Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 8 (1953)
Heft: 2

Artikel: Kernchemische Prozesse
Autor: Oehlinger, S.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-653700

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

KERNCHEMISCHE PROZESSE

Eine Übersicht

Von S. Oehlinger

DK 541.15

Bei kernchemischen Prozessen dringt ein Atomteilchen in einen Atomkern ein, wobei ein oder mehrere Teilchen bzw. Teilchenkombinationen den betroffenen Kern verlassen. Die überaus große Zahl der bis heute festgestellten kernchemischen Prozesse (über tausend) läßt nach der Art des eindringenden Teilchens eine Einteilung in sechs Gruppen von Reaktionstypen zu:

1. Reaktionen mit Alphateilchen (α) = Kerne des Heliums $^{4}_{2}$He; Kernladungszahl (Z) = 2, Massenzahl (A) = 4.
2. Reaktionen mit Protonen (p) = Kerne des „leichten" Wasserstoffes $^{1}_{1}$H; Z = 1, A = 1.
3. Reaktionen mit Deuteronen (d) = Kerne des „schweren" Wasserstoffes (Deuterium) $^{2}_{1}$H; Z = 1, A = 2.
4. Reaktionen mit Tritonen (t) = Kerne des „schweren" Wasserstoffes (Tritium) $^{3}_{1}$H; Z = 1, A = 3.
5. Reaktionen mit Neutronen (n); Z = 0, A = 1.
6. Reaktionen mit Gammaquanten (γ); Z = 0, A = 0.

In den folgenden Reaktionsgleichungen steht das Symbol des in den Kern eindringenden Teilchens jeweils v o r dem Komma, die Symbole austretender Teilchen hinter dem Komma. An Hand der bekannten Ladungs- (Z) und Massenzahlen (A) der ein- und austretenden Teilchen können Z und A der umgewandelten Kerne aus den Daten der Ausgangskerne berechnet werden. Die entsprechenden Formeln für die Berechnung von Z und A der umgewandelten Kerne stehen neben den Reaktionsgleichungen.

1. Umwandlungen mit Alphateilchen

$\alpha,\ p_x + n_y$	$Z - (x - 2)$ $A - (x + y - 4)$
$\alpha,\ \alpha + n$	$Z = Z$ $A - 1$
$\alpha,\ p$	$Z + 1$ $A + 3$
$\alpha,\ n_x$	$Z + 2$ $A - (x - 4)$
$\alpha,\ \gamma$	$Z + 2$ $A + 4$

Mit Hilfe der natürlichen Alphateilchen, die das RaC′ aussendet, gelang es Rutherford im Jahre 1919 an Stickstoffatomen die erste künstliche Elementumwandlung durchzuführen, wobei sich die Ladungszahl des neu entstandenen Kernes um eine Einheit und seine Massenzahl um drei Einheiten erhöht, d. h. daß sich die Atomkerne des Stickstoffes nach der Gleichung 7 N 14 (α, p) 8 O 17 in Sauerstoffkerne umgewandelt haben und ein Proton ausgeschleudert wurde. Es können aber auch Neutronen (n) den beschossenen Kern verlassen, wie dies z. B. beim Beryllium nach der Gleichung 4 Be 9 (α, n) 6 C 12 der Fall ist. Verlassen mehrere Neutronen den beschossenen Kern, so berechnet sich die Ladungszahl des neu gebildeten Kernes nach der Formel Z + 2, seine Massenzahl gemäß A — (x — 4), wobei x die Zahl der ausgesandten Neutronen bedeutet, z. B. bei 77 Ir 191 (α, 4 n) 79 Au 191. Interessant ist die beim Kohlenstoff C 12 festgestellte Reaktion (α, α + n), bei der ein Alphateilchen + 1 Neutron den beschossenen Kern verläßt, so daß sich ein leichteres Isotop des Kohlenstoffes, C 11, bildet.

Stehen extrem energiereiche, d. h. sehr rasch elektrisch beschleunigte Alphateilchen zur Verfügung, so treten Prozesse auf, bei denen Protonen + Neutronen den beschossenen Kern als Atombruchstücke verlassen, so z. B. beim Aluminium Al 27 vier Protonen + drei Neutronen, wodurch das radioaktive Natriumisotop Na 24 gebildet wird. Bei den Kupferisotopen Cu 63 und 65 können sogar 14 Protonen + 15 bzw. 17 Neutronen, d. s. 29 bis 31 Atomteilchen, ausgeschleudert werden, was zur Bildung des Chlorisotops, Cl 38, führt. Die Ladungszahl des nach der allgemeinen Gleichung (α, $p_x + n_y$) umgewandelten Kernes berechnet sich gemäß der Formel Z — (x — 2), die Massenzahl nach der Formel A — (x+y—4), wobei x die Zahl der ausgesandten Protronen und y die Zahl der ausgesandten Neutronen bedeutet.

Die Reaktion (α, γ), die einen Alphateilcheneinfang bedeutet, während ein Gammaquant den Kern verläßt, ist beim Lithium nachgewiesen worden.

