

Isomere zu stabilen Kernen bei Rhodium und Silber*

Von ARNOLD FLAMMERSFELD

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Tübingen

(Z. Naturforschg. 1, 3—10 [1946]; eingegangen am 31. August 1945)

Mit Hilfe einer Hochspannungsanlage für 200 kV wurden Neutronen erzeugt, indem Deuteronen auf schweres Eis geschossen wurden. Die damit erzielten Neutronen von einheitlicher Energie gestatten, im Gebiet der mittelschweren Kerne nach Kernanregungsprozessen durch Neutronenstoß zu suchen. Beim Rhodium konnte eine bisher noch nicht bekannte Aktivität der Halbwertszeit $T = 48$ Min. gefunden werden, die dem angeregten ^{103}Rh zuzuordnen ist. Beim Silber wurde ein bisher in der Literatur vorhandener Widerspruch aufgeklärt und gezeigt, daß ein bereits bekannter angelegter Zustand des Silberkerns von $T = 40$ Sek. Halbwertszeit durch Kernanregung mit schnellen Neutronen in großer Intensität darstellbar ist.

Nachdem O. Hahn¹ im Jahre 1921 am Beispiel des UZ und UX₂ die merkwürdige Tatsache entdeckt hatte, daß sich zwei Atomkerne trotz gleicher Kernladung und Massenzahl radioaktiv verschieden verhalten können, stand diese, heute Kernisomerie genannte Erscheinung lange Zeit vereinzelt da. Erst viele Jahre später konnten dann im Gebiet der künstlichen Radioaktivität zahlreiche weitere Fälle entdeckt werden, die zeigten, daß Kernisomerie durchaus keine seltene Erscheinung ist.

Unsere heutige, von C. F. v. Weizsäcker² stammende Auffassung nimmt an, daß zwei isomere Atomkerne sich nur durch einen geringen Energiebetrag der Größenordnung 100 KeV unterscheiden, und daß der Zustand mit der höheren Energie infolge gewisser, mit dem Spin zusammenhängender Strahlungsbehinderungen nicht momentan, sondern mit meßbarer Lebensdauer strahlt. Diese Auffassung läßt auch Raum für den sehr interessanten Fall, daß der angelegte Zustand zu einem stabilen Grundzustand isomer ist, d. h. es kann zu einem stabilen Atomkern ein ihm an Massenzahl und Kernladungszahl gleicher existieren, der radioaktiv ist. Ein solcher Fall ist zuerst von M. Goldhaber, R. D. Hill und L. Szilard³ am ^{115}In aufge-

funden worden, und in der Folgezeit sind noch weitere sieben hinzugekommen.

Die Erforschung der Isomerie darf noch keineswegs als abgeschlossen betrachtet werden; vielmehr sind noch viele Probleme ungelöst. Im allgemeinen ist die Untersuchung der Isomerie sehr erschwert durch die Tatsache, daß mindestens einer der isomeren Kerne intensive Strahlung aussendet, die meist wesentlich durchdringender ist als die dem Energieunterschied der beiden entsprechende Strahlung. Von diesen störenden Folgeaktivitäten sind die Isomeren der stabilen Kerne frei, so daß diese ein bevorzugtes Mittel für die Erforschung der Isomerie abgeben werden. Als ganz wesentliches Moment kommt noch hinzu, daß dabei noch der eine Partner des Paares den allgemeinen physikalischen Untersuchungsmethoden zugänglich ist, so daß z. B. der Kernspin und andere Kernmomente untersucht werden können, was für die Kernisomerie von größter Wichtigkeit sein wird, wie bereits eine Untersuchung von J. Mattauch⁴ gezeigt hat.

Eine besonders aussichtsreiche Methode, Isomere zu stabilen Kernen zu erzielen, ist die Anregung durch unelastischen Stoß mit schnellen Neutronen, wobei das Neutron in den Kern eindringt, einen Bruchteil seiner Energie abgibt und mit geringerer Energie als vorher davonfliegt, während der Kern durch die ihm überlassene Energie in einen angeregten Zu-

* Als Habilitationsschrift eingereicht bei der mathemat.-naturwiss. Fakultät d. Universität Berlin.

¹ Ber. Dtsch. chem. Ges. **54**, 1131 [1921]; Z. physik. Chem. **103**, 461 [1923].

² Naturwiss. **24**, 813 [1936].

³ Physic. Rev. [2] **55**, 47 [1939].

⁴ Z. Physik **117**, 246 [1941].



stand versetzt wird (n, n -Prozeß). Mit Hilfe eines solchen Prozesses ist auch der erste Fall einer Isomerie zum stabilen ^{115}In entdeckt worden³. Zur Anregung eines solchen Prozesses müssen die Neutronen eine gewisse Energie haben, die nicht zu groß und nicht zu klein sein darf. Als besonders geeignet erweisen sich die Neutronen des D + D-Prozesses, die bei niedrigen Spannungen gerade die richtige Energie haben und die außerdem den Vorzug einer völlig einheitlichen Neutronengeschwindigkeit besitzen. Mit Beschleunigungsspannungen von 200 kV, wie sie hier verwendet wurden, haben die Neutronen, die senkrecht zum auftreffenden Deuteronenstrahl austreten, eine Energie von 2,4 MeV; diejenigen Neutronen, die in derselben Richtung wie der auftreffende Deuteronenstrahl weiterfliegen, haben eine Energie von 3 MeV. Bei den meisten unserer Versuche befanden sich die bestrahlten Präparate direkt unter der Auftreffstelle; es sind dann also für die Energie der Neutronen rund 3 MeV anzunehmen.

