

Das Neutron, ein neuer Atom- baustein.

Von

Prof. Dr. Gerhard Kirsch.

Vortrag, gehalten am 1. Februar 1933.

Vor Jahresfrist wurde eine neue Art von Teilchen entdeckt, die Neutronen. Die sehr kleinen, einzelnen Teilchen, aus denen die Atome aufgebaut sind, können wir im allgemeinen nur dadurch nachweisen, daß sie mit bedeutender Energie begabt sind, daß sie eine verhältnismäßig große lebendige Kraft besitzen, die sie instand setzt, meßbare Wirkungen auszuüben. An solchen rasch bewegten Teilchen konnten wir schon lange die beim radioaktiven Zerfall aus den Atomen ausgeschleuderten α -Teilchen und β -Teilchen. Die α -Teilchen sind bekanntlich positiv geladen; ihre Ladung und ihre Masse charakterisieren sie als Kerne von Heliumatomen, Kerne des zweiten Elements im System der chemischen Elemente. Die β -Teilchen sind dasselbe wie die negativ geladenen leichten Elektronen, die die Atomkerne umgeben und aus denen also die Elektronenhülle der Atome besteht. Hiezu kamen noch seit Entdeckung der Atomzertrümmerung die H-Teilchen oder Protonen, die mit den Kernen des leichtesten Elements, des Wasserstoffes, identisch sind; deren Ladung ist positiv, ihre Masse, in Atomgewichtseinheiten ausgedrückt, ungefähr gleich eins.

Auch die neuentdeckten Neutronen traten uns bis jetzt nur als Bruchstücke von Atomen bei Atom-

zertrümmerungsvorgängen entgegen. Ich möchte daher zunächst das Wesentlichste über diese Vorgänge, über die hier ja bereits wiederholt berichtet wurde, in Erinnerung bringen: Veränderungen in der Elektronenhülle der Atome haben stets nur vorübergehenden Charakter, ob es sich nun um Anregung, d. h. um Aufnahme von Energie handelt, die wieder ausgestrahlt wird, oder um die Abtrennung eines Elektrons aus der Elektronenhülle, eine sogenannte Ionisierung des Atoms, die alsbald wieder durch Einfangen eines Elektrons rückgängig gemacht wird. Solche Vorgänge können u. a. auch durch Stöße eingeleitet werden von geladenen Teilchen, etwa Elektronen, die ihre lebendige Kraft, ihre kinetische Energie beim Durchfallen eines elektrischen Feldes von nur einigen Volt bis ca. 100.000 Volt — je nach Art des einzuleitenden Vorganges — erhalten haben; in diesem Sinn ist es üblich, die Energietönung eines Vorganges auch in Elektronenvolt auszudrücken.

Wollen wir nun Veränderungen am Atomkern erzielen, der durch starke elektrische Felder geschützt ist — zufolge seiner mehr oder weniger großen Ladung —, und hiedurch eine *A t o m v e r w a n d l u n g* bewirken, so müssen wir im allgemeinen bedeutend größere Energien — einige Millionen Elektronvolt — ins Feld führen. Elektrische Felder dieser Größe können wir erst in allerjüngster Zeit erzeugen und experimentell handhaben, und die auf diesem Weg erreichten Erfolge betreffend Atomzertrümmerung sind

noch sehr spärlich. Die Natur stellt uns aber die Energie in der nötigen Konzentration als kinetische Energie einzelner Teilchen ja schon länger selbst zur Verfügung in den α -Strahlen aus den radioaktiven Elementen, deren atomzertrümmernde Wirkungen 1919 von Rutherford entdeckt wurden.

Die Methoden, deren wir uns bei Untersuchungen auf diesem Erscheinungsgebiet bedienen und die rasch fliegende Einzelteilchen nachzuweisen gestatten, sind im wesentlichen folgende:

Die *Szintillationsmethode*, bei der der kurz dauernde Lichtblitz, das momentane, punktförmige Aufleuchten beim Auftreffen eines raschen Teilchens auf gewisse Substanzen, wie z. B. Zinksulfid, Zinksilikat oder Diamant, beobachtet wird.

Die *Nebelstrahlmethode* nach C. T. R. Wilson, bei der durch plötzliche Expansion die feuchtigkeitsgesättigte Luft in einer glasgedeckten Kammer rasch abgekühlt und dadurch an Feuchtigkeit übersättigt wird, so daß an den in diesem Augenblicke gebildeten Ionen Kondensation in kleinen Tröpfchen stattfindet. Bei kräftiger seitlicher Beleuchtung werden hiedurch die Bahnen schneller Teilchen als feine weiße Nebelfäden sichtbar.

