanziellen und technischen Rahmen machbar war. Ich hatte dann aber großes Vergnügen daran, mit Herrn Walenta zusammen an der Vervollkommnung der Driftkammer zu arbeiten. Wir setzten Driftkammern zuerst 1970/71 bei einem Experiment zum Nachweis des seltenen K-Zerfalls $K \rightarrow e + \nu$ ein (ein Pendant zu dem vorhin erwähnten $\pi \rightarrow e + \nu$ -Zerfall). Ich erinnere mich noch, daß wir die Pläne zum Einsatz dieses damals noch unbekanntes Instruments vor den CERN-Komitees sorgfältig geheim hielten, damit unser Proposal nicht wegen "unproven techniques" abgelehnt wurde.

Die Halbleiter-Elektronik brachte nicht nur in der Meßtechnik den großen Sprung nach vorn, auch bei der Datenerfassung und -verarbeitung gab es durch die Einführung des "Computers" eine Revolution. Sowohl beim Einsatz von on-line Prozeßrechnern als auch bei der Nutzung der Großrechner spielte die Hochenergiephysik eine Vorrei-

terrolle. Die Driftkammer war, wie auch die 1968 von G. Charpak erfundene Vieldraht-Proportionalkammer, dieser neuen Technik in idealer Weise angepaßt.

Die siebziger Jahre: Neutrale schwache Ströme, farbige Quarks und "Charm" in der Elementarteilchenphysik

Im Zusammenhang mit der Cabibbo-Theorie des Betazerfalls war von einer mysteriösen "Aufteilung der Kopplungsstärke" die Rede gewesen. Das läßt sich viel klarer und sehr elegant im Rahmen des Quark-Modells formulieren: Man erhält die Cabibbo-Theorie, wenn man annimmt, daß bei den schwachen Wechselwirkungen der d-Quark und der s-Quark kombiniert in der Art einer quantenmechanischen Zustandsmischung auftreten: $d' = d \cos \vartheta_c + s \sin \vartheta_c$. Der Mischungswinkel ϑ_c wird auch Cabibbo-Winkel genannt. Der einzige Haken bei diesem Ansatz ist, daß nun unweigerlich "neutrale" schwache Ströme auftreten, so genannt, weil es nun auch Betazerfallsprozesse geben soll, bei denen sich die Ladung des zerfallenden Hadrons nicht ändert, und solche Prozesse waren nicht beobachtet worden. Das wäre kein Problem bei Zerfallsprozessen ohne Strangenessänderung; sie würden durch Prozesse der starken Wechselwirkung vollständig maskiert. Wenn sich aber die Strangeness ändert, sieht das anders aus: Der Zerfall $K^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu} \nu$ sollte ebenso häufig sein wie der Zerfall $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$, er wird aber nicht beobachtet. Was stimmt hier nicht?

Einen Ausweg fanden 1970 Glashow, Iliopoulos und Maiani: Man kann die unerwünschten Prozesse algebraisch weghexen, wenn man annimmt, daß es noch ein viertes Quarkteilchen gibt, genannt "Charm-Quark". Ich muß gestehen, daß mir dieser Vorschlag als ein ziemlich übler Griff in die Trickkiste der Theoretischen Physik vorkam. Nun, der neutrale Strom (ohne Strangeness-Änderung) wurde 1972 in einem Neutrino-Experiment beim CERN entdeckt - die letzte Großtat der Blasenkammerphysik. Damit war der Weg frei für die kurz zuvor von Weinberg, Salam und Glashow vorgeschlagene Theorie der "elektroschwachen" Wechselwirkungen, die zwei der fundamentalen Wech-

selwirkungen zusammenfaßte. Nach dieser Theorie sollte es bei der schwachen Wechselwirkung drei Austauschteilchen geben: W^+ und W^- , die die geladenen schwachen Ströme tragen, und das Z^0 -Teilchen für den neutralen Strom. Mit den Ergebnissen des Neutrino-experiments konnte man die Masse der "intermediären Bosonen" vorhersagen: Sie sollten fast 100mal schwerer als ein Proton sein. Damit waren sie zunächst einmal dem direkten Nachweis entrückt. Die Abwesenheit des neutralen "Strangeness-Wechselstroms" blieb aber weiter ein Mysterium, denn die Charm-Hypothese wurde wohl von vielen nicht erst genommen.

Anders verhielt es sich mit einer zweiten Erweiterung des Quarkmodells, die von Gell-Mann vorgeschlagen wurde. Das ursprüngliche Quarkmodell wies einen häßlichen Konflikt mit dem Pauli-Prinzip auf, nach dem sich keine zwei Teilchen im gleichen Quantenzustand befinden können, sofern es sich um identische Spin $\frac{1}{2}$ -Teilchen handelt. Genau das schien aber zu passieren, wenn man die Baryonen mit dem Quarkmodell erklären wollte. Beim doppelt positiv geladenen Δ -Teilchen müßte man sogar annehmen, daß sich gleich drei u-Quarks im gleichen Quantenzustand befinden! Über diesen Punkt gab es jahrelang hitzige Diskussionen. Gell-Mann schlug eine Patentlösung vor: Die drei Quarks unterscheiden sich voneinander in einer noch verborgenen Eigenschaft, die Gell-Mann "Farbe", z.B. rot, grün, und blau, nannte. Auch das war solange keine besonders befriedigende Hypothese, bis es Gell-Mann, Fritzsche und Leutwyler gelang, auf dem Farbkonzept eine neue Theorie der starken Wechselwirkung aufzubauen, die "Quanten-Chromodynamik" (QCD). Die drei "Farben" dienen hier zur Kennzeichnung der Qualität der "starken" Ladung, ähnlich wie man die Art der elektrischen Ladung durch plus und minus kennzeichnet.

Die Austauschteilchen der QCD nennt man Gluonen. Sie sind elektrisch neutral, tragen aber Farbladung. Mit der QCD kann man auch das zweite große Rätsel der Quarkphysik lösen: Mindestens qualitativ kann man die Frage beantworten, warum keine freien Quarks beobachtet werden, warum also die Quarks in den Baryonen und Mesonen eingesperrt sind; man bezeichnet das als das "confinement" der

Quarks. Überträgt man bei einer Teilchenreaktion auf ein Quark einen sehr hohen Impuls, kann es das confinement nicht durchbrechen, weil sich ständig aus der chromodynamischen Feldenergie neue Quark-Antiquarkpaare bilden, die sich zu Mesonen, mitunter auch zu Baryon-Antibaryonpaaren zusammenschließen. Dieser Vorgang wird mit dem wenig treffenden Ausdruck "Quarkfragmentation" bezeichnet. Mit der QCD lag endlich eine Theorie der starken Wechselwirkung vor. Nun war es eine Aufgabe für die Experimentalphysiker, zu prüfen, ob diese Theorie auch stimmt, insbesondere herauszufinden, ob man Quarks und Gluonen als Bausteine der Materie nicht doch nachweisen kann.

Mit der Welt der farbigen Quarks machte ich Bekanntschaft in einem Vortrag, den Gell-Mann beim CERN hielt. Der Vortrag gipfelte in einem Appell an die Experimentalphysiker: Das wichtigste Experiment überhaupt sei die Messung des totalen Wirkungsquerschnitts für die Erzeugung von Hadronen in der e^+e^- -Vernichtung bei hoher Energie. Das sei das experimentum crucis für die Theorie der farbigen Quarks. Dieser Wirkungsquerschnitt läßt sich nämlich auf einfache und leicht durchschaubare Weise berechnen, wenn man annimmt, daß die Hadronenproduktion primär über die Reaktion $e^+ + e^- \rightarrow$ Quark + Antiquark abläuft, und wenn man die Quarks als punktförmige, d.h. strukturlose Elementarteilchen voraussetzt.

Kurz zuvor hatte Zichichi beim CERN einen Vortrag gehalten, in dem er über sein Experiment am Speicherring ADONE in Frascati berichtete - das war der erste e^+e^- -Speicherring, mit dem man Elektronen und Positronen mit Energien oberhalb von 1 GeV zur Kollision bringen konnte. Eigentlich erwartete man damals von solchen Anlagen nur eine genauere Prüfung der Quanten-Elektrodynamik sowie einige Aufschlüsse über die elektromagnetischen Formfaktoren der Hadronen. Zichichi hatte jedoch beobachtet, daß deutlich mehr Hadronen erzeugt werden, als nach diesen Vorstellungen zu erwarten waren.

Schon nach Zichichis Vortrag hatte ich mir vorgenommen, mich mit einem Teil unserer Gruppe der e^+e^- -Physik zuzuwenden. Bei DESY in Hamburg war damals gerade der e^+e^- -Speicherring DORIS im Bau, und wir wollten bei DORIS ein Experiment zur Messung des

totalen Wirkungsquerschnitts für die Hadronenproduktion durchführen. Bestärkt durch Gell-Manns Vortrag machten wir uns an die Arbeit. Für unsere Gruppe war das ziemlich problematisch, denn unser Experimentierprogramm beim CERN war keineswegs abgeschlossen, und die Symbiose mit Herrn Soergel mußte vorerst unterbrochen werden. So war denn auch nur eine kurze Eskapade nach Hamburg geplant. Das kam aber gründlich anders.

Kurz vor Inbetriebnahme von DORIS platzte mal wieder eine Bombe in der Elementarteilchenphysik, diesmal gezündet von Experimentalphysikern: In den USA wurde das J/ψ -Teilchen entdeckt, das sich im Wirkungsquerschnitt der e^+e^- -Vernichtung als eine nadelscharfe Überhöhung bei einer Schwerpunktsenergie von 3,097 GeV bemerkbar macht, mit einem Anstieg der Reaktionsrate um einen Faktor 100! Auch bei DESY wurde alsbald die Untersuchung dieses Phänomens in Angriff genommen. Es folgten hektische Zeiten für Experimentatoren wie für Theoretiker, und bald stellte sich heraus, daß es sich um den gebundenen Zustand eines neuen schweren Quarkteilchens mit seinem Antiteilchen handelte, und zwar des von Glashow et al. vorhergesagten Charm-Quarks!

Dieses Quark-Antiquark-System, auch Charmonium genannt, erwies sich im wahrsten Sinne des Wortes als das Wasserstoff-Atom der Elementarteilchenphysik, denn es zeigte sich, daß es Anregungszustände besaß, deren Niveauschema dem des H-Atoms verblüffend ähnlich war. Die Spektroskopie des Charmoniums ermöglichte, das Potential der zwischen Quark und Antiquark wirkenden Farbkraft auszumessen; das Studium der Zerfallskanäle gab neue Einblicke in die Mechanismen hadronischer Reaktionen. Auch für die Welt der Leptonen gab es eine Überraschung: Unter den Zerfallsprodukten konnte man auch ein neues schweres Lepton identifizieren, das τ -Lepton, noch 17mal schwerer als das Myon! Vor allem wurde letztendlich Gell-Manns Vermutung über den Verlauf des totalen Wirkungsquerschnitts für die Hadronenproduktion in e^+e^- -Reaktionen in vollem Umfang bestätigt: Oberhalb der Charmonium-Zustände zeigt der Wirkungsquerschnitt einen Verlauf, aus dem sich ablesen läßt, daß in die-

sem Massenbereich vier Quarkteilchen mit jeweils 3 Farben existieren, die genau die erwarteten $1/3$ und $2/3$ Elementarladungen tragen. Damit hatte die große Zeit der e^+e^- -Speicherringe begonnen. Bei DESY konnte ein noch größerer Speicherring gebaut werden, PETRA, mit dem Schwerpunktsenergien über 40 GeV erreicht werden konnten, und von dem man eine Fortsetzung der so erfolgreichen e^+e^- -Physik erwartete. Auch in der Experimentiertechnik gab es eine große Umstellung: Die Zeit der auf eine bestimmte Fragestellung gerichteten Experimente ging zu Ende. An ihre Stelle traten "Universal-Detektoren", die an den Wechselwirkungszonen der Speicherringe aufgestellt alle Reaktionen erfassen und im möglichsten Detail registrieren konnten. Damit kam auch die Arbeit in kleinen Gruppen von ca. 10 Physikern zu einem Ende. Unser vorhin erwähntes Experiment zur Bestimmung der totalen Wirkungsquerschnitte bei e^+e^- -Reaktionen war noch so angelegt. Es hat für den gedachten Zweck auch hervorragend funktioniert, aber den unerwarteten Anforderungen der J/ψ -Spektroskopie war es nicht gut angepaßt. Gleiches gilt für unsere Gruppenstärke, denn für den gewohnten Rhythmus - 1 Jahr Experiment-Vorbereitung, über 1 Jahr verteilt Meßperioden in Zeitabschnitten von jeweils ein paar Wochen, 1 bis 2 Jahre Auswertung - war in der Speicherring-Physik kein Platz mehr. Der Bau eines Universal-detektors ist eine große Aufgabe, die nur in der Zusammenarbeit mehrerer Institutionen gelöst werden kann. Der Detektor muß vom ersten Tage an funktionieren. Er ist kaum zugänglich in der Wechselwirkungszone eingebaut. Die für die Rekonstruktion der Ereignisse erforderlichen Programme müssen schon zu Beginn des Experiments vorhanden sein. An die Stelle des Experimentierens, das ich vorhin am Beispiel des Λ -Betazerfallsexperiments (Abb. 5) zu schildern versuchte, trat die Aufgabe, das Verhalten eines Detektors, der möglichst nicht verändert werden sollte, und der fast pausenlos das ganze Jahr über Daten lieferte, allmählich bei der Datenanalyse zu verstehen. Wir machten bei PETRA mit dem neuen Arbeitsstil Bekanntschaft. Zusammen mit Arbeitsgruppen aus Hamburg, England und Japan wurde der Universaldetektor JADE gebaut (Abb. 6). Dem Ideal (Nachweis aller geladener Teilchen und aller Photonen mit dem

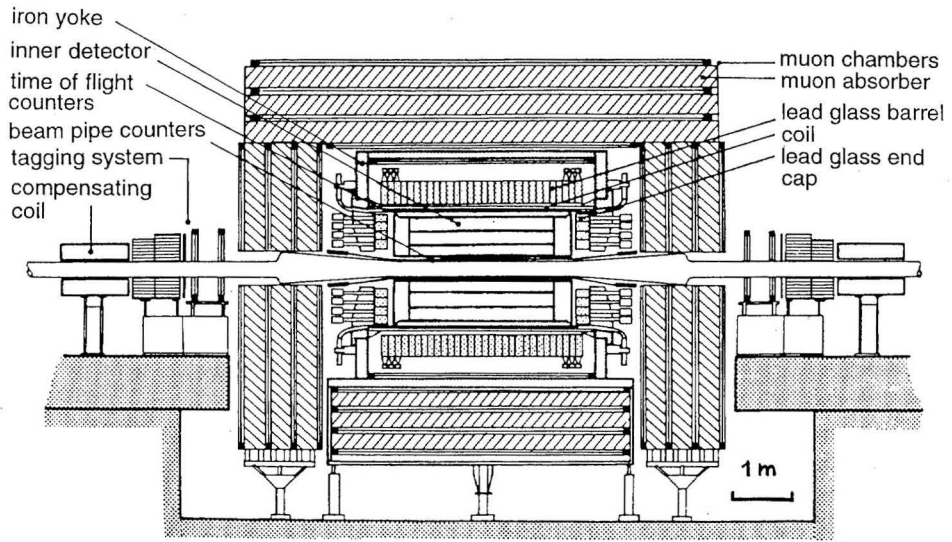


Abb. 6: Der JADE-Detektor

Raumwinkel $\Omega \approx 4\pi$, Impulsmessung und Teilchenidentifikation bei den geladenen Teilchen, Energiemessung bei den Photonen) kam dieser Detektor ziemlich nahe. Jedes Institut konnte eine wohldefinierte Komponente zum Detektor beitragen. Wir bauten in Heidelberg den Spurendetektor des Experiments mitsamt der Auslese-Elektronik, die sogenannte Jetkammer, einen neuartigen Driftkammertyp, der sich besonders für die Speicherringphysik eignet. Das war ein hartes Stück Arbeit, bei dem ich nicht nur meine Fähigkeiten als Physiker, sondern auch als Ingenieur, Handwerker und Organisator einsetzen mußte.

Die JADE-Kollaboration umfaßte 60-70 Physiker. Es zeigte sich, daß auch in einer solchen Kollaboration ein höchst ersprießliches Arbeiten möglich ist: Jeder Einzelne konnte zeigen, was er kann, und fand auch die Anerkennung für seine Arbeit. Die Physik bei PETRA erwies sich als so reichhaltig, daß an interessanten Einzelproblemen kein Mangel war. Für mich war das JADE-Experiment eigentlich das schönste in meiner Physiker-Laufbahn. Damit sind wir aber in den achtziger Jahren angelangt.

1980 bis heute: Das Zeitalter des Standardmodells

Mit den achtziger Jahren treten wir in das Zeitalter des "Standard-Modells" der Elementarteilchen ein, das bis heute andauert. Die elementaren Wechselwirkungen werden durch die QCD und die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung beschrieben. Die elementaren Teilchen lassen sich in je drei Familien von Leptonen und Quarks gruppieren: Das Elektron, das Myon und das τ -Lepton, jeweils gepaart mit seinem Neutrino auf der einen Seite, "up"- und "down"-Quark, "Charm"- und "Strange"-Quark, "top"- und "bottom"-Quark auf der anderen. (Die Entdeckungsgeschichte des b-Quarks, b = bottom, hatte ich im vorigen Kapitel unterschlagen, das t-Quark ist zwar noch nicht nachgewiesen, man hat aber gute Gründe für die Annahme, daß es tatsächlich existiert). Zu den Leptonen und Quarks kommt als dritte Spezies die Gruppe der Austauscheteilchen: die

Gluonen, das sind die Austauschteilchen der QCD, das Photon sowie die W^+ , W^- und Z^0 -Bosonen.

