

könnte und zwar würde man darnach die gesamte Masse eines Ions einschließlich seiner Hydrat- oder Solvathülle erhalten. Da die Masse des nackten Ions meist bekannt ist, könnte man damit die Hydratation oder allgemein die Solvation von Ionen bestimmen. Der Grundgedanke ist sehr einfach. Die durch den Schall in Longitudinalschwingungen versetzte Flüssigkeit nimmt die Ionen durch Reibung mit. Dieser Mitnahme widersetzt sich die Trägheit der Masse der Ionen. Zwar ist, wie die Rechnung zeigt, das Beharrungsvermögen der Ionen i. allg. gering gegenüber den Reibungskräften, so daß die Ionen im großen ganzen glatt mit der Flüssigkeit hin und her schwimmen. Etwas aber wirkt sich das Beharrungsvermögen doch aus; die Ionen hinken etwas hinter den Flüssigkeitsteilchen her, und zwar um so stärker, je größer ihre Masse ist. Wenn also eine Lösung zwei Ionensorten von verschiedener

Masse enthält, so werden diese im Schallfeld verschieden stark nachhinken, d. h. sie werden mit einer Phasenverschiebung gegeneinander schwingen, die um so größer ist, je größer der Massenunterschied der beiden Ionen ist. Dadurch aber entstehen in der Flüssigkeit periodische Ladungsanhäufungen und, damit unmittelbar zusammenhängend, periodische Potentialschwankungen, die gemessen werden können, und die ein Maß für die Massendifferenz der beiden Ionensorten sind. Die Potentialschwankungen sind allerdings nur klein, aber immerhin meßbar.

Selbstverständlich gibt es noch eine ganze Reihe weiterer Möglichkeiten, Ultraschall als physikalisch-chemisches Forschungsmittel zu verwenden. Die Untersuchungen darüber sind aber zum Teil erst im Gange, zum Teil wohl auch aus anderen Gründen nicht veröffentlicht worden. [A. 4.]

VERSAMMLUNGSBERICHTE

Deutsche Chemische Gesellschaft Berlin.

Sitzung vom 13. Januar 1936.

O. Hahn, L. Meitner (unter experimenteller Mitarbeit von F. Straßmann): „Künstliche radioaktive Atomarten aus Uran und Thor. (Vorgetragen von O. Hahn.)“

Die Elemente mit den höchsten Ordnungszahlen im Periodischen System sind die Elemente 90, 91 und 92, das Thorium, das Protactinium und das Uran. Von ihnen entsteht das Protactinium erst durch radioaktiven Zerfall aus dem Uranisotop Actinouran. Von diesen Elementen mit den höchsten Ordnungszahlen leiten sich die zahlreichen radioaktiven Atomarten ab, wie z. B. das Radium, das Polonium, das Mesothor und die aktiven Niederschläge. Entsprechend ihrer Halbwertszeit entstehen sie alle durch radioaktiven Zerfall dauernd aus ihren Muttersubstanzen und zerfallen wieder.

Zu diesen natürlichen radioaktiven Atomarten kommen seit der jüngsten Zeit künstliche radioaktive Atomarten hinzu, die man als aktive Isotope von fast allen gewöhnlichen chemischen Elementen herstellen kann.

Im Jahre 1934 hat das Ehepaar Curie-Joliot gefunden, daß beim Beschießen leichter Elemente mit α -Strahlen neben dem von Rutherford entdeckten Atomzertrümmerungs-Prozeß, nämlich dem Einfangen des α -Teilchens, Abspaltung eines Protons und Bildung eines anderen bekannten stabilen Atomkerns, noch ein zweiter Prozeß stattfindet: unter Aussendung eines Neutrons wird eine instabile Atomart gebildet, aus der dann erst durch weitere Aussendung eines Positrons wieder eine bekannte stabile Atomart entsteht. Während aber die Beschießung mit α -Strahlen nur bei den leichten Elementen gelingt und dabei zur Bildung künstlicher radioaktiver Atomarten führen kann, hat Fermi bald darauf gezeigt, daß durch die Bestrahlung mit Neutronen fast bei allen Elementen künstliche radioaktive Atomarten gebildet werden, die sich alle unter Aussendung von β -Strahlen wieder in bekannte stabile Atomarten umwandeln. Durch die Aufnahme des Neutrons in den ursprünglichen Atomkern ist die Bildung dreier verschiedener künstlich radioaktiver Atomarten möglich, je nachdem, ob gleichzeitig ein α -Teilchen oder ein Proton oder gar kein Atombruchstück abgespalten wird. Die beiden ersten genannten Bildungswege treten nur bei den leichteren Elementen auf. Der dritte Weg dagegen, der durch Aufnahme eines Neutrons ohne Abspaltung eines Atombruchstückes zur Bildung einer radioaktiven, mit dem bestrahlten Element isotopen Atomart führt, tritt außer bei den leichten Elementen auch bei den schweren Elementen auf, und zwar bei letzteren ausschließlich. Wie Fermi gezeigt hat, läßt sich dieser dritte Prozeß, die Isotopenbildung, durch Zwischenschalten wasserstoffhaltiger Substanzen zwischen Neutronenquelle und zu bestrahlendes Element wesentlich verstärken; die Neutronen verlieren beim Zusammenstoß mit den gleich schweren Wasserstoffkernen erheblich an Energie, und gerade die langsamen Neutronen sind zur Isotopenbildung befähigt.

