

Aus der zentralstimulierenden und peripher sympathomimetischen Wirkung der Weckamine ergeben sich die ärztlichen Indikationen dieser Stoffe.

Wenn man die heutige Literatur, insbesondere auch die Prospekte der Hersteller durchblättert, so gewinnt man fast den Eindruck, als ob diese Stoffe mehr oder weniger bei jeder Krankheit ausgezeichnete Dienste leisten könnten. Davon kann natürlich keine Rede sein! Wie in der Chirurgie das In-Ruhe-Lassen einer Wunde nach Ruhigstellung zu einem allgemeinen Axiom geworden ist, so ist bei den weitaus meisten allgemeinen Krankheiten die Verordnung von geistiger und körperlicher Ruhe eine der wichtigsten ärztlichen Maßnahmen. In schweren Krankheiten kann ein erquickender Schlaf Wunder wirken, unter Umständen auch der mit Hilfe von Schlafmitteln chemisch erzwungene Schlaf. Das ist besonders wichtig bei den heutigen ohnedies durch das Leben psychisch überreizten Mitmenschen.

Nur bei ganz bestimmten Krankheitszuständen sind die Weckamine ärztlich begründet. Eine hochangesehene ausländische Arzneimittelkommission hat nach genauer Prüfung der vorliegenden Benzedrinerfahrungen — und ähnliches gilt dem Zwillingsbruder, dem Pervitin — diesen Stoffen einen ganz beschränkten Indikationskreis zuerkannt, nämlich die Behandlung der Narcolepsie, des Parkinsonismus nach Encephalitis, und von bestimmten depressiven Zuständen. Eine solch weitgehende Einengung scheint uns nicht ganz gerechtfertigt. Wir sind der Ansicht, daß die Weckamine bei bestimmten körperlichen und geistigen Schwächezuständen sowie in Fällen von Kollaps und Bewußtlosigkeit durchaus brauchbare zentrale Analgetica und Kreislaufmittel sind.

Zum Schluß noch ein Wort über die Toxikologie der Stoffe.

Besonders wichtig ist ein Vergiftungsfall, der von Agnoli und Galli beobachtet wurde, und zwar nach 4 Tabletten

= 12 mg Pervitin. Es handelt sich um einen 15jährigen Laufjungen, der einen Zustand schwerster Tetanie bekam, kompliziert mit den Symptomen, die an die Angina pectoris erinnerten. Der Sachverständige wird über den letzten Befund nicht weiter erstaunt sein. Merkwürdiger ist eine Vergiftung, die bei zwei Angehörigen eines Pharmakologischen Instituts beobachtet wurde (v. Issekutz). Unter Nichtachtung der Dosis, die nachträglich auf 60—200 mg geschätzt wurde, offenbar in der alleinigen Absicht, mit Hilfe dieses Zaubermittels die Freuden der Großstadt gründlicher genießen zu können, erlebten diese jungen Leute eine Vergiftung, die mit der aufmunternden Wirkung des Pervitins begann, dann entwickelte sich rasch ein nausea-ähnlicher Zustand, Herzklopfen und Schweißausbruch, Atemnot, Erbrechen traten hinzu. Noch am nächsten Tag bestand ein starkes Schwächegefühl, mit schwacher Durchblutung der Extremitäten, Schwindel und Appetitlosigkeit. Eine Alteration des Herzens bestand in dem einen Falle 1½ Wochen lang. Äußerst quälend war die tagelang anhaltende Schlaflosigkeit.

Wenn das an grünem Holze geschieht — bei Fachleuten nämlich, denen tagaus, tagein die Bedeutung der richtigen Dosis vor Augen geführt wird und die daher unzugänglicher sein sollten gegen dies Flackerfeuer der Mode — was soll erst mit dem trockenen Holze werden? *Eingeg. 31. Juli 1940. [A. 87.]*

Wichtigstes Schrifttum.