Die *photographische Methode* besteht darin, die Teilchen — möglichst streifend — auf die Emulsion einer photographischen Platte fallen zu lassen. Die im großen und ganzen geradlinig verlaufenden Bahnen schwerer Korpuskularstrahlen, näm-

lich von α -Teilchen und Protonen, markieren sich nach der Entwicklung als Reihen schwarzer Silberkörner.

Die elektrischen Methoden, bei denen die in einem Gasraum, gewöhnlich in Luft, durch Ionisierung freigemachten Ladungen gemessen werden, waren anfangs mehr qualitativer Art, indem diese Ladungen in einem sehr starken elektrischen Feld zur Auslösung einer ganzen Ionenlawine durch Ionenstoß ausgenützt wurden. Eine Unterscheidung etwa der Partikelgattung oder Messung von Reichweiten wurde auf elektrischem Weg erst möglich durch die schwierig zu handhabenden empfindlichsten Elektrometer, die auch ohne Verstärkung durch Ionenstoß auf einzelne Teilchen ansprechen, vor allem aber durch Vervollkommnung der auch bei den Rundfunkapparaturen verwendeten modernen Röhrenverstärker, die wir hier in Wien an unseren Instituten auf höchste Leistungsfähigkeit gebracht haben, so daß auch mit relativ schwacher Energie begabte Teilchen nicht nur nachgewiesen, sondern auch noch mit einer gewissen Genauigkeit gemessen werden können.

Da wir hier in Wien dank der eifrigen Zusammenarbeit einer ganzen Gruppe junger Forscher unter der väterlichen Leitung unserer Chefs, Herrn Hofrat Jäger und Herrn Prof. Meyer, über dieses ganze Arsenal von Methoden verfügen, das in zehnjähriger Arbeit aufgebaut wurde, so habe ich dasselbe nach der Entdeckung der Neutronen konzentrisch auf die Erforschung dieses wichtigen neuen Erscheinungsgebiete

tes eingesetzt und will Ihnen über unsere Arbeiten auf diesem Gebiete berichten.

Die Entdeckungsgeschichte der Neutronen ist folgende: Vor ungefähr einem Jahre beobachteten I. Curie, die Tochter des Ehepaares Curie, der Entdecker des Radiums, und ihr Gatte F. Joliot den Effekt der durchdringenden Strahlen, die von den α -Strahlen des Poloniums in Beryllium ausgelöst werden. Man schreibt dieselben einer Anregung der Atomkerne des Berylliums zu und glaubte, es wegen ihrer Fähigkeit, mehrere Zentimeter Blei zu durchdringen, ausschließlich mit einer γ -Strahlung, einer elektromagnetischen Wellenstrahlung, zu tun zu haben. Curie und Joliot machten nun die merkwürdige Entdeckung, daß eine bedeutende Zunahme des Ionisationsstromes in ihrer Ionisationskammer zu verzeichnen sei, wenn unmittelbar vor der Kammer eine Paraffinschicht, also eine wasserstoffhaltige Schicht, angebracht war. Die durchdringende Strahlung aus Beryllium besaß also die Fähigkeit, Protonen in rasche Bewegung zu versetzen. Curie und Joliot faßten dies zunächst als einen sogenannten Comptoneffekt auf, d. h. als mechanischen Stoß der elektromagnetischen Strahlungsquanten, aus denen die γ -Strahlung besteht, auf Protonen. Von anderen Schwierigkeiten abgesehen, die dieser Auffassung anhafteten, hätte die γ -Strahlung die ungeheure Energie von 50 Millionen Elektronvolt pro Quantum haben müssen, um den beobachteten Reichweiten der in Bewegung gesetzten

Protonen zu genügen; mit einer solchen Energie, bzw. Frequenz war aber die beobachtete, dafür wieder viel zu geringe Durchdringungsfähigkeit durch Blei nicht in Einklang zu bringen.

