

Suche nach 6–10 d Sr → > 100 d Y in der Uranspaltung

Von GÜNTER HERRMANN* und FRITZ STRASSMANN

Aus dem Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Mainz

(Z. Naturforschg. 10a, 146–151 [1955]; eingegangen am 18. Dezember 1954)

Herrn Prof. Otto Hahn zum 75. Geburtstag gewidmet

Die durch Bestrahlung von Uran mit langsamen Neutronen entstehenden langlebigen Strontiumisotope wurden untersucht. Ein Verfahren zur Messung des Zerfalls der Strontiumisotope mit laufender Entfernung der nachgebildeten Tochtersubstanzen wurde ausgearbeitet und seine Brauchbarkeit am 9,7 h ⁹¹Sr bewiesen. Weder in der Strontiumfraktion noch im aus Strontium isolierten Yttrium konnte eine vermutete 6–10 d Sr → > 100 Y-Kette nachgewiesen werden. Die Halbwertszeit des ⁸⁹Sr wurde zu 50,5 ± 0,2 d bestimmt; die Ursache einer Unregelmäßigkeit beim Zerfall des ⁸⁹Sr aus der Spaltung ist noch nicht geklärt.

Unter den Spaltprodukten des Urans befinden sich einige Strontiumisotope, die mit ihren Mutter- und Tochtersubstanzen in Tab. 1 zusammengestellt sind¹. Beobachtungen² bei der Verarbeitung von relativ stark und lange bestrahlten Uranproben deuteten darauf hin, daß eine weitere Kette mit einem 6–10 d Strontium und einem > 100 d Yttrium existiert. Das > 100 d Y war mit starker Intensität in Fraktionen aufgetreten, die aus Spaltstrontium abgetrennt worden waren. Das 6–10 d Sr war nicht direkt beobachtet worden.

Seine Halbwertszeit wurde aus dem Auftreten des Yttriums in den verschiedenen Yttriumfällungen geschätzt; die bekannten Strontiumisotope schieben auf jeden Fall als Muttersubstanzen aus. Die später zugänglich gewordenen umfangreichen Arbeiten anderer Autoren über die Produkte der Kernspaltung³ brachten keinen Hinweis auf diese beiden Isotope. Dagegen haben Boley und Dunavan⁴ bei der Untersuchung einer von Langer und Price⁵ zuerst bemerkten γ-Strahlung des 61 d ⁹¹Y in der Yttriumfraktion der Spaltung einen

| Masse | Brom | Krypton | Rubidium | Strontium | Yttrium | Zirkon | Niob |
|-------|----------|----------|----------|-----------|-----------------|---------------------------|----------|
| 88 | 15,5 s → | 2,77 h → | 17,8 m → | stabil | | | |
| 89 | 4,51 s → | 3,18 m → | 15,4 m → | 50,5 d | ↓ (14 s) stabil | | |
| 90 | | 33 s → | 2,74 m → | 19,9 a | → 64,6 h | → stabil | |
| 91 | | 9,8 s → | 1,67 m → | 9,67 h | → 50,3 m | → stabil | |
| 92 | | 3,0 s → | 80 s → | 2,7 h | → 61 d | → stabil | |
| 93 | | 2,0 s → | kurz → | 7 m | → 3,60 h | → stabil | |
| 94 | | 1,4 s → | kurz → | ca. 2 m | → 10,0 h | → 9,5 · 10 ⁶ a | → 3,65 a |
| 95 | | kurz → | kurz → | kurz → | → 16,5 m | → stabil | → 84 h |
| 96 | | | | | → (10,5 m) | → 65 d | → 35 d |
| 97 | | | | | | stabil | → 60 s |
| | | | | | | 17,0 h | → 72,1 m |

Tab. 1. Die bei der Uranspaltung entstehenden Strontium- und Yttriumisotope und ihre Mutter- und Tochtersubstanzen. () in der Spaltung noch nicht aufgefunden.