1. M. Baur, Neuaufl.-Schmidtsbergs Arch. exp. Pathol. Pharmakol. **184**, 51 [1936].
2. F. Hauschild, ebenda **191**, 467 [1938].
3. O. Eichler, Dtsch. med. Wschr. **66**, 176 [1940].
4. A. W. Forst, Münch. med. Wschr. **86**, 1440 [1939].
5. Ranke, Dtsch. Militärarzt **1939**, Heft 3, S. 149.
6. K. Speckmann, Der Nervenarzt **12**, 350 [1939].
7. A. Szakall, Münch. med. Wschr. **86**, 1344 [1939].
8. B. v. Issekutz, Sammlg. v. Vergiftungsfällen **10**, 85 [1939].
9. R. Agnoli u. T. Galli, ebenda **10**, 173 [1939].
10. Council on Pharmacy and Chemistry, J. Amer. med. Ass. **109**, 2064 [1937].
11. G. Barger u. H. H. Dale, J. Physiology **41**, 19 [1910].
12. F. Eichholz: Lehrbuch der Pharmakologie, Berlin 1939.

Die Bedeutung des Neutrons für die Chemie

Von Dr. habil. HANS SUESS

Aus dem Institut für physikalische Chemie der Universität Hamburg

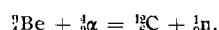
Die vorliegende Arbeit soll keinen zusammenfassenden Bericht über alle chemischen Arbeiten, bei denen Neutronen Verwendung finden, enthalten, sondern es sollen die grundsätzlichen Anwendungsmöglichkeiten von Neutronen in der chemischen Forschung dargelegt und spezielle Ergebnisse nur als Beispiel angeführt werden, um das Verständnis des Prinzipiellen zu erleichtern. Die Arbeit soll es ferner dem Chemiker, der sich nicht eingehender mit der jüngsten Entwicklung der Physik beschäftigen will, ermöglichen, sich über die Grundlagen der Physik des Neutrons so weit zu unterrichten, wie zum Verständnis der chemischen Arbeiten notwendig ist, die mit diesem Gebiet in Zusammenhang stehen¹⁾.

Darstellung und Eigenschaften des Neutrons.

Das Neutron wurde im Jahre 1932 von Chadwick entdeckt. Es ist ein Elementarteilchen mit der Ladung 0 und der Masse 1, es besitzt also keine Ladung und ziemlich genau die Masse des Wasserstoffkerns. Man kann das Neutron als Element mit der Ordnungszahl 0 betrachten, das im Periodischen System als Edelgas vor dem Wasserstoff steht. Infolge des Fehlens einer Elektronenhülle ist dieses Element natürlich nicht imstande, chemische Verbindungen einzugehen und besitzt kein Spektrum. Und doch ist es der reaktionsfähigste Stoff, den wir kennen. Es lassen sich nämlich kaum Bedingungen schaffen, bei denen das einzelne Teilchen nicht in einem Bruchteil einer Sekunde abreaktiert. Allerdings reagiert es nicht zu chemischen Verbindungen, sondern mit Atomkernen zu neuen Atomkernarten.

Es sei schon hier bemerkt, daß es nicht möglich ist, durch Neutronen eine wägbare Menge eines Elements in ein anderes zu verwandeln. Das wird klar, wenn wir uns überlegen, was

für Mittel uns zur Verfügung stehen, um Neutronen darzustellen. Unter allen Prozessen, bei denen Neutronen entstehen, seien zwei herausgegriffen, die für die Darstellung im Laboratorium am häufigsten verwendet werden. Der erste beruht auf der Reaktion von α -Strahlen mit Berylliumkernen. Die beim natürlichen radioaktiven Zerfall vom radioaktiven Kern mit hoher Energie ausgeschleuderten Helium-Kerne vermögen den Potentialwall anderer Atomkerne bisweilen zu durchdringen. Trifft ein α -Teilchen auf einen Be-Kern, dann tritt folgende Reaktion ein:



d. h. es erfolgt die Emission eines Neutrons. Die „Ausbeute“ dieser Reaktion ist allerdings, verglichen mit chemischen Reaktionen, recht schlecht. Unter 10000 α -Teilchen trifft im Mittel nur eines einen Berylliumkern so günstig, daß Reaktion eintritt, d. h. 10000 Mol Radium müssen zerfallen, damit sich ein Mol Neutronen bildet. Eine sog. „Neutronenquelle“ erhält man, wenn man ein Radiumsalz mit Berylliumpulver innig vermischt; 1 g Ra + Be ergibt je Sekunde 25 Mio. Neutronen.