Neutronenquelle

Zur Verfügung stand eine Transformator-Gleichrichter-Hochspannungsanlage in Greinacher-Schaltung der Firma Koch & Sterzel, die 200 kV positiver Spannung gegen Erde lieferte. Diese Hochspannungsanlage wurde bereits von H. Reddemann⁵ für den Aufbau einer D + D-Neutronenquelle verwendet. Von den übrigen Teilen der alten Anlage wie Ionenquelle und Nachbeschleunigungsrohr wurde nichts benutzt, sondern diese wurden den heutigen Erfordernissen entsprechend neu errichtet. Den gewählten Aufbau zeigt Abb. 1. Das Beschleunigungsrohr bestand aus 4 Porzellanringen von 35 cm Durchmesser und 17 cm Höhe, die aufeinander gekittet waren. Dieser vielstufige Aufbau röhrt daher, daß die Porzellane für eine größere Anlage so dimensioniert werden mußten und die kleine Anlage gleichzeitig zum Ausprobieren der Einzelteile diente. Im Innern befanden sich 4 Zwischenlektroden aus durchlöchertem Eisenblech, die zwischen die 2 Porzellanringe mit Pizein vakuumdicht eingekittet waren. In der Mitte jeder Elektrode befand sich die Ionenoptik in Form von Eisenzylinern von 9 cm Durchmesser und 15 cm Höhe. Außen waren auf den Kittflächen der Porzellane runde Aluminiumwülste angebracht, die elektrischen Kontakt mit den Innenelektroden hatten. Längs dieser 4 Aluminiumwülste wurde mittels aufgesetzter Sprühstrecken ein Sprühstrom erzielt, der die betreffenden Elektroden auf einem

Zwischenpotential erhielt. Die oberste dieser Sprühstrecken war beweglich und von Erde mit einem Schnurzug zu betreiben, um die Beschleunigungsspannung der obersten Ionenlinse, die für die Schärfe des Brennflecks die eigentlich maßgebende ist, variabel zu machen. Der oberste Porzellanring war mit einer dicken Eisenplatte verschlossen, auf der die Ionenquelle befestigt war. Die ge-

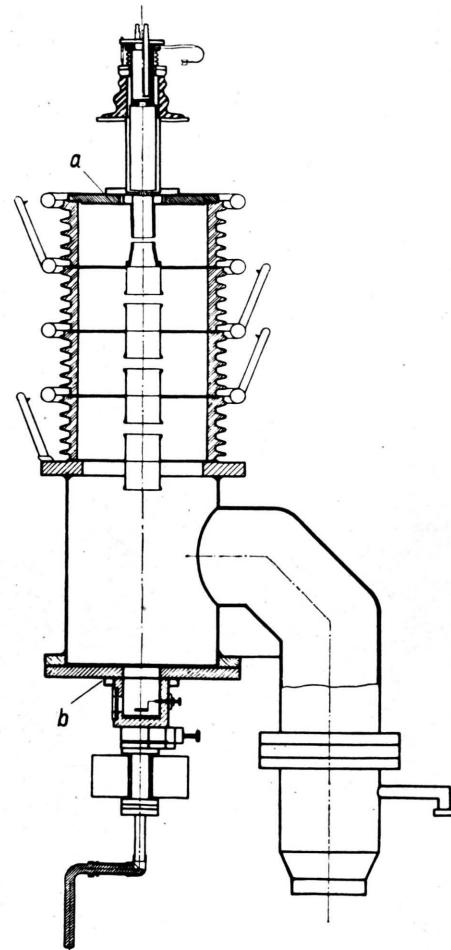


Abb. 1. Aufbau der Ionenröhre.

samte Porzellanröhre stand auf einem Eisenrohrteil, der unten das Auffängersystem und seitlich einen großen Stutzen für die Diffusionspumpen enthielt. Gepumpt wurde mit 3 hintereinander geschalteten Leybold-Öldiffusionspumpen Mod. T, Q und P nebst Duplex-Kapselpumpe. Die Ionenquelle bestand aus einer Kanalstrahlröhre kurzer Bauart, die Länge betrug 20 cm, der Durchmesser 9 cm. Der Kanal hatte 10 mm Länge und 2 mm Durchmesser. Betrieben wurde die Kanalstrahlröhre mit einer Spannung von 40 kV, die von einem beson-

⁵ Z. Physik 110, 373 [1938].

