

Zur Entwicklung der Atomphysik

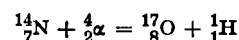
Lord Ernest Rutherford of Nelson zum Gedächtnis

Unerwartet mitten in den Jahren seines Schaffens starb *Rutherford* am 19. Oktober mit 66 Jahren. Durch seinen Tod verliert die Naturwissenschaft einen ihrer erfolgreichsten Vertreter und England einen Mann, der schon zu seinen Lebzeiten als eine Fortsetzung in der Reihe *Newton* und *Faraday* galt. Und so wurden denn auch seine sterblichen Reste unter der Beteiligung ganz Englands in der Westminster Abbey in London in der Nähe von *Newton* beigesetzt, von dessen Leichenbegängnis 1727 *Voltaire*, der damals verbannt in England weilte, berichtete, daß sie ihn begruben, als ob er ein König gewesen wäre, der sein Volk glücklich gemacht hatte.

Rutherford war überreich von der Natur bedacht worden. Zu seinem klaren und scharfen Verstande und seiner intuitiven Voraussicht gesellte sich eine beneidenswerte Vitalität und ein unerschütterlicher Glaube an die Wissenschaft und den Erfolg seiner Arbeit. *Rutherford* wurde 1871 in Neuseeland als Sohn eines Farmers geboren. Als wichtige Stufen seiner Laufbahn sind zu nennen: 1894 Ein Stipendium nach Cambridge zu *J. J. Thomson*; 1898 Research Professor in Montreal, Kanada; 1907 Prof. für Physik in Manchester; 1919 Leiter des *Cavendish-Laboratoriums* in Cambridge als Nachfolger von *J. J. Thomson*. Durch die Verleihung des Lordtitels stieg er zu der höchsten äußeren Ehrenstelle empor, die für einen Wissenschaftler in England erreichbar ist. Das wissenschaftliche Schaffen *Rutherfords* geht fast 40 Jahre bis zu seinem Tode parallel mit dem Fortschritt in der Kernphysik. Waren es in seinen jüngeren Jahren hauptsächlich seine persönlichen Arbeiten, durch die die Fortschritte in der Kernphysik erzielt wurden, so waren im letzten Jahrzehnt seines Lebens seine Schüler, oder besser gesagt, das von ihm mustergültig geleitete *Cavendish-Laboratorium*, Träger der Erfolge.

Die von *H. Becquerel* 1896 beobachtete durchdringende Strahlung, welche von Uranerzen ausgesendet wird, gab den Anstoß zu der Entdeckung der Radioaktivität. *Rutherford* fühlte sich bald zu diesem Arbeitsgebiet hingezogen und blieb ihm sein ganzes Leben lang treu. 1903 stellte er die für die damalige Zeit äußerst kühne Behauptung auf, daß es sich bei den radioaktiven Stoffen um einen freiwillig verlaufenden Atomzerfall handle und belegte diese These durch einige „striking experiments“. Einen großen Teil unserer Kenntnis der α -, β - und γ -Strahlen verdanken wir *Rutherford*. Diese Bezeichnungsweise stammt übrigens auch von ihm. Vieles von seinen Forschungsergebnissen ist inzwischen allgemeiner Bestand unseres Wissens geworden, ohne daß wir uns dessen immer bewußt sind. So wurde auch von *Rutherford* zuerst die Ansicht vertreten, daß die α -Teilchen doppelt ionisierte Heliumatome seien. Die Jahre zwischen den großen Entdeckungen, die auch dem Nichtfachmann bekannt sind, sind voll von ausbauender Forschung, die die Voraussetzung für neue Entdeckungen bildet. Nach Ansicht seines langjährigen Mitarbeiters *Chadwick* sind die Jahre 1907—1914 die größten in *Rutherfords* Leben. In dieser Zeitspanne wurde von ihm der Nachweis erbracht (1911), daß das *Thomsonsche* Atommodell nicht richtig sein könne. Nach *Thomson* sollten die negativen Elektronen in eine positive Kugel eingebettet