Alle diese beim Bestrahlen von Elementen mit Neutronen auftretenden Erscheinungen wurden von Fermi und seinen Mitarbeitern geklärt.

Einer gesonderten Behandlung bedürfen jedoch die Erscheinungen, die sich bei der Neutronenbestrahlung der eingangs erwähnten Elemente mit den höchsten Ordnungszahlen zeigen.

Bei der Bestrahlung von Uran durch Neutronen hatte Fermi¹⁾ die Bildung von vier β -strahlenden Körpern beobachtet, nämlich zwei mit sehr kurzer, einen mit 13 min und einen mit ~ 100 min Halbwertszeit. Da bei allen anderen schweren Elementen ausschließlich der dritte Weg, nämlich die Isotopenbildung, beobachtet worden war, schloß Fermi hier auf eine Bildung eines radioaktiven Uranisotops. Bei dem darauffolgenden β -Zerfall konnte sich jedoch nicht wie sonst ein bekanntes stabiles Element höherer Ordnungszahl bilden, sondern es mußte daraus ein ebenfalls instabiles Element 93 entstehen. Aus diesem Grunde nahm Fermi an, daß die beiden bei der Bestrahlung von Uran auftretenden 13-min- und 100-min-Körper einem Element jenseits Uran zuzuordnen seien und weiterhin, daß sie vermutlich miteinander isotop sind. Bei dieser Untersuchung wurde nur kurze Zeit bestrahlt, um nicht durch die natürlichen radioaktiven Folgeprodukte des Urans (UX und UZ) gestört zu werden.

Auf Grund von Fällungsversuchen mit Protactinium glauben dann v. Grosse und Agruß²⁾, den 13-min-Körper dem Element 91 zuordnen zu müssen.

Eine ausführliche Untersuchung von O. Hahn und L. Meitner konnte nun in diese widerspruchsvollen und komplizierten Verhältnisse eine gewisse Klärung bringen³⁾. Sie wurde ermöglicht durch entsprechende chemische und radioaktive Reinigung des zu bestrahlenden Urans, Ausdehnung der Bestrahlungszeiten und weitgehende Verwendung von Fällungs- bzw. Trennungsreaktionen. Die Ergebnisse sind nunmehr folgende:

1. Durch Abtrennung von zugegebenem UZ (als Indicator für das Element 91) von dem 13-min-Körper wurde bewiesen, daß letzterer kein Protactiniumisotop ist. Hahn und Meitner finden dabei eine etwas größere Halbwertszeit als 13 min.
2. Durch verschiedene Fällungs- und Abscheidungsverfahren konnte der 13-min-Körper von dem Fermischen 100-min-Körper abgetrennt werden, die beiden sind also sicher nicht isotop.
3. Nach seinen chemischen Reaktionen handelt es sich bei dem 13-min-Körper sehr wahrscheinlich um das Element 93.
4. Durch Veränderung der Bestrahlungsdauer konnte gezeigt werden, daß der Fermische 100-min-Körper aus drei verschiedenen β -Strahlern mit den Halbwertszeiten 70–80 min ~ 12 h und 3 Tage besteht. Durch Fällungsreaktionen, wurde sichergestellt, daß diese drei Halbwertszeiten keinem Isotop der Elemente 86 bis 92 zuzuordnen sind, alle drei Körper zeigen Reaktionen der Platinmetalle.

¹⁾ E. Fermi, E. Amaldi, O. D'Agostino, F. Rasetti u. E. Segré, Proc. Roy. Soc., London, Ser. A, **146**, 483 [1934]. E. Amaldi, O. D'Agostino, E. Fermi, B. Pontecorvo, F. Rasetti u. E. Segré, ebenda **149**, 522 [1935] und Ricerca Scientifica (VI) I, 7 [1935].

