

Werk

Titel: Wege zur Spektroskopie der Atomkerne

Autor: Bothe, W.

Jahr: 1937

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?251726223_1937_0018|log7

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Wege zur Spektroskopie der Atomkerne.

Von

W. Bothe in Heidelberg.

Unsere exakten Kenntnisse vom Aufbau der äußeren Elektronenhülle der Atome verdanken wir fast ausschließlich der Spektroskopie, deren Umfang sich freilich heute weit über den ursprünglichen Wortsinn hinaus erstreckt. Mit der genauen Ausmessung der Spektren ist wenig gewonnen, das Ziel ist die Ermittlung von möglichen Energiezuständen des Atoms, von „Termen“ und „Termensystemen“. Hierzu können auch Messungen dienen, bei denen das Spektrum selbst gar nicht in Erscheinung tritt, wie Elektronenstoßversuche.

Es liegt nahe, dasselbe Rüstzeug zu benutzen, um auch in den Bau der Atomkerne einzudringen, denn wir kennen schon eine ganze Reihe verschiedenartiger Äußerungen der Atomkerne, sowohl der schweren, spontan radioaktiven, als auch der leichteren, künstlich beeinflussbaren, die es nur genau zu erforschen und auszuwerten gilt. Verschiedene Umstände, wie die große Homogenität der natürlichen α - und γ -Strahlen lehren uns in der Tat, daß scharf definierte Energiezustände oder „Terme“ auch in den Kernen existieren. Damit ist grundsätzlich die Möglichkeit einer Kernspektroskopie gegeben, die allerdings mit millionenfach vergrößerten Energiemaßstäben gegenüber der Spektroskopie des sichtbaren Lichtes zu arbeiten hat, denn um sovielmal größer sind die Energiebeträge, die im Kern vorkommen, als die in der äußersten Region der Elektronenhülle. Dies bedeutet natürlich wesentliche Änderungen in der experimentellen Methodik, und zwar meist Erschwerungen. Dazu treten dann noch Intensitätsschwierigkeiten, und so steckt die Kernspektroskopie heute noch in den Anfängen. Aber die einzuschlagenden Wege zeichnen sich schon klar ab.

Was zunächst die gewöhnlichen radioaktiven Atome betrifft, so besteht nicht viel Aussicht, daß sie uns über die Grundgesetze des Kernbaus viel Aufschluß geben, weil sie die schwersten sind, daher den verwickeltsten Bau besitzen und Strahlen von meist recht unübersichtlicher Struktur aussenden.

Die leichteren Atomkerne können bekanntlich künstlich dazu gebracht werden, sich zu äußern, indem man schnell bewegte Teilchen (α -Strahlen, Protonen, Deuteronen, Neutronen) oder auch kurzwelliges Licht (γ -Strahlen) auf sie wirken läßt. Diese Äußerung kann wieder in der Aussendung von Teilchenstrahlen (Rutherford 1919) oder γ -Licht (BOTHE u. BECKER 1930) oder beidem bestehen. Beide Strahlenarten bieten Hinweise auf den Bau des Kernes, sofern man weiß, welche Kernreaktion vorliegt. Dies ist freilich manchmal nicht ganz leicht festzustellen, weil viele chemisch einheitliche Substanzen aus verschiedenen Kernarten (Isotopen) zusammengesetzt sind, und weil häufig verschiedene Kernreaktionen unter denselben Bedingungen parallel ablaufen.