sein. *Rutherford*, *Geiger* und *Marsden* schickten durch dünne Metallfolien (insbesondere Goldfolien) α -Strahlen und bestimmten die Winkelverteilung der gestreuten α -Teilchen. Es zeigte sich, daß unter vielen tausend kaum merklich gestreuten α -Teilchen wenige bisweilen um große Winkel beträge gestreut wurden. *Rutherford*, der allen Entdeckungen auf den Grund ging, fand die richtige Erklärung hierfür: Man müsse sich das Atom so aufgebaut denken, daß die ganze Masse und die positive Ladung im Innern des Atoms, im sogenannten Atomkern, zusammengedrängt sei. Der Durchmesser des Kerns ist etwa der 10^{-4} Teil des Atoms. Dieses Modell erklärt vollständig die beobachteten Streuversuche, besteht auch heute zu Recht und bildete die Voraussetzung für das *Bohrsche* Atommodell. Im Jahre 1919 gelang *Rutherford* eine Entdeckung, die seinen Namen auch über die Fachkreise hinaus berühmt machte. Es wurde zum ersten Male eine künstliche Atomzertrümmerung oder richtiger ein Atomaufbau nachgewiesen. Die beim radioaktiven Zerfall ausgesandten α -Teilchen stellten zu jener Zeit die energiereichsten Partikel dar, die man zur Verfügung hatte. Sie sind so energiereich, daß sie bisweilen in leichte Kerne gegen die *Coulombschen* Abstoßungskräfte eindringen und Anlaß zur Kernumwandlung geben. Zuerst wurde „die Kernzertrümmerung“ des Stickstoffs beobachtet. Die Reaktion läuft nach der Gleichung

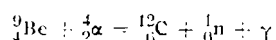


Das α -Teilchen bleibt im Kern stecken und ein H-Strahl wird herausgeschlagen, welcher eine größere Reichweite als die verwendete α -Strahlung besitzt, wodurch denn auch diese Reaktion entdeckt wurde. Das Atom, griechisch *ἀτομον* (d. h. unteilbar), konnte also doch umgewandelt werden. Eine neue Periode in der Kernphysik hatte begonnen.

Etwa um die Zeit 1930 war es den meisten Physikern klar geworden, daß die Forschungsrichtungen, die bis dahin im Brennpunkt des wissenschaftlichen Interesses standen, eine gewisse Abrundung erfahren hatten. Ich nenne nur die Atom- und Molekülspektren, *Raman*-effekt, die Arbeiten bei tiefen Temperaturen usw. In den angelsächsischen Ländern waren daher schon Vorbereitungen getroffen worden, um groß angelegte kernphysikalische Untersuchungen in Angriff zu nehmen. Solche Versuche verlangen große experimentelle Erfahrung, zweckmäßige Organisation, Kontinuität des Institutsbetriebes und große materielle Mittel. Die wichtigsten Entdeckungen wurden in den führenden Instituten auf diesem Arbeitsgebiet und vorzüglich in solchen gemacht, die sich schon vorher mit Radioaktivität oder mit Höhenstrahlung befaßt hatten. Es ist klar, daß unter diesen Umständen das Institut *Rutherfords* den meisten anderen überlegen sein mußte. Es wurde denn auch in der Tat ein beträchtlicher Teil aller großen Entdeckungen der vergangenen Jahre im *Cavendish-Laboratorium* gemacht. So einfach und naheliegend eine Reihe der nun aufzuzählenden Entdeckungen erscheinen mag, so bedurfte es doch einer großen Anzahl exakt ausgearbeiteter Nachweis- und Zählmethoden, um mit ge-

sicherten Ergebnissen vor die Öffentlichkeit treten zu können.

Angeregt durch Versuche von *Bothe* und *Becker*, welche 1930 zeigten, daß einige leichte Elemente — insbesondere das Beryllium — beim Beschießen mit α -Strahlen eine harte γ -Strahlung emittieren, entdeckte *Chadwick* in Cambridge 1932 das Neutron. Das Neutron ist ein Elementarbaustein der Materie von etwa der gleichen Masse wie das Proton und der Ladung Null. Es entsteht beim Beschießen von Beryllium mit α -Strahlen nach der Gleichung



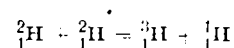
Der exakte Nachweis des Neutrons wurde durch *Wilson-Kammer*-Aufnahmen erbracht. Die Neutronen geben beim Zusammenstoß mit dem Füllgas Wasserstoff der *Wilson-Kammer* diesem einen Teil ihrer kinetischen Energie ab und können so als H-Strahl sichtbar gemacht werden.