* Auszug aus der Diplomarbeit, Mainz 1953, und der Dissertation, Mainz 1955, D 77. Ein kurzer Bericht über die Untersuchung wurde auf der Tagung der Deutschen Bunsengesellschaft im Mai 1954 gegeben, vgl. Z. Elektrochemie 58, 626 [1954].
¹ Angaben über die Eigenschaften der Isotope und Literaturhinweise vgl. J. M. Hollander, I. Perlman u. G. T. Seaborg, Rev. Mod. Phys. 25, 469 [1953]. J. Mattauich u. A. Flammersfeld, Isotopenbericht, Tübingen 1949.
² F. Straßmann, unveröffentlichte Arbeiten. Vgl.

W. Seelmann-Eggebert u. F. Straßmann, Z. Naturforschg. 2a, 80 [1947].
³ a) Plutonium Project Report, J. Amer. Chem. Soc. 68, 2411 [1946]; b) Radiochemical Studies: The Fission Products, Herausg. C. D. Coryell u. N. Sugarman, New York 1951; c) W. E. Grummitt u. G. Wilkinson, Nature, Lond. 158, 163 [1946].
⁴ F. J. Boley u. D. S. Dunavan, Phys. Rev. 90, 158 [1953].
⁵ L. M. Langer u. H. C. Price, Phys. Rev. 76, 641 [1949].



γ -Strahler von 160 d Halbwertszeit beobachtet. Diese Halbwertszeit entsprach zwar genau der damals gemessenen, Boley und Dunavan nahmen aber als Ursache eine Verunreinigung an. Bunker, Mize und Starnier⁶ haben diese Beobachtung neuerdings nachgeprüft. Sie fanden einen γ -Strahler gleicher Energie mit einer Halbwertszeit von 58,5 Tagen. Auch von dieser Seite ist damit keine Bestätigung der früheren Messungen erfolgt. Wir hielten eine gründliche Nachprüfung für angebracht.

Die Werte für Z_A , B_A , δ_A und $(\pi-\nu)$ wurden den Tabellen von Coryell⁷ entnommen. Ein Vergleich zwischen experimentellen und berechneten Werten zeigte für ungerade Massenzahlen (2) gute Übereinstimmung. Für gerade Massenzahlen (1) beobachtete man dagegen Abweichungen, die nach Coryell⁸ zu erwarten waren, da die Größe δ_A nur ungenau bekannt ist. Diese Abweichungen waren beim ^{90}Y , ^{92}Y und ^{94}Y etwa gleich groß, so daß alle nach (1) berechneten Werte für Yttrium um -1.0 MeV korrigiert wurden. Für Strontium wurde eine

| Masse | Strontium | | | | | Yttrium | | | | |
|-------|------------------|---------------|---------------|------------------|-------|------------------|---------------|---------------|------------------|-------|
| | berechnet | | | gefunden | | berechnet | | | gefunden | |
| | Q_β MeV | T nach 3 | T nach 4 | Q_β MeV | T | Q_β MeV | T nach 3 | T nach 4 | Q_β MeV | T |
| 89 | 1,4 | 60 d | 2 d | 1,5 | 50 d | | | | | |
| 90 | 0,5 | 17 a | 30 d | 0,5 | 20 a | 2,4 | 3 d | 4 h | 2,2 | 2,7 d |
| 91 | 2,9 | 20 h | 1 h | 2,7 | 10 h | 1,8 | 15 d | 10 h | 1,6 | 61 d |
| 92 | 2,0 | 6 d | 7 h | | 2,7 h | 3,9 | 4 h | 20 m | 3,6 | 3,6 h |
| 93 | 4,4 | 2 h | 13 m | | 7 m | 3,3 | 10 h | 40 m | 3,1 | 10 h |
| 94 | 3,4 | 7 h | 50 m | | 2 m | 5,4 | 20 m | 4 m | 5,4 | 16 m |
| 95 | 5,9 | 13 m | 3 m | | k. | 4,8 | 50 m | 8 m | | 10 m |
| 96 | 4,9 | 50 m | 8 m | | | 6,9 | 5 m | 2 m | | |
| 97 | 7,3 | 4 m | 1 m | | | 6,2 | 10 m | 3 m | | |
| 98 | 6,2 | 10 m | 3 m | | | 8,3 | 1 m | 1 m | | |

Tab. 2. Abschätzung von Energie und Halbwertszeit der schweren Strontium- und Yttriumisotope.