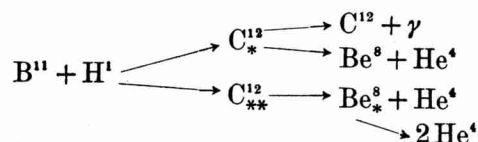
Ein sehr häufiger Typ ist die „Austauschreaktion“, bei welcher der Kern ein eingeschossenes Teilchen (z. B. α -Teilchen) einfängt und dafür ein anderes Teilchen (z. B. Proton) ausstößt. In solchen Fällen haben die ausgesandten Teilchen unter definierten Versuchsbedingungen ein „Linienspektrum“, d. h. sie bestehen aus einer oder mehreren Gruppen von scharf definierter Energie, wie zuerst beim Bor (BOTHE) und Aluminium (POSE) festgestellt wurde. Dieser Erscheinung wurde die folgende Deutung gegeben. Der umgewandelte Kern kann in verschiedenen Energiezuständen zurückbleiben. Je höher der Energiegehalt des umgewandelten Kernes ist, umso weniger Energie bleibt für das ausgesandte Teilchen verfügbar. Indessen wird nachträglich der umgewandelte Kern stets in den energieärmsten, den Grundzustand übergehen, indem er die überschüssige Energie als Licht (γ -Strahlen) aussendet. Hieraus ergeben sich sofort Energie- und Intensitätsbeziehungen zwischen γ - und Teilchenstrahlen, die sich in den wenigen Fällen, welche genügend genau erforscht werden konnten, auch bestätigt haben. Auch konnte durch sogen. Koinzidenzversuche der unmittelbare experimentelle Beweis erbracht werden, daß γ - und Teilchenstrahlen in der zu erwartenden Weise *zeitlich* miteinander gekoppelt sind (v. BAeyer, MAIER-LEIBNITZ). Alle diese Wechselbeziehungen lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß die γ -Strahlen (wie in der gewöhnlichen Spektroskopie) die Term-differenzen, die Teilchenstrahlen dagegen unmittelbar die Terme selbst liefern.

Man sieht, daß zwar die Spektroskopie der Teilchenstrahlen unmittelbar an den Kernbau heranführt, daß aber als notwendiges Gegenstück die direkte Spektroskopie der γ -Strahlen hinzutreten muß, zumal man gar nicht sicher sein kann, daß man auf jedem

der beiden Wege alle und dieselben Kernzustände erfaßt. Allerdings machen sich gerade bei der direkten γ -Spektroskopie besonders die schon erwähnten experimentellen Schwierigkeiten bemerkbar, die in der großen Quantenenergie der γ -Strahlen begründet sind. Da es keine Linsen, Spiegel, Prismen und Gitter für γ -Strahlen gibt, muß man schließlich wieder den Umweg über Teilchen (Elektronen) nehmen, welche durch die γ -Strahlen ausgelöst werden. Die Spektren, die man so erhält, sind verwaschen und intensitätsarm. Immerhin gelang es z. B. im Falle „Beryllium + α -Strahlen“, an Hand solcher Messungen ein Termschema aufzustellen, welches mit dem zugehörigen Teilchen- (Neutronen-)spektrum gut zusammenstimmt. Es liegen sogar für diesen Fall schon bemerkenswerte Ansätze für eine quantitative theoretische Deutung dieses Termschemas vor, welches dem gewöhnlichen Kohlenstoff, als dem Endprodukt der Reaktion zuzuordnen ist.

Um einen anderen Reaktionstyp handelt es sich bei Beschießung von Lithium mit α -Strahlen. Hier findet überhaupt keine eigentliche Umwandlung statt, sondern das vorbeifliegende α -Teilchen befördert einfach den Li-Kern in einen höheren Energiezustand, aus welchem er unter γ -Emission wieder in den Grundzustand zurückkehrt (SCHNETZLER). Auch diese γ -Strahlung konnte direkt spektroskopiert werden.

Besonders aufschlußreich sind die Prozesse, die in der Anlagerung eines Teilchens an einen Atomkern bestehen. Beschießt man Bor mit Protonen zunehmender Energie, so beobachtet man, daß plötzlich bei einer Energie von 180000 e-Volt von dem Bor eine γ -Strahlung ausgeht, die ihrerseits die sehr hohe Quantenenergie von 14 Millionen e-Volt besitzt (GENTNER). Dies muß so gedeutet werden, daß ein Proton von 180000 e-Volt gerade resonanzartig von dem Bor-Kern eingefangen werden kann unter Bildung eines hoch angeregten Kohlenstoffkernes, von dem man somit wieder einen „Term“ ermittelt hat. Nebenbei kann übrigens dieser Kern, statt einfach in den Grundzustand überzugehen, auch zerfallen in einen Helium- und einen Berylliumkern, wie das völlig parallele Auftreten von α -Strahlen bestimmter Energie beweist (KIRCHNER, COCKROFT u. LEWIS). Ja es kann sogar unter denselben Versuchsbedingungen noch ein ganz anderer Prozeß eintreten, welcher zum Zerfall des ganzen Systems in drei α -Teilchen führt. Das vollständige Schema dieser Vorgänge läßt sich folgendermaßen hinschreiben, wenn man mit * Anregungszustände bezeichnet:



Dies mag als Beispiel dafür dienen, wie verwickelt solche Kernreaktionen sein können.