²⁾ A. v. Grosse und M. S. Agruß, Nature **134**, 773 [1934].

³⁾ Die bisherigen Veröffentlichungen hierüber sind: O. Hahn und L. Meitner, Naturwiss. **23**, 37 [1935]; O. Hahn und L. Meitner, ebenda **23**, 230 [1935]. O. Hahn, L. Meitner u. F. Straßmann, ebenda **23**, 544 [1935].

Einfacher als beim Uran liegen die Verhältnisse beim Thorium, und hier konnte eine weitgehende Klärung der Erscheinungen erbracht werden⁴⁾.

Vorläufige Versuche von *Fermi*⁵⁾ beim Thorium hatten zur Entdeckung zweier β -Strahler mit den Halbwertszeiten 1 min und 24 min geführt, wobei letzterer entsprechend den Ergebnissen von Fällungsreaktionen sehr wahrscheinlich als mit Thorium isotyp angesehen wurde. Eine Verstärkung durch wasserstoffhaltige Substanzen konnte *Fermi* beim Thorium nicht beobachten.

Durch Anwendung einer der beim Uran geschilderten analogen Arbeitsweise gelangten hier *O. Hahn* und *L. Meitner* zu folgenden Ergebnissen:

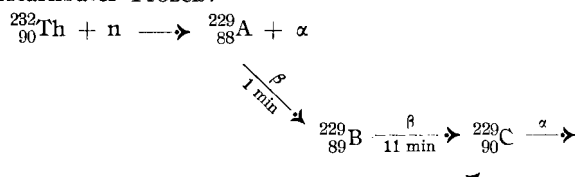
Es treten zwei Prozesse auf, ein nicht verstärkbarer und ein verstärkbarer.

Dem nicht verstärkbaren Prozeß gehört der von *Fermi* gefundene 1-min-Körper an. Dieser wandelt sich in einen von *Fermi* nicht gefundenen β -Strahler von etwa 11 bis 12 min Halbwertszeit um.

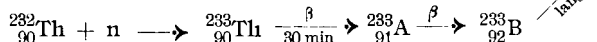
Dem verstärkbaren Prozeß gehört ein Körper von ungefähr 30 min Halbwertszeit an, dessen Isotopie mit Thorium durch chemische Trennungen nachgewiesen wurde. Er stellt also offenbar das durch Einfangen eines Neutrons entstandene Thoriumisotop ^{233}Th dar, und seine Bildung wird daher durch langsame Neutronen erheblich begünstigt. Der von *Fermi* und Mitarbeitern als Th-Isotop festgestellte 24-min-Körper dürfte damit identisch sein.

Auf Grund ihrer Versuchsergebnisse und Analogieschlüsse aus bekannten radioaktiven Tatsachen stellten *Hahn* und *Meitner* für die beiden Prozesse folgende Schemata auf:

I. Unverstärkbarer Prozeß:



II. Verstärkbarer Prozeß:



Hahn und *Meitner* wiesen schließlich noch als erste darauf hin, daß ihre angeführten beiden Umwandlungsschemata die ineinander übergehende bisher fehlende radioaktive Reihe vom Typus $4n + 1$ darstellen.

I. Curie, *v. Halban* und *Preiswerk* hatten dann bald darauf die Ergebnisse von *Hahn* und *Meitner* bestätigt⁶⁾. In zwei weiteren Untersuchungen⁷⁾ haben dieselben Forscher bewiesen, daß die Körper A und B des Schemas I sich tatsächlich wie Isotope des Radiums und Actiniums verhalten. Die Halbwertszeit des Ra-Isotops A des Schemas II bestimmten sie zu 2,5 min. Schließlich fanden sie noch eine weitere Substanz von etwa $3\frac{1}{2}$ Stunden Halbwertszeit, die einem anderen Zerfallsschema anzugehören scheint.

H.-J. Born: „Geochemische Beziehungen zwischen Helium-, Blei- u. Radium-Vorkommen in deutschen Salz- u. Öllagerstätten.“

Beim radioaktiven Zerfall der Elemente Uran und Thorium und einer größeren Anzahl ihrer instabilen Umwandlungsprodukte werden sogenannte α -Teilchen ausgeschleudert. In den radioaktiven Mineralien bleiben diese α -Teilchen, da sie Heliumkerne sind, als Heliumgas stecken. Man findet deshalb in diesen Mineralien eine ihrem geologischen Alter entsprechende Heliummenge, die bei allen Mineralien mehrere Kubikzentimeter Helium pro Gramm Mineral beträgt.