Von den zahlreichen Kernreaktionen, bei denen Neutronen gebildet werden, wird zur Darstellung von Neutronen häufig die sog. D-D-Reaktion verwendet, bei der man unabhängig ist von natürlichen radioaktiven Substanzen. Schießt man in einem Kanalstrahlenrohr Deuterium-Ionen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 100000 V auf eine Deuteriumverbindung, dann tritt folgende Reaktion ein:



Ein Ionenstrom von 10^{-6} A liefert bei 100000 V etwa 300000 Neutronen je Sekunde. Man kann auf diese Weise Neutronenquellen erzeugen, die solchen aus einigen 100 g Ra + Be entsprechen.

Vergleichen wir diese Kernreaktion mit einer gewöhnlichen chemischen Reaktion. Eine bei etwa 400° mit meßbarer Geschwindigkeit verlaufende Reaktion besitzt eine Aktivierungs-wärme von etwa 50 kcal. Die Kernreaktion tritt nur ein, wenn

¹⁾ Nach der Fertigstellung dieses Aufsatzes ist dem Verfasser die Arbeit von A. Fleischmann „Kernchemie“ bekanntgeworden, die sich bei der Redaktion dieser Zeitschrift im Druck befand. (Inzwischen erschien **52**, 485 [1940].) Die Arbeit Fleischmanns enthält Grundlagen der Kernphysik in sehr eingehender, für Chemiker geschriebener Darstellung. Es finden sich dort alle Einzelheiten der in der vorliegenden Arbeit nur in groben Zügen angedeuteten kernphysikalischen Voraussetzungen.

Vollständige Zusammenstellungen der Arbeiten, bei denen neutronenaktivierte Elemente für chemische Untersuchungen angewandt werden, enthalten die Sammelreferate von O. Reit, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. **45**, 100 [1939] und von C. Rosenblum u. J. W. Flagg, J. Franklin Inst. **228**, 471, 623 [1929].

ein D-Teilchen eine höhere Energie als 10^5 eV besitzt. In kcal je Mol umgerechnet, ergibt sich, da $1 \text{ eV/Teilchen} = 23 \text{ kcal/Mol}$, eine Aktivierungswärme von $\sim 10^7$ kcal. Damit die Reaktion mit merklicher Geschwindigkeit thermisch verläuft, wäre eine Temperatur von einigen 10^6 Grad nötig, eine Temperatur also, wie sie gerade noch im Innern von Fixsternen erreicht wird. Dabei benötigt die genannte Kernreaktion eine besonders geringe Aktivierungswärme.

Man wird schon rein gefühlsmäßig erwarten, daß bei einer Reaktion, die thermisch bei so hoher Temperatur verläuft, auch das Reaktionsprodukt, in unserem Falle die Neutronen, sehr heiß, sehr energiereich gebildet werden. In der Tat besitzen die Neutronen, die bei diesen Reaktionen entstehen, eine Energie von einigen Mio. eV, also einen Energieinhalt von einigen 10^7 kcal. Die innere Energie eines Gases ist $\frac{3}{2} RT$ je Mol, die Temperatur, die einem großen Energieinhalt entspricht, daher einige 10^7 Grad. Nach dem Entstehen werden die Neutronen, ebenso wie ein heißes Gas beim Vermischen mit einem kalten, ihre hohe Translationsenergie bei Zusammenstoßen mit Atomkernen abgeben und allmählich Zimmertemperatur annehmen. Die Energie, die bei einem Zusammenstoß abgegeben werden kann, ist nach dem Impulssatz abhängig von der Masse des gestoßenen Teilchens. Sind die Massen gleich groß, dann kann bei einem Zusammenstoß die gesamte Energie abgegeben werden. Allgemein gilt für die maximal bei einem Zusammenstoß übertragbare Energie

$$E = \frac{4 Mm}{(M + m)^2}$$

wobei M die Masse des gestoßenen Teilchens und m die Neutronenmasse angibt. Beim Zusammenstoß mit einem Proton kann die gesamte Energie übertragen werden. Aus der Gleichung ergibt sich z. B. für Deuterium 88%, Stickstoff 25%, Blei 2% maximale Energieübertragung. Im Mittel wird bei einem Stoß jeweils die Hälfte dieser Maximalenergieübertragung stattfinden. Man sieht, daß wasserstoffhaltige Verbindungen schnelle Neutronen am raschesten verlangsamen.

Da das Neutron keine Ladung besitzt, kann es bei einem Zusammenstoß mit einem Atom oder Molekül durch die Elektronenwolke und den Potentialwall der Kernladung hindurch bis an den Atomkern dringen. Eine Streuung findet also nur an den Atomkernen statt. Daher gibt es kein Material, das für Neutronen undurchlässig wäre. Neutronen diffundieren durch jeden Stoff hindurch, so wie etwa ein Gas durch eine sehr poröse, schwammartige Membran.