Systematische Betrachtungen

Zunächst wurde geprüft, ob nach der Systematik des β -Zerfalls die Existenz der beiden Strahler unter den als Spaltprodukte zu erwartenden Isotopen des Strontiums und Yttriums überhaupt wahrscheinlich ist. Hierzu wurde auf der Basis der Weizsäckerschen Gleichung die maximale β -Energie Q_β dieser Isotope berechnet⁷:

$$Q_\beta = B_A (Z_A - Z - 0,5) \mp \delta_A, \quad A \text{ gerade} \begin{cases} Z \text{ gerade} \\ Z \text{ ungerade} \end{cases} \quad (1)$$

$$Q_\beta = B_A (Z_A - Z - 0,5) \mp (\pi - \nu),$$

$$A \text{ ungerade} \begin{cases} Z \text{ gerade} \\ Z \text{ ungerade} \end{cases} \quad (2)$$

B_A Krümmung eines Isobarenschnitts der Kernenergiefläche;

Z_A Kernladungszahl im Minimum eines Isobarenschnitts der Kernenergiefläche;

δ_A , $(\pi - \nu)$ Korrekturglieder für den Paarungseffekt.

Korrektur um $+0.7$ MeV angebracht, die sich allerdings allein auf den für ^{90}Sr errechneten Wert stützt.

Von den Zerfallsenergien Q_β gelangte man auf folgende Weise zu einer Abschätzung der Halbwertszeiten. Nach Mayer, Moszkowski und Nordheim⁹ sind auf Grund des Kernschalenmodells für die fraglichen Kerne β -Übergänge folgender Termzuordnungen und $\log fT$ -Werte zu erwarten:

$$d_{5/2} \rightleftharpoons p_{1/2} \text{ mit } \log (w_0^2 - 1) fT \approx 9,6, \quad (3)$$

$$s_{1/2} \rightleftharpoons p_{1/2} \text{ mit } \log fT \approx 6,8. \quad (4)$$

Aus den errechneten Q_β -Werten wurden die zugehörigen $\log f$ bzw. $\log (w_0^2 - 1) f$ nach Feenberg und Trigg¹⁰ ermittelt und nach (3) und (4) die Halbwertszeit T errechnet. In Tab. 2 sind die Resultate zusammengestellt. Die Abschätzungen führen — soweit ein Vergleich mit experimentellen

⁶ M. E. Bunker, J. P. Mize u. J. W. Starnier, Phys. Rev. **94**, 1694 [1954].

⁷ C. D. Coryell, Annu. Rev. Nucl. Sci. **2**, 305 [1953].

⁸ C. D. Coryell, in Ref. (7), S. 328 ff.

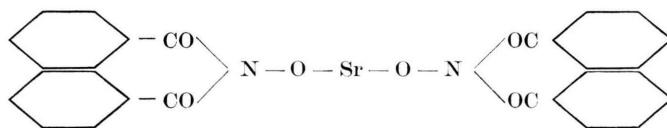
⁹ M. G. Mayer, S. A. Moszkowski u. L. W. Nordheim, Rev. Mod. Phys. **23**, 315 [1951]. L. W. Nordheim, ibid. S. 322.

¹⁰ E. Feenberg u. G. Trigg, Rev. Mod. Phys. **22**, 399 [1950].

Werten möglich ist — zu durchaus brauchbaren Angaben. Man kann aus der Tab. 2 schließen, daß eine 6—10 d $\text{Sr} \rightarrow > 100$ d Y-Kette nur für die Massen 89—92 zu erwarten ist; dieser Schluß läßt sich auch dann aufrechterhalten, wenn die Möglichkeit komplexer β -Zerfälle berücksichtigt wird. Nun sind die Massen 89—91 bereits durch massenspektrographisch zugeordnete Isotope besetzt, während die Zuordnung des ^{92}Sr und ^{92}Y sehr wahrscheinlich ist¹¹. Bei den Kernen ungerader Massenzahl wäre eine doppelte Besetzung einer Masse durch zwei isomere Kerne wohl prinzipiell möglich. Beim Strontium ist aber oberhalb der Masse 88 nach dem Kernschalenmodell eine Isomerie kaum denkbar, da die Neutronenzahl 50 eben überschritten wird¹¹. Es besteht demnach wenig Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der beiden vermuteten Isotope in der Spaltung.