Die direkte Erzeugung der W - und Z -Bosonen gelang 1983 beim CERN. Damit war die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung im wesentlichen konsolidiert. Die Quanten-Chromodynamik wurde vor allem bei PETRA auf eine solide Basis gestellt. Es war äußerst spannend und ein großes Vergnügen, mit dem JADE-Detektor an dieser Forschung mitzuwirken. Das erste und wichtigste Resultat von PETRA war der experimentelle Beweis für die Existenz der Gluonen. Auch QCD-Prozesse höherer Ordnung, für die quantitative Prüfung der Theorie äußerst wichtig, konnten wir nachweisen. Schließlich konnten wir die Einzelheiten des vorhin schon im Zusammenhang mit dem confinement erwähnten Fragmentationsprozesses erforschen und genauer zu verstehen lernen. Quarks und Gluonen entwickelten sich zu Teilchen, die man fast direkt sehen kann. Abbildung 7a zeigt ein Beispiel für ein "2-jet-Ereignis", typisch für die Reaktion $e^+ + e^- \rightarrow q + \bar{q}$; Abbildung 7b ein besonders schönes "3-jet-Ereignis", zurückzuführen auf die Reaktion $e^+ + e^- \rightarrow q + \bar{q} + g$, die ein Analogon zu dem bekannten Prozeß der elektromagnetischen Bremsstrahlung darstellt. q und \bar{q} stehen für Quark und Antiquark, g für Gluon. Die deutlich sichtbaren "jets" sind Garben von Teilchen, überwiegend π -Mesonen, die bei der Fragmentation der Quarks und der Gluonen entstehen. Es gab auch ab und zu große Aufregungen wie z.B. bei der Beobachtung von "1-jet-Ereignissen" (Abb. 7c). Es stellte sich aber stets heraus, daß auch solche exotischen Ereignisse mit dem Standard-Modell erklärt werden können, wenn auch auf etwas subtilere Weise. Animiert durch die Entdeckung der W - und Z -Bosonen und durch die Erfolge von PETRA, begann CERN mit dem Bau des e^+e^- -Speicherrings LEP, mit dem Z^0 -Teilchen zu Hunderttausenden erzeugt werden können. Das eröffnete natürlich ganz neue Forschungsmöglichkeiten, die auch unsere Gruppe wieder nach Genf zog. Ende 1989 begann der Experimentierbetrieb. Das erste wesentliche Ergebnis war, daß es nur drei Arten von Neutrinos gibt. Man kann daraus schließen, daß mit den drei bereits bekannten Familien von Leptonen und Quarks tatsächlich ein Abschluß erreicht ist.- ein sehr wichtiges Resultat. Im

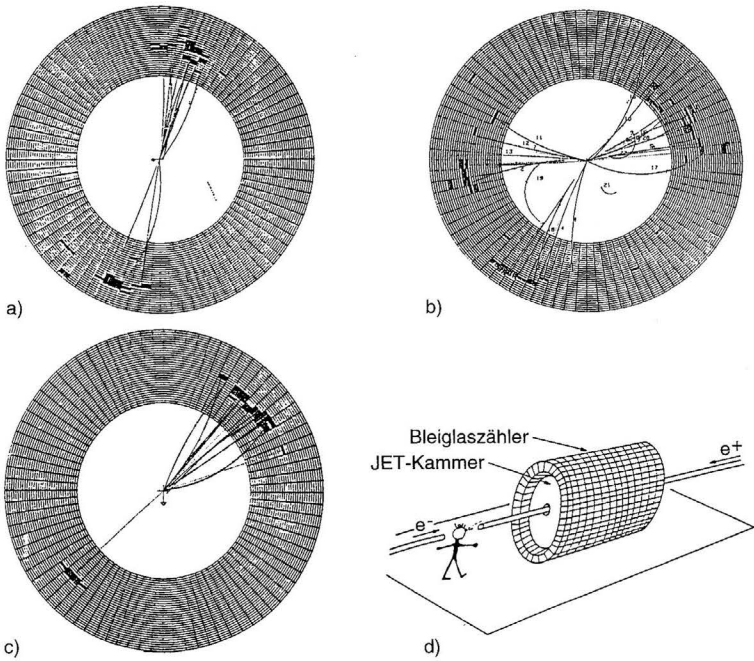


Abb. 7: a,b,c zeigen die perspektivische Rekonstruktion von Ereignissen, die mit der JADE-Jetkammer registriert wurden; d zeigt den Standort des fiktiven Betrachters.

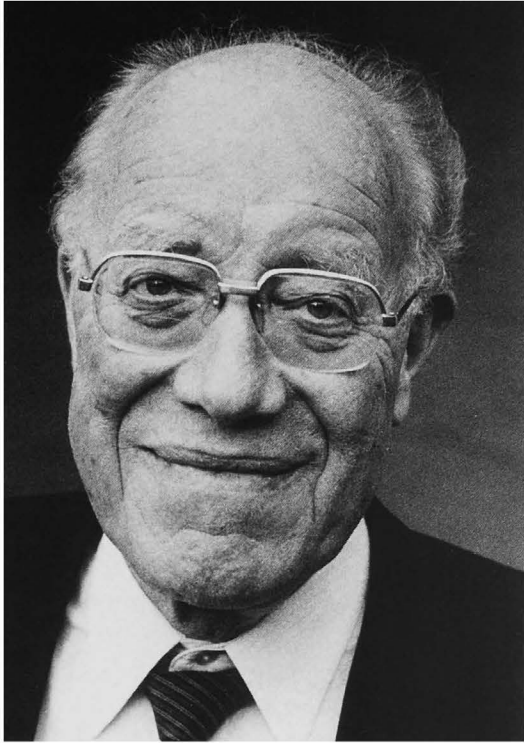
übrigen ermöglicht die "Z⁰-Fabrik" LEP, durch Präzisionsmessungen das Standard-Modell einer sehr genauen Prüfung zu unterziehen. Bisher konnte noch kein Riß im Gebäude entdeckt werden. Das ist etwas unbefriedigend, weil das Standardmodell der Elementarteilchen nicht der Weisheit letzter Schluß sein kann. Zu groß ist die Zahl der Parameter, die in das Standardmodell als "elementare Naturkonstanten" eingehen. Die Massen der Leptonen und der Quarks sind ein Beispiel, der vorhin erwähnte Cabibbo-Winkel ϑ_c ein anderes. Auch sind noch nicht alle Ingredienzen des Standard-Modells beisammen: Damit im

Standard-Modell die Teilchen eine Masse bekommen können, braucht man das sogenannte Higgs-Teilchen; sein experimenteller Nachweis steht noch aus. Überdies versichern uns die Theoretiker, daß bei der Formulierung des Standardmodells künstliche Annahmen gemacht werden müssen, die der Rechtfertigung durch eine tiefer liegende Theorie bedürfen. Es erhebt sich also die interessante Frage: Wie sieht die Physik jenseits des Standard-Modells aus? Es gibt eine Reihe von Ansätzen für eine solche Theorie. Einige konnten schon durch Experimente bei PETRA und LEP praktisch ausgeschlossen werden, andere sind noch im Rennen und man hofft entweder noch bei LEP oder aber an zukünftigen Beschleunigern neue Aufschlüsse zu bekommen. Ob das gelingt, wird die Zukunft lehren.

Ein Vortrag über das Thema *43 Jahre Physik der Elementarteilchen*, ist eigentlich so etwas, wie ein Vortrag über "Die landschaftlichen Schönheiten der Schweiz". Man redet über das Matterhorn über den Vierwaldstätter See, noch etwas über den Schweizer Jura, und dann fragt man sich, welche Information man eigentlich übertragen hat. Vielleicht konnte ich Ihnen aber doch nahebringen, daß sich in diesen 43 Jahren eine phänomenale Entwicklung in der Elementarteilchenphysik abgespielt hat, die zu verfolgen schon ein intellektuelles Abenteuer ersten Ranges war.

Man sagt, daß Physik auch Spaß machen muß. Die Frage stellt sich: Hat sie mir Spaß gemacht? Ich muß sagen, beim Entstehen dieses herrlichen Gedankengebäudes - das Ganze kann man sich auch wie die Inszenierung und Aufführung eines Theaterstücks vorstellen - nicht nur als Zuschauer, sondern auch als Schauspieler auf der Bühne mitzuwirken, natürlich nicht in einer Hauptrolle, auch nicht gerade als Statist, sondern in einer hübschen kleinen Nebenrolle, das hat schon großen Spaß gemacht. Das kann ich Ihnen versichern.

Heinz Maier-Leibnitz



Heinz Maier-Leibnitz

Professor Maier-Leibnitz wurde 1911 in Esslingen geboren. Nach dem Studium der Physik in Stuttgart und Göttingen (1928-1935) erfolgte 1935 die Promotion bei James Franck in Göttingen. Von 1935 bis 1952 war Herr Maier-Leibnitz am Kaiser-Wilhelm- und späteren Max-Planck-Institut in Heidelberg tätig. 1942 wurde er Universitätsdozent und 1949 apl. Professor. Seine Forschungsschwerpunkte waren damals Koinzidenzmethode, Kernumwandlung, Kernphotoeffekt sowie Neutronen- und Kernresonanzfluoreszenz. 1952 folgte er einem Ruf auf ein Ordinariat für Technische Physik in München. Dort war er ab 1958 auch Leiter der Forschungsreaktorstation in Garching. Von 1967 bis 1972 war Professor Maier-Leibnitz erster Direktor des Instituts Max v. Laue-Paul Langevin in Grenoble, das er auch mitbegründet hat. Anschließend war er Präsident der International Union of Pure and Applied Physics (1972-1974). Von 1974 bis 1979 war unser Referent Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft und von 1979 bis 1984 Kanzler des deutschen Ordens pour le Mérite. 1979 wurde Professor Maier-Leibnitz emeritiert.

Herr Maier-Leibnitz hat neben vielen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften u.a. die Monographien *An der Grenze zum Neuen* (1977), *Zwischen Wissenschaft und Politik* (1979), *Der geteilte Plato* (1981) und *Lernschock Tschernobyl* (1986) verfaßt. Sogar ein *Kochbuch für Füchse* zählt zu seinen Veröffentlichungen. Er war Mitherausgeber der Zeitschriften *Nukleonik*, *Nuclear Data* und *Naturwissenschaften*.

Von seinen zahlreichen Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gesellschaften seien hier nur die Schwedische, die Österreichische, die Bayerische und die Heidelberger Akademie der Wissenschaften sowie die Leopoldina in Halle erwähnt. Professor Maier-Leibnitz ist seit 1976 Hon. Fellow des Imperial College of Science and Technology, erhielt im demselben Jahr den Orden pour le Mérite, ist Associé Étranger der Académie des Sciences (Paris), Ehrensator der Universität Heidelberg und wurde mit drei Ehrendoktorwürden ausgezeichnet.

60 Jahre Forschung, Lehre und Forschung, Forschungspolitik

In meinem Leben habe ich viel empfangen und einiges gelernt, und ich bin sehr dankbar dafür. Ich habe versucht, etwas davon weiterzugeben. Dieser Wunsch hört nie auf, und deshalb freue ich mich, daß ich heute hier sprechen darf.

Wenn Sie erlauben, möchte ich einfach berichten von dem, was ich erlebt habe, was ich meinen großen Lehrern verdanke, was ich dann selbst versucht habe weiterzugeben, und was mir heute noch wichtig, wenn auch rätselhaft und diskussionsbedürftig erscheint. Ich will aber gleich sagen, was ich mit Lernen von den Älteren meine. Lernen ist wichtig, man lernt jeden Tag, von allen, die man kennt, man lernt allein oder mit anderen, und das hört nie auf. Aber das Lernen soll nicht zur Nachahmung führen. Ich habe früher den Jungen immer gesagt: "Ich will Ihnen gern raten, aber tun Sie nicht, was ich sage! Sie allein müssen Ihren eigenen Weg finden." Und ich meine, daß der Erfolg mir recht zu geben scheint. Mößbauer zum Beispiel hat öffentlich gesagt, er habe immer alles anders gemacht als ich vorschlug. Bei anderen war es ähnlich, und vielleicht ist mit aus diesem Grunde etwas aus ihnen geworden.

In meiner Jugend hat es mehrere Einflüsse gegeben, die für meinen künftigen Beruf wichtig waren. Mein Urgroßvater väterlicherseits war Zimmermann im Remstal, mein Großvater wurde Baumeister in Schorndorf, mein Vater und sein Bruder waren die ersten in der Familie, die studierten. Sie fanden Erfolg im Beruf, ohne reich zu werden, in Tätigkeiten, die große Unabhängigkeit verlangten: mein Vater in der Industrie und dann als Professor für Bauingenieurwesen, mein Onkel als Rechtsanwalt und später als Politiker. Bei beiden gab es nur Probleme der beruflichen Leistung, nie der Karriere. Meine Mutter war eine der ersten Altphilologiestudentinnen in München. Unser Haus war voll von Büchern, und meine Eltern lasen sich nachts philosophische Werke vor. Ich kam auf ein gutes Gymnasium und fand viel Gefallen an der klassischen Bildung, zu der die Bücher daheim mithal-

fen. Außerdem gab es ein frühes Interesse für Naturwissenschaft; erst eine Sammlung von Baumblättern, dann die in Württemberg so zahlreichen Versteinerungen, aber allmählich eine Zuwendung zur Mathematik, den einfachsten Teilen der Physik und der Astronomie. Meine Eltern ermunterten auch aktives technisches Handeln, Schreinern, Schlossern, Elektroarbeiten, und als Höhepunkt machte ich mich aufgrund eines Buchs aus dem Kosmosverlag an den Bau eines ziemlich großen Spiegelteleskops mit einem selbst zu schleifenden Spiegel von 15 cm Durchmesser. Damit war die Richtung der Berufswahl vorgegeben. Mein Vater nahm dabei ein wenig Einfluß; er hätte gern gehabt, daß ich Ingenieur werde. In Stuttgart gab es ein neues Fach "Technische Physik", das eine solche Möglichkeit wenigstens eine Zeitlang offenließ. Später wurde vom Ingenieurberuf nicht mehr geredet.

Ich muß noch einen Einfluß während meiner Schulzeit erwähnen. Meine Schwestern und ich wurden lungenkrank, als ich 12 Jahre alt war. Deshalb kamen wir 1924, als die Inflation gerade vorüber war, nach Arosa zu einer Höhenkur, und nach der Heilung kaufte mein Vater dort ein kleines Haus, wo wir alle Ferien verbrachten. Einer seiner Freunde an der Technischen Hochschule Stuttgart war der theoretische Physiker Peter Paul Ewald, der auch dort Ferien machte. Und er kannte einige Physiker, die dorthin zum Skilaufen kamen, und es ergab sich, daß sie zusammen mit unserer Familie Skitouren machten und dann bei uns zum Tee beisammensaßen. Von Freiburg kamen der theoretische Physiker Mie und der spätere Kernchemiker v. Hevesy, von England Aston, der die Isotopie der Atomkerne entdeckte, von Göttingen James Franck und der Mathematiker Richard Courant, von Dänemark der große Niels Bohr und von Österreich Erwin Schrödinger, der damals noch nicht die Wellenmechanik entdeckt hatte. Ich war natürlich mit 14 Jahren viel zu jung, um die Bedeutung einer solchen Weltelite zu erfassen, und es wurde ja auch nie von Physik geredet. Aber zu sehen, daß die große Wissenschaft von Menschen gemacht wird, die ganz einfach sprachen und lebten und sich an denselben Dingen freuten wie wir, das hat mich die Wissenschaft endgültig lieb gewinnen lassen, und sie schien mir nicht mehr unzugänglich.

In der Schule war ich nach unserer Krankheit ganz gut und zum

Schluß einer der Besten, also keineswegs ein Wunderkind. Ich erlangte ein bleibendes Interesse für Latein und Griechisch und natürlich Deutsch, dazu Anfangskenntnisse in Französisch und Englisch, die mir später geholfen haben, und etwas Mathematik. Das Klima in der Schule war angenehm, es gab keinen Kleinkrieg mit den Lehrern, und wir Jungen lernten voneinander über verschiedene Lebenskreise. Es gab auch solide und langdauernde Freundschaften. Die Politik allerdings blieb ganz ausgeklammert; das war wohl ein Charakteristikum der 20er Jahre, wenigstens in unserem Teil Deutschlands, vor dem Hintergrund der großen Arbeitslosigkeit.

Vor dem Studium gab es noch etwas, was mir viel geholfen hat. Wir mußten ein halbjähriges Praktikum in einer Maschinenfabrik machen, als eine Art Hilfslehrlinge in verschiedenen Werkstätten. Dort habe ich die Bewunderung für die Leistungen eines Facharbeiters gelernt und für immer den Zugang zu den Menschen in diesem Bereich gefunden.

Der Grund, daß ich meine Schulzeit so ausführlich dargestellt habe, ist: Ich habe eine Frage an meine Zuhörer. Wie vergleicht sich mein Bildungsgang, der damals als normal gelten konnte (natürlich ohne die Begegnung mit den großen Physikern) mit dem, was heute mit einem einigermaßen begabten jungen Menschen unter achtzehn geschieht? Ich möchte diese Frage einfach stehen lassen, denn ich weiß die Antwort nicht. Ich weiß, daß es darüber große Kontroversen gibt. Auch in den USA wird das Problem als ganz akut empfunden; die Erziehung gilt als einer der entscheidenden Faktoren für den Fortschritt der Nation, mit besonderer Betonung gerade des Einbaus der Naturwissenschaft. Ich selbst bin der Meinung, daß die Schule das, was man für sein Fach später lernt, durch Bildung auf anderen Gebieten ergänzen soll. Wir Naturwissenschaftler müssen Mathematik und zum Beispiel Physik später auf einem anderen Niveau lernen als das in der Schule möglich ist; aber das, was wir in den anderen Fächern lernten, war ein Grundstock für das Leben. Bei einem Historiker, Juristen, Verwalter oder Unternehmer ist es umgekehrt. Es wäre schön, wenn viele von ihnen unserer Art von Denken nicht so ganz fremd gegenüberstünden wie sie es heute tun. Und ich meine noch etwas: Zeitgeistthemen

(heute etwa das Umweltthema) sind halbverstandene Probleme. Sie gehören nicht in die Schule. Was man dort lernt, soll auch noch in fünfzig Jahren Grundlage für neues Nachdenken sein.

Das Studium der Technischen Physik an der Technischen Hochschule Stuttgart ähnelte in den ersten Semestern sehr dem der Maschinenbauer: Eine solide praktische Kenntnis der Mathematik, wie sie der Ingenieur im allgemeinen braucht, eine erste Einführung in das Konstruieren, technische Mechanik, Einführung in die Elektrotechnik, die große Physikvorlesung mit Praktikum, und schließlich Einführung in die Chemie, ebenfalls mit Praktikum. Die ersten dieser Vorlesungen waren durch Übungen unterstützt, und es gab gute Bücher. Der Erfolg war, daß man das Gelernte wirklich beherrschen und anwenden konnte, was mir bis heute nützlich ist. Das gilt besonders für die technische Mechanik, die von Grammel glänzend gelehrt wurde. Dieses Fach wurde meine beste Prüfung. Die Physik stand nicht so sehr im Vordergrund, denn ich wußte ja, daß ich sie sowieso lernen würde, und mit den anderen Pflichten (ich hatte im ersten Semester 42 Wochenstunden belegt) waren wir sehr beschäftigt. Ein spezieller Fall war die Chemie. Wir machten brav das Praktikum, aber in der Vorlesung gab es eine Diskrepanz zu den anderen Fächern. Diese hatten alle ganz einfache Grundlagen. Chemie aber ist angewandte Atomphysik, und das hatte sich in der Lehre noch nicht durchgesetzt; Zur traditionellen Chemie aber fanden viele von uns nicht den rechten Zugang; Chemie war meine schlechteste Prüfung im Vordiplom.