J. Chadwick in Cambridge unternahm nun eine Massenbestimmung der neuen Strahlung, die anscheinend für das Curie-Joliot-Phänomen verantwortlich zu machen war, indem er dieselbe auf zwei verschiedene Stoßpartner wirken ließ, einmal auf Wasserstoff und dann auf Stickstoff. Er fand, daß auch die Kerne von Stickstoffatomen in rasche Bewegung versetzt werden, falls Stickstoff der durchdringenden Strahlung aus α -bestrahltem Beryllium ausgesetzt wird, und maß auch bei diesem Element, dem Stickstoff, die maximal mitgeteilte Energie, bzw. Reichweite. Auf beide Stoßvorgänge wendete er die aus dem Impulsatz abgeleitete Gleichung

$$V = 2v \frac{m}{m + M}$$

an, in der v und m Geschwindigkeit und Masse der unbekannt Strahlen, V und M Geschwindigkeit nach dem Stoß und Masse der Stoßpartner bedeuten. In den die beiden Vorgänge beschreibenden Gleichungen kommen nur die beiden Unbekannten v und m vor, die daraus bestimmt werden können. Chadwick fand für die neue Strahlung, daß sie die Masse 1 habe, also aus Teilchen von ungefähr der Masse des Protons bestehe. Teilchen dieser Masse können mehrere Zentimeter Blei unmöglich durchdringen, wenn es sich um

Protonen, also um Teilchen mit Ladung handelt. Würde den Teilchen aber die Ladung fehlen, also dasjenige Organ, mit Hilfe dessen sie mit den Teilchen, aus denen die Materie besteht, in Wechselwirkung treten — so schloß Chadwick —, wären sie elektrisch neutral, also Neutronen, dann wäre ihre Durchdringungsfähigkeit trotz der großen Masse zu verstehen, und das gelegentliche Inbewegungsetzen von Atomkernen mag einer anderen Art von Kräften als dem Coulombschen Kraftfeld der Ladung zuzuschreiben sein, die erst auf allerkleinste Abstände wirksam werden.

Ich bin in der glücklichen Lage, Ihnen die merkwürdige Erscheinung, die zur Entdeckung der Neutronen führte, hier in augenfälliger Weise vorzuführen. Der Apparat hier vor mir auf dem Tisch ist eine Wilsonsche Nebelkammer der vorhin erwähnten Art, in der bei rascher Expansion hindurchfliegende schwere Korpuskularstrahlen, etwa α - oder H-Teilchen, als geradlinige feine Nebelstreifen sichtbar werden. Der radioaktive Forscher ist gewöhnt, daß bei Annäherung einer Strahlenquelle solche Strahlungen nur dann in der Kammer auftreten, wenn ein Fenster mit dünner Verschußfolie — etwa einem Glimmer von $\frac{1}{100}$ mm Dicke — vorhanden ist. Wir kennen keine derartige Strahlung, die z. B. das Deckglas von 2 mm Dicke durchdringen könnte. Sie werden begreifen, daß es unsereinen geradezu wie Zauberei berühren muß, wenn bei Annäherung dieses kleinen, stanniol-

umhüllten Scheibchens aus Beryllium, auf dem ein starkes Poloniumpräparat liegt (und das ich ohne weiters auch in der Spitze eines Zauberstabes verstecken könnte), auf einmal bei jeder oder jeder zweiten Expansion die Atome zentimeterweit fliegen. Was Sie hier sehen, sind Protonen. Wasserstoffatomkerne, die von den Neutronen im wesentlichen aus der Gelatineschicht ausgelöst werden, die sich zur Feuchthaltung der Kammer auf der Innenseite des Deckglases befindet.

Mit dieser Apparatur haben wir zunächst die Anregungsfunktion der Neutronenstrahlen aus Beryllium untersucht, d. h. den Verlauf der Anregung des Vorganges entlang der Bahn der α -Teilchen. Auf dem Deckglas stand die kleine Dose, die ein Berylliumscheibchen und in einem gewissen Abstand davon das Poloniumpräparat enthielt, das rund 500 Millionen α -Teilchen pro Sekunde lieferte. Es wurden nun die in der Kammer bei einer gewissen Zahl von Expansionen auftretenden Protonenbahnen gezählt und dann die Absorption im Wege der das Beryllium treffenden α -Strahlen in kleinen Stufen erhöht und die Änderung des Effekts der Neutronen im Inneren der Expansionskammer verfolgt. Dabei zeigte sich, daß nicht die ganze Bahn der α -Teilchen im Beryllium gleich wirksam ist, sondern daß bei sukzessiver Erhöhung der Absorption, also sukzessiver Verkürzung der α -Bahnen, allmählicher Ausschaltung der Teile der Bahnen, in denen die α -Teilchen größere Geschwindigkeit besitzen,

sich der Effekt nur an gewissen Stellen sprunghaft ändert. Nur α -Teilchen mit ganz bestimmten Geschwindigkeiten sind wirksam, und zwar fanden sich zunächst vier derartige kritische Geschwindigkeiten im Bereiche der Polonium- α -Teilchen. Ein derartiger unstetiger Verlauf der Anregungsfunktion ist uns bereits von anderen ähnlichen Atomzertrümmerungsprozessen her bekannt.