deren Transformator mit einer Gleichrichterröhre und Kondensator geliefert wurden. Dieser Transformator wurde über 2 Isoliertransformatoren 1:1 von Erde aus gespeist. Die Spannung der Entladung wurde mit Hilfe eines Hochohmwiderrandes und eines Milliamperemeters gemessen. Die Gaszufuhr zur Kanalstrahlröhre erfolgte über ein Fowler-Ventil, das von Erde aus mit Hilfe eines Schnurzuges betätigt wurde. Das Auffängersystem bestand aus einem Oberteil mit Glasfenster, in dem das Auftreffen des Strahles auf einer in den Strahlengang schwenkbaren Quarzplatte beobachtet werden konnte, daran anschließend einem Flachschieberhahn⁶, mit dem die darunter liegenden Teile gegen das Hochvakuum abgesperrt werden konnten, einem Ablenkteil, in dem der Strahl mit Hilfe eines großen Elektromagneten abgelenkt wurde, und dem eigentlichen Auffänger. Dieser bestand aus einem gebogenen Kupferstab, der am einen Ende in ein Dewar-Gefäß mit flüssiger Luft tauchte und am anderen Ende wärmeisoliert in den Strahlengang reichte, wo auf einer angefeilten Fläche etwas D₂O-Dampf aufgefroren wurde. Abgesehen von den Porzellankittstellen wurden zum Zusammensetzen aller Teile immer Gummiringe benutzt, die sich sehr bewährt haben. An zwei Stellen, a und b, waren zwei dicke Gummiringe von 8 mm Stärke eingesetzt, die die Möglichkeit boten, den Strahlengang durch mehr oder weniger intensives Anziehen der Befestigungsschrauben zu justieren. Diese Bewegungsmöglichkeit war nötig, reichte aber durchaus hin, ausgezeichnete Zentrierung zu erzielen. Die Schärfe des Strahles wurde auf der Quarzplatte beobachtet und mußte durch Variation der ersten Sprühstrecke so gestellt werden, daß der Brennfleck nicht zu scharf wurde. Meist wurde mit einem Brennfleck-Durchmesser von 5 mm gearbeitet. Die erzielten Ströme betrugen bei 200 kV Nachbeschleunigungsspannung 100—150 μ A magnetisch abgelenkten Ionenstromes, was einem Neutronenäquivalent von maximal 10 g Ra + Be entsprach.

Da mit der Apparatur auch mit schnellen Neutronen gearbeitet werden sollte unter Vermeidung von unerwünschten verlangsamten Neutronen, die durch Rückstreuung an Apparateteilen und Zimmerwänden entstehen konnten, wurde der Aufbau so gewählt, daß diese Fehlerquellen möglichst gering blieben. Zur Kontrolle der Verhältnisse wurde folgendermaßen vorgegangen: Es wurde ein Ag-Indikator in Cd in verschiedener Entfernung vom Auffänger ohne Paraffin bestrahlt. Bei dieser Anordnung wird das Ag kräftig aktiv, und die Aktivierung kann auf folgende Weise entstanden sein: 1. Durch schnelle Neutronen, die direkt von der Quelle ausgehen; deren Intensität muß für Entferungen, die groß sind gegen die Dimensionen des Brennfleckes, mit $1/r^2$ abnehmen. 2. Durch schnelle

Neutronen, die durch Streuung an den übrigen Apparateteilen und Zimmerwänden verlangsamt und zurückgeworfen werden. Deren Intensität muß sich zum Unterschied von den ungestreut mit der Entfernung von der Quelle wenig ändern, da die Änderung der Abstände von der Strahlungsquelle gering ist und sich gegenseitig kompensiert. Sollten solche Neutronen in größerer Zahl vorhanden sein, so müßten diese die Meßergebnisse mit schnellen Neutronen natürlich stark falschen, da die Wirkungsquerschnitte für die untersuchten Kernprozesse stark mit der Neutronenenergie variieren und diese je nach der Art und Zahl der Streuprozesse jeden Wert zwischen 0 und der Primärenergie annehmen kann. Es wurde nun mit dem Ag-Indikator festgestellt, daß die Aktivierung genau mit $1/r^2$ abnimmt, so daß höchstens 2,5% der auf schnelle Neutronen zurückzuführenden Aktivität von Neutronen mit anderer als der Primärenergie stammen können.

Zähler

Da die Strahlung der Isomeren meist sehr weich ist, wurde ein besonderes Zählrohr konstruiert, das mit einem großen Fenster ausgestattet war. Ein normaler Messing-Zähler, 40 mm lang, 20 mm Durchmesser, mit einem großen Wandloch von praktisch dem halben Umfang, befand sich unverkittet unter einer Glaskugel. Diese Glaskugel war mit einer Messingplatte verschlossen, die ein Fenster von 40×20 mm besaß. Längs dieses Fensters waren dünne Drähte gespannt, die zur mechanischen Unterstützung einer darüber gekitteten Glimmerfolie von 10μ Dicke dienten. An dieser Messingplatte war das Zählrohr befestigt. Die Kugel wurde dann als Ganzes evakuiert und mit Argon-Alkohol-Gemisch oder mit Luft gefüllt und einem Neher-Harper-Verstärker betrieben. Die Konstanz wurde fortgesetzt mit einem Uran-X-Standard geprüft und das Auflösungsvermögen von Zeit zu Zeit mit einem Jodabfall kontrolliert, wobei keinerlei Veränderungen in dem vorzüglichen Arbeiten der Zählrohre festgestellt wurden. Für einige Zwecke wurde auch ein übliches 100- μ -Aluminium-Zählrohr verwendet.