Messung der Strontiumisotope mit laufender Abtrennung der Tochtersubstanzen

Aus dem mit langsamen Neutronen bestrahlten Uranylнитrat — bis zu 300 g waren erforderlich — wurde Strontium in der üblichen Weise isoliert¹². Uran wurde ausgeäthert, Strontium mit rauchender Salpetersäure gefällt, das mitgefallene Barium als Chromat abgetrennt und das Strontium schließlich durch



bewährt, die Beck¹⁵ zur Mikrobestimmung empfohlen hat. Die Fällung wurde in neutraler bis schwach ammoniakalischer Lösung (p_{H} -Wert 5—8) in der Hitze mit 0,05-m.-Lösungen von Natriumnaphthalhydroxamat (hergestellt nach¹⁶) ausgeführt. Strontium fällt als roter Niederschlag, aus dem auch bei 1—2 mg Sr^{2+} , entsprechend Schichtdicken von 1—2 mg/cm², durch Filtration mit plangeschliffenen Glasfritten und Membranfiltern gleichmäßige Präparate hergestellt werden konnten. Die Präparate wurden nach dem Filtrieren mit 80proz. Alkohol gewaschen, trocken gesaugt und auf Aluminiumplatten geklebt. Verwendet wurden Glockenzählrohre mit Glimmerfenstern von 1—2 mg/cm² Dicke. Tab. 3 faßt die zur Prüfung des Verfahrens

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Fällungen von Yttrium und Lanthan befreit. Eine Mitfällung von Ruthenium und Zinn¹³ haben wir nie beobachten können; dennoch wurden — um jede Möglichkeit einer Verunreinigung auszuschalten — H_2S -Fällungen vorgenommen, ebenso wurde SrCO_3 mehrfach neben Rubidium und Cäsium umgefällt. Alle Strontiumpräparate wurden durch BaCl_2 -Fällungen auf 12,8 d ^{140}Ba geprüft, das stets abwesend war.

Der Zerfall der Strontiumisotope wurde zum Teil mit laufender Entfernung der Tochtersubstanzen¹⁴ gemessen. Hierzu wurde das SrCO_3 gelöst und in einem Meßkolben aufgefüllt. Für jeden Meßpunkt der Zerfallskurve wurde der Lösung ein abgemessener Teil entnommen. Eine stets gleiche Menge Träger für Yttrium (1 mg Fe^{3+}) und Strontium wurde zugesetzt, Yttrium mit carbonatfreiem Ammoniak an $\text{Fe}(\text{OH})_3$ gefällt und im Filtrat Strontium abgeschieden. Für den nächsten Meßpunkt wurde ein neues Strontiumpräparat auf dieselbe Weise hergestellt. Damit wurden die nachgebildeten Tochtersubstanzen ständig entfernt, so daß die Messung der reinen Strontiumabfälle möglich war. Voraussetzung für das Verfahren ist eine genau reproduzierbare Methode zur Herstellung der Präparate. Weiter muß die Zeit zwischen dem Ende der Fällung der Tochtersubstanzen und dem Ende der Messung so klein gehalten werden, daß eine meßbare Nachbildung nicht auftritt. Zur Fällung des Strontiums verwendeten wir für Präparatdicken oberhalb 10 mg/cm² (entsprechend etwa > 40 mg Sr^{2+}) Ammonium- bzw. Natriumcarbonat. Die Carbonatfällung ist aber für kleinere Strontiummengen ungeeignet. Statt dessen hat sich die Fällung als Strontium-Naphthalhydroxamat

durchgeführten Versuchsreihen zusammen. Der mittlere Fehler einer Einzelmessung σ_{ex} weicht nur wenig vom statistischen Fehler des radioaktiven Zerfalls σ_{st} ab. Auch für weiche β -Strahler ist das Verfahren geeignet, wie die Messungen des ^{45}Ca zeigen, das eben-