Bei Zusammenstoßen mit Atomkernen tritt in vielen Fällen keine elastische Reflexion des Neutrons auf, sondern es findet eine unelastische Energieübertragung statt, bei der der gestoßene Kern energetisch angeregt wird, oder eine Kernreaktion, bei der das Neutron in den Kern eindringt.

Die Fähigkeit eines Neutrons von gegebener Geschwindigkeit, mit einem Atomkern in Wechselwirkung zu treten, sei es bei Streuung, sei es beim Einfang, wird angegeben durch den Wirkungsquerschnitt: man unterscheidet einen Streuquerschnitt und einen Einfangquerschnitt. Diese Wirkungsquerschnitte haben die Größenordnung 10^{-24} bis 10^{-22} cm^2 . Vereinzelt treten auch bei manchen Kernen abnormale Wirkungsquerschnitte von einigen 10^{-21} cm^2 auf. Alle diese Werte sind sehr stark von der Energie des Neutrons abhängig. Man kann nämlich ein Teilchen wie das Neutron nicht etwa als starre Kugel mit bestimmt angebarem Durchmesser betrachten, sondern man hat auch die Wellennatur dieser kleinen Körperteile im Auge zu behalten, aus der sich eine Abhängigkeit des Stoßquerschnittes oder Reaktionsquerschnittes von der Energie des Teilchens ergibt.

Zum Vergleich seien noch folgende Zahlen angeführt:

Streuquerschnitt eines Neutrons mit einem Atomkern: 10^{-22} – 10^{-24} cm^2

Stoßquerschnitt zweier Gasmoleküle: 10^{-14} – 10^{-16} cm^2

Mittlere freie Weglänge eines thermischen Neutrons in norm. Luft:

$\sim 5000 \text{ cm}$

Mittlere freie Weglänge zweier Luftmoleküle: $6,10^{-6} \text{ cm}$.

In der Regel haben Neutronen mit geringer kinetischer Energie bedeutend größere Wirkungsquerschnitte als die energiereichen Neutronen, wie sie bei den Kernprozessen in den Neutronenquellen entstehen. Andererseits gibt es zahlreiche Reaktionen, die nur mit energiereichen Neutronen verlaufen. Die Eigenschaften der Neutronen hängen in hohem Maße von ihrer Temperatur, von ihrer kinetischen Energie ab.

Kernumwandlungen mit Neutronen.

Wir wollen uns nun der Frage zuwenden, was aus einem Atomkern wird, wenn ein Neutron auf ihn trifft und eine Kernreaktion stattfindet. Es kann geschehen, daß das Neutron in den Kern eintritt und ein oder auch mehrere andere Teilchen dafür emittiert werden. Man unterscheidet hauptsächlich Reaktionen nach dem Typus: (n, α) , (n, p) oder $(n, 2n)$. Diese Symbole bezeichnen Reaktionen, bei denen ein Neutron in den Kern eintritt und ein α -Teilchen, ein Proton bzw. zwei Neutronen statt dessen emittiert werden. In vielen Fällen, vor allem dann, wenn langsame Neutronen eingefangen werden, verbleibt das Neutron im Kern, und die dabei frei werdende Energie — einige Millionen eV — wird als γ -Strahlung emittiert: (n, γ) .

Die Natur des neugebildeten Kerns ergibt sich zwangsläufig aus der Additivität von Ladung und Masse. Wie die *Mattauchsche Regel* besagt, ist von zwei benachbarten Isobaren eines, u. zw. das mit der größeren Masse, stets instabil und geht mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch Emission eines Elektrons oder Protons oder auch durch Einfang eines Elektrons aus der Hülle in das andere über²⁾.

Es ist daraus zu ersehen, daß das Neutron selbst, als isobar mit dem Wasserstoff, instabil sein muß und spontan in ein Proton und ein Elektron zerfällt. Über diese Radioaktivität des Neutrons ist wenig bekannt; sie spielt auch bei allen Versuchen und Überlegungen keine Rolle, da die Halbwertszeit sicher groß ist gegen die Zeit, in der ein Neutron unter normalen Bedingungen mit einem Kern abreagiert.