Rhodium

Zunächst wurde bei Rh nach einem (n,n)-Prozeß gesucht. Verwendet wurde metallisches Rh, das von der Firma W. C. Heraeus bezogen war und nach Angaben der Firma 99,5% Rh enthielt. Der Rest waren Verunreinigungen von Ir und Ru. Die verwendeten Bleche waren etwa 40×50 mm groß und 30 μ und 100 μ dick. Die Bestrahlung mit unverlangsamten Neutronen innerhalb 0,5 mm Cd ergab folgendes: Die bekannten, durch Neutroneneinfang aus dem ¹⁰³Rh

⁶ H. Geismann, Z. Physik 44, 268 [1943].

entstehenden Aktivitäten von 42 Sek. und 4,3 Min., die dem ^{104}Rh und $^{104}\text{Rh}^*$ zugeordnet werden, treten auch unter diesen Bestrahlungsbedingungen mit großer Intensität auf. Dies ist, wie bereits E. T. Booth und C. Hurst⁷ und H. Redemann⁸ bei mehreren Elementen festgestellt haben, auf einen Einfang der schnellen D + D-Neutronen im Kern zurückzuführen. Bei zahlreichen Elementen konnte auch hier das Booth- und Hurstsche Ergebnis bestätigt werden, da bei fast allen bestrahlten Elementen immer Aktivierungen stattfanden, die durch Neutroneneinfang entstanden sein mußten, ohne daß die Möglichkeit bestand, für diese (n, γ) -Prozesse irgendwelche Anteile von langsamem Neutronen verantwortlich zu machen.

Bei langer Bestrahlung des Rh mit unverlangsamten Neutronen ergab sich aber außer den bekannten noch eine lange Halbwertszeit, die zu $T = 48 \text{ Min.} \pm 5 \text{ Min.}$ festgelegt wurde. Die Intensität betrug, auf unendliche Bestrahlungszeit umgerechnet, 100 Teilchen pro Minute. Zur Beantwortung der Frage, ob diese Aktivität nur mit schnellen Neutronen angeregt werden kann, wurde das Cd entfernt und Strahlenquellen und Präparat mit Paraffin umgeben. Dabei ergab sich für die 48-Min.-Periode keine Verstärkung, obwohl die 4,3-Min.-Periode um den Faktor 100 verstärkt wurde. Gleichzeitig wurde dabei festgestellt, daß kein genetischer Zusammenhang zwischen der kurzen und der langen Periode besteht, d. h. also, daß die neue Aktivität nicht aus der kurzlebigen entsteht.

Die Strahlung des 48-Min.-Körpers ist sehr weich, doch lassen sich wegen der für Absorptionsversuche nicht ausreichenden Intensität keine sicheren Angaben über die Energie machen. Sie besteht vorwiegend aus weicher γ -Strahlung, da 0,85 g pro cm^2 Graphit nur auf 60% absorbieren, während dünne Bleifolien von 0,3 g pro cm^2 die Strahlung stark absorbieren. Es konnte noch nicht entschieden werden, ob außer der γ -Strahlung noch Elektronen ausgesandt werden, wofür aber Anzeichen sprechen.

Es mußte noch geklärt werden, ob die neue Aktivität auf eine Verunreinigung des verwen-

deten Rh zurückzuführen sein konnte. Eine Andeutung für das Vorhandensein von Verunreinigungen zeigte sich bei langen Bestrahlungen mit verlangsamten Neutronen, die eine weitere, sehr schwache langlebige Komponente von etwa 20 bis 25 Stdn. Halbwertszeit auftreten ließen. Von der letzteren war mit schnellen Neutronen nichts zu bemerken, so daß diese also auch verstärkt worden war. Dieses Verhalten kann durch die Annahme erklärt werden, daß die 20-Stdn.-Aktivität auf den geringen Gehalt von Ir und Ru zurückzuführen war; denn beide Elemente zeigen durch (n, γ) -Prozesse entsprechende Aktivitäten. Für schnelle Neutronen war die Ausbeute unmerkbar gering, während bei langsamem Neutronen eine größere Aktivität erhalten wurde, die zur Beobachtung gelangte. Was die 48-Min.-Periode betrifft, so zeigt die fehlende Verstärkbarkeit, daß sie nicht auf eine Verunreinigung zurückzuführen sein kann, die einen (n, γ) -Prozeß zeigt. Zur Sicherheit wurde ein reines Ir-Blech etwa derselben Dimensionen ebenso mit schnellen Neutronen bestrahlt und ergab keine Andeutung einer solchen Halbwertszeit. Ebenso wurde mit etwa 1 g metallischem Ruthenium verfahren, welches keine Spur der betreffenden Aktivität zeigte, so daß die 48-Min.-Periode kein Ir oder Ru sein kann.