Handelt es sich in diesem Falle um den an sich schon länger bekannten Vorgang der „Resonanzeindringung“ eines Teilchens in den Kern, so konnte kürzlich auch der umgekehrte Fall des „Resonanzaustrittes“ durch WILHELMY nachgewiesen werden. Es handelt sich dabei um die Umwandlung von Stickstoff durch schnelle Neutronen, wobei α -Strahlen mit vier verschiedenen Resonanzenergien auftreten, welche wiederum verschiedene Terme des betreffenden Kernes bedeuten.

Auch Neutronen können an Kerne angelagert werden, wobei ein höheres Isotop des Ausgangskernes entsteht. Diese Prozesse, die FERMI zuerst am Auftreten radioaktiver Produkte erkannte, gehen am besten mit sehr langsamen Neutronen. Auch hierbei entstehen wieder γ -Strahlen, die es ermöglichen, solche Prozesse durch das ganze periodische System der Elemente zu verfolgen. In diesem Falle geben die γ -Strahlen Aufschlüsse über die Bindungsenergie eines Neutrons und über die Dichte, mit welcher die Terme verteilt sind, allgemein über die großen Züge, welche den Aufbau der höheren Atomkerne beherrschen. Es gelang FLEISCHMANN, in dieser Richtung sehr interessante Regelmäßigkeiten aufzudecken.

Der dem letztgenannten Prozeß in gewissem Sinne entgegengesetzte besteht darin, daß man durch γ -Strahlen ein Neutron aus dem Kern abspaltet (Kernphotoeffekt). Solcher Fälle waren bis vor kurzem nur zwei bekannt (Deuterium und Beryllium; Chadwick), weil im allgemeinen die verfügbaren γ -Strahlen des Radiums und Thoriums zu weich sind, um die Ablösearbeit für das Neutron zu leisten. Kürzlich ist es aber gelungen, mittels der sehr harten γ -Strahlen von 17 Millionen e-Volt, die man durch Beschießen von Lithium mit Protonen erhält, eine ganze Reihe von photoelektrischen Kernumwandlungen nachzuweisen, wobei die Radioaktivität der Endprodukte als Indikator diente (BOTHE u. GENTNER). Auf diese Weise wurden z. T. neue radioaktive Atomarten aufgefunden, wobei besonders ein Punkt in unserem Zusammenhange interessant ist: Es konnte der endgültige Nachweis erbracht werden, daß auch

bei Atomkernen, ähnlich wie bei Molekeln, die Erscheinung der „Isomerie“ auftritt, d. h. es existieren Paare von Kernen, welche genau dieselben Bestandteile enthalten, aber in verschiedener Anordnung. Dabei besteht der Unterschied gegenüber dem Fall verschiedener Anregungszustände desselben Kernes darin, daß die beiden isomeren Kerne nicht ineinander übergehen, ihre Stabilität ist so groß, daß die natürlichen Lebensdauern für β -Zerfall (18 min und 4,2 h bei Br^{80}) nicht davon beeinflußt werden. Mit der Erforschung solcher photoelektrischer Kernumwandlungen dürfte ein weiterer Zugang zu den Gesetzmäßigkeiten des Kernbaus gegeben sein.

Die künftige spektroskopische Erforschung der Atomkerne wird nicht so gerade Wege gehen können wie die gewöhnliche Spektroskopie. Nur durch Kombination verschiedenartigster Gedankengänge und Experimentiermethoden kann man hoffen, zum Ziele zu gelangen.

Institut für Physik am Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische
Forschung, Heidelberg, Mai 1937.