Ich möchte wieder fragen, wie die Entwicklung seither gegangen ist. Alles, was ich damals lernte, habe ich immer wieder gut brauchen können, ich muß also die zwei Jahre in Stuttgart als besonders fruchtbar betrachten. Ich weiß nicht, wie es heute ist. Wir leben ja in einer Zeit, in der der Kenntnisstand unserer Wissenschaft ungeheuer schnell gewachsen ist und weiter wächst. Heute muß man sicher anderes und eigentlich mehr lernen, um für das kommende lange Berufsleben vorbereitet zu sein. Aber das Mehr hat enge Grenzen, denn unser Hirn wächst nicht mit den Generationen. Die Aufgabe der Auswahl und der Darstellung und Einübung dessen, was die nächste Generation als Grundwissen in den einzelnen Wissenschaften braucht, ist eine unge-

heure und bleibende Herausforderung für die Universitäten geworden, die die Anstrengung der Besten braucht, vor allem auch derer, die selbst an der Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnis beteiligt waren. Dieses Problem ist besonders akut in den USA, wo ja die Mehrzahl der Studenten drei Jahre lang, meist an den Colleges, solche Grundlagen erwirbt und dann in den Beruf geht. Das bedeutet, daß man von diesen Grundlagen aus lebenslang weiterlernen muß. Lernen lernen, Gelerntes anwenden lernen ist also eine der großen Aufgaben der Grundausbildung heute. Von diesen Dingen wird viel zu wenig gesprochen.

Im Herbst 1931 kam ich für den zweiten Teil meines Studiums nach Göttingen, das damals eine der Hochburgen der Naturwissenschaft war. Die Mathematik kam wieder auf einem höheren Niveau, und die theoretische Physik sollte die volle Kenntnis und Beherrschung der physikalischen Kenntnisse und Gesetze und vor allem die Einführung in die vor wenigen Jahren entwickelte Quanten- und Wellenmechanik bringen. Bei mir allerdings kam als erstes ein für mich entscheidendes Erlebnis. Es gab in diesem Semester ein Fortgeschrittenenseminar mit dem Astronomen Hans Kienle, dem Experimentalphysiker James Franck und dem Theoretiker Max Born, jeder in seinem Fach führend. Das Seminar hatte über hundert Teilnehmer, und die Themen der Vorträge waren alle schon im Sommer ausgehandelt worden - bis auf eines, das hieß "Experimentelle Methoden in der Astrophysik". Franck warnte vor dem Umfang und der Schwierigkeit des Themas, und ich fürchtete mich natürlich, als ich mich als einziger dafür meldete. Aber dann tat ich sechs Wochen nichts anderes, lernte und schrieb in dem schönen Lesesaal des Mathematischen Instituts, der eine der Ursachen für Göttingens Erfolg war, bekam guten Rat von Kienle und auch von Franck. Als ich dann den Vortrag hielt, stritten Born und Kienle lang über etwas, was ich sagte, und ich bekam recht. Das Bewußtsein, daß man etwas lernen und dann wirklich können kann, hat mir unendlich viel geholfen. Es hat auch dazu geführt, daß ich manchmal mit den Professoren und oft mit den Jüngeren, die als Assistenten oder als Gäste in Göttingen wirkten, sprechen konnte. Ich wurde auch zu den Geselligkeiten eingeladen, die James Franck und seine Frau oder die

Frau des Zahlentheoretikers Landau gaben, oder zu den Tanztees bei der Frau des berühmten Mathematikers Hermann Weyl. Die Geselligkeit war in Göttingen sehr wichtig und ganz formlos. Dabei half sehr, daß fast niemand ein Auto hatte. Man traf sich auf der Straße und redete miteinander oder verabredete sich für Nikolausberg, ein Ausflugsgasthaus, oder für das Café Kron und Lanz.

Die Vorlesungen hatten ein hohes Niveau, sie wurden zum Teil von den jungen Gästen wie Nordheim und Heitler gehalten. Wenn Born selbst über Atomphysik las, war das ein besonderer Genuß. Das Fortgeschrittenenpraktikum von Franck betonte auch die Atomphysik; es gab zum Beispiel einen Versuch über den Zeemaneffekt, und man konnte sich bei den Versuchen selbst Varianten ausdenken. Natürlich gingen alle manchmal auch wieder in die große Anfängervorlesung von Pohl, der wunderschöne Versuche wie im Theater celebrierte. Auch in der Forschung mit seinem Institut, das etwas abseits der Arbeitsrichtung der anderen lag, machte er aufregende Dinge, die das kommende Halbleiterzeitalter vorbereiteten.

Ein Höhepunkt war das wöchentliche Kolloquium, an dem neben den Physikern regelmäßig auch ein Teil der Mathematiker, vor allem Weyl, dann der physikalische Chemiker Eucken, der Geochemiker Goldschmidt, der Aerodynamiker Prandtl und andere teilnahmen. Die Diskussionen der Professoren nach den Gastvorträgen waren oft das Interessanteste. Der enge Kontakt der bedeutenden Professoren war ein Charakteristikum von Göttingen und beschränkte sich nicht auf die Naturwissenschaften. Das Interesse der Besten sorgte auch hier für die Ausbreitung einer gewissen Allgemeinbildung im Sinn gegenseitigen Lernens.

Nach dem, was ich erlebt habe, bot die Universität ein Bild, in dem statt Selbstsucht und Karrieredenken das wissenschaftliche Interesse und die gegenseitige Zuneigung die Haltung der Mitglieder, und wieder in erster Linie der führenden Mitglieder, bestimmten. Ich kann nicht beweisen, daß ich damit recht habe; ich selbst war ungeheuer beeindruckt von der Haltung von James Franck, der in dieser Hinsicht ein wirkliches Vorbild war und großen Einfluß auf mein künftiges Handeln hatte. Er nahm im Institut ungewöhnlich viele Doktoranden

auf, etwa zehn, und dazu ausländische Gäste. Alle wurden gefördert, alle hatten große Freiheit bei ihrer Arbeit, und nie fügte der Chef seinen Namen ihren Arbeiten zu, wie das sonst allgemein üblich war. In vielen Gesprächen, bei denen ich anwesend war, habe ich nie ein eigennütziges Wort von ihm gehört.

Im Dezember 1932 fand eine Prüfung für neue Doktoranden statt. Wir mußten allein einen Versuch im Praktikum ausführen und ausbauen, und ich wurde angenommen. Franck dachte, daß ich über Stöße von Ionen in Gasen arbeiten könnte, und ich hatte auch schon eine Apparatur entworfen. Aber dann kam der 30. Januar 1933, und die große Zeit in Göttingen war zu Ende. Es ist unglaublich, wie schnell so etwas gehen kann. Innerhalb weniger Wochen brach die bisher so freundliche Kommunikation an der Universität zusammen, weil man nicht mehr wußte, was man von den anderen zu erwarten hatte. Franck war als Kriegsteilnehmer von den Beamtenengesetzen zunächst nicht betroffen, aber er hat sein Amt sofort zur Verfügung gestellt und im Herbst Deutschland verlassen. Mit dem Weggang der jüdischen Wissenschaftler erlosch bei uns jede konstruktive Aktivität. Mir selbst schlug Franck noch ein einfacheres Thema vor, für das es schon ein Vorbild gab. Ich war dann mit diesem Thema allein, bis auf gelegentliche Briefe nach Kopenhagen, die die Arbeit nicht viel beeinflussen konnten. In Göttingen konnte ich kaum mehr von jemand Rat bekommen, aber schließlich kam ich doch zurecht, und jedenfalls nahm meine Selbständigkeit zu.

Als das Manuskript fertig war, fuhr ich mit den damals erlaubten 10 Mark in der Tasche nach Kopenhagen. Professor Franck und seine Frau nahmen mich in ihrem Haus auf; ich diskutierte die Arbeit mit ihm und hatte die Freude, im Kolloquium von Niels Bohr einen Vortrag darüber halten zu dürfen. Die Arbeit behandelte den Stoßprozeß langsamer Elektronen mit Edelgasen. Die Resultate erlaubten die theoretische Behandlung von Gasentladungen, und ich fand, daß die Elektronen bei gewissen Energiezuständen kurzzeitig Teil des Atoms wurden. Später wurden dann die negativen Heliumionen entdeckt. Allerdings habe ich mangels theoretischer Kenntnisse die atomaren Prozesse schlecht verstanden.

Am Tag meiner Promotion, am 14. April 1935, kam Professor Georg Joos als Nachfolger in das bis dahin Professor Pohl unterstellte Institut. Er nahm mich schon nach einer Woche als Hilfsassistent an, und ich verdanke ihm in der ersten Zeit, als seine Familie noch in Jena war, zahllose Gespräche bis tief in die Nacht über Physik und viele andere Gegenstände. Wir sprachen auch über mögliche wissenschaftliche Themen, und er hatte einen sehr merkwürdigen Vorschlag. Er meinte, nun gebe es Radioaktivität mit Alphastrahlen und Betastrahlen, warum nicht mit Neutronen, und er dachte, man müßte bei Uran danach suchen. Ich habe ihm das ausgedrückt, weil ich mir Radioaktivität ohne eine Potentialschwelle nicht vorstellen konnte. Aber nicht so viele Jahre später, nach der Entdeckung der Kernspaltung, wurde mit sehr empfindlichen Methoden in einem Bergwerk nachgewiesen, daß Uran tatsächlich Neutronen aussendet, weil es eine spontane Spaltung gibt.

Unsere gemeinsame Zeit dauerte nicht lang. Schon Ende Mai kam Professor Walther Bothe aus Heidelberg nach Göttingen, um, offenbar veranlaßt von Professor Pohl, zu prüfen, ob ich für eine Stelle in seinem Institut für Physik im Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung in Frage kam; und so wurde ich zum 1. August 1935 Hilfsassistent bei einem der führenden Kernphysiker Deutschlands. Bothe hatte in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt bei Hans Geiger gearbeitet, der seinerseits schon vor dem Krieg bei Rutherford in England schöne Arbeiten über die Streuung von Alphastrahlen gemacht hatte. Bothe und Geiger hatten um 1925 gezeigt, daß der Energiesatz bei der Streuung von Röntgenstrahlen an Elektronen bei jedem Einzelprozeß gilt und nicht nur im Zeitmittel, wie das einige Theoretiker erwartet hatten. Sie hatten dazu die Koinzidenzmethode entwickelt, die Messung des gleichzeitigen Auftretens eines Röntgenstrahls und eines Teilchens. Noch 30 Jahre später, Geiger war schon verstorben, hat Bothe dafür den Nobelpreis erhalten. Er hatte sich dann noch in Berlin der Kernphysik zugewandt und bei der Bestrahlung von Beryllium eine Gammastrahlung gefunden, obwohl es dabei nicht wie sonst bei der künstlichen Kernumwandlung den Austritt eines Protons gab. Damit war der Wissenschaft ein Rätsel

aufgegeben. Chadwick löste es, indem er nachwies, daß es dabei ein bisher unbekanntes Teilchen gab, ein ungeladenes Proton, das Neutron, und natürlich erhielt er dafür den Nobelpreis.

Wir Experimentalphysiker kennen nichts Schöneres, als unerwartet ein Rätsel zu finden, das dazu zwingt, neue Wege zu gehen. Das wichtigste Beispiel ist eine Messung von Rubens über das Spektrum der Strahlung eines heißen Körpers. Diese Strahlung konnte nach den klassischen Theorien von Newton und Maxwell streng berechnet werden, aber die Messung ergab etwas ganz anderes. Dies war für den jungen Theoretiker Max Planck der Anlaß, eine Veränderung der Newtonschen Theorie zu fordern, die durch eine Konstante, das seitdem berühmte Plancksche Wirkungsquantum, gekennzeichnet war, mit ungeheuren Wirkungen für die gesamte Physik im Mikrobereich. Wir sind immer amüsiert, wenn etwa die Philosophen solche Entdeckungen als "crude facts" bezeichnen, die ihre Bedeutung erst durch die Theorie erhalten.

In Heidelberg habe ich als erstes die Koinzidenzmethode geerbt, die ein Doktorand, Herr von Baeyer, der dann auswandern mußte, auf Kernumwandlungen angewandt hatte. Er hat mir in der rührendsten Weise geholfen, mich mit dem neuen Gebiet und der mir ganz fremden Methode zurechtzufinden. Ich habe dann die ersten Koinzidenzmessungen mit Neutronen von Beryllium gemacht, die zeigten, daß Bothe in der Tat Gammastrahlen gemessen hatte, und daß die zugehörigen Neutronen in seinen Messungen unsichtbar blieben. Dann haben Bothe und ich den Bothe-Geiger-Versuch über die Energieerhaltung für den Fall energiereicher Gammastrahlen wiederholt, weil in Chicago eine Messung zu zeigen schien, daß das Röntgenstrahlergebnis für diese nicht mehr gilt. Die allgemeine Richtung war dann der Versuch, eine Kernspektroskopie der künstlichen Umwandlungen aufzubauen, wobei die Koinzidenzmethode eine wichtige Hilfe angesichts des Mangels an anderen geeigneten Instrumenten war.

Dies war die Zeit, als es in der Kernphysik noch viel Grundsätzliches zu entdecken gab, und bei einem oder zwei meiner Versuche bin ich Entdeckungen nahegekommen, aber die Experimente gingen schief. Ich will nur ein Beispiel einer Zufallsentdeckung erwähnen, das Fol-

gen gehabt hat. Ich versuchte, die Resultate der Koinzidenzmessungen genauer zu machen durch Messungen mit verschiedenen Gammastrahlquellen. Dabei fiel eine Messung heraus, nämlich die Koinzidenz zwischen den beiden Gammastrahlen, die bei der Vernichtung eines Positrons mit einem Elektron in entgegengesetzter Richtung ausgesandt werden. Der Fehler war dadurch verursacht, daß das Elektron in einem Atom eine erhebliche Geschwindigkeit hat, und wir hatten plötzlich eine Möglichkeit, die Geschwindigkeitsverteilung von Elektronen in fester Materie oder in Flüssigkeiten von verschiedener Zusammensetzung zu messen. Dies war für uns ein erstes Beispiel von angewandter Kernphysik, bei der mit kernphysikalischen Methoden Probleme anderer Gebiete untersucht werden. Das hat sich später sehr ausgebreitet und wurde in München und Grenoble unser Hauptarbeitsgebiet. Wir haben auch im Zusammenhang mit anderen Instituten Arbeiten über medizinische und biochemische Probleme mit kernphysikalischen Methoden gemacht und so eine gewisse Verbindung zu dem Thema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für medizinische Forschung hergestellt.

Walther Bothe kam anfangs jeden Tag, um mir zu helfen und mich zu belehren. Als ich später mehr Selbständigkeit anstrebte, hat er mich ganz allein gelassen und höchstens, wenn ich einen Fehler gestand, bemerkt: "Das hätte ich Ihnen auch sagen können." Er bestand auch darauf, daß jedem sein Problem allein gehört. Einmal zeigte er mir den Entwurf für ein neues Experiment, und ich wagte, einen Verbesserungsvorschlag zu machen. Da sagte er: "Ist das nun meine Arbeit oder Ihre?" Ich habe meinen Vorschlag erst 15 Jahre später in München verwirklicht. Aber Bothe war ein großartiger Physiker, mit gleichmäßiger Begabung für Theorie wie Experiment, und dabei, so abweisend er manchmal sein konnte, von großer Warmherzigkeit. Für mich war er, nach James Franck, das zweite ganz wichtige Vorbild.

Die Kernspektroskopie kam nur langsam voran. Es fehlte noch an guten Methoden, meist waren die Präparate zu schwach, und es gab noch keine Theorie. Die Zukunft der Kernspektroskopie war eher fern. Immerhin konnten wir eine Anzahl von Kernmassen besser als bisher bestimmen. Dazu gab es eine wichtige Theorie von Karl-Friedrich von

Weizsäcker. Die Abweichungen von dieser Theorie sollten bald wichtig werden.

Mein älterer Kollege Gentner, der fast gleichzeitig mit mir nach Heidelberg kam und vorher bei Madame Curie in Paris war, war erfolgreicher als ich. Er baute zusammen mit einigen anderen einen kleinen Van-de-Graaff-Beschleuniger, der gerade genug Energie hergab, um die höchste bekannte Kerngammastrahlung (16 MeV) in Lithium anzuregen, und es zeigte sich, daß mit ihr zahlreiche Kernumwandlungen mit großer Intensität auftraten. Auch ich konnte von dem Beschleuniger in bescheidenerem Umfang profitieren, und vor allem verdanke ich sehr viel Gentners freundschaftlichem Rat und Trost. Gentner war auch entscheidend beteiligt bei der Planung und dem Bau eines Zyklotrons, das allerdings erst gegen Kriegsende fertig wurde.

Ich übergehe die Kriegszeit. Wegen Wehrdiensts war ich an dem Uranverein (Überlegungen zur Atombombe, Verzicht; stattdessen Versuch, einen Kernreaktor zu bauen) nicht beteiligt. Ich will auch nicht von der ersten Nachkriegszeit sprechen, die mit einem einjährigen Aufenthalt in Texas als Mitglied einer Gruppe von deutschen Luftfahrtmedizinern endete. Als ich im Mai 1948, kurz vor der Währungsreform, als fast einziger der Gruppe zurückkam, war Bothe wieder Inhaber des Lehrstuhls an der Universität, den er 1934 aufgegeben hatte. Ich bekam als Abteilungsleiter seines alten Instituts, das jetzt ein Max-Planck-Institut war, eine Vertretungsfunktion, aber zugleich war ich auch an der Universität für Lehre und Forschung eingesetzt. Damit begann eine schöne Zeit in der neuen Freiheit. Mehrere jüngere Mitarbeiter kamen nach Heidelberg, und es gelang Bothe, den Theoretiker Hans Jensen von Hamburg zu gewinnen. Jensen war ein hervorragender Ratgeber für uns Experimentatoren. Die Kernmassen bekamen durch eine wichtige Arbeit von Maria Goeppert-Mayer in Chicago neue Bedeutung. In Heidelberg gab es dazu eifrige Diskussionen zwischen Jensen, Haxel, der inzwischen nach Heidelberg gekommen war, und Suess, einem Gast aus Hamburg. Daraus entstand die Theorie des Schalenmodells der Atomkerne, für die Frau Goeppert-Mayer und Jensen den Nobelpreis erhielten. Das Modell gab entscheidende neue Anstöße für die Kernspektroskopie.