Wenn ein Kern ein Neutron aufnimmt und einem Prozeß (n, γ) entsprechend in das nächste schwerere Isotop des gleichen Elements übergeht, wird der neue Kern sehr häufig ein oder zwei benachbarte Isobare besitzen und somit gemäß der *Mattauchschen Regel* radioaktiv sein. Grundsätzlich kann man von jedem beliebigen Element zumindest ein künstlich radioaktives Isotop durch Bestrahlung mit Neutronen herstellen. Allerdings kann es sein, daß das radioaktive Isotop außerordentlich instabil ist und eine beliebig kleine Halbwertszeit hat. Das ist häufig bei den leichten Elementen der Fall. Auch kann der Einfangquerschnitt besonders klein sein, so daß ein Aktivieren mit einfachen Mitteln nicht möglich ist. Auch in dieser Hinsicht sind die Verhältnisse bei den leichten Elementen nicht günstig. Es ist bedauerlich, daß radioaktive Isotope gerade der Elemente, die den Chemiker am meisten interessieren würden, wie H, C, N, O, kaum darstellbar sind. Grundsätzlich besteht beim Kohlenstoff die Möglichkeit, ein radioaktives Isotop herzustellen, das sich für chemische Arbeiten gut eignen würde, das C^{11} mit der Halbwertszeit von 25 min. Seine Erzeugung gelingt allerdings nur unter Anwendung sehr energiereicher Neutronen nach der Reaktion $C^{12} (n, 2n) C^{11}$. Bemerkenswerte chemische Versuche mit diesem Isotop sind bisher noch nicht ausgeführt worden.

Unter den Elementen, die sich leicht aktivieren lassen und auch für den Chemiker interessant sind, sind Versuche bisher mit folgenden ausgeführt worden:

Cl, Br, J, S, P, As, Mn.

Zur Darstellung des aktiven Präparates bringt man in der Regel eine Verbindung des zu aktivierenden Elements und die Neutronenquelle, meist eine Mischung eines Radiumsalzes mit Berylliumpulver, in einen Wassereimer oder umgibt sie mit Paraffinklötzchen. Durch den Wasserstoff im Wasser oder im Paraffin werden die Neutronen bis zu thermischer Geschwindigkeit verlangsamt und haben dann einen bedeutend größeren Wirkungsquerschnitt für den Einfang durch die zu aktivierenden Atomkerne als die von der Neutronenquelle ausgehenden raschen Neutronen. Das Höchstmaß an Aktivität, d. h. Gehalt des Präparates an dem aktiven Isotop wird nach einer Aktivierungsdauer von einigen Halbwertszeiten erreicht. Man erhält so ein Element oder die Verbindung eines Elements, das außer den natürlichen Isotopen auch einen verschwindend kleinen Anteil an dem radioaktiven Isotop enthält. Chemisch unterscheidet sich natürlich dieses neue radioaktive Isotop in keiner Weise von dem natürlichen, und doch besteht bisweilen die Möglichkeit, die aktiven Atome von den unaktiv gebliebenen zu trennen. Beim Einfang eines Neutrons durch einen Kern wird nämlich Energie frei, die als γ -Strahlung abgegeben wird.

²⁾ Näheres siehe: H. Jensen, Naturwiss. 27, 493 [1939].

Die γ -Quanten erteilen durch ihren Compton-Rückstoß dem Atomkern einen Impuls, so daß das aktivierte Atom aus dem Molekülverband losgerissen werden kann. Die freien Teilchen reagieren dann je nach den Versuchsbedingungen weiter, so daß nach dem Aktivieren die aktivierte Atome oft chemisch anders gebunden sind als die unaktiviert gebliebenen. Die Verbindung, die die aktiven Teilchen enthält, läßt sich dann meist chemisch leicht von der ursprünglichen Verbindung trennen. Voraussetzung hierbei ist, daß die Atome oder Ionen des aktivierte Elements nicht mit der ursprünglichen Verbindung austauschen.

Zum Nachweis der aktivierte Atome können alle Methoden angewandt werden, die sich zum Nachweis β -aktiver Stoffe eignen. Das empfindlichste Instrument hierzu ist das Geiger-Müllersche Zählrohr. Es gelingt mit ihm, bereits einige wenige je Minute zerfallende radioaktive Atome nachzuweisen, so daß allenfalls einige hundert radioaktive Teilchen bereits für eine Messung ausreichen. Für den Chemiker besonders praktisch ist eine Ausführungsform, bei der die zu untersuchende Substanz als Flüssigkeit in einen Quarzantel um das eigentliche Zählrohr pipettiert werden kann^{3).}

Anwendungsmöglichkeiten von Neutronen in der chemischen Forschung.