| Isotop | Träger mg | Schicht mg/cm ² | Zahl der Werte | Abstand Zählrohr-Präparat | | | |
|------------------|--------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | 13 mm | | 24 mm | |
| | | | | $\sigma_{\text{ex}}\%$ | $\sigma_{\text{st}}\%$ | $\sigma_{\text{ex}}\%$ | $\sigma_{\text{st}}\%$ |
| ^{89}Sr | 3,3 | 2,5 | 20 | 2,4 | 1,4 | 1,5 | 1,4 |
| ^{90}Sr | 1,0 | 0,8 | 5 | | | 1,6 | 0,5 |
| ^{45}Ca | 2,1 | 4,0 | 9 | 3,0 | 1,0 | 1,5 | 1,0 |

Tab. 3. Messung von ^{89}Sr und ^{45}Ca als Naphthalhydroxamat.

¹¹ O. Haxel, J. H. D. Jensen u. H. E. Suess, Z. Phys. **128**, 307 [1950]; M. G. Mayer, Phys. Rev. **78**, 20 [1950].

¹² Vgl. O. Hahn, F. Straßmann u. W. Seelmann-Eggebert, Z. Naturforsch. **1**, 545 [1946].

¹³ G. Wilkinson u. W. E. Grummitt, Nucleonics **9**, (No. 3) 52 [1951].

¹⁴ O. Hahn u. F. Straßmann, Z. Phys. **117**, 798 [1941]; **121**, 736 [1943]; Naturwiss. **30**, 326 [1942].

¹⁵ G. Beck, Mikrochemie **36/37**, 245 [1951].

¹⁶ G. F. Jaubert, Chem. Ber. **28**, 362 [1895].

falls mit Naphthalhydroxamsäure fällbar ist. Im ganzen erfaßt die Methode bei 1—3 mg Sr^{2+} und 1—2 mg Fe^{3+} 95% des Strontiums, der Rest wird am $\text{Fe}(\text{OH})_3$ adsorbiert oder gelangt ins Filtrat des Strontiumniederschlags. Vom Beginn der $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Fällung bis zum Beginn der Messungen dauert das Verfahren etwa 3—4 Minuten.

Weiter wurde geprüft, ob die Messung von Zerfallskurven mit laufender Entfernung der Tochtersubstanzen der fortlaufenden Messung eines einzigen Präparates gleichwertig ist. Hierzu wurde das 9,7 h ^{91}Sr untersucht, dessen Eigenschaften durch Finkle, Katcoff und Sugarman¹⁷ gut bekannt waren. Wir haben insgesamt dreißig Abfälle durch verschiedenen Aluminium- und Bleiabsorber aufgenommen. Tab. 4 gibt die Ergebnisse wieder. Hinsichtlich der Halbwertszeit herrscht gute Übereinstimmung. Dagegen fanden

wir bei der Auswertung der β -Absorptionskurven nach Bleuler und Zünti¹⁸ und für die γ -Energie abweichende Werte. Die inzwischen von Ames, Bunker, Langer und Sorenson¹⁹ durchgeführte spektrographische Untersuchung des ^{91}Sr

| Autoren | Finkle, Katcoff, Sugarman ¹⁷ | Ames, Bunker, Langer, Sorenson ¹⁹ | Diese Arbeit |
|----------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| Methode | Absorptionsmessung | Spektrographisch | Absorptionsmessung |
| Halbwertszeit | 9,7 h | 9,67 ± 0,02 h | 9,7 ± 0,1 h |
| β -Energie (MeV) | 3,2 (60%) 1,3 (40%) | 2,665 (26,4%) 2,03 (4,1%) 1,359 (29,2%) 1,093 (33,1%) 0,61 (7,2%) | 2,7 (25%) 1,4 (25%) 0,8 (50%) |
| mittlere γ -Energie (MeV) | 1,3 | 0,9 | 0,9 |

Tab. 4. Die Eigenschaften des ^{91}Sr . Vergleich einiger Arbeiten.