Wir waren noch recht isoliert in Deutschland; es gab kaum Literatur. Kernphysikalische Forschung war zum Teil verboten. Aber das bedeutete, daß man mehr diskutieren und selbst denken konnte. In der Tat wurden in dem ersten Jahrzehnt nach dem Krieg mehrere Nobelpreise vorbereitet. Und sehr wichtig waren die Studenten, wegen des Kriegs älter als sonst, eifrig, lernbegierig, nach Ausbildung durch Forschung dürstend. Gemeinsam mit Bothe wurden die Themen für Diplom- und Doktorarbeiten beschlossen, und unsere Vorschläge wurden meistens angenommen, auch wenn sie ganz außerhalb des bisherigen Arbeitsgebiets lagen. Ein Thema von mir war die Feuchtigkeitsmessung. Es ergab sich, daß die seit hundert Jahren bekannte Sprungsche Formel für das feuchte Thermometer um 15 Prozent falsch war, aber die Konstrukteure hatten unbewußt den Fehler durch Wärmeverluste im Apparat kompensiert.

Solche kleinen Abweichungen vom Spezialgebiet machten Spaß und nützten der Breite der Ausbildung. Aber natürlich blieb die Kernphysik der Schwerpunkt. Es gab zum Beispiel eine Arbeit zur Verbesserung der Zählrohrtechnik, die fast hundertmal größere Genauigkeit als bisher erlaubte. Es gab eine Zusammenarbeit mit den Kliniken, und man entwickelte für die schon erwähnten Geschwindigkeitsmessungen an Elektronen im Atom eine Methode. Damals beschäftigte mich auch wieder das Problem der Resonanzfluoreszenz von Gammastrahlen. Resonanzfluoreszenz bei Atomen hatte mich schon in den Vorlesungen von James Franck fasziniert. Für Kerne gab es Vorschläge von Werner Kuhn und jetzt neuere Arbeiten in Birmingham und in Schweden. Ich hätte gern mein Glück versucht, und ich lernte einiges von Jensen, ohne es allerdings richtig zu verstehen.

Ich hielt auch zweimal anstelle von Bothe die große Physikvorlesung. Die Studenten waren allerdings nicht besonders zufrieden mit mir. Die Zeit in Heidelberg war überhaupt eine Lektion in Bescheidenheit. Ich fand mich nicht besonders gut. In dieser Zeit hatten wir auch mit einer kleinen Gruppe angefangen, wieder nach dem Verhalten des Neutrinos beim Betazerfall zu suchen. Ein früherer Versuch am Van-de-Graaff-Beschleuniger war gescheitert; seitdem war aber etwas entdeckt worden, was damals eine Sensation gewesen wäre, daß nämlich die

Gesetze für rechts und links in der Natur nicht dieselben sind. Als unser Versuch schließlich Jahre später gelang, hatten Yang und Lee das schon auf anderem Weg gezeigt.

Mitten in diese erfreulichen Aktivitäten kam nun ein Ruf aus München, auf den Lehrstuhl für Technische Physik der Technischen Hochschule. Wegen des Dritten Reichs gab es nicht viele Physiker meiner Generation, deshalb wurden wir fast alle berufen, außer den wenigen, die die berüchtigte "Deutsche Physik" propagiert hatten. Aber ich war doch überrascht und hatte auch Bedenken, denn Bothe war inzwischen erkrankt und für unabsehbare Zeit in der Klinik. Die Generalverwaltung schickte mich deshalb zum Präsidenten, aber Otto Hahn ließ keinen Zweifel daran, daß ich den Ruf annehmen müsse. So trat ich meine neue Stelle im Oktober 1952 an. Mein Vorgänger war Walther Meissner, der früher entscheidende Beiträge zur Kenntnis der Supraleitung geliefert hatte und die Tradition der Thermodynamik im Sinne des Gründers Karl v. Linde (1905) fortgesetzt hatte. Daß jetzt ein Kernphysiker gewählt wurde, entsprach dem Zeitgeist, der von der Kernenergie - nach den Schrecken der Atombombe - Wunder der friedlichen Anwendung erwartete. Die Kernenergie war eine Zeitlang Symbol des technischen Fortschritts.

Technische Physik heißt, streng genommen, Physik und ihre Anwendungen, ist also vom Umfang her nicht lehrbar. An der Technischen Hochschule lehrte Georg Joos die Physik für alle Fakultäten bis zum vierten Semester. Er hatte Göttingen bald verlassen und ging zu Zeiss nach Jena. Nach dem Krieg war er in den USA, bis er doch nach Deutschland zurückkehrte. Die Aufgabe in München war gewaltig; er mußte sich mit anderen Aktivitäten, etwa der Ausbildung durch Forschung, sehr zurückhalten. Der theoretische Physiker Hettner hatte nicht sehr viele Schüler, und so kam auf meinen Lehrstuhl eine große Nachfrage zu von allen, die nicht etwa auf physikalische Chemie oder Hochfrequenztechnik ausweichen wollten. Bei meinem ersten Seminar meldeten sich 150 Teilnehmer, alle lernbereit und viele davon sehr gut. Damit war klar, daß eine vielseitige Lehre und dazu Ausbildung durch Forschung meine Aufgabe sein mußten.

Es gab ein Fortgeschrittenenpraktikum mit Versuchen aus allen Gebieten der Physik, das wir laufend ausbauten, und vier Kursvorlesungen für die gesamte Physik mit der Tendenz, die Grundlagen in einer solchen Weise herauszuarbeiten, daß der Student damit selbständig umgehen konnte. In diesen Vorlesungen habe ich selbst viel gelernt. Die Studenten waren nicht so zufrieden. Mößbauer zum Beispiel erklärte später, daß sie kaum zu verstehen waren. Aber in den Prüfungen, wo ich großen Wert auf selbständiges Denken legte, bemerkte ich, daß doch sehr viele viel verstanden hatten, wahrscheinlich weil sie den Rätseln, die ich aufgab, selbst nachgehen mußten. Eine "gute" Vorlesung, in der man alles versteht, ist nicht immer die weiterführend beste.

Eine sehr große Freude waren die Diplomarbeiten. Ich hatte immer eine Kartei mit etwa 50 Themen, sprach mit jedem Bewerber und suchte ein Thema, das zu ihm zu passen schien. Die Themen kamen aus ganz verschiedenen Gebieten; Dinge, die mir früher aufgefallen waren oder auf die ich bei den Vorlesungen stieß. Natürlich war viel Kernphysik dabei, meistens Methodisches, auch Vorarbeiten für Beschleuniger. Die Meßtechnik für Impulse nahm einen breiten Raum ein. Unsere Signale waren ja kurzzeitige Impulse, während man in der Elektrotechnik fast nur von periodischen Vorgängen sprach. Das hat sich natürlich im Zeitalter der Computer grundlegend geändert, aber wir waren dabei doch ein bißchen so etwas wie Vorreiter.

Jede Arbeit erzeugte Fortschritte und neue Ideen, und bald waren wir reif für eigenständige Doktorarbeiten; und es kristallisierten sich Forschungsgebiete wie die Eigenschaften realer, das heißt nicht ideal vollkommener fester Körper heraus. Es gelang mir auch, drei erwachsene Physiker für das Institut zu gewinnen: Michael Schön, der sich vor allem mit Fluoreszenz befaßte, Ewald Fünfer, Spezialist für Kurzzeitmessungen und auch nukleare Meßtechnik, und schließlich Nikolaus Riehl, der mit Gustav Hertz und anderen nach Rußland gebracht worden war, um die Urantechnik zu fördern und der ein bedeutender Festkörperphysiker war. Von Joos bekamen wir viel Unterstützung. Die Arbeiten in seinem Institut hatten ein hohes Niveau, und wir konnten viel voneinander lernen. Ganz wichtig war die Nähe der Uni-

versität. Der große Gerlach hielt seine schützende Hand über uns, und Fritz Bopp war die wichtigste Hilfe, denn er selbst und vor allem seine jungen Leute kamen zu unseren Seminaren und vertraten dort die Theorie, die uns ungeheuer fehlte. Zu dieser Zeit war beispielsweise die Quantenmechanik noch nicht Pflichtteil der Physikerausbildung an der Technischen Hochschule.

Wir hatten eine unvorstellbare Fülle auf kleinstem Raum. Bald hatten wir 50 Diplomanden, und ein paar Jahre später waren es gleichzeitig 100 Diplomanden und 100 Doktoranden. Dies erscheint heute allen unglaublich, vielen unmöglich und vielen als das Gegenteil von optimal. Für uns waren das Zahlen, die wir uns nicht gewünscht hatten, aber wir hielten es für unsere Pflicht, allen, die das wollten, Ausbildungschancen durch Forschung zu geben. So nahmen wir jeden Bewerber für eine Diplomarbeit und später etwa ein Drittel für die Doktorarbeit an, und wir versuchten ein System zu schaffen, in dem so etwas funktionieren konnte.

Unser erstes Prinzip hieß: Jeder ist für seine Arbeit verantwortlich. Er soll nach einer gewissen Zeit sein Thema besser kennen als sein Chef. Und um das zu ermöglichen, hieß das zweite Prinzip: Jeder hilft jedem. Und das hat funktioniert. Ich lernte von meinen drei Kollegen und sie von mir. Gemeinsam lernten wir in den Seminaren und vielen Besprechungen. Wir gingen fast jeden Tag miteinander essen und redeten die ganze Zeit über unsere Probleme. Es gab vier Assistenten, die auch lernten, aber sich die meiste Zeit um die Jüngeren kümmerten. Wir gingen jeden Donnerstag gemeinsam durch das Institut und redeten mit allen, die da waren. Ich bekam jeden Monat von jedem einen Bericht von einer Seite und konnte mit jedem aus meinem Bereich regelmäßig reden. Meine Kollegen taten das gleiche. Aber außerdem wurde jeder, dessen Thema sich mit anderen überschneidet, auf diese verwiesen; alle halfen sich, und bald war es so, daß ein Doktorand vielleicht zehn Diplomanden half und bald auch selbst Variationen oder neue Themen vorschlug. Wir waren ja frei bei unserer Arbeit. Jede nützliche Änderung des Themas war erwünscht, und unerwartete Ergebnisse, die zu einem neuen Kurs anregten, waren die größte Freude.

Dabei war natürlich das Menschliche sehr wichtig. Die Motivation bei allen muß aus der Freude an den Problemen und ihrer Lösung kommen, und aus der Freiheit, zu diesen Lösungen beizutragen. Jeder muß das Gefühl haben, daß ihm seine Ergebnisse nicht weggenommen werden. Selbstsucht und Intrigen muß der Chef an der Wurzel bekämpfen, niemand darf dabei weit kommen. Unsere Erfahrung ist, daß auch in einem so großen Kreis eine Harmonie entstehen kann, ein Gefühl von Gemeinsamkeit, das bis in die Werkstatt reicht. Eine große Hilfe kann das Sekretariat sein. Unser Fräulein Möhnle war immer die erste, der Sorgen vorgetragen wurden, sie war eine Säule des Erfolgs. Ich muß dazu noch etwas Allgemeines sagen. Ich habe viele Institute kennengelernt, und einen nicht unbeträchtlichen Teil der besten Physiker weltweit. Meine Erfahrung ist, daß sie, mit verschwindenden Ausnahmen, alle selbstlos waren. Sie waren alle von ihren Aufgaben und Problemen motiviert, nicht von Karriereinteressen. Dieses, und dazu eine natürliche Neigung zu Freundschaften, halte ich für eine der wichtigsten Voraussetzungen für fruchtbare Gemeinsamkeit in der Forschung.

Eine große Hilfe bestand darin, daß wir ein Universitätsinstitut waren. Fast alle verließen uns einige Zeit nach ihren Examina, und ich habe nie versucht, jemanden zu halten. Fast alle, die später Erfolg hatten, haben sich nicht in München, sondern an einer anderen Hochschule habilitiert und waren dort selbständiger als sie es bei uns gewesen wären. Ein Grund, daß dies alles gut ging, war, daß die Zahl unserer Studenten einem Bedarf entsprach. Niemand wurde arbeitslos. Die meisten gingen in die Industrie, einige in die Verwaltung, und für diejenigen mit besonders großer Forschungsneigung standen die Universitäten offen, deren Ausweitung damals gerade begann.

Trotzdem: Kann ein solches System gut sein? Was sind die Nachteile? Sicher hätte ein Einstein mit so vielen Studenten nichts anfangen können. Und wir können auch nicht leugnen, daß die Höchstleistungen des Denkens, die viel Zeit - und das zum Teil in Einsamkeit - erfordern, mindestens bei den Chefs behindert waren. Wir können es niemand übelnehmen, wenn er sagt: "Ich kann nicht mehr als zwei Doktoranden betreuen, denn ich möchte selbst forschen, und meine

Themen sind so schwierig, daß die Jungen sehr viel Betreuung brauchen." Für uns bestand erstens eine Notwendigkeit, viele Studenten auszubilden. Und wir betrachteten es als einen Vorteil, daß durch die Arbeiten der vielen Studenten eine gewisse Breite der Kenntnisse über viele Bereiche hinweg möglich war; denn für das Experimentieren und die Anwendung ist oft das Wissen über ganz verschiedene Gebiete nützlich. Und dann scheint mir noch etwas ganz wichtig zu sein: Dadurch, daß jeder dem anderen hilft, steigen diejenigen ohne fremde Hilfe oder Willkür auf, die am meisten beizutragen haben; sie werden früh selbständig und können den Älteren gleichwertig sein.

Vielleicht soll ich noch einen Vorteil unseres Systems nennen. Die Jungen haben natürlich noch nicht viel Erfahrung. Auch bekannte Methoden sind ihnen so unklar, wie es sonst nur Neues ist. Da kann ein Erfahrener ihnen mit wenigen Worten erklären, worauf es ankommt. Entscheidend ist dabei das Bewußtsein, das damit geweckt wird, und das heißt: "Das geht". Die sichere Hoffnung erleichtert das Denken sehr. Ich habe auch oft gesagt, daß man von den Jungen ebenso gut Neues wie Altes verlangen kann. Neues und Altes sind für sie gleich schwer; also warum nicht Neues machen?

Mein Trost ist natürlich Mößbauer, der für seine Doktorarbeit über das früher genannte Problem, die Kernresonanzfluoreszenz, den Nobelpreis erhielt. So etwas ist zwar selten, aber in einem schlechten System würde es nicht einmal selten vorkommen. Unser Modell mit vielen Studenten geht heute nicht in der alten Form, weil das Zahlenverhältnis Studenten zu Professoren sich verringert hat und weil das Department, von dem wir gleich sprechen werden, sich durchgesetzt hat. Stattdessen müßte man ein Department anstreben, bei dem die Wechselwirkung aller Beteiligten nicht viel geringer ist als sie es bei uns war.

Bei meiner Berufung war ich der einzige Kernphysiker in München. Ich hatte, außer einer Erhöhung des jährlichen Etats von 8.000 auf 12.000 DM, einen auf drei Jahre zu verteilenden Geldbetrag von 200.000 DM für die Einführung der kernphysikalischen Experimentiertechnik bekommen. Damit kamen wir ganz gut aus, denn unsere Versuche waren billig. Die meisten Versuche bauten die Physiker

selbst aus, dadurch konnten wir Dinge machen, für die es noch keine käuflichen Geräte gab. Ich habe nur einen einzigen Antrag bei der DFG gestellt für den Bau eines Hochfrequenzkreises hoher Leistung für einen Beschleuniger. Sehr wichtig war die Werkstatt, die vor kaum einer schwierigen Aufgabe zurückschreckte.

Gerade als wir eine gewisse wissenschaftliche Kapazität erreicht hatten, kam die berühmte Konferenz für die friedliche Nutzung der Atomenergie 1955 in Genf, in der viele geheime Kenntnisse freigegeben und in der mit dem "Atoms for Peace-Programm" die Forschung mit Kernreaktoren ermutigt wurde. In Deutschland wurde Franz-Josef Strauß Atomminister, und es wurde eine große Atomkommission geschaffen, die die Bedürfnisse und Möglichkeiten von Forschung und Technik zu ergründen und die Förderungswege vorzuschlagen hatte. Auch in Bayern gab es bald eine solche Kommission, der fast die halbe Regierung angehörte. Die wenigen deutschen Kernphysiker, auch ich, mußten da natürlich in beratender Funktion mitmachen. Aber für uns war das Hauptereignis die Einladung zu einer Sitzung in der Bayerischen Staatskanzlei, bei der der Ministerpräsident mich ganz überraschend fragte: "Herr Professor Maier-Leibnitz, wollen Sie einen Forschungsreaktor haben?" Dies hatten wohl meine Kollegen Joos und Gerlach mit ihm vorabbesprochen. Ich sagte natürlich ja unter der Bedingung, daß zu dem Reaktor auch ein Forschungslaboratorium gehören müßte.

Nun waren wir sehr beschäftigt. Ich hatte keine Ahnung von Reaktoren, und so fuhr ich in den USA überall dorthin, wo es welche gab. Daraus entstanden Pläne, die über das hinausgingen, was andere hatten, und zugleich entstanden Freundschaften, nicht nur mit mir, sondern bald auch mit den Jungen, die damals fast alle irgendwann in die USA eingeladen wurden. So wurden die Reaktorforscher von Anfang an eine Gemeinschaft, auch die in Europa. Wir wählten als Typ den sehr einfachen, sogenannten Swimming-Pool-Reaktor, der bei der Genfer Konferenz gezeigt worden war. American Machine and Foundry lieferte den Reaktor, die MAN produzierte die Ausrüstung um ihn herum, und Heilmann und Littmann baute die Kuppel, die jetzt ein Wahrzeichen von Garching ist. Die Gemeinde Garching hatte uns

ein Gelände von 20 Hektar billig angeboten. Dies war der Beginn einer großen Entwicklung, aufgrund derer Garching sehr gewachsen ist und sich heute Wissenschaftsstadt nennt. Der Reaktor wurde schon im September 1957 kritisch, hat also schon bald 35 Jahre störungsfreien Betriebs hinter sich.

Die Reaktorstation war von Anfang an ein Teil des Laboratoriums für technische Physik, also der Hochschule. Unsere Erfahrungen mit diesem System waren außerordentlich günstig. Erstens konnten wir die Arbeiten am Reaktor in die Ausbildung durch Forschung einbeziehen und so schon mit den Jungen ganz moderne Themen bearbeiten; die Werkstatt konnte mit einer geringen Vergrößerung alle neuen Aufgaben übernehmen, denn die alten wurden weniger. Das Sekretariat, jetzt mit einem Verwaltungsinspektor, arbeitete der Hochschulverwaltung zu. Und zweitens, ganz wichtig, es gab kein neues Gremium, das uns hätte hineinreden können. Die Finanzierung erfolgte zum Teil durch Bayern, zum Teil durch den Bund: Dort gab es einen Ausschuß unter dem Vorsitz von Heisenberg, dem wir einmal im Jahr unsere Arbeitspläne vorlegen mußten, die dann das Ministerium nach Maßgabe der Mittel genehmigte. Wir waren auch völlig frei, anderen Instituten innerhalb oder außerhalb unserer Hochschule Arbeitsplätze und Apparate zur Verfügung zu stellen. Für Aufträge aus der Industrie wurde ein bescheidener Kostensatz berechnet, wie das schon früher bei dem Prüfamts, das dem Laboratorium für Technische Physik zugehörte, üblich war.