In der Chemie kann das Neutron für die verschiedensten Forschungsrichtungen Verwendung finden. Die wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten sind folgende:

1. Aktivitätsmessung nach Neutronenbestrahlung als Analysenmethode. Bestimmung des Isotopenverhältnisses nach Isotopen trennversuchen.
2. Neutronenaktivierte Elemente als Indikatoren z. B. bei Austauschversuchen.
3. Die chemischen Reaktionen der beim Neutroneneinfang aus dem Molekülverband losgerissen Teilchen.
4. Das Verhalten von Molekülen beim Neutroneneinfang.
5. Das Verhalten von Organismen bei Neutronenbestrahlung. Biologische Versuche.

Zu 1: Es ist klar, daß bei konstanter Neutronenintensität und gegebener Aktivierungsdauer die Radioaktivität eines Präparates nur von der Konzentration des aktivierbaren Elements abhängt. Durch Aktivieren mit Neutronen kann man daher eine brauchbare Analysenmethode erhalten. Man könnte z. B. den Jodgehalt einer wertvollen organischen Verbindung am einfachsten so bestimmen, daß man die Aktivität nach einer bestimmten Aktivierungszeit mißt und mit der einer Probe von bekanntem Jodgehalt vergleicht. Die Methode hat vor allem den Vorteil, daß die Verbindung erhalten bleibt und praktisch nichts davon verloren geht.

Ferner ist durch Aktivitätsmessung nach Neutronenbestrahlung in vielen Fällen die Möglichkeit gegeben, bei Isotopen trennversuchen eine Änderung des Isotopenverhältnisses nachzuweisen und zu bestimmen. Kernphysikalisch haben die Kerne eines Elements verschiedene Eigenschaften, es wird z. B. aus dem Bromisotop Br^{79} durch Neutroneneinfang Br^{80} gebildet, das zwei Perioden von 18 min und 4,5 h Halbwertszeit besitzt. Aus dem anderen Bromisotop, dem Br^{81} , wird Br^{82} gebildet, das mit einer Halbwertszeit von 36 h β -aktiv ist. Man braucht nur das Intensitätsverhältnis der verschiedenen Perioden zu bestimmen und kann daraus unmittelbar eine Änderung im Isotopenverhältnis erkennen.

Zu 2: Die radioaktiven Isotope eines Elements haben praktisch genau dieselben chemischen Eigenschaften wie die natürlichen, sie können darum ausgezeichnet zur Kennzeichnung der Atome einer bestimmten Verbindung verwendet werden. Es läßt sich so feststellen, ob die Atome zweier Verbindungen eines Elements beim Mischen in gasförmiger oder flüssiger Phase, oder auch an festen Oberflächen zwischen den beiden Verbindungen ausgetauscht werden. Solche Austauschversuche können Einblick in den Verlauf und den Mechanismus zahlreicher Reaktionen geben. Die überwiegende Mehrzahl der Arbeiten, die Versuche mit künstlich radioaktiven Elementen zum Gegenstand haben, beschäftigen sich mit derartigen Untersuchungen. Die meisten Versuche sind in Lösungen in flüssiger Phase ausgeführt worden. Sie bestätigen z. B. die

naheliegende Annahme, daß Austauschreaktionen, die über Ionen verlaufen können, unmeßbar schnell vor sich gehen. Eine Lösung von Chlor, Brom oder Jod in Wasser tauscht radioaktive Atome mit vorhandenen Cl^- , Br^- , bzw. J^- -Ionen augenblicklich aus. Der Grund hierfür ist wohl der, daß das im Wasser gelöste Halogen stets mit seinen Ionen im Gleichgewicht steht. Anders sind die Verhältnisse bei den Sauerstoffsäuren der Halogene. Chlorat-, Bromat- oder Jodat-Ionen tauschen Halogenatome mit den entsprechenden Halogen-Ionen nicht aus. Ebenso tauschen organische Halogenverbindungen das Halogen mit Halogenionen normalerweise nicht aus. Ein Austausch läßt sich jedoch durch Katalysatoren herbeiführen. So wird z. B., durch Aluminiumchlorid oder -bromid der Austausch von organisch gebundenem Chlor bzw. Brom außerordentlich stark katalysiert. Es ist anzunehmen, daß auf diesem Wege ein neuer Einblick in die Wirkungsweise dieses Katalysators gewonnen werden kann.