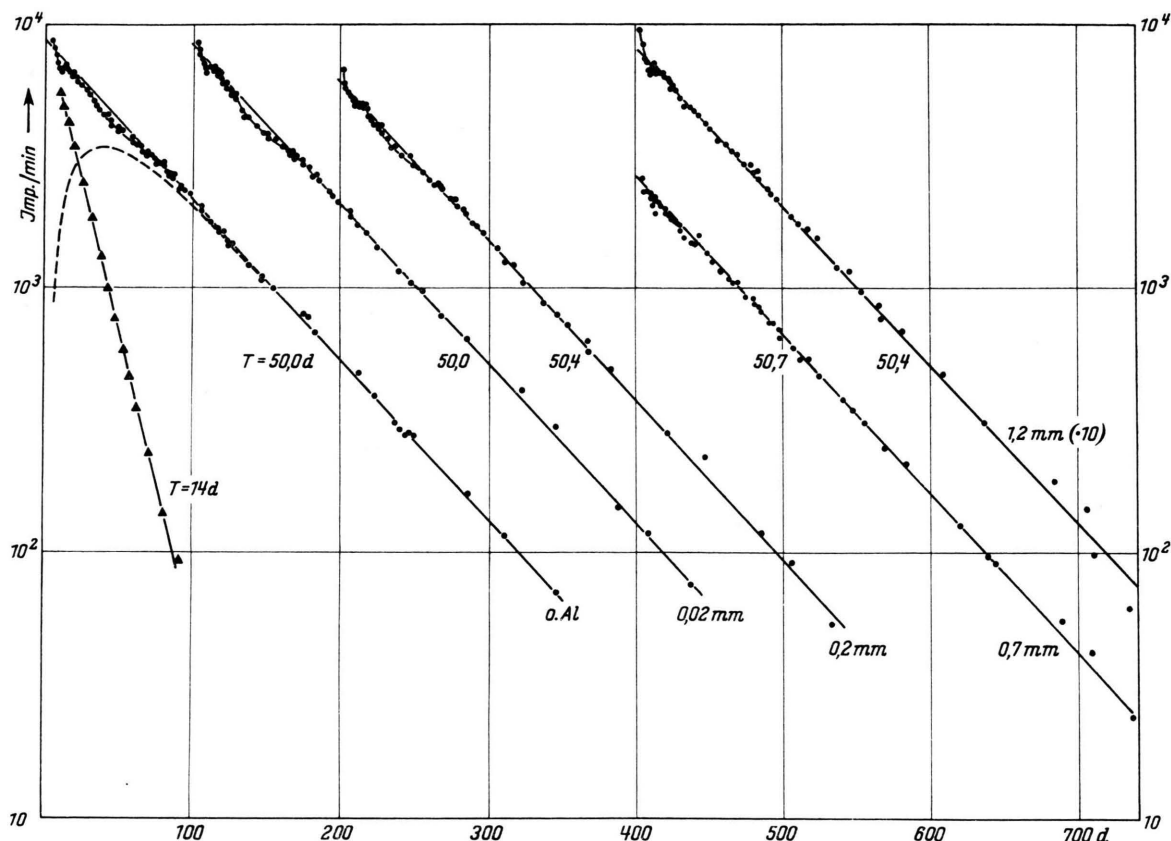


Abb. 1. Messungen von Strontium aus der Spaltung mit laufender Entfernung der Tochtersubstanzen durch verschieden dicke Aluminiumabsorber. Das 20a ^{90}Sr ist bereits abgezogen.

¹⁷ B. Finkle, S. Katcoff u. N. Sugarman, in Ref. (3b), S. 663.

¹⁸ E. Bleuler u. W. Zünti, Helv. phys. Acta **19**, 375 [1946].

¹⁹ D. P. Ames, M. E. Bunker, L. M. Langer, u. B. M. Sorenson, Phys. Rev. **91**, 68 [1953].

bestätigte unserer Auswertung. Damit war zugleich bewiesen, daß das verwendete Verfahren zur Untersuchung von Zerfallskurven durchaus geeignet ist.