Um dieselbe Zeit wurde eine zweite weittragende Entdeckung im *Cavendish-Laboratorium* gemacht. Es gelang dort *Cockcroft* und *Walton*, Kernumwandlungen dadurch herbeizuführen, daß sie Protonen, also Wasserstoffionen, welche mit einigen 100 000 V beschleunigt waren, auf leichte Elemente schossen. Die Kernumwandlungen und die dabei auftretenden Zerfallsprodukte konnten mit elektrischen Zählapparaturen registriert oder durch *Wilson-Kammer*-Aufnahmen direkt sichtbar gemacht werden. Diese Arbeit hat den Anstoß zu vielen Untersuchungen auf der ganzen Welt gegeben. Insbesondere, da sich ergab, daß mit Protonen schon bei viel niedrigeren Spannungen Kernumwandlungen erzeugt werden, als man nach den Erfahrungen, welche durch die Untersuchung von Kernreaktionen beim Beschießen mit α -Strahlen gewonnen waren, erwartet hatte.

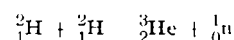
Im Jahre 1934 gelang es dem Ehepaar *Joliot-Curie* in Paris zum ersten Male, künstlich radioaktive Stoffe herzustellen, und zwar auf dem Wege, daß leichtere Elemente mit α -Strahlen beschossen wurden, wobei das α -Teilchen im Kerne stecken bleibt, und ein Neutron oder auch ein Wasserstoffkern herausgeschlagen wird. Der so neu entstehende Kern ist instabil und geht durch Positronenemission in einen stabilen Kern über. Das Positron, — also ein Elektron mit positiver Ladung — war 1932 von *Anderson* in den Vereinigten Staaten bei Untersuchungen der Höhenstrahlen mit der *Wilson-Kammer* nachgewiesen worden. Die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität lag damals in der Luft und wäre unabhängig davon von anderen Autoren auf verschiedenen Wegen kurz darauf entdeckt worden. Der Autor dieser Zeilen kann sich noch genau entsinnen, wie *Rutherford* noch vor der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität bei Kernreaktionen, die durch Beschießen von leichten Elementen mit Protonen von einigen 100 000 V hervorgerufen wurden, nach induzierter Radioaktivität suchte.

Einige Wochen nach der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität durch *Joliot-Curie* wurden derartige Versuche mit Ionen des schweren Wasserstoffs sowohl im *Cavendish-Laboratorium* als auch in den Vereinigten Staaten gemacht, wobei eine Reihe von künstlichen Radioelementen hergestellt wurde. Aber auch mit Hilfe der Neutronen ist es kurz darauf gelungen, künstliche Radioaktivität zu erzeugen. *Fermi* und seine Mitarbeiter zeigten, daß die bei ihrem Entstehungsprozeß energiereichen Neutronen relativ schnell ihre Energie verlieren, wenn sie mit Wasserstoff, der in beliebigen wasserstoffhaltigen Verbindungen gebunden sein kann, zusammenstoßen. Nach etwa 25 Zusammenstößen haben die Neutronen nur noch mittlere thermische Energie der Bewegung. Das Wichtige und Interessante ist nun, daß solche thermischen Neutronen

sehr leicht von Kernen vieler Elemente eingefangen werden; es entstehen unter Aussendung eines γ -Quanten um eine Masseneinheit schwerere Isotope, die entweder stabil sind oder aber, unter Emission eines β -Teilchens, in stabile Isobare mit der nächst höheren Ordnungszahl übergehen. Die soeben erwähnten beiden Möglichkeiten sind die häufigsten. Es können aber auch durch Einfangen von thermischen Neutronen komplizierte Zerfallsreihen ausgelöst werden, wie z. B. im Falle der Transurane. Auch diese Untersuchungen mit thermischen Neutronen haben unsere Kenntnisse der Atomkerne sehr erweitert. Im *Cavendish-Laboratorium* wurde ferner von *Chadwick* und *Goldhaber* der Kern des schweren Wasserstoffes durch harte γ -Strahlung entsprechend einer Energie von 2,8 Millionen V in ein Neutron und ein Proton gespalten, ganz analog der Spaltung von Molekülen in Atome und Radikale durch ultraviolettes Licht. Das Problem des β -Zerfalls erfuhr durch die Arbeiten von *Ellis* aus dem *Cavendish-Laboratorium* große Förderungen. Dem Schreiber dieser Zeilen war es vergönnt, die Kernreaktion vom schweren Wasserstoff mit schwerem Wasserstoff unter der Leitung von *Rutherford* mit *Oliphant* zu untersuchen. Es treten dabei die beiden Reaktionen auf:



und



Rutherford las schon aus den ersten Oscillogrammen mit unfehlbarer Sicherheit die beiden parallel laufenden Mechanismen richtig heraus. Ferner sei das Kälte-laboratorium von *Kapitza* erwähnt, das für ihn auf Veranlassung von *Rutherford* gebaut wurde. Hier wurden die bekannten Untersuchungen mit extrem hohen Magnetfeldern ausgeführt und Helium zum ersten Male durch Arbeitsleistung verflüssigt, wobei angenehmerweise die Apparatur nur mit flüssiger Luft vorgekühlt zu werden brauchte.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, daß in den Jahren 1930—1935 sich eine Entwicklung in der Physik vollzogen hat, welche nicht ihresgleichen hat, und daß das *Cavendish-Laboratorium* mit an erster Stelle zu nennen ist. Die Jahre nach 1935 brachten keine neuen Großtaten, sie sind vielmehr dadurch ausgezeichnet, daß die großen Entdeckungen ausgebaut und qualitative Ergebnisse durch quantitative ergänzt werden.

Die Institute, denen große Mittel zur Verfügung stehen, sind im allgemeinen darauf bedacht, noch höhere Spannungen herzustellen oder durch Kunstgriffe Ionen noch stärker zu beschleunigen, um mit deren Hilfe neue Kernreaktionen zu erzwingen. Aber je energiereicher die Teilchen werden, eine desto größere Mannigfaltigkeit der Reaktionsmöglichkeiten im Kerne tritt ein, so daß auf diesem Gebiet noch viel Arbeit zu leisten ist. *J. J. Thomson* schreibt daher in seinem Nachruf für *Rutherford*, daß er es für eine der größten Tragödien in der Geschichte der Wissenschaft halte, daß *Rutherfords* Tod gerade in dem Augenblick erfolgte, in dem ihm durch die Fertigstellung von leistungsfähigeren Hochspannungsanlagen neue Forschungsmöglichkeiten eröffnet waren.

Aber trotz allen Fortschrittes harren noch wichtige und naheliegende Fragen der Beantwortung. So ist es noch nicht gelungen, Protonen in Neutronen und umgekehrt umzuwandeln; das Neutrino, ein Teilchen mit der Ladung Null und der Ruhmasse Null oder von Bruchteilen einer Elektronenmasse, dessen Emission an e^+ - oder e^- -Zerfall gekoppelt sein soll, hat sich bis jetzt einem direkten experimentellen Nachweis entzogen. Wir sind noch nicht in der

Lage, Positronen in nennenswerter Intensität herzustellen. Die jeden Menschen interessierende Frage nach der Entstehung der Elemente können wir zurzeit nur sehr mangelhaft beantworten, und die theoretische Behandlung sogar relativ einfacher Kernprobleme liegt noch sehr im argen.

Es ist hoffnungslos, schon jetzt voraussehen zu wollen, zu welchen praktischen Ergebnissen der Ausbau der in jüngster Zeit eingeschlagenen Arbeitsrichtung in der Kern-

physik uns führen kann. Inmerhin sind auch jetzt schon die greifbaren praktischen oder auf andere Wissensgebiete anwendbaren Ergebnisse nicht bedeutungslos. Es ist z. B. möglich, mit den Hochspannungsanlagen sehr starke künstlich radioaktive Präparate herzustellen, die für spezielle Fälle den natürlichen radioaktiven Elementen vorgezogen werden dürften, und die außerdem neue Wege der biologischen Forschung eröffnen. *Harteck.* [A. 126.]

Photographie als Wissenschaft

Zum 70. Geburtstag von Robert Luther

Die Frage, ob die Photographie eine selbständige Naturwissenschaft oder eine Helferin der anderen Wissenschaften ist, wurde im Jahre 1908 von *Robert Luther* beantwortet, als er, vierzigjährig, das neu gegründete Wissenschaftlich-Photographische Institut an der Technischen Hochschule Dresden in seine Hand nahm. Er hatte eine vielseitige Ausbildung erfahren und sich durch eine beträchtliche Zahl wertvoller Arbeiten auf dem Gebiete der physikalischen Chemie und der Elektrochemie einen Namen gemacht. Wenn er auf Grund der hierbei gewonnenen Erfahrungen sich entschloß, seine Arbeitskraft zunächst auf Fragen der allgemeinen Photochemie, dann — noch enger — auf die Photographie zu konzentrieren, so mag daraus geschlossen werden, wie wichtig ihm schon damals eine wissenschaftliche Durchdringung dieses Arbeitsgebietes erschien.

Der heutige Tag, an dem *Luther* sein siebenzigstes Lebensjahr vollendet und an dem wir das Werk der dreißig Jahre, die seitdem vergangen sind, in Kürze überblicken wollen, kann keinen Zweifel daran lassen, daß der Weg, den zu gehen er sich damals entschloß, der richtige war.