Nun folgte ein großer Aufschwung unserer Forschung. Wir untersuchten die Physik der Kernspaltung, Kernspektroskopie bei Neutroneneinfang. Es gelang, die Methoden der Neutronenbeugung sehr zu verbessern. Die Kleinwinkelstreuung von Neutronen, ein bis in die Biologie hinein wichtiges Gebiet, wurde so ausgebaut, daß sie ein Hauptgebiet wurde. Wir (wir heißt immer jemand im Institut, nicht ich) haben das erste Interferometer für Neutronen gebaut, und wir haben den freien Fall der Neutronen ausgenützt, um mit Brechungsindexmessungen gewisse grundlegend wichtige Eigenschaften der Neutronen sehr genau zu messen. Später haben wir, fast gleichzeitig mit einer Forschergruppe in Dubna bei Moskau, mit Neutronen gearbeitet, die

noch hundertmal langsamer waren als die sonst verwendeten "langsamen" Neutronen. Bald waren wir bei den Spezialisten, vor allem in den USA, berühmt und bekamen viele Besuche und Einladungen. Eine Zeitlang gab es auch eine Arbeitsgemeinschaft der mitteleuropäischen Forschungsreaktoren einschließlich eines Reaktors der DDR in Rossendorf, und ich war auf dreimonatigen Forschungsaufenthalten in Schweden und England. Dies alles diente zur Förderung eines freien Meinungsaustauschs und von Freundschaften.

Entgegen der ursprünglichen Erwartung gab es kaum Versuche zur Reaktortechnik. Die neu geschaffenen Kernforschungszentren, vor allem Karlsruhe und Jülich, betätigten sich hier, aber es zeigte sich bald, daß die Industrie allein in der Lage war, das wenige, was sie von der Kernphysik brauchte, zu erlernen. Zudem kam es meist bald zu Verträgen mit amerikanischen Firmen. Nur ein von Schulten in Jülich vorgeschlagener, zusammen mit BBC entwickelter Reaktor, der spätere Hochtemperaturreaktor, wurde ein wichtiger neuer Typ. Alle diese Dinge wurden natürlich in den Ausschüssen der Atomkommission diskutiert, in denen anfangs führende Vertreter der Industrie saßen. Besonders interessant war ein Ausschuß für Kernreaktoren und später einer für Reaktorsicherheit. Ich habe in diesen Ausschüssen ungeheuer viel gelernt. Maßgebende, für Entscheidungen kompetente Gesprächspartner, die sich in früheren Tätigkeiten bewährt haben, sind ideal für eine fruchtbare Diskussion.

An der Hochschule wurde unser Aufstieg gelassen und fast immer freundlich hingenommen. Unsere Forschungsausgaben waren eine Zeitlang ebenso hoch wie die der ganzen übrigen Hochschule, aber damals wußte wohl schon jeder, daß den Universitäten ein großer Aufstieg bevorstand. Wir waren zahlenmäßig schon so groß wie die anderen fünf oder zehn Jahre später, ohne daß allerdings die Zahl der Ordinarien wesentlich gewachsen war. Ein Grund dafür war, daß damals ein Ordinarius fast überall Anspruch auf ein eigenes Institut hatte, mit Werkstatt und Sekretariat, das nur ihm unterstand. Das war das berühmte Geheimratssystem. Die Institute konnten aber nicht unbeschränkt vermehrt werden. Deshalb haben wir, einem von Gentner in Freiburg geplanten und akzeptierten System folgend, für unsere

Physik das Departmentsystem vorgeschlagen, das heißt, wir waren bereit, uns in einem gemeinsamen Institut zu vertragen. Wir haben zu dritt eine Denkschrift ausgearbeitet, die ein Department vorsah mit 20 Ordinarien und etwa 14 Teilinstituten (die Theorie sollte zusammenbleiben), die sich die Aufgaben in Lehre, Forschung und Verwaltung aufteilen würden. Insgesamt ergab sich ein Bedarf von 300 Stellen. Das war mehr, aber nicht sehr viel mehr als die damalige Gesamtzahl mit den jungen Physikern, die schon wichtige Aufgaben erfüllten. Das Wunder war, daß dieser Vorschlag (ich war damals Dekan) von der Fakultät und vom Senat der Hochschule einstimmig befürwortet wurde. Er ging dann ans Kultusministerium, das ihn ebenfalls befürwortend dem allmächtigen Finanzministerium vorlegte. Und wir bekamen 80 Prozent von allem, 16 Professuren und 240 Stellen.

Nun konnten wir überall in Deutschland nach guten, vor allem jungen Physikern suchen. Dabei haben wir Hausberufungen vermieden. Nur solche Münchener kamen in Frage, die schon anderswo sich bewährt hatten. Alles ging, wir haben sogar einen japanischen Kernphysiker berufen. Sehr geholfen hat, daß wir von Anfang an Mößbauer, der damals in den USA war, eingeschaltet haben. Er machte seine Rückkehr von der Verwirklichung des Departments abhängig. Das war ein neues Leben. Als ich nach München kam, war ich dort der Jüngste. Heute bin ich der einzige Emeritus, die anderen sind viel jünger.

Mit der Gründung des Departments gerieten wir natürlich in die Diskussionen zur Hochschulentwicklung. Ich wurde Mitglied des Gründungsausschusses für die Universität Regensburg; dann übernahm solche Aufgaben Wolfgang Wild, der uns als junger Theoretiker so viel geholfen hatte. Er wurde später Präsident unserer Hochschule und anschließend Wissenschaftsminister in Bayern.

Inzwischen gab es eine neue internationale Entwicklung, nämlich den Vorschlag für einen europäischen Forschungsreaktor mit sehr hohem Neutronenfluß, möglichst mehr als es in den USA schon gab. Der Vorschlag kam von der OECD, der Autor war der Franzose Kowarski, und es gab einen Ausschuß, der dazu Vorschläge ausarbeitete und das Projekt befürwortete. Leider lehnte die englische Regierung, wo die Wissenschaftler besonders aktiv mitgemacht hatten, den Vorschlag

ab, und so entstand die Idee eines französisch-deutschen Projektes in Grenoble, wo mit dem Physiker Néel ein bedeutendes Zentrum der Wissenschaft entstanden war.

Wegen unserer Münchener Erfolge wurde vorgeschlagen, daß ich für fünf Jahre der erste Direktor sein sollte. Ich weiß bis heute nicht, ob es richtig war, diesen Vorschlag anzunehmen. Das Department in München war dabei zusammenzuwachsen, und ich meinte, es sei wichtig, daß ich mich dort durch Abwesenheit unnötig machte, nachdem ich vorher so viel Einfluß hatte. Und natürlich war die Idee einer wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit Frankreich sehr attraktiv. Schon mein Onkel hatte in Grenoble studiert, und unser Haus in Arosa war voll französischer Bücher.

Nach Zustimmung der Regierungen wurde ein Staatsvertrag gemacht. Im Januar 1967 begann die Arbeit mit zwei Direktoren und einer Sekretärin. Die technische Entwicklung des Reaktors war einer vom "Commissariat à l'énergie atomique" und vom Kernforschungszentrum Karlsruhe gebildeten Gruppe übertragen mit Robert Dautray als erstem sehr effektiven Leiter, während wir uns der Vorbereitung der Versuche und des wissenschaftlichen Programms widmeten. Nach fünf Jahren war der Reaktor mit den Laboratorien und einem schönen Satz von Versuchseinrichtungen fertig. Es gab 400 Mitarbeiter und bald viele Gäste, denn wir hatten alles getan, um die Benutzung der großen Neutronenquelle für Physiker, Chemiker, Biologen und andere aus Frankreich und Deutschland und darüber hinaus für unsere wissenschaftlichen Freunde aus aller Welt attraktiv zu machen.

Ich will hier nicht noch einmal von Reaktorversuchen sprechen. Der Reaktor gilt als der beste und am besten ausgenützte der Welt, und es ist sehr schade, daß jetzt wegen einer Panne eine zweijährige Pause eingelegt werden muß. Diese Pause vergrößert ein Problem, dessen optimale Lösung ich nicht kenne. Es ist folgendes: Ein Institut wie unser Max-Planck-Institut in Heidelberg verkörpert eine Gemeinschaft von Wissenschaftlern, die zusammenarbeiten und das Bewußtsein für ihre Erfolge teilen. Wer als Gast nach Grenoble geht, kommt von einem solchen Institut. Er trifft dort Spezialisten, die die neuen Methoden entwickelt haben. Er muß sich von ihnen helfen lassen, und nach-

her ist nicht immer klar, wer nun eigentlich das Verdienst an dem Resultat hat, oder das Recht, an einem neu eröffneten Gebiet weiterzuarbeiten. Natürlich kann man gemeinsame Veröffentlichungen anstreben, aber das beantwortet die Frage nicht wirklich. Man sollte denken, daß dies keine ernsthafte Schwierigkeit sein kann, aber ich bin nicht sicher. Es gibt Anzeichen einer Abneigung - vor allem bei den Franzosen und jetzt den Engländern - ihr Institut zu verlassen und sich der Autorität einer ihnen fremden Einrichtung auszusetzen.

Ich habe den Forschungsbetrieb in Grenoble nur in den ersten Anfängen erlebt und kann mir deshalb kein gültiges Urteil erlauben. Es scheint, daß ein großes, vor allem ein internationales Institut leicht in Schwierigkeiten kommt, weil die Angehörigen der beteiligten Länder ihre eigenen Bedürfnisse voransetzen wollen. Das Institut CERN in Genf ist eine bemerkenswerte Ausnahme, und es ist ja auch dorthin ein Nobelpreis verliehen worden.

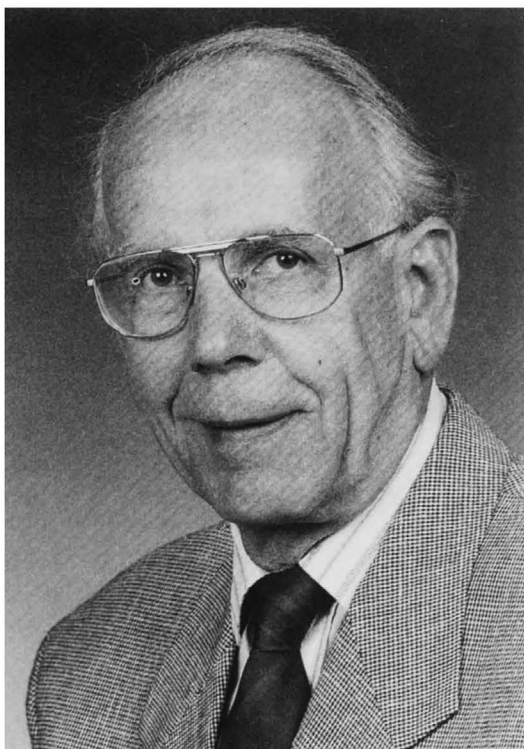
1972 kam ich nach München zurück, inzwischen allein, und ich war ein Fremder geworden. In der Vorlesung hatte ich statt 300 Hörern nur noch 20, und der Übergang zu einem neuen Arbeitsgebiet (ich neigte zur Elektronenmikroskopie) war nicht einfach. Stattdessen wurde ich Mitglied des Wissenschaftsrats, einer aus hochstehenden Politikern und Wissenschaftlern zusammengesetzten Kommission, die sich Mühe gab, Vorschläge zur Verbesserung der Forschung und der Struktur der Universitäten zu machen, zumeist mit beachtlichem Erfolg. Dies war wieder eine fruchtbare Ausschubarbeit, wo ich viel für mich Neues lernte, und damit war es eine Grundlage für einen Vorschlag, der von Reimar Lüst, dem Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft, ausging, daß ich Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft werden sollte. Das überzeugendste Argument, das Lüst mir gegenüber vorbrachte, war, daß sonst die von oben geplante, auf Anwendungen gerichtete Forschung ein Übergewicht im Sinne von Zeitgeist gewinnen würde. Ich wurde mit knapper Mehrheit gewählt und wohnte nun sechs Jahre lang in Bonn.

Dies war das erste Mal, daß ich eine verantwortliche Stelle in einer Organisation bekam, die schon lange ihre Form gefunden hatte. In Heidelberg hat sich das Institut in meiner Zeit entscheidend verändert.

In München war das Laboratorium nach kurzer Zeit nicht wiederzuerkennen, und in Garching wie in Grenoble begann es mit der Besichtigung eines leeren Geländes. Ich hoffe, daß ich trotzdem bei der DFG etwas erreicht habe, auf jeden Fall für die Freiheit der Forschung und für ein erträgliches Verhältnis zur Politik.

Aber viele Probleme blieben ungelöst, und ich verließ Bonn mit einem schlechten Gewissen. Außerdem hatte ich mich in Bonn zum ersten Mal wirklich ganz von der physikalischen Forschung entfernt und bin seitdem nicht mehr zurückgekehrt. Experimentelle Forschung erfordert die ganze Zeit eines Menschen. So beschäftige ich mich jetzt vor allem mit Fragen, die mir gestellt werden: über die Struktur der Hochschulen, über Forschungspolitik, über Zusammenhänge zwischen Gesellschafts- und Naturwissenschaften und über die Kommunikation der Wissenschaft mit der Öffentlichkeit. Da gibt es viel zu lernen und auszutauschen. Ich bin froh, daß alle diese Tätigkeiten beratender Natur sind, denn ich meine, daß die Entscheidungen diejenigen treffen müssen, die in ihrer eigenen Arbeit davon berührt werden.

Berthold Stech



Berthold Stech

Professor Stech wurde 1924 in Karlsruhe geboren. Er begann 1946 mit dem Studium der Physik an der Universität Heidelberg und promovierte 1951 bei Walter Bothe mit einer experimentellen Arbeit über den Einfluß von Alphastrahlen auf Festkörper. Anschließend wurde unser Referent Assistent bei Hans Jensen am Institut für theoretische Physik. In dieser Zeit publizierte Herr Stech Arbeiten über die Gamma-Strahlung isomerer Kerne und zur Theorie des Betazerfalls. Nach einer Gastvorlesung in Trondheim habilitierte sich Herr Stech 1956 in Heidelberg und ging anschließend an das "California Institute of Technology" in Pasadena. 1958 folgte er einem Ruf auf ein Extraordinariat für theoretische Physik an der Universität Heidelberg, das 1959 - nach Ablehnung auswärtiger Berufungen - in ein Ordinariat umgewandelt wurde. Trotz weiterer ehrenvoller Berufungen blieb Professor Stech in Heidelberg, doch wurde seine Heidelberger Zeit vielfach durch Forschungsaufenthalte und Gastprofessuren unterbrochen (Boulder, La Jolla, Hamburg, Ankara, Kopenhagen, Porto Alegre, Santa Barbara, Stanford und häufig am CERN in Genf).

Professor Stech war viele Jahre Direktor des Instituts für theoretische Physik in Heidelberg. Er war von 1970 bis 1971 Dekan der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg und mehrere Jahre Mitglied des Wissenschaftlichen Rates von DESY in Hamburg. Im Jahre 1987 wurde er zum Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften gewählt.

Professor Stech war Mitherausgeber von *Nuclear Physics* und *Zeitschrift für Physik C*. Seine Arbeiten und diejenigen seiner Mitarbeiter betreffen die Hochenergiephysik, die Eigenschaften der Elementarteilchen und ihre Zerfallsreaktionen.

Elementare Teilchen und Kräfte der Physik - Verständnis und Probleme gestern und heute

Lieber Herr Kollege Marx, ich bedanke mich sehr, daß ich an dieser Vortragsreihe teilnehmen und hier vortragen darf. Ich tue dies sehr gern. Aber zunächst zu Ihnen, Herr Heintze. Es hat mich sehr gefreut, Sie mit Krawatte zu sehen - und dies mir zu Ehren! Sie haben mit Ihren einleitenden Worten mein Selbstbewußtsein sehr gestärkt, aber Sie haben natürlich stark übertrieben. Ich kann nur sagen, man teile das Ganze durch den berühmten Faktor π , dann würde es etwa richtig. Herr Heintze, ich schätze Sie und Ihre Arbeiten mehr als ich sagen kann und freue mich, hier verkünden zu können, was ich gerade erst erfuhr, nämlich, daß Sie den Max-Born-Preis zuerkannt bekommen haben. Dies ist ein sehr bedeutender Preis in der Physik; ich gratuliere Ihnen ganz herzlich dazu.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, ich darf Ihnen heute über die Entwicklung der Elementarteilchenphysik der letzten 45 Jahre und über meine Teilnahme daran berichten. Mein Bericht wird allerdings sehr einseitig sein und nur die Teile herausgreifen, mit denen ich durch meine Arbeiten stärker verbunden war.

Wie Herr Heintze bereits erwähnte, kam ich im Winter 1945/46 nach Heidelberg, um hier zu studieren. Warum nach Heidelberg? Nun, das lag daran, daß ich als Junge einmal mit meinen Eltern Heidelberg besuchte und von Stadt und Fluß begeistert war. Während des Krieges schrieb ich sogar meinem Vater, er möchte mich doch an der Universität Heidelberg einschreiben, obwohl keine Hoffnung auf Freistellung bestand. Als ich in Heidelberg ankam, galt mein Abschlußzeugnis nicht und ich mußte ein sogenanntes Vorsemester belegen. Die Abschlußprüfung gelang, jedoch nicht mit Glanz und Gloria, denn nach der Zeit als Soldat hatte ich schon meine Schwierigkeiten mit Latein und Geschichte. Warum entschloß ich mich für das Studium der Physik? In der Schule wurde ein Gedankenexperiment von Robert Meyer über die Äquivalenz von Wärme und mechanischer Energie besprochen. Ich konnte den Gedanken dann nachvollziehen, habe die richtige

Zahl herausbekommen und hatte dadurch ein anregendes Erfolgserlebnis. Anschließend bekam ich ein Buch in die Hand mit dem Titel *Umsturz im Weltbild der Physik*. In diesem Buch war die Rede von der Relativitätstheorie, von gekrümmten Räumen und von Unschärferelationen. Ich habe dies alles nicht verstanden, war aber fasziniert davon.