2. Umwandlungen mit Protronen

p, 3 p	$Z - 2$ $A - 2$
p, α	$Z - 1$ $A - 3$
p, d	$Z = Z$ $A - 1$
p, $p + n_x$	$Z = Z$ $A - x$
p, n_x	$Z + 1$ $A - (x - 1)$
p, γ	$Z + 1$ $A + 1$

Von den Kernumwandlungsprozessen mit Protonen ist die Reaktion (p, α) historisch von Interesse, da Cockcroft und Walton mit diesem Prozeß 1932 Lithiumkerne in zwei Alphateilchen zerlegten. Es war dies die erste Kernumwandlung mit elektrisch beschleunigten Atomteilchen. Diese Reaktion ist auch an Kernen von Beryllium, Bor, Stickstoff, Sauerstoff, Fluor, Magnesium und Nickel durchführbar. Die Reaktion (p, d), bei der ein Deuteron ausgesandt wird, konnte hingegen bisher nur beim Beryllium Be 9 festgestellt werden, da das Deuteron nur eine geringe Stabilität besitzt und leicht in ein Proton + Neutron zerfällt. Analog dem Prozeß (α, $\alpha + n$) ist auch ein Prozeß (p, p + n) möglich, den man unter anderem beim Kupfer Cu 65 beobachtet hat; beim Arsen As 75 ist auch der Prozeß (p, p + 3 n) möglich. Beim Fluor F 19 ist der Prozeß (p, 3 p) festgestellt worden. Die Reaktion p, γ (Protoneneinfang) läßt sich im Gegensatz zu der seltenen Reaktion α, γ in sehr vielen Fällen verwirklichen.

3. Umwandlungen mit Deuteronen

d, $p_x + n_y$	$Z - (x - 1)$ $A - (x + y - 2)$
d, p_x	$Z - (x - 1)$ $A - (x - 2)$
d, n_x	$Z + 1$ $A - (x - 2)$
d, $\alpha + p$	$Z - 2$ $A - 3$
d, $\alpha + n$	$Z - 1$ $A - 3$
d, α	$Z - 1$ $A - 2$
d, d + n	$Z = Z$ $A - 1$
d, t	$Z = Z$ $A - 1$

Noch wirksamer als Protonen erweisen sich für Kernumwandlungen die Deuteronen, da sie bei gleicher Ladung wie das Proton ($Z = 1$) eine doppelt so große Masse ($A = 2$) besitzen. Als Atombruchstücke lassen sich sowohl Alphateilchen als auch Alphateilchen + Neutronen bzw. Alphateilchen + Protonen feststellen. Bei dem Reaktionstyp (d, $p_x + n_y$) wird eine variable Anzahl von Protonen + Neutronen ausgesandt. Beim Kohlenstoff C 12 ist auch die Reaktion (d, d + n) möglich, die zu C 11 führt. Bei einigen leichten Kernen (Stickstoff, Fluor, Phosphor) ist auch die Reaktion (d, t) realisierbar, wobei ein Triton den beschossenen Kern verläßt.

Analog den bei Alphateilchenreaktionen beobachteten Zersplitterungen von Kupferatomkernen mit über 30 Spaltteilchen gelang es auch mit extrem energiereichen Deuteronen aus dem Arsenkern As 75 zahlreiche Protonen + Neutronen abzusplittern, wie z. B. in der Reaktion 33 As 75 (d, 17 p + 21 n) 17 Cl 39.

4. Umwandlungen mit Tritonen

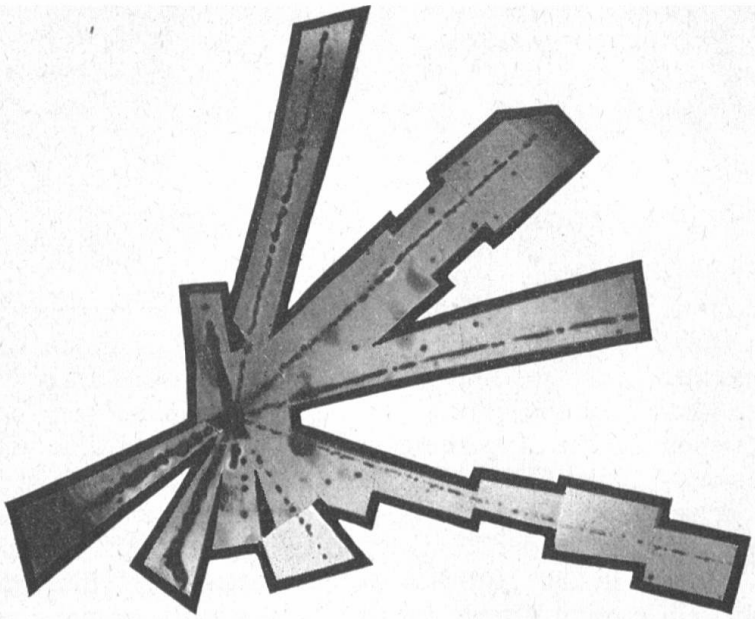
t, p	$Z = Z$ $A + 2$
t, n	$Z + 1$ $A + 2$
t, p + 3 n	$Z = Z$ $A - 1$

Auch Tritonen sind als Geschosse für Kernumwandlungen geeignet, wobei ein Neutron oder ein Proton austritt, wie z. B. bei den Reaktionen 8 O 16 (t, n) 9 F 18 bzw. 45 Rh 103 (t, p) 45 Rh 105. Beim Rhodium Rh 103 ist auch der Prozeß (t, p + 3 n) möglich, der zu Rh 102 führt.