Im weiteren Verlauf wurden Anregungskurven der Neutronen aus Beryllium auch mit einem anderen Nachweismittel, einer elektrischen Zählordnung, und zwar einem Geigerschen Stoßionisationszähler, aufgenommen. Hier zeigte sich im Bereiche geringerer α -Strahlgeschwindigkeiten noch eine fünfte Anregungsstelle, die vermutlich so langsamen Neutronen entspricht, daß sie nur Protonen von 1 mm Reichweite oder weniger erzeugen. Solche Protonen werden in der Wilsonkammer nicht mehr erfaßt. Im elektrischen Zähler dagegen, der innen mit Paraffin als protonenhaltiger Substanz ausgekleidet ist, liefern sie einen vollen Effekt, weil sie bei dem dort von uns verwendeten niederen Druck ebenso den ganzen Zählerraum durchlaufen wie schnellere Protonen.

Sehr interessante Ergebnisse lieferte die Aufnahme derselben Anregungskurven mit demselben elektrischen Zähler, aber unter Einschaltung von einigen Millimetern Blei als Absorption im Wege der Neutronen. Der Effekt mancher Neutronengruppen nahm dabei zu, der anderer dagegen nahm ab. So

wurde z. B. die mit dem elektrischen Zähler neu entdeckte fünfte Gruppe in der Intensität ihrer Wirkung herabgesetzt, was die Vermutung, es handle sich um relativ langsame Neutronen, wesentlich stützt. Daß die zu anderen Anregungsstellen gehörigen Effekte sich unter denselben Umständen verstärkten, mag darauf zurückzuführen sein, daß die Bleischicht die Neutronen nur verlangsamte, ohne ihre Anzahl merklich herabzusetzen, und daß langsamere Neutronen ebenso wie langsamere α -Teilchen auf dem gleichen Weg eine größere Anzahl Protonen in Bewegung setzen als schnellere. Die Messung des Effekts geschah ja durch eine Zählmethode. Merkwürdigerweise ist mit der Anregung durch schnellere α -Strahlen durchaus nicht immer die Emission auch schnellerer Neutronen verbunden, sondern die Verhältnisse sind gänzlich regellos.

Diese Befunde ließen erwarten, daß die Neutronen aus Beryllium auch aus Gruppen diskreter Geschwindigkeit zusammengesetzt sein würden, daß nämlich zu jeder bestimmten Anregungsenergie auch eine oder mehrere diskrete Emissionsenergien gehören würden. Die diesbezüglichen Ergebnisse nach der photographischen Methode bestätigten dies auch. In der Nähe der Emulsionsoberfläche einer photographischen Platte wurde die Neutronenquelle, Beryllium + Polonium, aufgestellt; eine dünne Paraffinschicht über der Quelle diente als protonenhaltige Substanz, aus der die Protonen streifend auf die Platte fielen; bei anderen

Versuchen ohne Paraffin lösten die Neutronen nur Protonen aus dem Wasserstoffgehalt der Gelatine aus. Die Ausmessung der Länge von einigen tausend als Punktfolgen unter dem Mikroskop erkennbaren Protonenbahnen ließ tatsächlich das Vorhandensein einer größeren Zahl von Gruppen bestimmter Reichweite hervortreten. Die schnellsten dabei auftretenden Protonen hätten in Luft von Atmosphärendruck eine Reichweite von ungefähr einem Meter gehabt. Es ist selbstverständlich, daß Protonen, die von Neutronen exzentrisch gestoßen werden, von diesen entsprechend den Stoßgesetzen nur einen Teil der Bewegungsgröße übernehmen und durch den Winkel, unter dem ihre Bahn zur Verbindungslinie mit der Neutronenquelle steht, gekennzeichnet sind. Aber davon abgesehen haben wir für Neutronen, die mit bestimmter Geschwindigkeit vom Beryllium emittiert werden, sehr verschiedene Geschwindigkeiten zu erwarten, je nach dem Winkel, den α -Stoß und Neutronenflugbahn miteinander bilden; denn der emittierende Berylliumatomkern erhielt ja eine gewisse Geschwindigkeit vom α -Teilchen mitgeteilt, die sich je nach dem erwähnten Winkel zum Teil oder ganz zu der Emissionsgeschwindigkeit addiert oder von ihr subtrahiert. Anzunehmen, daß die Neutronen von ruhenden Berylliumatomen emittiert werden, geht auch nicht an, denn der Effekt einer Neutronenquelle „vorwärts“ und „rückwärts“ in bezug auf die α -Strahlenrichtung ist wiederholt direkt verglichen und stets

deutlich verschieden befunden worden. Angesichts aller dieser Beobachtungen ist es sehr merkwürdig, daß unsere Reichweitenstatistiken stets ziemlich deutliche Reichweite-, also auch Geschwindigkeitsgruppen der Protonen (bzw. Neutronen) ergaben, und es bleibt wohl nichts anderes übrig, als in bezug auf die α Stoßrichtung ziemlich scharf gerichtete Neutronenemission anzunehmen.