Eine fast übereinstimmende Halbwertszeit ($T = 50 \text{ Min.}$) tritt bei Bestrahlung des Cd mit schnellen Neutronen auf. Es schien uns daher wünschenswert, die Frage der Verunreinigung mit Cd zu prüfen, obwohl diese vom chemischen Standpunkt unwahrscheinlich ist. Da die Strahlung des 50-Min.-Cd in Kohlenstoff wesentlich stärker absorbierbar ist als die des 48-Min.-Rh, wurde der Versuch derart ausgeführt, daß ein Cd- und ein Rh-Blech gleich bestrahlt und hinter 0,85 mg pro cm^2 Graphit gemessen wurde. Ein Vergleich der Intensitäten ergab dann, daß das Rh zu 50% aus Cd bestehen müßte, um die Aktivität auf dieses zurückführen zu können, was natürlich ganz ausgeschlossen ist. Es erscheint also sichergestellt, daß die beobachtete Aktivität dem Rh zugehörig ist.

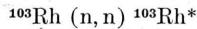
Für die Frage der Zuordnung der neuen Rh-Aktivität sind folgende Tatsachen von Bedeutung:

⁷ Proc. Roy. Soc. [London] **161**, 248 [1937].

⁸ Naturwiss. **26**, 124 [1938].

1. Sie ist mit D + D-Neutronen erhältlich,
2. sie ist nicht verstärkbar,
3. die Strahlung besteht vorwiegend aus weicher γ -Strahlung.

Daraus muß geschlossen werden, daß es sich bei der Aktivierung um eine Kernanregung handelt nach dem Schema:



und daß die beobachtete 48-Min.-Aktivität dem $^{103}\text{Rh}^*$ zuzuordnen ist. Die Tatsache, daß beim stabilen Rh-Kern ein Isomer auftritt, ist interessant vom Standpunkt der zweiten Mattauch-schen Kernisomeren-Regel, nach der Isomere nur bei solchen stabilen Kernen vorkommen, deren Spin entweder $i = \frac{1}{2}$ oder $\geq \frac{3}{2}$ ist. Beim Rh ist über den Spin noch nichts bekannt. Da $\frac{3}{2}$ unwahrscheinlich ist⁹, sollte also der Spin des ^{103}Rh $i = \frac{1}{2}$ betragen.

Silber

Beim Ag wurde im Jahre 1940 von L. W. Alvarez, A. C. Helmholz und E. Nelson¹⁰ ein aktives Isomer zu einem stabilen Ag-Isotop entdeckt, das aus einem 6,7-Stdn.- $^{107,109}\text{Cd}$ durch radioaktiven β -Zerfall entsteht und eine Halbwertszeit von 40 Sek. besitzt. Die Verfasser machten darauf aufmerksam, daß diese Aktivität durch eine (n, n)-Anregung aus stabilem Ag erhältlich sein müßte, und schlugen vor, Versuche von G. Guében¹¹, der eine mit schnellen Ra + Be-Neutronen erhaltene 46-Sek.-Aktivität beim Ag angegeben und als ^{104}Rh nach ^{107}Ag (n, α) erklärt hatte, anders, und zwar im obigen Sinne zu deuten¹². Guében erhielt mit verlangsamten Neutronen zwei Halbwertszeiten von 31 Sek. und 2,5 Min., während sich mit unverlangsamten statt dessen eine neue Halbwertszeit von 46 Sek. außer der von 2,5 Min. ergab. Hingegen wurde die von 31 Sek. dabei nicht gefunden. Über die Versuchsanordnung ließ sich den Arbeiten leider nichts entnehmen.

Gegen die erste Auffassung als (n, α)-Prozeß

⁹ Mündliche Mitteilung von Prof. Schüller.

¹⁰ Physic. Rev. **57**, 660 [1940].

¹¹ Nature [London] **138**, 1095 [1936]; Ann. Soc. sci. Bruxelles Sér. L **57**, 22 [1937].

¹² Entsprechend ist in die „Kernphysikalischen Tabellen“ von Mattauch und Flügge ein (n, n)-Prozeß beim Ag aufgenommen worden.