Mein Studium nach der Rückkehr aus der Gefangenschaft wurde durch finanzielle Opfer meiner Eltern und Geschwister ermöglicht. 1946 waren die Hörsäle der Universität überfüllt mit zurückgekehrten und vielfach auch verwundeten Kriegsteilnehmern. Trotz schwieriger Lebensverhältnisse - wir hatten nur selten genug zu essen - war es eine wunderbare Zeit. Wir Studenten genossen die völlig ungewohnte Freiheit, wir mußten keinem Befehl mehr folgen und konnten frei entscheiden, was wir tun und lassen wollten. Ich hatte zusammen mit einem Studenten der Volkswirtschaft ein Zimmer im Collegium Academicum, wo sich jetzt die Universitätsverwaltung befindet. Im Collegium Academicum habe ich Freunde gefunden, wir haben viel gefeiert und getanzt, denn wir hatten außerordentlich viel nachzuholen. Aber es wurde auch sehr viel gearbeitet. Meinen ersten Besuch des großen Physik-Hörsaals am Philosophenweg werde ich nie vergessen. Von oben, im überfüllten Hörsaal, sah ich tief unten den weißhaarigen Professor Bothe, wie er wie ein großer Zaubermeister mit merkwürdigen Geräten hantierte. Ich habe fast nichts verstanden und bin deshalb zum kleinen Hörsaal gegangen. Dort las Professor Walter Wessel als Gastprofessor die theoretische Mechanik. Es gab viel weniger Studenten, da diese Vorlesung für Hörer des 3. Semesters gedacht war. Ich blieb dabei und habe in der Tat von Wessel sehr viel profitiert. Die Vorlesung war außerordentlich anregend und weckte mein Interesse für theoretische Arbeiten. Wessel ging allerdings nach diesem Semester in die Vereinigten Staaten und kam erst sehr viel später als Professor für theoretische Mechanik nach Heidelberg zurück. Bis 1949, als Hans Jensen nach Heidelberg berufen wurde, gab es in Heidelberg keine Lehrer mehr für theoretische Physik. In der Mathematik konnte ich ebenfalls von guten Vorlesungen profitieren, insbesondere von einer sehr klaren und wunderschönen Vorlesung von Professor

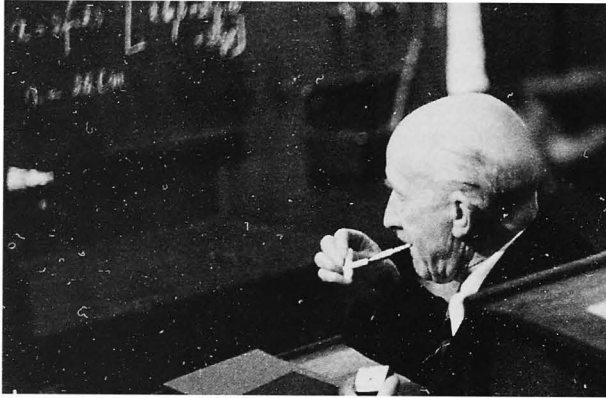


Abb. 1: W. Bothe "in typischer Haltung"

Seifert. Nach zwei Semestern gab es - so war es damals üblich - eine Semestralprüfung bei Bothe. Diese Prüfung entschied, ob man weiter Physik studieren konnte oder nicht. Für Diplom- und Doktorarbeiten gab es kaum Geräte, wir mußten unsere Glasapparaturen selber blasen aus altem im Speicher herumliegenden Glas. Meist brach das Zeug auseinander, sobald es abgekühlt war. Das Arbeitsgebiet des Physikalischen Instituts unter Bothe war die Kernphysik. Einige Einschränkungen der Forschung, die die Alliierten gemacht hatten, wurden sehr bald aufgehoben. Auf dem ersten Bild, das ich Ihnen zeigen möchte, sehen Sie Professor Bothe in typischer Haltung (Abb. 1). Herr Guber, damals Assistent bei Bothe, der heute hier unter den Zuhörern ist, wird sich sicherlich noch lebhaft an diese heroische Epoche erinnern. Die Aufnahme stammt allerdings aus einer etwas späteren Zeit, anlässlich einer Feier zum 60. Geburtstag von Walter Bothe im Jahre 1951, auf die ich noch zurückkommen werde.

Ich untersuchte am Physikalischen Institut - wie von Herrn Heintze bereits erwähnt - Strukturänderungen von Kristallen bei intensivem Beschuß mit Alphateilchen. Es war bekannt, daß sich diese Kristalle unter Beschuß verfärben, aber man hatte keinen Aufschluß darüber,

inwieweit sich ihre atomaren Strukturen durch den Beschuß verändern. Bothe, mein Doktorvater, war in dieser Zeit alleiniger Lehrstuhlinhaber und hatte gleichzeitig auch noch die kernphysikalische Abteilung des damaligen Kaiser-Wilhelm-Instituts für medizinische Forschung in der Jahnstraße zu leiten. Es ist beinahe unglaublich, wie viel er leisten konnte, und daß er dazu noch imstande war, für eine außergewöhnlich gute persönliche und wissenschaftliche Atmosphäre in beiden großen Instituten zu sorgen.

Bothe bemühte sich sehr, Hans Jensen aus Hannover für Heidelberg zu gewinnen, doch die Landesregierung zögerte lange. Als Asta-Vertreter bin ich damals mit einem Kommilitonen zum Mitbegründer der Rhein-Neckar-Zeitung, zum alten Herrn Knorr, gegangen, um einen geharnischten Artikel zu lancieren. Herr Knorr wies uns zuerst zu recht: Wir hätten als ehemalige Soldaten noch kein Demokratieverständnis, wir sollten erst die Ursachen und Möglichkeiten recherchieren, bevor wir massiv die Landesregierung angreifen. Er hatte recht, hörte uns aber trotzdem zu, fuhr selbst nach Stuttgart, und wenig später konnten die Berufungsverhandlungen mit Jensen abgeschlossen werden. Als Vorausabteilung kam zunächst Helmut Steinwedel, ein Assistent von Jensen, und kurz danach Jensen selbst. Damit gab es zum erstenmal nach Kriegsende einen Lehrstuhl für Theoretische Physik an der Universität Heidelberg. Die wissenschaftliche und menschliche Atmosphäre am Physikalischen Institut Philosophenweg 12 - auch die Theorie war dort noch untergebracht - war großartig. Das Institut war für uns Studenten eine richtige Heimat, wo wir den ganzen Tag und die halbe Nacht verbrachten. Hier war immer jemand, Professor, Assistent oder Student, der notfalls mit Rat und Tat zur Verfügung stand. Den brauchte ich auch, als ich einmal - das war noch während meiner Diplomarbeit - nachts um ein Uhr eine dicke Quecksilberkugel fallen ließ.

Schon als Studenten durften wir am wöchentlichen Teenachmittag teilnehmen, wo Bothe, Jensen, Maier-Leibnitz und später auch Haxel und Schmelzer die neuesten Experimente und die neuesten Veröffentlichungen vortrugen. Die meisten Diskussionen drehten sich um kernphysikalische Messungen und Effekte und ich durfte erleben, mit wel-

cher Sorgfalt und Akribie Jensen jedes Kernniveau, jede einzelne Übergangswahrscheinlichkeit durchdiskutierte und welches beinahe unglaubliche Wissen Bothe, Maier-Leibnitz und Haxel besaßen. Ich erlebte, wie Abschätzungen vorgenommen, Hypothesen aufgestellt und wieder verworfen wurden, es war immer spannend. Die eigenen Arbeiten durften wir auf der, so glaube ich, ersten Tagung nach dem Krieg, in Bad Nauheim vortragen. Hier kann ich ein Bild von Professor Sommerfeld zeigen, dem ich dort zum ersten und zum einzigen Mal begegnet bin (Abb. 2). Er überreicht Professor Müller, der das erste Feldelektronenmikroskop gebaut hat, eine Medaille. Das nächste Bild (Abb. 3) zeige ich hier nur, um zu beweisen, daß ich wirklich Experimentalphysiker war.

Sie sehen, wie groß meine Hochachtung vor der Experimentalphysik ist, sonst würde ich meine damalige Tätigkeit als Experimentalphysiker nicht so betonen. Wenn ich Herrn Heintze vor seinen hochentwickelten Detektoren sehe, am CERN oder hier, und erlebe, wieviel raffinierte und komplizierte Komponenten von ihm verstanden und beherrscht werden, kann ich nur staunen und bewundern.



Abb. 2: A. Sommerfeld (li.) mit E.W. Müller (re.)



Abb. 3: B. Stech

Wegen des untadeligen Verhaltens von Bothe und Jensen während der Nazizeit kamen bald wieder internationale Gäste nach Heidelberg. Bothes 60. Geburtstag war Anlaß zu einer Tagung und einem Fest, einige Bilder davon möchte ich Ihnen zeigen: In Abbildung 4 sehen Sie Wolfgang Pauli, zum erstenmal nach dem Krieg wieder in Deutschland, im Gespräch mit Hans Jensen auf dem Balkon des Instituts. Das nächste Bild zeigt Pauli zusammen mit Heisenberg. Beide stehen sich schon etwas kritischer gegenüber. Im Hintergrund links ist Professor Nordheim zu sehen. Auch er mußte in der Hitlerzeit emigrieren und war nun zum ersten Mal wieder in Deutschland.



Abb. 4: W. Pauli (re.) und H. Jensen (li.) auf dem Balkon des Physikalischen Instituts



Abb 5: W. Pauli (re.) mit W. Heisenberg (li.), L.W. Nordheim (im Hintergrund li.)

Auf dem nächsten Bild (Abb. 6) sehen Sie Lise Meitner auf einer Bootsfahrt auf dem Neckar, die aus Anlaß von Bothes Geburtstag stattfand. Abbildung 7 zeigt Bothe im Gespräch mit Professor Kossel, der in Tübingen lehrte.

Auf Abbildung 8 sehen Sie Bothe zusammen mit Frau Maier-Leibnitz auf dem Weg zum abendlichen Fest. Ich füge hier noch ein Bild von Professor Pohl aus Göttingen ein (Abb. 9). Es ist später entstanden, nämlich zum 60. Geburtstag von Hans Kopfermann, dem Nachfolger von Bothe. Pohl erklärt hier den Noch-nicht-Emeriti die korrekte Altersbezeichnung: Man ist ein Senior zwischen 45 und 60, und ein Senex, ein Greis, ab 60. Ein weiteres Bild aus dieser Epoche (Abb. 10) zeigt Herrn Schmelzer, später ebenfalls Professor in Heidelberg, wie er etwas skeptisch auf seine gerade gebaute Apparatur schaut.

Nach meiner Promotion bei Bothe bot Jensen mir an, mit einem Stipendium bei ihm zu arbeiten. Es ist ein bißchen viel von mir die Rede hier, aber es geht kaum anders, wenn man über eigene Erlebnisse im Zusammenhang mit der Physik dieser Zeit berichten soll. Bothe war



Abb. 6: L. Meitner



Abb. 7: W. Bothe (li.) mit W. Kossel



Abb. 8: W. Bothe mit Frau Maier-Leibnitz

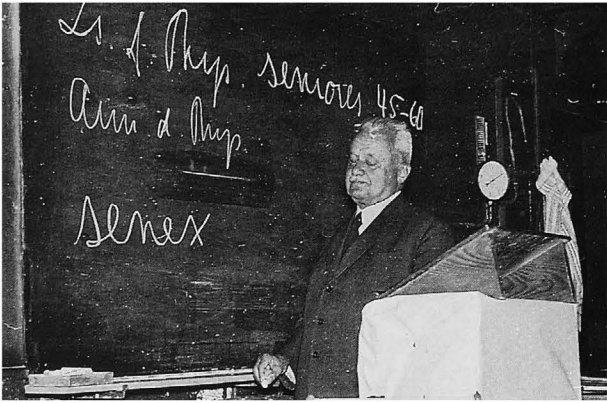


Abb. 9: R. Pohl



Abb. 10: C. Schmelzer

dagegen, er sagte zu mir: "Dann müssen Sie Ihr ganzes weiteres Leben Matricelemente ausrechnen, anstatt Experimente auszuführen". Er hatte natürlich recht, aber was macht es, wenn die Arbeit interessant ist und Freude bereitet. Nach Arbeiten über die Multipolstrahlung isomerer Kerne arbeitete ich mit Hans Jensen an der Theorie des Betazerfalls. Die Betazerfallsauswahlregeln waren von Jensen intensiv benutzt worden, um Kerneigenschaften zu bestimmen. Wir wußten jedoch, daß das "Untersuchungsinstrument Betazerfall" selbst noch ungenügend verstanden ist und kümmerten uns nun um die Struktur dieser Wechselwirkung. Es war meine erste Berührung mit reiner Elementarteilchenphysik.

Jensen und ich postulierten 1955 eine neue und damals ungewohnte Symmetrie, die heute chirale Symmetrie heißt. Ich weiß noch, wie aufgeregt ich war, als ich Pauli, der gerade in Heidelberg zu Besuch war, diese Spekulation vortragen durfte. Pauli wackelte zwar zuerst mit seinem Kopf, fand den Ansatz schließlich aber doch sehr interessant. Während der Zusammenarbeit mit Jensen fragte mich dieser einmal: "Warum formulieren Sie die γ_5 -Symmetrie-Operation für Teilchenpaare und nicht separat für jedes einzelne Teilchen?" Ich sagte wie aus der Kanone geschossen, dann würden wir die Paritätserhaltung maximal verletzen. Da habe ich etwas verpaßt! Hätten wir diese erweiterte γ_5 -Symmetrie ausgenutzt, so hätten wir Paritätsverletzung und V-A-Theorie schon zwei Jahre vor ihrer Entdeckung postulieren können. Von der sonstigen Teilchenphysik wußte ich zu diesem Zeitpunkt noch sehr wenig. Ich wußte, daß es π -Mesonen und Myonen gab, aber vom θ - τ -Puzzle, das den ersten Hinweis auf die Verletzung der Paritätssymmetrie gab, hatte ich noch nichts gehört oder gelesen. Von den heute Hadronen genannten Elementarteilchen waren damals das Proton und Neutron bekannt, aber auch schon das Λ -Hyperon, die K-Mesonen, damals θ und τ genannt, und die π -Mesonen. Es war bekannt, daß diese Teilchen sehr starke Kräfte aufeinander ausüben und daß für deren Beschreibung vermutlich die Theorie von Yukawa zuständig ist. Definitive Aussagen konnten nicht gemacht werden, doch ergab sich ein qualitatives Verständnis vieler Reaktionen durch die Verwendung statischer Näherungen und von Potentialmodellen.

Bei den Leptonen, den Elektronen, Elektron-Neutrinos, Myonen und Myon-Neutrinos sah es besser aus. Schon 1933 hatte Fermi einen Ansatz für die Wechselwirkung von Leptonen und Nukleonen vorgeschlagen, der sich außerordentlich bewährt hat und auch auf die Wechselwirkung der Leptonen untereinander angewandt werden konnte. Ein großer Vorteil ist hier die Kleinheit der Kopplungskonstanten, die es erlaubt, Reaktionen, die von dieser schwachen Wechselwirkung herrühren, mittels Störungstheorie zu behandeln. Allerdings wurde erst 1962 festgestellt, daß Elektronneutrino und Myon-Neutrino zwei verschiedene Teilchen sind. Auch die Ankopplung der seltsamen Teilchen brachte noch Probleme.

In den 50er Jahren war also die Zahl der Elementarteilchen noch klein, und mit einigem Mut konnten die π -Mesonen als gebundene Zustände von Neutron oder Proton mit ihren Antiteilchen angesehen werden und die K-Mesonen entsprechend als gebundene Zustände von Neutron bzw. Proton mit dem Anti- Λ -Teilchen. Die Zahl der fundamentalen Teilchen reduzierte sich damit auf Neutron, Proton und Λ und die Leptonen. Darüber hinaus zeigte sich eine interessante Universalität der Wechselwirkung von Teilchenpaaren, sowohl im starken wie im schwachen Sektor. Man war also in einer wunderbaren Situation und konnte glauben, daß die Gesetze der Physik bereits weitgehend verstanden sind: Aus wenigen Elementarteilchen und mit bekannten Kräften lassen sich die Kerne, die Atome und schließlich alle Materie aufbauen. Es zeigte sich jedoch bald, daß die Nukleonen keine strukturlosen Elementarteilchen darstellen und ihre Wechselwirkungen sehr komplex sind. Das angeführte Bild war noch unvollkommen. Die starken Kräfte zwischen einzelnen Nukleonen und von Nukleonen im Kern blieben unverstanden. Das Schalenmodell der Kerne von Haxel, Jensen und Suess und von Maria Goeppert-Mayer entwickelt, beschrieb die Struktur der Kerne, aber nur auf eine phänomenologische Weise. Im Sommer 1956 gab ich darüber - in Vertretung von Jensen - eine Vorlesungsreihe in Mexico City.

Es folgen einige Bilder aus dieser Zeit, die bekannte Physiker zeigen. Auf dem ersten Bild dieser Reihe (Abb. 11), sehen Sie im Vordergrund, zweiter von rechts, Professor R. Peierls, einen erfolgreichen

und hochangesehenen theoretischen Physiker. Der Herr in der dritten Reihe ganz links ist Professor M. Moshinski, der Leiter der Latin-American Sommerschule. Als Student war Sheldon Glashow dabei, zweite Reihe, rechts außen, der später zusammen mit Weinberg und Salam den Nobelpreis für die Aufdeckung des Zusammenhangs von schwacher und elektromagnetischer Wechselwirkung erhielt. Einige der Experimentalphysiker werden auch Pierre Lehmann, zweite Reihe, links außen, erkennen, der später ein bekannter französischer Hochenergiephysiker wurde.

Von Mexico bin ich zunächst nach Los Alamos und dann mit dem Greyhound Bus nach Seattle gefahren, wo im Herbst 1956 eine wichtige Konferenz stattfand. Auch hiervon möchte ich einige Bilder zeigen. Auf Abbildung 12 sehen Sie Robert Oppenheimer, ein bedeutender theoretischer Physiker und Leiter des Atomprogramms der Vereinigten Staaten während des 2. Weltkrieges.

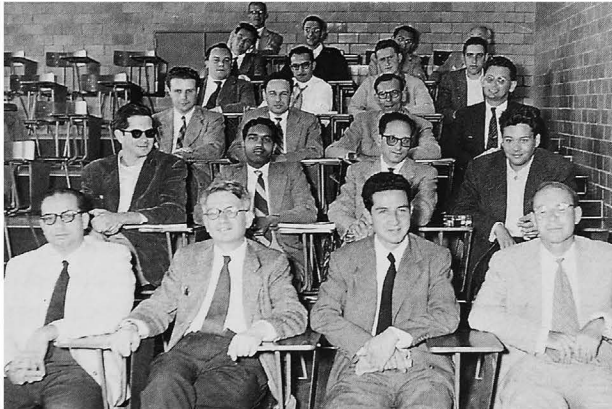


Abb. 11: R. Peierls (1. Reihe, 2.v.re.), S. Glashow (2. Reihe, re. außen)
P. Lehmann (2. Reihe, li. außen), M. Moshinski (3. Reihe li., außen)

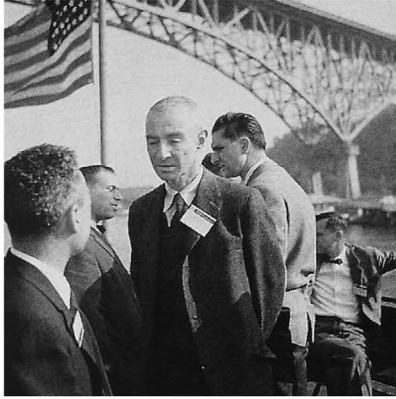


Abb. 12: R. Oppenheimer

Abbildung 13 zeigt Georg Gamow, bekannt durch seine kernphysikalischen Arbeiten und die Erklärung der Alphazerfälle der Kerne. Abbildung 14 zeigt Geoffrey Chew, Autor wichtiger Arbeiten zu π -Meson-Nukleon-Reaktionen, im Gespräch mit Jensen, der direkt von Heidelberg nach Seattle gekommen war.