Suche nach dem 6—10 d Strontium

Die beschriebene Technik wurde mit dünnen Präparaten auf die langlebigen Strontiumisotope angewandt. Die Bestrahlungszeit betrug höchstens einen Tag, um die Intensität des $20\text{ a }^{90}\text{Sr}$ niedrig zu halten. Man konnte dann erwarten, daß nach Zerfall des ^{91}Sr etwa vom fünften Tag nach Bestrahlungsende an der reine Abfall des 53—55 d ^{89}Sr beobachtet wird; ein 6—10 d Sr sollte sich in einer anfänglichen Verkürzung der Halbwertszeit bemerkbar machen. Nach Abzug des $20\text{ a }^{90}\text{Sr}$ fanden wir zunächst für das ^{89}Sr eine etwas kürzere Halbwertszeit, und zwar aus 16 über 350 Tage durch verschiedene Aluminiumabsorber gemessenen Kurven im Mittel $50,5 \pm 0,2\text{ d}$. Gleichzeitig aber trat bei einigen Versuchen in reproduzierbarer Weise bei dünnen Absorbern eine Abweichung vom rein exponentiellen Abfall des ^{89}Sr auf. Die Meßpunkte lagen jedoch nicht etwa über, sondern unter den mit 50 d Halbwertszeit extrapolierten Kurven; Abb. 1 zeigt einige Kurven. Man erkennt zugleich, daß dieselben Präparate durch dickere Folien rein exponentiell mit 50 d zerfielen. Die nähere Untersuchung dieses Effektes ist im Gange. Zur Neubestimmung der Halbwertszeit des ^{89}Sr wurde dieses Isotop durch (n, γ)-Prozeß mit verlangsamt-

ten Pile-Neutronen aus natürlichem Strontium und 99,25-proz. ^{88}Sr sowie durch (n, p)-Prozeß aus Y_2O_3 mit unverlangsamten Pile-Neutronen gewonnen und sorgfältig gereinigt. Aus ^{88}Sr und ^{89}Y kann unter diesen Bedingungen nur ^{89}Sr , aber kein anderes Strontiumisotop entstehen. Bei der Bestrahlung von natürlichem Strontium wird dagegen etwas 65 d ^{85}Sr gebildet, das bei dicken Aluminiumabsorbern (oberhalb 1,2 mm Al) zu einer Verlängerung der Halbwertszeit des ^{89}Sr führt. Tab. 5 stellt die Messungen der Halbwertszeit des ^{89}Sr zusammen; als gewogenes Mittel wurde ein Wert von $50,5 \pm 0,2\text{ d}$ gefunden und damit zugleich die Messung am Spaltstrontium bestätigt.

Für die Suche nach dem 6—10 d Strontium ist es unwesentlich, worauf die anfängliche Abweichung beim Zerfall des ^{89}Sr aus Uran zurückzuführen ist, wenn das 6—10 d Sr als Ursache ausgeschaltet werden kann. Es wurde versucht, die Kurven so auszuwerten, daß ein Strontium dieser Halbwertszeit als Ursache der Abweichung betrachtet werden kann. Nach Abb. 2 ist dies tatsächlich möglich; zieht man von der Kurve einen Anstieg des 50 d Sr aus einem 15 d Sr als Muttersubstanz ab, so bleibt als Restaktivität ein 14 d Abfall. Die Untersuchung der Strontiumfraktion allein kann daher eine Entscheidung über die Existenz des 6—10 d Strontiums bringen. Es sei betont, daß die in Abb. 2 durchgeführte Auswertung nicht als Interpretation der Messungen aufzufassen ist, sondern lediglich den eben erwähnten Zweck