Außer diesen radioaktiven Mineralien gibt es noch zwei Mineralgruppen, in denen Helium gefunden wurde, bei denen jedoch eine α -Strahlung nicht nachgewiesen werden konnte.

Die eine Gruppe stellen gewisse Beryllminerale dar. Für ihren Heliumgehalt gab jüngst *O. Hahn* eine sich auf die neu-

esten Ergebnisse der Kernphysik stützende Erklärung. Danach entsteht durch die γ -Strahlung anliegender radioaktiver Substanzen aus dem Element Beryllium unter Abspaltung von Neutronen eine isotope Atomart des Berylliums mit dem Atomgewicht 8, die instabil ist und sofort in zwei Heliumatome zerfällt⁸⁾.

Die zweite nicht radioaktive Mineralgruppe, bei der ein Gehalt von Helium gefunden wurde, sind gewisse Alkalihalogenide. Eine Erklärung des Heliumgehaltes für diese Gruppe gibt nun eine neue Untersuchung von *O. Hahn* und *H. J. Born*⁹⁾. Sie gründet sich auf die früher gemachte Feststellung, daß Kalium- und Natriumchlorid beim Auskristallisieren aus der wässrigen Lösung darin gelöste geringe Bleimengen fast vollständig mitfällt. Die natürlichen Alkalihalogenide sind ebenfalls durch Kristallisation aus wässriger Lösung entstanden, teils aus dem Zechsteinmeer, teils durch Umkristallisation primärer Salze aus Salzlaugen und Tiefenwässern. In dem Zechsteinmeer werden, wie in den heutigen Meeren, kleine Mengen Uran gelöst gewesen sein, ebenso auch ein radioaktives Umwandlungsprodukt des Urans, das Bleisotop Radium D, das dann mit den auskristallisierenden Alkalihalogeniden Sylvit und Steinsalz nach dem oben Gesagten mitgefällt wurde. Aus dem Radium D bildet sich dann in den Alkalihalogeniden durch weiteren Zerfall das α -strahlende Polonium, und auf diese α -Strahlen ist der Heliumgehalt zurückzuführen. Das Helium blieb in den Mineralien stecken, während die radioaktiven Substanzen verschwunden sind.

Eine gewisse Schwierigkeit für diese Erklärung des Heliumgehaltes der Alkalihalogenide bereitete die Tatsache, daß der Heliumgehalt gewisser Minerale, insbesondere des Sylvits, viel größer ist, als nach dem vermutlichen RaD-Gehalt des Zechsteinmeers zu erwarten wäre. Diese Schwierigkeit wird behoben durch die Annahme, daß diese Minerale sekundär aus den schon erwähnten sogenannten „Tiefenwässern“ auskristallisiert sind. Damit war dann die Möglichkeit des Einbaues einer viel größeren RaD-Menge gegeben, wenn diese Tiefenwässer viel mehr Radium und damit auch Radium D gelöst enthalten als das Meer. In der Tat hat eine Untersuchung solcher Tiefenwässer in der Nähe von Salzlagern ergeben, daß sie viel radiumreicher sind als das Meerwasser und als der Durchschnitt gewöhnlicher Quellwässer. So enthalten thüringische Wässer 10^4 bis 10^6 mal mehr Radium als gewöhnliches Meerwasser und bis zu dreimal mehr Radium als die stärkste Radiumquelle Deutschlands, die Heidelberger Quelle.

Die Erklärung des Heliumgehaltes der natürlichen Alkalihalogenide durch die Mitfällung von gelöstem Radium D beim Auskristallisieren dürfte somit den Tatsachen entsprechen, zugleich ist damit ein Beweis für die sekundäre Entstehung der Sylvine unter Mitwirkung von Tiefenwässern erbracht.

P. Günther, *R. Meyer* und *F. Müller-Skjold*: „Zur Thermochemie der Stickstoffwasserstoffsäure“ (Vorgetragen von *P. Günther*).