Abb. 13: G. Gamow

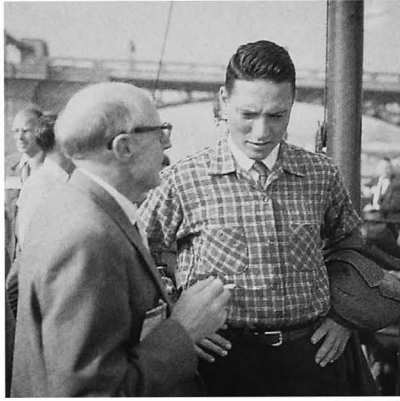


Abb. 14: G. Chew (li.) mit H. Jensen (re.)

In Abbildung 15 sehen Sie den Star der Konferenz im dunklen Anzug, C.N. Yang, der auf dieser Konferenz eine Arbeit präsentierte, in der er und T.D. Lee die Frage nach einer möglichen Paritätsverletzung bei schwachen Zerfällen, die das θ - τ -Puzzle erklären könnte, aufwarf.

Er betonte vor allem, daß eine solche Verletzung der Rechts-Links-Symmetrie - sofern sie wirklich existiert - bei Betazerfällen unmittelbar zu meßbaren Effekten führen würde. Dieser Vortrag hat mich natürlich ganz besonders interessiert, da Jensen und ich, wie schon erwähnt, viel über die Struktur der schwachen Wechselwirkung nachgedacht hatten. Nach Abschluß der Konferenz war Feynman so freundlich, Jensen und mich von Seattle nach Pasadena zum Caltech in seinem Auto mitzunehmen. Es war eine Zweitagestour.

Abbildung 16 zeigt Jensen und Feynman beim Verlassen eines Motels. Sie studieren hier nicht die Betazerfälle, sondern die Straßenkarte. Auf dieser Fahrt und in Pasadena haben wir natürlich intensiv über die schwachen Wechselwirkungen diskutiert. Feynman glaubte zu dieser Zeit nicht an eine Verletzung der Paritätssymmetrie. Auch unsere - noch paritätserhaltende - chirale Symmetrie, die Jensen unmittelbar nach Ankunft in Pasadena in einem Kolloquiumsvortrag präsentierte,



Abb. 15: C.N. Yang (3. von li.)



Abb. 16: H. Jensen (vorne) und R. Feynman

stieß zunächst ebenfalls auf wenig Gegenliebe, besonders nicht bei Gell-Mann. Das Gegenargument war, daß die chirale Symmetrie wegen der Störung durch die Massenterme keine akzeptable Symmetrie

sei. Ich entgegnete, daß die Symmetrieforderung nur die Wechselwirkungsterme betreffen sollte, wurde aber etwas entmutigt und unsicher. Nach der Entdeckung der Paritätsverletzung war eine Erweiterung unserer Symmetrieforderung sehr naheliegend. Hier gab es jedoch zusätzlich Zweifel, da diese Erweiterung eine V-A-Kopplung forderte im Gegensatz zu einer Messung des He^6 -Rückstoßspektrums, die eine Tensorkopplung ergab und sich erst später als falsch herausstellte. Feynman und Gell-Mann waren im Sommer 1959 dann jedoch mutig genug, ihre ursprünglichen Gegenargumente zu ignorieren, das He^6 -Rückstoßexperiment zu bezweifeln und, wie zur selben Zeit auch Marshak und Sudershan, die V-A-Theorie zu postulieren. Herr Heintze sagte in seinem Vortrag vor einigen Tagen: "Man ist selbst schuld, wenn man sich von einem berühmten Mann etwas ausreden läßt". Ich bin schuldiger, denn ich habe mir nicht nur von einem, sondern von zwei berühmten Männern und noch von einem experimentellen Ergebnis etwas ausreden lassen. Dennoch war ich in Kalifornien sehr glücklich. Ich habe viel erlebt, viel gelernt und profitiert von der lebendigen Atmosphäre am Caltech, von der Zusammenarbeit mit anderen Fellows und von den Diskussionen mit Gell-Mann und Feynman. Gell-Mann hielt unter anderem eine Vorlesung über das neue Gebiet der K-Mesonen und über die faszinierende Entdeckung der Teilchenumwandlung des K^0 -Mesons in sein eigenes Antiteilchen. Mit den Freunden am Caltech habe ich natürlich auch viel unternommen und interessante Ausflüge gemacht. Auf Abbildung 17 sieht man, wie Dick Feynman abends in der Wüste trommelt und daß er bei den Damen viel Anklang fand. Das nächste Bild (Abb. 18) habe ich gegen Schluß meines Aufenthaltes, Ende 1957 oder Anfang 1958, aufgenommen. Es war ein Ausflug, bei dem Murray Gell-Mann, Volker Soergel, der gerade neu an das Kellogg-Laboratorium gekommen war und Felix Boehm dabei waren. Mit Letzterem haben Kurt Alder, Åage Winther und ich eingehend β - γ -Korrelationsexperimente durchgesprochen, die über die Struktur der schwachen Wechselwirkung weiteren Aufschluß gaben. Bei einem dieser Experimente habe ich sogar aktiv mitgewirkt. Meine Hauptaufgabe war, mit der radioaktiven Quelle schnellstens vom Van-de-Graaff-Generator zum Labor zu spurten, bevor die



Abb. 17: R. Feynman



Abb. 18: M. Gell-Mann, V. Soergel (stehend), F. Boehm (im Vordergrund)

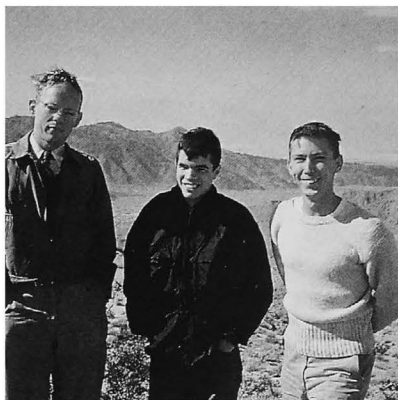


Abb. 19: K. Wilson

Quelle zu weit abgeklungen war. Das zugehörige Experiment klärte die Frage nach der Polarisation der beim schwachen Zerfall emittierten Positronen. Kurz bevor ich Pasadena verließ, kam ein junger Student namens Kenneth Wilson zum Caltech. Er kaufte mein Auto. Ich zeige ihn auf dem nächsten Bild (Abb. 19) natürlich nicht deshalb, sondern weil er später durch grundlegende Arbeiten über Gittertheorien und Phasenübergänge berühmt wurde. Ebenfalls Nobelpreisträger wurde William Fowler (Abb. 20) dessen am Caltech durchgeführte Arbeiten über die Entstehung der Elemente große Bedeutung erlangten. Das Bild stammt allerdings nicht aus der Zeit meines Aufenthaltes in Kalifornien, sondern entstand bei einem späteren Vortrag Fowlers in Heidelberg.

Bevor ich Pasadena verließ, um kurze Zeit am Argonne National Laboratorium zu arbeiten, erreichte mich eine Anfrage von Jensen, ob ich nach Heidelberg auf ein Extraordinariat kommen würde. Ich ging mit Freuden darauf ein. Zurück in Heidelberg, widmete ich mich voll der Teilchenphysik, und Jensen ebnete mir den Weg dazu. Zunächst beschäftigte mich weiterhin die chirale Invarianz, und ich hatte die Idee, daß diese auch in der starken Wechselwirkung eine Rolle spielen

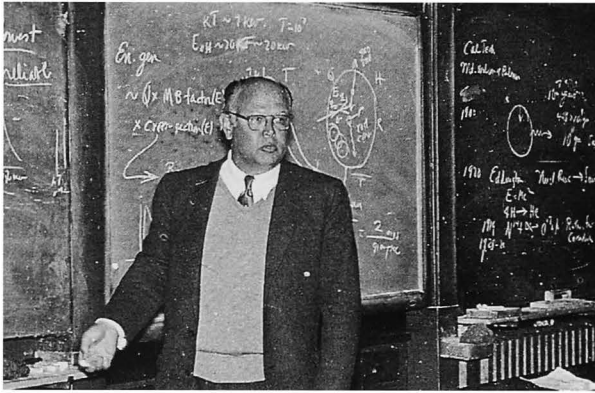


Abb. 20: W. Fowler

könnte. In einer Arbeit mit Kramer und Rollnik zeigten wir, daß dies im Falle der π -Meson-Nukleon-Wechselwirkung zu nichtlinearen Ausdrücken im π -Meson-Feld führt. Leider waren wir in der Ausführung unseres Vorhabens nicht vollständig konsequent und arbeiteten nach den ersten Veröffentlichungen nicht weiter daran. Erst mehrere Jahre später wurde diese Idee von Wess und Zumino aufgegriffen und neue Ideen hinzugefügt, insbesondere auch von Cronin, Coleman und Weinberg. Heute ist die chirale Symmetrie und die Möglichkeit, chirale Störungstheorie zu treiben eine Konsequenz der Quantenchromodynamik und dadurch wohlfundiert. Diese Symmetrie ermöglicht es, viele Meßgrößen durch wenige Parameter auszudrücken und miteinander in Verbindung zu bringen, vor allem im Niederenergiebereich, wo direkte Berechnungen noch nicht möglich sind.

Ende der 50er und Anfang der 60er Jahre wurden bei hochenergetischen Stößen an den neuen Beschleunigern eine ganze Reihe kurzlebiger neuer Teilchen entdeckt. Dies führte zu einer Explosion in der Anzahl der bekannten Elementarteilchen. Die gefundenen Teilchen waren jedoch keine Bruchstücke der beschossenen Teilchen, sondern wiederum Baryonen und Mesonen, die stark oder schwach wieder in

die ursprünglichen Teilchen zerfallen. Die theoretische Behandlung von Streuprozessen hoher Energie wurde sehr schwierig, da alle die neuen Teilchen mit zu berücksichtigen waren. Die Wunschvorstellung von einem Aufbau der Materie aus wenigen elementaren Bausteinen schien nicht mehr haltbar. Nur eine Behandlungsmethode zeichnete sich damals ab, der sogenannte Bootstrap-Mechanismus, der von Chew vorgeschlagen wurde. Die Idee war folgende: Man gibt die Massen und Kopplungskonstanten der neuen Teilchen vor, um über deren Austausch die Kräfte zwischen den Streuteilchen zu erhalten und fordert gleichzeitig die Unitarität der S-Matrix und Mikrokausalität. Die daraus entstehenden Beziehungen sollten nun wiederum die eingangs verwendeten Parameter, wie Kopplungen und Massen, wenigstens teilweise reproduzieren und damit festlegen. Auf diese Weise wollte man die Zahl der unbekanntenen Größen verringern, also sparen. Aus diesem Grunde arbeitete ich in Kalifornien mit einem jungen Schotten zusammen. Wir griffen die damals heiße Frage auf, ob das Proton selbst als gebundener Zustand aus Proton und π -Meson aufgefaßt werden kann. Zusammen mit Josef Rothleitner, der heute in Innsbruck lehrt, habe ich diese Frage in Heidelberg weiter verfolgt. Die damals auch von anderen Bearbeitern erhaltenen Beziehungen zwischen Teilchenmassen und Kopplungen waren interessant und nützlich, sie haben jedoch keinen größeren Durchbruch gebracht. Die starke Wechselwirkung blieb unverstanden.

Etwas Hoffnung auf eine Erklärung der Vielfalt der neuen Teilchen brachte die Entdeckung der SU(3)-Symmetrie durch Gell-Mann und andere. Die zugehörigen Symmetrirelationen brachten zwar kein tieferes Verständnis der Dynamik, erlaubten jedoch, die Teilchen zu ordnen und Massen und Eigenschaften eines noch unentdeckten Teilchens, des Ω^- -Teilchens, richtig vorherzusagen. Auch bezüglich der schwachen Wechselwirkung wurden Fortschritte erzielt: Die Struktur dieser Wechselwirkung (heute würden wir sagen der effektiven Wechselwirkung bei niederen Energien) wurde weitgehend aufgeklärt. Sehr bedeutsam auf diesem Weg war die Bestätigung der Hypothese vom erhaltenen Vektorstrom der schwachen Wechselwirkung durch die sehr sorgfältigen Messungen von Heinze und Soergel am CERN. Von

Gell-Mann und Levy und in größerem Detail von Cabibbo konnte dann gezeigt werden, daß alle damals bekannten schwachen Zerfälle durch eine merkwürdige Mischung von zwei geladenen Strömen mit verschiedenen Quantenzahlen beschrieben werden können.

Die folgenden Jahre von 1964 bis 1976 brachten eine sehr aufregende Zeit. In dieser Epoche entstand das sogenannte Quark-Parton-Bild, das schließlich zum heutigen Standardmodell der elektroschwachen und starken Wechselwirkung führte. Zunächst gab es jedoch viele ungeklärte Fragen. Eine Frage, die auch uns damals sehr beschäftigte, war: Können innere Symmetrien von Teilchen wie die Gell-Mannsche SU(3)-Symmetrie mit dem Teilchenspin, also einer kinematischen Größe, verknüpft werden? Nachdem eine Reihe falscher Arbeiten - glücklicherweise nicht von unserem Institut - dazu erschienen waren, stellte sich heraus, daß dies nur sehr eingeschränkt möglich ist. Einige Resultate blieben jedoch gültig, und eines davon haben Herr Dosch und ich erzielt: Wir konnten zeigen, daß das Verhältnis des magnetischen Formfaktors des Neutrons zum magnetischen Formfaktor des Protons unabhängig vom Impulsübertrag im Symmetrielimens minus $2/3$ ergeben muß. Eine andere damals oft genug aufgeworfene Frage war: Warum ist das Neutron schwerer als das Proton und das ungeladene K-Meson schwerer als das geladene K-Meson? Merkwürdigerweise ist das Neutron nur ein klein wenig, weniger als 1 MeV, schwerer als das Wasserstoffatom. Wäre dies umgekehrt, so wäre Wasserstoff instabil, und unsere Welt könnte nicht existieren. Die Beschäftigung mit diesem Problem war interessante Physik, eine Erklärung blieb jedoch aus. Auch heute gibt es noch keine Erklärung, das Problem konnte nur auf ein tieferes Niveau verlagert werden. Die entsprechende Frage heißt jetzt: Warum ist die Masse des down-Quarks schwerer als diejenige des up-Quarks?

Eine neue Sensation stellte die experimentelle Entdeckung der Verletzung der CP-Invarianz dar, die auch eine Verletzung der bis dahin als gültig angesehenen Zeitumkehrinvarianz bedeutet. Dieses Resultat besagt, daß nach einer Bewegungsumkehr der ursprüngliche Zustand nicht mehr erreicht wird, jedenfalls nicht bei höchster Präzision der Messung. Der Ursprung dieses besonders interessanten Tatbestandes

ist heute immer noch nicht geklärt. Das moderne Standardmodell kann jedoch über einen vom Experiment festgelegten Parameter die entsprechenden Effekte beschreiben, bisher jedenfalls. Ein Ziel der modernen Forschung ist es, neues Licht in dieses sehr fundamentale Phänomen zu bringen.

In Heidelberg haben wir damals eingehend über die Ströme, die in schwachen Zerfällen gemessen werden, und gleichzeitig Symmetrieströme der starken Wechselwirkung sind, gearbeitet. Herr Gromes und Herr Rothe, die daran mitgewirkt haben, sind heute hier unter meinen Zuhörern. Auch Herr Dahmen, jetzt an der Universität Siegen, hat wichtige Beiträge dazu erbracht. Wir untersuchten die Algebra dieser Ströme und die Möglichkeit ihrer lokalen Saturierung. Von Interesse war auch der Zusammenhang von schwachen Ladungen mit Integralen über Wirkungsquerschnitte von Prozessen der starken Wechselwirkung, also von ganz unterschiedlichen Reaktionen - ein Zusammenhang, der zuerst von Goldberger und Treiman sowie Adler und Weisberger erkannt wurde. Die entsprechenden Beziehungen sind heute leicht mit Hilfe des Quark-Parton-Modells zu verstehen, konnten damals jedoch nur in unsystematischer Weise bearbeitet werden.

Ich komme jetzt auf die Quark-Hypothese zu sprechen und möchte Sie dabei etwas mit den Schwierigkeiten bekanntmachen, mit denen man damals zu kämpfen hatte. Gell-Mann und Zweig vermuteten bereits 1964, daß es vielleicht doch Subteilchen mit merkwürdigen drittzahligen Ladungen gibt, aus denen Protonen, π -Mesonen und all die vielen neuen Hadronen zusammengesetzt sind. Aber auch Gell-Mann war nicht überzeugt, daß diese sogenannten Quarks existieren, sie traten ja im Experiment nicht in Erscheinung. Er deutete sie zwischenzeitlich als hilfreiche mathematische Symbole, mit denen man allerdings gut und sinnvoll umgehen kann. Viele Fragen waren damals offen. Warum findet man diese Teilchen nicht? Sind sie sehr schwer? Was hält sie zusammen? Als Ursachen möglicher Kräfte kamen zunächst nur der Austausch von ρ -Mesonen, ω - und Φ -Mesonen in Frage. Diese Quark-Hypothese wurde wegen der bestehenden konzeptionellen Schwierigkeiten nicht allgemein akzeptiert; trotz der Autorität von Gell-Mann. Formfaktormessungen am Proton zeigten allerdings schon

früher, daß das Proton kein Punktteilchen ist, sondern eine endliche Ausdehnung von etwa 10^{-13} cm besitzt. Man sprach damals vielfach von dieser Größe als einer elementaren Länge, die die Größe aller anderen Teilchen festlegen würde. Der Durchbruch kam 1969 von der experimentellen Seite her: Die Analyse der tiefinelastischen Elektron-Proton-Ströme ergab, daß das Proton eine körnige, offenbar von Punktteilchen herrührende innere Struktur besitzt. Das Nukleon besteht daher aus elementaren, viel kleineren Konstituenten, die man Partonen nennt. Eine interessante Frage war dann: Sind Partonen, die Ladung tragen Quarks mit dritzzahligen Ladungen? Anfang der 70er Jahre war es keinesfalls evident, daß die Konstituenten des Protons dritzzahlige Ladungen haben. Es war damals noch möglich, widerspruchsfreie Theorien mit Partonen, die ganzzahlige Ladungen tragen, zu formulieren. Ich selbst hatte zeitweilig spekuliert, daß diese Subteilchen instabile Teilchen mit ganzzahliger Ladung sein könnten, die nur über die starke Bindung im Verband ein stabiles Nukleon bilden. Gell-Mann und andere machten eine noch radikalere Annahme, die schließlich zum Erfolg führte. Sie postulierten, daß die Partonen mit halbzahligem Spin dreifach entartete Quarks darstellen. Diese Quarks tragen daher neben ihrer dritzzahligen Ladung eine neue Quantenzahl, Farbe genannt. Die Wechselwirkung sollte dann nicht von den vorhin genannten Vektorbosonen ρ , ω und Φ bewirkt werden, sondern von neuen hypothetischen Teilchen, den Gluonen, die ebenfalls Farbe tragen, aber genau wie die Quarks verborgen bleiben, also nicht als freie Teilchen auftreten können.