Wir haben mit Hilfe der hier vor uns stehenden kleinen Wilsonkammer, die, automatisch repetierend, leicht 100 Expansionen in der Minute leisten kann, auch die sehr kleinen Effekte der Neutronenemission aus einer großen Zahl anderer Elemente untersucht und (unter Bestrahlung mit Polonium- α -Teilchen) bei den meisten in der Größenordnung von ca. 1% des Berylliumeffekts gefunden. Das Beryllium und seine Neutronenemission ist also nicht absolut, sondern nur in quantitativer Hinsicht besonders ausgezeichnet.

Die starken, uns hier in Wien zur Verfügung stehenden Poloniumpräparate und die damit erzielbare, relativ reichliche Neutronenstrahlung aus Beryllium ermöglichten es uns auch, Atomzertrümmerungswirkungen der neuen Strahlung zu studieren. Dies geschah mit Hilfe der Szintillationsmethode. Beryllium + Polonium, die Neutronenquelle, wurde auf eine Schicht, ein Blech oder dergleichen, der auf Zertrümmerung durch Neutronen zu untersuchenden Substanz gelegt. Gleich darunter befand sich der Zinksulfidschirm. Da natürlich die ganze An-

ordnung, Testsubstanz, Zinksulfid und Glasunterlage derselben, von den Neutronen durchhagelt werden und alle zum Effekt beitragen, so braucht es ziemlich große Versuchsreihen und Variation der Bedingungen, um den beobachteten Effekt in seine Teileffekte zerlegen zu können. Ein geradezu prachtvolles Schauspiel ist es, eine starke Neutronenquelle auf eine dicke Zinksulfidschicht wirken zu lassen. Hier ist dann die zu zertrümmernde Substanz (Zink und Schwefel) mit dem Nachweismittel für die ausgeschleuderten Atomtrümmer identisch, und man kann den Effekt in einer ziemlich dicken Schicht beobachten, da die Szintillationen sehr kräftig sind. Da Zink unter allen untersuchten Elementen den geringsten Zertrümmerungseffekt gab, so ist der Löwenanteil des prachtvollen Feuerwerks von mehreren großen Szintillationen pro Sekunde wohl dem Schwefel zuzuschreiben.

Wie schon eingangs erwähnt, bedeutet die Entdeckung des Neutrons die Entdeckung eines neuen Bausteins der Atomkerne. Zum Elektron, das uns schon in der Atomhülle entgegentritt, zum α -Teilchen aus den radioaktiven Elementen, das uns aber auch schon als Heliumkern, Kern des zweiten Elements im System, begegnet, zum H-Teilchen oder Proton, das aus Atomzertrümmerungsprozessen resultiert und mit dem Kern des leichtesten Elements, des Wasserstoffes, identisch ist, kommt nun noch das Neutron als Atomkernbaustein, das aber im Gegensatz zu allen anderen schon beobachteten Kernbausteinen uns nicht auch

schon anderwärts begegnete, sondern etwas völlig Neues darstellt. Wenn wir vom Standpunkt der Systematik der Materie aus versuchen, das Neutron einzuordnen, so zeigt es sich, daß es zugleich das nullte Element, im System der Elemente vor dem Wasserstoff einzuordnen, den Kern dieses Elements von der Kernladung Null und zugleich auch das vollständige Atom desselben darstellt, da der Kern keines Hüllenelektrons mehr bedarf, um ein elektrisch neutrales Gebilde zu ergeben. Soviel wir wissen und zu erwarten haben, besitzt diese neue Atomart ebensowenig oder noch weniger eine chemische Affinität wie die Edelgase vom Helium bis zur Emanation. Seine Entdeckung bedeutet also eine Bereicherung des Systems der Elemente an einem unerwarteten Punkt und die Entdeckung des siebenten Edelgases

NEUTRON.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1933

Band/Volume: [73](#)

Autor(en)/Author(s): Kirsch Gerhard Theodor

Artikel/Article: [Das Neutron, ein neuer Atombaustein. 41-56](#)