sprechen folgende Bedenken: 1. Es sollte bei so hohen Kernladungszahlen wie Rh mit Ra + Be-Neutronen ein (n, α)-Prozeß in nennenswerter Aktivität nicht auftreten. 2. Sollte der (n, γ)-Prozeß auch mit den schnellen Neutronen eine so intensive 24-Sek.-Periode erzeugen, daß diese einen (n, α)-Prozeß überdecken sollte und nicht umgekehrt. 3. Müßte beim Vorliegen eines (n, α)-Prozesses nicht nur die 42-Sek.-Aktivität, sondern auch die dazu isomere von 4,3 Min. auftreten. Gegen die Alvarezsche Deutung als (n, n)-Prozeß sprechen aber direkte Versuche von Redemann⁸, der mit schnellen D + D-Neutronen beim Ag nur eine starke 24-Sek.-Periode neben der schwächeren 2,4-Min.-Periode gefunden hat. Da D + D-Neutronen nach dem oben Gesagten für (n, n)-Anregung besonders geeignet sind, schienen Widersprüche zu bestehen, die im folgenden aufgeklärt werden sollten. Die genaue Messung eines kurzelbigen Körpers wie des hier auftretenden 24-Sek.-Körpers ist verhältnismäßig schwierig. Aus Gründen des endlichen Zählwerk-Auflösungsvermögens dürfen einige tausend Teilchen Anfangsaktivität nicht überschritten und wegen der kurzen Halbwertszeit müssen die Zeitintervalle klein gewählt werden, so daß auf das einzelne Intervall nur geringe Teilchenzahlen entfallen und die statistischen Fehler groß sind. Zur Vermeidung dieses Übelstandes wurde folgendermaßen verfahren. Es wurden zahlreiche Versuche unternommen, die alle identisch ausgeführt, d. h. gleiche Zeit bestrahlt und zu gleichen Zeitpunkten gemessen wurden. Zehn oder mehr solcher identischer Versuche wurden dann einfach in den entsprechenden Punkten addiert, und die Summe aller zehn Versuche wurde aufgezeichnet und als eine einzige Meßreihe behandelt, welche dann mit wesentlich kleineren statistischen Fehlern behaftet war. Dieses Verfahren, das sich bei kurzen Halbwertszeiten ganz außerordentlich bewährt hat, wurde im folgenden stets angewendet.

Besonderes Augenmerk muß auch auf das Auflösungsvermögen gerichtet sein. Bei kurzen Halbwertszeiten, die zur Erhöhung der Genauigkeit oft mit großen Teilchenzahlen begonnen werden, können die Korrekturen infolge endlichen Auflösungsvermögens erheb-

liche Werte annehmen und bei Nichtberücksichtigung ganz andere Halbwertszeiten vortäuschen. Möglicherweise sind Angaben von 30 bis 40 Sek. für die kurze Halbwertszeit des Ag¹³ darauf zurückzuführen. Es wurde daher von Zeit zu Zeit das Auflösungsvermögen mit Hilfe eines Jodabfalls kontrolliert, wobei sich die Auflösungszeit zu $1/200$ Sek. ergab. Alle Meßpunkte oberhalb 100 Teilchen pro Minute wur-

Vergleich ist in Abb. 2 b noch eine mit der gleichen Genauigkeit ausgeführte Ag-Abfallskurve aufgezeichnet, die bei Bestrahlung mit langsamen Neutronen (mit Paraffin, andere Präparatstärke, ohne Cd) erhalten wurde. Auch hier ergeben sich die beiden Halbwertszeiten 24 ± 1 Sek. und 2,4 Min., so daß mit schnellen Ra + Be- und mit langsamen Neutronen die gleichen Halbwertszeiten erhalten wurden und

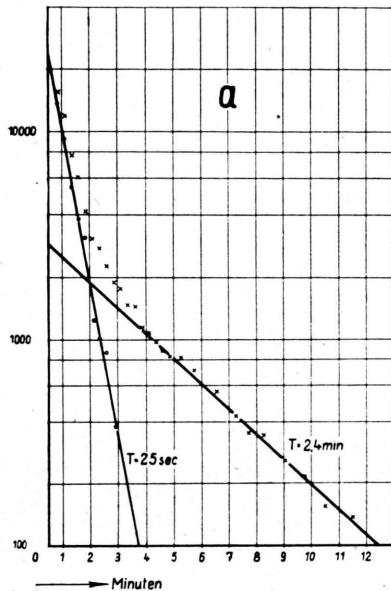


Abb. 2 a. Silber mit schnellen Ra + Be-Neutronen aktiviert.

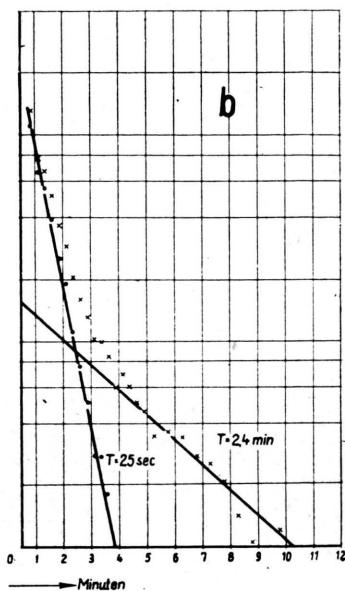


Abb. 2 b. Silber mit verlangsamten Ra + Be-Neutronen aktiviert.

den auf diesen Fehler korrigiert. Zunächst wurden Versuche unternommen, Ag mit schnellen, unverlangsamten Ra + Be-Neutronen zu bestimmen. Ag-Bleche der Dicke 0,1, 0,2 und 1 mm und der Größe etwa 30×50 mm wurden mit den Ra + Be-Quellen des Instituts in Cd ohne Paraffin bestrahlt, wobei der Aufbau so getroffen war, daß möglichst wenig sonstige Materie in der Nähe war. Die Bestrahlungszeit betrug zunächst 30 Sek., gemessen wurden die aktivierte Präparate im normalen 100- μ -Geiger-Müller-Zählrohr. Das Ergebnis zeigt Abb. 2 a; es traten zwei Halbwertszeiten auf, die kurze betrug 24 ± 1 Sek., die lange 2,4 Min. Zum

sich keine Andeutung einer Halbwertszeit von etwa 40 Sek. zeigte.