Es war ein großer Schritt in die Abstraktion, der sich jedoch bewährt hat. Er führte zu einer konsistenten Theorie der starken Wechselwirkung, Quantenchromodynamik genannt. Natürlich gab es zunächst Einwände. Ich selbst hatte große Schwierigkeiten zu glauben, daß die Quarks dreifach entartet sind mit exakt gleicher Masse. Bis dahin war keine innere Symmetrie bekannt, die in voller Strenge gültig ist. Die Isospinsymmetrie, die Proton und Neutron verknüpft, ist keine strenge Symmetrie. Die $SU(3)$ -Symmetrie ist eine noch stärker gebrochene Symmetrie wie auch die chirale Symmetrie. Auch die CP-Symmetrie ist gebrochen. Eine gebrochene Farbsymmetrie schien mir daher wahr-

scheinlicher. 1974 wurden Fragen dieser Art akut. Völlig unerwartet wurde zunächst in Brookhaven und dann auch am SLAC eine sehr scharfe Resonanz bei der hohen Energie von 3,1 GeV entdeckt, das J/ψ -Teilchen. Zwei Alternativen waren prinzipiell möglich: es konnte sich um einen Zustand aus neuen schweren Quarks handeln, Charm-Quarks genannt, um ein Charm-Anticharm-System. Es konnte sich jedoch auch um eine Farbanregung bekannter Teilchen handeln, sofern die Farbsymmetrie keine strenge Erhaltungsgröße ist. Ich selbst wie auch einige andere Autoren setzte damals auf die Möglichkeit einer Farbanregung. Ich konnte sogar einige experimentelle Resultate richtig vorhersagen, dennoch war es die falsche Theorie. Dies ist ein Beispiel dafür, daß theoretische Überlegungen oftmals mehrere Möglichkeiten offen lassen, und sich der richtige Sachverhalt erst bei weiteren Konsistenzüberlegungen und besserer experimenteller Information herausstellt.

Die Existenz schwerer Mesonen erlaubte zahlreiche Experimente und eröffnete damit die Möglichkeit, die Quark-Hypothese in allen Einzelheiten zu testen. Die Existenz von Quarks wurde zur unumstößlichen Gewißheit. 1975 wurde ein neues Lepton, τ genannt, entdeckt, das viel schwerer als die bisher bekannten Leptonen ist. Bald darauf, 1977, beobachtete man auch ein neues schweres Meson, etwa dreimal so schwer wie das J/ψ -Teilchen. Es konnte als ein Bindungszustand eines schweren b-Quarks mit seinem Antiquark gedeutet werden, wobei b für bottom oder beauty steht.

In der Zwischenzeit hatte sich auch auf dem Gebiet der schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung viel getan. Es war gelungen, eine einheitliche Theorie zu formulieren, die diese beiden Wechselwirkungen zusammenfassend beschreibt. Die schwachen Kräfte werden durch den Austausch von Vektorbosonen erzeugt. Diesmal jedoch nicht durch den Austausch von masselosen Teilchen wie Photonen oder Gluonen, sondern von Teilchen mit hoher Masse, was zu einer Unterdrückung zugehöriger Übergangsraten führt. Glashow hatte bereits 1961 eine Theorie vorgeschlagen, in der 4 Vektorbosonen auftreten. Zwei davon, W^+ und W^- tragen elektrische Ladung und sind massiv, das Z^0 ist ungeladen und ebenfalls massiv, und das vierte ist

ebenfalls ungeladen, bleibt masselos und muß mit dem Photon identifiziert werden. Dieses Modell blieb weitgehend unbeachtet, da es nicht möglich schien, die zugrundeliegenden Symmetrien zu akzeptieren und gleichzeitig den Vektorbosonen auf eine sinnvolle Weise Massen zu geben. Erst mit der Entdeckung der Möglichkeit von spontanen Symmetriebrechungen konnte bewiesen werden, daß die Vektorbosonen W^+ , W^- und Z^0 in der Tat massiv werden können, während das Photon masselos bleibt. Die Vereinigung elektromagnetischer und schwacher Wechselwirkung war damit gelungen. Allerdings bleibt auch heute noch die Frage nach dem Ursprung der Massen von Quarks und Leptonen und der Energieskala der schwachen Wechselwirkung offen. Diese Größen sind Parameter der Theorie, die bislang nicht berechnet werden können, sondern aus dem Experiment entnommen werden müssen.

Wie sieht es am Ende dieser Periode der Entdeckungen aus? Wir haben eine wohlfundierte Theorie der starken Wechselwirkungen, die Quantenchromodynamik. Die starken Kräfte sind die von masselosen Gluonen verursachten Farbkräfte. Sie sind so stark, daß Quarks und Gluonen nicht frei auftreten können. Die elektroschwachen Kräfte hingegen werden durch die vorher genannten Vektorbosonen verursacht. Alle Kraftgesetze sind daher bekannt. Dennoch: Der ganze Mechanismus, der zum permanenten confinement der Quarks und Gluonen führt, ist noch nicht ausreichend verstanden. Auch die Struktur des Vakuums der Quantenchromodynamik, eine typische Größe, die nicht mit störungstheoretischen Methoden behandelbar ist, bedarf der weiteren Aufklärung. In der Folgezeit sind hierfür große Anstrengungen unternommen wurden. Ich selbst war und bin der Meinung, daß diese Fragen am ehesten durch experimentelles und theoretisches Studium von Zerfällen leichter und schwerer Quarks einer Erklärung zugeführt werden können. An den Zerfallsprozessen können die nichtstörungstheoretischen Eigenschaften gut beobachtet werden. Zerfallsreaktionen sind außerdem zur Bestimmung der ganz besonders interessanten Quarkmischungsparameter geeignet. Diese auf dem Quark-Niveau definierten Größen können aus experimentell meßbaren Übergangsraten von Hadronen entnommen werden, sofern der Einfluß der Bin-

dungskräfte auf die Quarks gut genug bekannt ist. In den genannten Bereich der schwachen Zerfälle haben meine Mitarbeiter und ich in den vergangenen Jahren viel Arbeit investiert und auch größere Erfolge erzielen können. So konnte zum Beispiel der Zerfallsmechanismus von nichtleptonischen Prozessen, der über viele Jahre rätselhaft blieb, von uns weitgehend aufgeklärt werden.

Nun noch einige Worte zum Stand der Teilchenphysik heute. Viele Vorhersagen des Standardmodells haben heute ihre Bestätigung gefunden. Die schweren Vektorbosonen können heute in großer Zahl erzeugt werden. Sie besitzen die vorhergesagten Eigenschaften, wie sehr genaue Messungen jetzt belegen. Die Dynamik der Wechselwirkungen ist völlig bestimmt durch drei Eichkopplungskonstanten, g_1 , g_2 und g_3 . Die Konstante g_3 legt die Stärke der Kopplungen der Gluonen an die drei Farbzustände der Quarks fest und gilt universell für alle Quarks. g_2 beschreibt die Stärke der Ankopplung von Quarks und Leptonen an die Vektorbosonen, wobei linkshändige up- und down-Quarks ineinanderübergehen. g_1 ist eine weitere Kopplungsgröße, die zusammen mit g_2 die elektromagnetische Ladung festlegt. Die Elementarteilchen unterscheiden sich allein durch ihre Quantenzahl und Massen. So sind Teilchen mit Farbquantenzahlen Quarks und Teilchen ohne Farbquantenzahlen Leptonen, die daher keine starke Wechselwirkung besitzen und als gewöhnliche freie Teilchen in Erscheinung treten können. Eine Teilchenfamilie, die durch die genannten Kräfte eng miteinander verbunden ist, hat 15 Mitglieder, wobei links- und rechtshändige Teilchen separat gezählt werden: drei linkshändige up-Quarks, drei linkshändige down-Quarks, und ebenso viele rechtshändige Quarks, das links- und rechtshändige Elektron, und ein linkshändiges Neutrino. Eine weitere Familie, mit den Charm-Quarks und seltsamen Quarks als Mitglieder, ist vollständig bekannt. Bei der dritten Familie, die das τ -Lepton und die b-Quarks enthält, fehlt noch ein Teilchen, das dem up-Quark entspricht und top-Quark genannt wird. Es ist vermutlich sehr schwer und war wohl aus diesem Grunde bisher noch nicht zu finden. Die Felder dieser Teilchen entsprechen nicht genau den Feldern von Teilchen mit definierter Masse, sondern Mischungen dieser Felder. Die zugehörigen Mischungswinkel sind Para-

meter, deren Werte durch das Standardmodell nicht festgelegt werden. Eine Erweiterung des Standardmodells scheint notwendig.

Vielleicht sollte ich noch sagen, warum das Standardmodell so nützlich und schön ist. Es ist nützlich und schön, weil es einfach ist. Quarks und Leptonen als elementare Bausteine der Materie sind Punktteilchen ohne innere Strukturen. Experimentell ist gesichert, daß ihre Ausdehnung kleiner ist als 10^{-16} cm, d.h. mindestens 100millionenmal kleiner als der Durchmesser eines Atoms. Alle Kräfte folgen aus einem einheitlichen Prinzip, das man Eichsymmetrie nennt. Die Kopplungen sind universell, d.h. sie haben die gleiche Stärke, unabhängig um welche Teilchenfamilie es sich handelt. Mittels der zugrundeliegenden Theorie läßt sich die Energieabhängigkeit der drei Eichkopplungen g_1 , g_2 und g_3 berechnen. Man findet, daß diese Kopplungen bei einer ungeheuer großen Energie, bei ungefähr 10^{16} GeV, etwa gleich groß werden. Bei dieser Energie werden daher Quarks und Leptonen nicht mehr unterscheidbar sein, d.h. sie sind nur verschiedene Komponenten ein- und desselben Objekts. Geht man von einem solchen Vereinigungspunkt aus und wieder zurück zu heute verfügbaren Energien, so erkennt und versteht man aus dem Verlauf der Kopplungen, warum gerade die Farbwechselwirkung stark und die elektroschwache Wechselwirkung, der eine kleinere Symmetriegruppe zugrundeliegt, schwach ist. Das Zusammenlaufen der Kopplungen bei großen Energien legt eine "Grand Unified Theory" nahe, die große Vereinigung der Kräfte, mit der wir uns auch in Heidelberg sehr beschäftigt haben.

Mit Herrn Achiman habe ich sehr eingehend über die exzeptionelle Gruppe E_6 als mögliche Vereinigungsgruppe gearbeitet. Sie könnte durchaus eine wichtige Rolle spielen. Eine gesicherte und allgemein akzeptierte Erweiterung des Standardmodells ist jedoch noch nicht gelungen. Insgesamt läßt sich aber schon jetzt sagen, daß die ungeheure Vielfalt der Naturerscheinungen offenbar auf nur wenigen sehr elementaren Prinzipien beruht. Natürlich treten in diesem Stadium neue Fragen auf, darunter auch sehr interessante Fragen, die man früher gar nicht stellen konnte, Fragen zum Beispiel nach dem Ursprung und der Auszeichnung der Eichgruppen. Warum betrifft die schwache Wech-

selwirkung nur die linkshändigen Felder? Anders ausgedrückt: Warum ist der liebe Gott ein Linkshänder? Auch Fragen nach den Teilchenfamilien können nun gestellt werden. Warum gibt es mehrere Familien und warum gerade drei? Man könnte sich genauso gut eine Welt mit nur einer Teilchenfamilie vorstellen. Auch der Ursprung aller Massen und der Quarkmischungswinkel, von denen ich vorhin sprach, ist noch ungeklärt. Selbst im Rahmen des Standardmodells ergeben sich noch zahlreiche Fragen und ungelöste Probleme: Ich habe über den skalaren Sektor, über ein zugehöriges skalares Teilchen, das Higgs-Meson, bisher nicht gesprochen. Dieser skalare Sektor steht in engem Zusammenhang mit den Teilchenmassen und möglichen Phasenübergängen. Weitere Fragen beziehen sich auf die nicht störungstheoretischen Eigenschaften des Modells und erweiterter Modelle. Können diese nicht störungstheoretischen Eigenschaften bei hohen Energien eine wichtige Rolle spielen und Erhaltungssätze wie Baryonenzahlerhaltung merklich verletzen? Es gibt auch Gründe anzunehmen, daß bei höheren Energien neue Teilchen auftreten, z.B. supersymmetrische Partner zu allen bekannten Teilchen. Auch nach magnetischen Monopolen, wie vor vielen Jahren von Dirac vorausgesagt, wird gesucht. Ich konnte in meinem Vortrag leider nicht darauf eingehen, daß es aufgrund der Entwicklung der Teilchenphysik der letzten Jahre eine immer enger werdende Zusammenarbeit zwischen Teilchenphysikern und Astrophysikern gibt. Insbesondere können nun auch kosmologische Probleme aufgegriffen werden. Man kann fragen, welche Voraussagen das Standardmodell bei hohen Temperaturen, wie sie in der Anfangsphase des Universums vorlagen, machen kann. Erklärt dieses Modell oder erweiterte Modelle die Baryonenasymmetrie im Weltall, also die Tatsache, daß die Baryonenzahl nicht Null ist? Diese Baryonenzahl ist zwar sehr klein, nur 10^{-10} mal der Zahl der Photonen, aber wir verdanken ihr unsere Existenz. Wenn beim Urknall Teilchen und Antiteilchen in gleicher Zahl entstanden sind, so können nur CP-verletzende Prozesse im Verlauf der Abkühlung des Weltalls zu dieser Asymmetrie führen. Auch die Frage nach einer vollständigen Vereinigung aller Wechselwirkungen, die die Gravitation miteinschließt, ist heute ein Thema zahlreicher Untersuchungen. Sehr fundamentale Fra-

gen nach dem Ursprung der inneren Symmetrien, den Ladungen, den Farb- und Flavourquantenzahlen und selbst nach der Anzahl der Dimensionen von Raum und Zeit werden hierbei berührt.

Lassen Sie mich jetzt zum Schluß kommen. Ich habe an meinem Beruf sehr viel Freude gehabt. In der Teilchenphysik gab und gibt es immer etwas Neues und Aufregendes. Gelingweilt habe ich mich nie. Wohl aber bin ich oft mit hängender Zunge einer Sache nachgerannt. Aber auch wenn man, wie es uns Theoretikern häufig ergeht, nach mühsamen Rechnungen feststellt, daß die Natur es ganz anders eingerichtet hat, so hat man doch stets etwas dabei gelernt. Sehr wohl gefühlt habe ich mich in der einmaligen und großartigen wissenschaftlichen und menschlichen Atmosphäre in der Heidelberger Physik, die Bothe und Jensen geschaffen haben. Von Jensen habe ich viel mehr als nur Physik gelernt: Er war ein großartiger Mensch mit klarem Urteil, Kenntnissen in vielen Lebensbereichen und viel Herz. Als ich einmal unschlüssig war, ob ich einen Ruf nach auswärts annehmen sollte und meinte, es täte mir vielleicht gut, die Universität zu wechseln, fand ich am nächsten Tag einen Zettel auf meinem Schreibtisch, den ich Ihnen noch vorlesen möchte: "Epistel des Paulus an die Hebräer, Kapitel 13, Vers 17: 'Höret auf Eure Lehrer und folget ihnen; denn sie wachen über Eure Seelen, als die da Rechenschaft dafür geben sollen; auf daß sie das mit Freuden tun und nicht mit Seufzen; denn das ist euch nicht gut.' Er meinte natürlich, ich sollte in Heidelberg bleiben. Ich habe auf ihn gehört und es nicht bereut. Manchmal soll man eben doch auf einen weisen Mann hören.

Haxel, Kopfermann, Brix, Schmelzer und ihre Nachfolger bewahrten das gute menschliche Klima in Heidelberg. Neben der Forschung hat mir auch die Lehre Freude gemacht, mehr als die Vorlesungen die Zusammenarbeit und die Diskussionen mit Studenten an der Tafel oder vor einem Stück Papier. Ich bin dem Schicksal dankbar, daß ich ungeheuer faszinierende Entwicklungen in der Physik erleben und selbst aktiv daran teilnehmen durfte. Ich wünsche der jüngeren Generation einen ebenso anregenden und interessanten Beruf in einer friedlichen Zeit.

Zum Schluß möchte ich meinen Kollegen in der Physik herzlich für ihre Freundschaft danken und natürlich auch meiner Frau, die mir in vielen Jahren viele Steine aus dem Weg geräumt hat.

In diesem zunächst auf vier Bände angelegtem Werk berichten ehemalige Hochschullehrer der angesehenen Heidelberger Fakultät für Physik und Astronomie über ihre wissenschaftliche Arbeit und die Geschichte ihres Fachgebietes. Die Beiträge gehen auf autobiographische Vorträge zurück, die die Physiker in den Jahren 1991 bis 2016 gehalten haben. Vieles von der Lebendigkeit des mündlichen Vortrags und der Authentizität persönlicher Erinnerung ist darin erhalten geblieben. Packend und „aus dem wissenschaftlichen Leben gegriffen“ wird der jeweilige Weg zur wissenschaftlichen Erkenntnis geschildert, eingebunden in ein oft bewegtes Leben und Zeitgeschehen.

So sehr sich Lebenswege und Erfahrungen der Wissenschaftler unterscheiden, so viel Verbindendes kann der Leser darin entdecken. Und er erfährt aus erster Hand, wie Wissenschaft „gemacht“ wurde und auch heute noch, im Zeitalter von Interdisziplinarität und Großforschung, entsteht.

Im vorliegenden ersten Band finden sich Vorträge, welche die Geschichte der Physik um die Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts beschreiben. Die folgenden Bände werden dann über die neueren Entwicklungen berichten.



**UNIVERSITÄT
HEIDELBERG**
ZUKUNFT
SEIT 1386

ISBN 978-3-946531-37-1



9 783946 531371