Robert Luther, am 2. Januar 1868 in Moskau geboren, wurde nach Vollendung seiner Ausbildung in Dorpat, St. Petersburg und Leipzig Assistent bei *Wilhelm Ostwald* in Leipzig. Hier blieb er nach der im Jahre 1899 erfolgten Habilitation, der Ernennung zum a. o. Professor (1904) und der Übernahme der Leitung der Photochemischen Abteilung des Instituts (1906) bis zu seiner Berufung nach Dresden im Jahre 1908. Aus der Leipziger Zeit stammen insbesondere wichtige Arbeiten aus dem Gebiete der Elektrochemie. Man verdankt ihm die Konstruktion eines leicht herstellbaren, dabei hochempfindlichen Capillarelektrometers, mit dessen Hilfe er eine große Reihe von Potentialmessungen anstellte; sie finden sich in einer von ihm gemeinsam mit *Abegg* und *Auerbach* herausgegebenen Abhandlung „Messung elektromotorischer Kräfte galvanischer Ketten“ zusammengestellt. Ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeit bestand in der Aufstellung der als „*Lutherscher Satz*“ bekannten Beziehung; der Satz erlaubt die Berechnung der Spannung von Oxydations- und Reduktionsketten aus den Normalpotentialen des beteiligten Ions in den beiden an der Kette beteiligten Wertigkeitsstufen. Bezeichnet man die Wertigkeitsstufen mit m und n (z. B. für Cr^{+++} $m = 3$, für

Cr^{++} $n = 2$), die Normalpotentiale mit E_m und E_n (z. B. für Cr^{+++} $E_m = +0,51$, für Cr^{++} $E_n = +0,56$) so berechnet sich nach *Luther* das Reduktionspotential $E_{m,n}$ (z. B. $\text{Cr}^{+++} \rightarrow \text{Cr}^{++}$) aus der Formel

$$E_{m,n} = \frac{m \cdot E_m - n \cdot E_n}{m - n}$$

(im Beispiel $E_{m,n}$ berechnet $+0,41$, gefunden ebenfalls $+0,41$).

In die Leipziger Zeit fällt auch die Bearbeitung des erstmalig von *Ostwald* herausgegebenen „Hand- und Hilfsbuches zur Ausführung physikochemischer Messungen“ in zweiter Auflage, die, wie *Ostwald* im Vorwort schreibt, „in vieler Hinsicht ein neues Buch geworden“ ist.

Weiterhin beschäftigte sich *Luther* mit Studien über die Kinetik chemischer Reaktionen. Er wurde hierdurch auf photochemische Themen geführt, die er etwa seit der Jahrhundertwende intensiv bearbeitete. Erwähnt sei seine gemeinsam mit *F. Weigert* durchgeführte Untersuchung über die Polymerisation des Anthracens zu Dianthracen. Das Gleichgewicht zwischen diesen beiden Verbindungen wird durch Licht verschoben, und es stellt sich ein von der angewandten Beleuchtungsstärke abhängiger Gleichgewichtszustand ein, der dann erreicht ist, wenn in der Zeiteinheit ebenso viele Molekeln der polymeren Verbindung durch Licht entstehen, wie gleichzeitig wieder zerfallen. Als weiteres Beispiel dieser Forschungsrichtung diene seine (mit *Forbes*) ausgeführte Arbeit über die Lichtreaktion zwischen Chinin und Chromsäure. Aus den Ergebnissen konnte später *Bodenstein* berechnen, daß bei hinreichender Chromsäurekonzentration ein absorbiertes Quant eine Chininmolekel umzusetzen vermag.

Noch heute sehr lesenswert ist *Luthers* Vortrag über „Aufgaben der Photochemie“ (1905). Er legt hier dar, daß von den 200 Billionen PS, die die Erde dauernd von der Sonne empfängt, nur etwa drei Millionstel photochemisch von den Pflanzen ausgenutzt werden, während der Rest die Erde verläßt, ohne nützliche Arbeit geleistet zu haben. Freilich sind wir einem Zeitalter der technischen Photochemie, von dem *Luther* spricht, heute noch nicht näher als vor 30 Jahren.

Schon in der Leipziger Zeit finden wir *Luther* mit rein photographischen Themen beschäftigt. Von seinem Interesse für dieses Gebiet zeugt seine schon 1899 verfaßte



Photo: Hugo Erfarth, Köln