Da beim Vorliegen eines (n, α)-Prozesses noch die 4,3-Min.-Halbwertszeit des zum 42-Sek.-isomeren $^{104}\text{Rh}^*$ auftreten sollte, müßte bei genügend langer Messung der 2,4-Min.-Abfall des Ag in einen 4,3-Min.-Abfall übergehen, wobei sich dieser Körper wegen seiner gegenüber dem 2,4-Min.-Ag noch größeren Strahlenhärté keineswegs der Messung entziehen konnte. Zur Prüfung dieser Frage wurden daher noch weitere Versuche mit 15 Min. Bestrahlungszeit und entsprechend langer Meßdauer unternommen. Auch hierbei ergab sich keinerlei Andeutung eines 4,3-Min.-Abfalls. Es muß also aus diesen Versuchen geschlossen werden, daß bei Be-

¹³ G. Guében, I. e.¹¹; T. Bjerge u. C. H. Westcott, Nature [London] 134, 177 [1934].

strahlung mit unverlangsamten Ra + Be-Neutronen mit den üblichen Präparatstärken kein (n, α)-Prozeß nachweisbar ist und daß auch für einen (n, n)-Prozeß keine Anzeichen gefunden wurden.

Nun wurde weiter Ag mit unverlangsamten D + D-Neutronen bestrahlt, um nach dem Auftreten einer 40-Sek.-Aktivität zu suchen. Zunächst wurde wieder wie üblich verfahren; Ag-

keit der 24-Sek.-Strahlung merkwürdig schien. Erst als zu wesentlich dünneren Ag-Folien übergegangen wurde, konnte etwas Neues bemerkt werden. Folien von 25 μ Dicke zeigten bereits eine Halbwertszeit von etwa 35 Sek. statt der 24 Sek. Der Grund dafür war dann leicht gefunden; die Strahlung des 40-Sek.-Körpers ist extrem weich, daher tragen von normalen Ag-Blechen nur wenige μ dicke Schichten zur

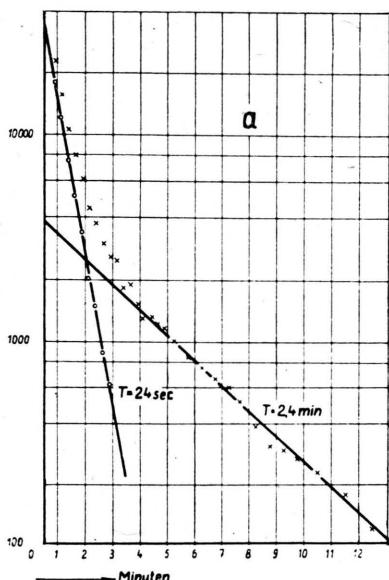


Abb. 3a. Silber-0,1 mm mit schnellen D + D-Neutronen aktiviert, gemessen im 100- μ -Zähler.

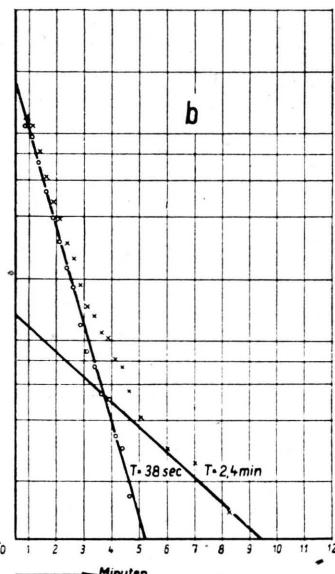


Abb. 3b. Silber-0,007 mm mit schnellen D + D-Neutronen aktiviert, gemessen im 10- μ -Zähler.

Bleche in der Dicke 0,1 mm wurden bestrahlt und im 100- μ -Zähler gemessen. Das Ergebnis für 30 Sek. Bestrahlungszeit zeigt Abb. 3a. Völlig analog den Reddemannschen Befunden ergab sich eine intensive Halbwertszeit von 24 Sek. und eine schwächere von 2,4 Min. Auch als in Anbetracht der geringen Strahlenenergie des angeregten Ag zu dem oben beschriebenen 10- μ -Zähler übergegangen wurde, blieb das Ergebnis dasselbe; die kurze Halbwertszeit ergab sich wieder zu 24 Sek., so daß auch hier keine 40-Sek.-Aktivität nachweisbar war. Gegenüber den Messungen mit dem 100- μ -Zählrohr ergab sich lediglich eine geringfügige Vermehrung des 24-Sek.-gegenüber dem 2,4-Min.-Körper, was wegen der größeren Durchdringungsfähig-