5. Umwandlungen mit Neutronen

n, $p_x + n_y$	$Z - x$ $A - (x + y - 1)$
n, n_x	$Z = Z$ $A - (x - 1)$
n, $\alpha + 2$ n	$Z - 2$ $A - 5$
n, α	$Z - 2$ $A - 3$
n, t	$Z - 1$ $A - 2$
n, p	$Z - 1$ $A = A$
n, γ	$Z = Z$ $A + 1$

Neutronen sind als Geschosse für Atomkernumwandlungen besonders geeignet, da sie als elektrisch neutrale Elementarteilchen von den



Explosion eines Silberatoms (jede Spur entspricht einem davongeschleuderten Sprengstück). Da eine Aufnahme nicht den ganzen Stern erfaßt, wird das „Mosaik" aus vielen Einzelphotos zusammengesetzt

positiven Ladungen der Atomkerne nicht beeinflußt werden und daher leicht in sie eindringen und Kernprozesse auslösen können. Mit ihrer Hilfe gelang es, die Kerne sämtlicher Elemente umzuwandeln und bei Uran und Plutonium auch Kernspaltungen herbeizuführen. Neutronenbeschuß hat einen Kernabbau zur Folge, wenn Alphateilchen, Tritonen oder Protonen den beschossenen Kern verlassen. Aber auch Protonen + Neutronen in variabler Zahl sowie Alphateilchen + zwei Neutronen sind als Atombruchstücke festgestellt worden. Der Neutroneneinfang (n, γ), wobei ein Gammaquant den Kern verläßt, führt in über 100 Fällen zur Bildung schwerer Isotope des Ausgangselementes.

6. Umwandlungen mit Gammaquanten

γ, $p_x + n_y$	$Z - x$ $A - (x + y)$
γ, p_x	$Z - x$ $A - x$
γ, n_x	$Z = Z$ $A - x$
γ, α	$Z - 2$ $A - 4$
γ, $\alpha + n$	$Z - 2$ $A - 5$

Zur Auslösung von Kernreaktionen sind auch genügend energiereiche Gammaquanten, wie sie im Betatron erzeugt werden, geeignet. Diese können analog dem „Photoeffekt der Elektronenhülle" aus den Atomkernen der leichten und mittelschweren Elemente Protonen, Neutronen, Protonen + Neutronen [8 O 16 (γ, 2 p + 3 n) 6 C 11]; beim Kohlenstoff C 12 ein Alphateilchen [6 C 12 (γ, α) 4 Be 8]; beim Sauerstoff O 16 sogar ein Alphateilchen + ein Neutron [8 O 16 (γ, α + n) 6 C 11] herausschlagen. Diese Art von Kernreaktionen wird daher auch als „Kernphotoeffekt" bezeichnet. Sie haben durchweg einen Abbau zu radioaktiven Kernen mit kleineren Ladungs- und Massenzahlen zur Folge.

Überblickt man die sechs Tabellen mit den heute bekannten Umwandlungstypen, so wird der ungeheure Fortschritt seit der ersten (α, p) Umwandlung durch Rutherford aus dem Jahre 1919 unschwer ersichtlich. Doch erzielt die kernchemische Forschung fast täglich neue, sehr bedeutsame Fortschritte. Während bei den üblichen Kernreaktionen als Umwandlungsprodukte Elemente entstehen, die in der natürlichen Reihe der Elemente bestenfalls zwei Stellen vor oder hinter den Ausgangselementen stehen, führen die Umwandlungen mit extrem energiereichen Alphateilchen und Deuteronen buchstäblich zu weitgehenden Zersplitterungen der Atomkerne, wie wir solchen Effekten bislang nur in Gestalt von „Kernexplosionen (Sterne) auf Photoplatten" begegnet sind. Diese kommen dadurch zustande, daß hochenergetische Teilchen der kosmischen Strahlung auf einen Brom- oder Silberkern der Emulsion einer Photoplatte auftreffen, wobei es zu einer Explosion (Verdampfung) des Kernes kommt und die zahlreichen Atomsplitter in der Photoemulsion mikroskopisch sichtbare Bahnspuren hinterlassen.

Auch mit rasch beschleunigten Kohlenstoffatomkernen sind schon Kernspaltungen bei Gold, Aluminium, Kupfer, Silber und Brom erfolgreich durchgeführt worden.

Die enorm gesteigerte Leistungsfähigkeit neuer, in Bau befindlicher Zyklotrone wird der Kernchemie in nicht mehr allzu ferner Zeit in Gestalt rasch beschleunigter Alphateilchen und Deuteronen „Geschosse" mit Energien von mehreren Milliarden Elektronenvolt (eV) zur Verfügung stellen, die einen vollkommen neuen Abschnitt der kernchemischen Forschung einleiten dürften.