Von den physikalischen Konstanten und den thermochemischen Daten der Stickstoffwasserstoffsäure war bis vor kurzem so gut wie nichts bekannt. *Berthelot* und *Roth* hatten die Bildungswärme der flüssigen Säure auf indirektem Wege berechnet, und zwar zu 53,4 bzw. 67 kcal/Mol. Man wählte die indirekte Methode, da eine direkte Bestimmung bei der Gefährlichkeit der Substanz für ausgeschlossen galt. *Günther* hat nun mit seinen Mitarbeitern experimentell folgende Werte bestimmt: Bildungswärme der gasförmigen Substanz aus den Elementen: $70,9 \pm 0,5$ kcal/Mol; Verdampfungswärme: 7,29 kcal/Mol; Lösungswärme der Säure in Wasser: 9,73 kcal/Mol; Dichte der Flüssigkeit bei Zimmertemperatur $1,126 / (1 + 0,0013 t)$ und aus der Dampfdruckkurve den Siedepunkt zu $35,7^\circ$. Im Verlauf dieser Untersuchungen wurde als brauchbarste Darstellungsmethode dieser hochexplosiven Substanz die Zersetzung von Natriumazid mit Stearinsäure bei ungefähr 80° gewählt. Die Darstellung erfolgte im Vakuum, die entstehende gasförmige Substanz wurde in Fallen bei der Temperatur von fester Kohlensäure kondensiert und durch fraktionierte Destillation gereinigt. Hahnfett, Kittmittel jeder

⁴⁾ *O. Hahn* u. *L. Meitner*, Naturwiss. **23**, 320 [1935].

⁵⁾ *E. Amaldi*, *O. D'Agostino*, *E. Fermi*, *B. Pontecorvo*, *F. Raselli* u. *E. Segré*, Proc. Roy. Soc., London, Ser. A, **149**, 522 [1935] u. *Ricerca Scientifica* (VI) I, 7 [1935].

⁶⁾ *I. Curie*, *H. v. Halban* u. *P. Preiswerk*, C. R. hebdom. Séances Acad. Sci. **200**, 1841 [1935].

⁷⁾ *I. Curie*, *H. v. Halban* u. *P. Preiswerk*, ebenda **200**, 2079 [1935]; *J. Physique Radium* (VII) **6**, 361 [1935].

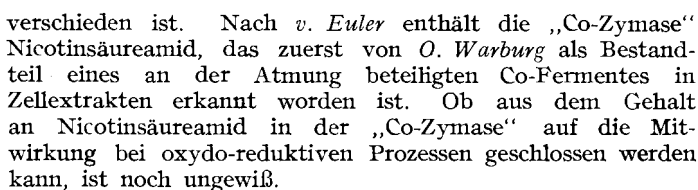
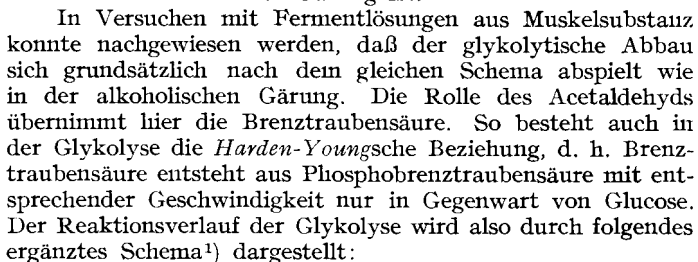
⁸⁾ *O. Hahn*, Naturwiss. **22**, 744 [1934].

⁹⁾ *O. Hahn* u. *H.-J. Born*, ebenda, **23**, 739 [1935]. *H.-J. Born*, Kali, verwandte Salze, Erdöl (im Druck).

Erschütterungen, so kann man mit ihr umgehen, jedoch warnte Votr. davor, da die reine flüssige Säure mehrmals ohne ersichtlichen Grund explodierte und erheblichen Schaden anrichtete.

Heidelberg, den 16. Dezember 1935.

Diese Gleichung stellt aber nur eine Bilanzgleichung dar, alle im Verlaufe des enzymatischen Kohlenhydrat-Abbaus vorkommenden Phosphorylierungen und Dephosphorylierungen verlaufen über das System Adenylsäure — Adenosindi- und Adenosintriphosphorsäure²⁾. Der primäre Grund für die langsame Dephosphorylierung der Phosphobrenztraubensäure ist also das Fehlen des Phosphorsäure-Akzeptors Adenylsäure die aus ihren höher phosphorylierten Stufen in ausreichendem Maße erst bei Glucosezusatz eben durch die Bildung von Hexosediphosphorsäure entsteht. Das vervollständigte Schema des Kohlenhydrat-Abbaus im Verlauf der alkoholischen Gärung sieht also folgendermaßen aus (unter Fortlassung der Adenylsäure-Reaktionen):



²⁾ Vgl. ebenda 48, 165 [1935]. ³⁾ Vgl. z. B. ebenda 47, 14 [1934.]