Aktivität bei, während zur 24-Sek.-Aktivität praktisch das ganze Blech beiträgt, so daß die erstere überdeckt wird. Die endgültigen Versuche wurden daher mit einer 7 μ dicken Ag-Folie unternommen, wobei noch ein großer Teil der weichen Strahlung austreten konnte. Bestrahlungen in Cd ohne Paraffin von 30 Sek. Dauer ergaben z. B. im 10- μ -Zähler gemessen, gemittelt aus 10 Versuchen, wie Abb. 3b zeigt, nach Abzug der 2,4-Min.-Aktivität eine Halbwertszeit von $T = 38$ Sek., mit einer Anfangsaktivität von 1840 Teilchen pro Minute. Diese Komponente stellt nun noch nicht den reinen aktiven Körper dar. Wurde nämlich der Zähler mit einer 100- μ -Aluminiumfolie bedeckt, so ergab sich wieder die alte Halbwertszeit von $T =$

25 Sek. mit einer Anfangsaktivität von 530 pro Minute. Das zeigt also, daß in der Abfallskurve mit $T = 38$ Sek. noch ein gewisser Anteil von 24-Sek.-Körper mit enthalten ist. Unter Berücksichtigung der geringen Absorption des 24-Sek.-Körpers in der 100- μ -Folie ließ sich also aus dem zweiten Versuch dieser Anteil entnehmen und von der gesamten Abfallskurve abziehen. Dieses Verfahren ergibt für die Halbwertszeit des stark absorbierbaren Anteiles $T = 41 \pm 2$ Sek. in vorzüglicher Übereinstimmung mit Alvarez, Helmholtz und Nelson. Bei der vorliegenden Folie ist bei unendlicher Bestrahlung das Intensitätsverhältnis vom 40-Sek.- zum 24-Sek.-Körper mit den D + D-Neutronen unter Berücksichtigung der verschiedenen Absorption in der Zählerfolie etwa 8 : 1. Weiter wurde noch die Energie der ausgesandten Strahlung untersucht. Absorptionsmessungen mit dünnen Al-Folien ergaben eine Halbwertsdicke von etwa 6—8 μ Al; die Strahlung ist also extrem weich. Die maximale Reichweite betrug etwa 8 bis 9 mg/cm², was einer Energie von etwa 90 KeV entspricht. Bei weiteren Versuchen, die dünne

Ag-Folie mit verlangsamten D + D-Neutronen (innerhalb Paraffin, ohne Cd) zu aktivieren, die wegen zu großer Aktivität eine starke Herabsetzung der Bestrahlungsstärke erforderten, ergaben sich nur eine 24-Sek.- und eine 2,4-Min.-Periode, während ein etwa vorhandener 40-Sek.-Körper völlig überdeckt war. Es muß also gefolgt werden, daß die 40-Sek.-Periode nicht verstärkt bzw. keineswegs so verstärkt wurde wie die von 24 Sekunden.

Bezüglich der Zuordnung des 40-Sek.-Körpers ist also aus der Art seiner Entstehung, der mangelnden Verstärkbarkeit und der geringen Strahlenenergie zu folgern, daß es sich um ein durch (n,n)-Prozeß entstandenes angeregtes Silberisotop ^{107,109}Ag* handelt.

Aus der Übereinstimmung der Halbwertszeit und der Strahlenhärte ist auch zu schließen, daß es sich bei der 40-Sek.-Aktivität um denselben Körper handelt, den Alvarez, Helmholtz und Nelson aus ^{107,109}Cd durch radioaktiven Zerfall erhielten. Deren Zuordnung zu Ag* hat also durch vorliegende Versuche ihre Bestätigung erfahren.

Die Temperaturerscheinungen in diffundierenden, strömenden Gasen

Von LUDWIG WALDMANN

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Tübingen

(Z. Naturforschg. 1, 10—11 [1946]; eingegangen am 18. September 1945)

Wenn ruhende Gase ineinander diffundieren, entstehen vorübergehende Temperaturunterschiede, die abklingen in dem Maß, wie sich die Konzentrationsdifferenz ausgleicht (nichtstationärer Diffusionsthermoeffekt) ^{1, 2}. Bei stationär strömenden Gasen dagegen kann ein dauernder Diffusionsvorgang stattfinden und dementsprechend bildet sich in diesem Fall ein zeitlich konstantes Temperaturfeld aus (stationärer Diffusionsthermoeffekt), worüber kurz berichtet werde.

¹ K. Clusius u. L. Waldmann, Naturwiss. 30, 711 [1942].

² L. Waldmann, Naturwiss. 32, 222, 223 [1944]; Z. Physik, im Druck.

³ L. Waldmann, Z. Physik, im Druck.

Die Grundgleichungen des stationären Effekts lauten³

$$\vec{u} \operatorname{grad} \gamma = \operatorname{div} (D \operatorname{grad} \gamma) \quad (1)$$

$$\frac{c_p}{v} \vec{u} \operatorname{grad} T = \operatorname{div} (\lambda \operatorname{grad} T + \alpha p D \operatorname{grad} \gamma). \quad (2)$$

Hierin bedeuten \vec{u} die Teilchengeschwindigkeit des Gasgemisches, γ den Molenbruch einer Komponente, D den Diffusionskoeffizienten, c_p die Molwärme bei konstantem Druck, v das Molvolumen, T die absolute Temperatur, λ den Wärmeleitkoeffizienten, α den Thermodiffusionsfaktor, p den Druck.

Strömen die Gase nur in der z-Richtung mit