Ähnliche Versuche wurden u. a. mit P, S, As und Mn durchgeführt. Sie bestätigen alle das Ergebnis, daß immer dann ein sehr rascher Austausch stattfindet, wenn die zwei Verbindungen in der Lösung mit ein und derselben Ionenart im Gleichgewicht stehen. Auf die zahlreichen speziellen Ergebnisse kann hier nicht näher eingegangen werden, es sei nur noch als weiteres Beispiel ein hübscher Versuch mit aktivem Schwefel erwähnt, der zeigt, daß im Thiosulfat die beiden Schwefelatome ungleich gebunden sind und untereinander nicht austauschen^{4).} Löst man aktiven Schwefel in Sulfit zu Thiosulfat: $S + SO_3^{2-} = S_2O_3^{2-}$ und zersetzt das Thiosulfat durch Säure, dann erhält man wieder aktiven Schwefel und inaktives Sulfit.

Zu 3: Wie schon erwähnt, wird beim Einfang eines Neutrons durch einen Atomkern Energie als γ -Strahlung emittiert, deren Rückstoß in der Regel ein Losreißen der aktivierte Atome aus dem Molekülverband bewirkt. Das Weiterreagieren dieser aktiven Teilchen kann nun untersucht werden und auf diesem Wege unsere Kenntnis von den Eigenschaften freier Atome erweitert werden. Quantitative Untersuchungen in dieser Richtung sind bisher nur an einem Beispiel mit Brom ausgeführt worden^{5).} Sie führen zu folgenden Ergebnissen: Aktiviert man Äthylbromid in der Gasphase in Gegenwart kleiner Mengen Bromwasserstoff, so findet man das gesamte aktive Brom im Bromwasserstoff. Das aus dem Äthylbromid losgerissene aktive Brom tauscht also mit dem Bromwasserstoff aus. Ist außerdem noch Acetylen zugegen, dann reagiert ein Teil der aktiven Bromatome mit dem Acetylen. Die nähere Untersuchung zeigt, daß die Anlagerung an das Acetylen bedeutend rascher vor sich geht als der Austausch mit Bromwasserstoff. Ferner zeigt sich, daß die aus dem Äthylbromid gerissenen, sehr energiereichen, aktiven Bromatome mit Wasserstoff nicht merklich zu Bromwasserstoff reagieren, obgleich die Energie der Zusammenstöße die Aktivierungswärme der Reaktion bedeutend überschreitet.

Zu 4: Die Energie, die für das Zustandekommen einer chemischen Reaktion nötig ist, wird i. allg. den reagierenden Molekülen als thermische Energie bei Zusammenstößen oder in Form von Lichtquanten zugeführt. Unsere Kenntnis vom Mechanismus chemischer Reaktionen ist daher im wesentlichen durch das Studium thermischer und photochemischer Reaktionen erhalten worden. Der Gedanke ist verlockend, die für eine Reaktion notwendige Energie dem Molekül auf einem anderen, neuen Wege zuzuführen und hierzu die bei Kernprozessen auftretende Rückstoßenergie der γ -Quanten zu verwenden. Die Untersuchung der Frage, wie sich eine chemische Verbindung verhält, wenn eines ihrer Atome durch die Emission eines γ -Quants einen Impuls erhält, ergibt eine weitere neue Arbeitsrichtung, die ebenfalls, mit Ausnahme einer Arbeit über den Bromwasserstoff, noch nicht in Angriff genommen wurde^{6).}

Zu 5: Auf die biologischen und medizinischen Anwendungsmöglichkeiten kann hier nicht eingegangen werden. Auch hier liegt ein ausgedehntes Arbeitsgebiet mit Neutronen vor, das noch kaum in Angriff genommen wurde.

Eingeg. 13. Juni 1940. [A. 81.]

³⁾ A. B. Andersen, Z. physik. Chem. Abt. B 32, 237 [1936].

⁴⁾ H. Suess, ebenda 45, 297 [1940].

⁵⁾ H. Suess, ebenda 45, 312 [1940].

⁶⁾ Vgl. H. Suess, Naturwiss. 27, 702 [1939].