| Prozeß | Versuch Nr. | Zahl der Abfälle | Al-Absorber mm | Dauer der Messung (Tage) | Halbwertszeit (Tage) | Gewicht |
|-------------------------|----------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|---------|
| Sr (n, γ) | 1 | 14 | 0—1,2 | 400 | 51,0 ± 0,4 | 2 |
| | | 15 | 0—1,2 | 500 | 50,3 ± 0,1 | 10 |
| | | 8 | 0—0,2 | 200 | 51,1 ± 0,9 | 1 |
| | | 17 | 0—1,2 | 200 | 50,9 ± 0,1 | 10 |
| | 2 | 1* | 0 | 200 | 50,7 ± 0,2 | 5 |
| | | | | | | |
| ⁸⁸ Sr (n, γ) | 1 | 18 | 0—2,2 | 300 | 49,4 ± 0,1 | 10 |
| Y (n, p) | 1 | 15 | 0—2,0 | 200 | 50,4 ± 0,2 | 5 |
| | | 16 | 0—1,5 | 400 | 50,5 ± 0,1 | 10 |
| | | 11 | 0—2,2 | 400 | 51,6 ± 0,2 | 5 |
| | | 15 | 0—1,2 | 400 | 50,6 ± 0,1 | 10 |
| | 2 | 8 | 0—0,7 | 200 | 50,4 ± 0,2 | 5 |
| | | 11 | 0—0,5 | 100 | 50,0 ± 0,3 | 3 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Mittel | | | | | 50,5 ± 0,2 d | |

* Messung mit einem β -Elektroskop nach H. Carmichael²⁰.

Tab. 5. Die Halbwertszeit des ^{89}Sr .

²⁰ Vgl. z. B. W. J. Whitehouse u. J. L. Putman, *Radioactive Isotopes*, S. 254. Oxford 1953.

verfolgt. Eine Isomerie beim ^{89}Sr , denn das würde diese Auswertung bedeuten, wäre überraschend, sie ist zur Zeit keinesfalls bewiesen.

„15 d Sr“ in dieses Isotop zerfällt. Damit war die Suche nach der vermuteten Kette negativ verlaufen. Aus unseren Versuchen können wir für diese Kette eine Spaltausbeute von $<0,02\%$ folgern.

Suche nach langlebigem Rubidium

Schließlich haben wir noch geprüft, ob der Nachweis der gesuchten Isotope etwa dadurch erschwert wird, daß ihre Muttersubstanz langlebig ist. Es war von vornherein sehr unwahrscheinlich, daß ein langlebiges Rubidium existiert. Das einzige bisher bei der Uranspaltung nachgewiesene Rubidiumisotop mit einer Halbwertszeit von mehr als einer Stunde ist, wenn man vom ^{87}Rb mit $6 \cdot 10^{10}$ a Halbwertszeit absieht, das 19,5 d ^{86}Rb , das als abgeschirmter Kern mit außergewöhnlich geringer Ausbeute auftritt²¹. Ein weiteres langlebiges Rubidium hätte mit Sicherheit beobachtet werden müssen. Wir haben aus bestrahltem Uran im Filtrat der ersten Strontiumfällung nach Wochen oder Monaten erneute Strontiumfällungen vorgenommen. Gefunden wurde lediglich ein bei der ersten Fällung in Lösung gebliebener Rest von ^{89}Sr und ^{90}Sr ; dagegen wurden keine Hinweise auf ein 6 bis 10 d Sr oder > 100 d Y erhalten. Ebenso war auch die Suche nach den beiden Isotopen in einem acht Jahre alten Rubidium aus der Spaltung ohne Erfolg.

Ergebnis der Untersuchung

Das vor Jahren in der Spaltung beobachtete > 100 d Yttrium und seine vermutete Muttersubstanz 6—10 d Sr konnte nicht nachgewiesen werden. Die naheliegende Erklärung, daß es sich bei den früheren Beobachtungen um eine Verunreinigung gehandelt haben muß, befriedigt deshalb nicht restlos, weil das dort wie hier verwendete Verfahren zur Isolierung des Strontiums als sehr zuverlässig bekannt ist und Verunreinigungen in derartiger Intensität nie beobachtet wurden.

Für die Vermittlung bestrahlter U_3O_8 -Proben danken wir Herrn Dr. H. Seligman, Harwell, für Bestrahlungen in Mainz Herrn Professor Dr. A. Flammersfeld und Herrn Professor Dr. P. Jensen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind wir für finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet.

²¹ M. H. Feldman u. L. E. Glendenin, in Ref. (3b), S. 654.

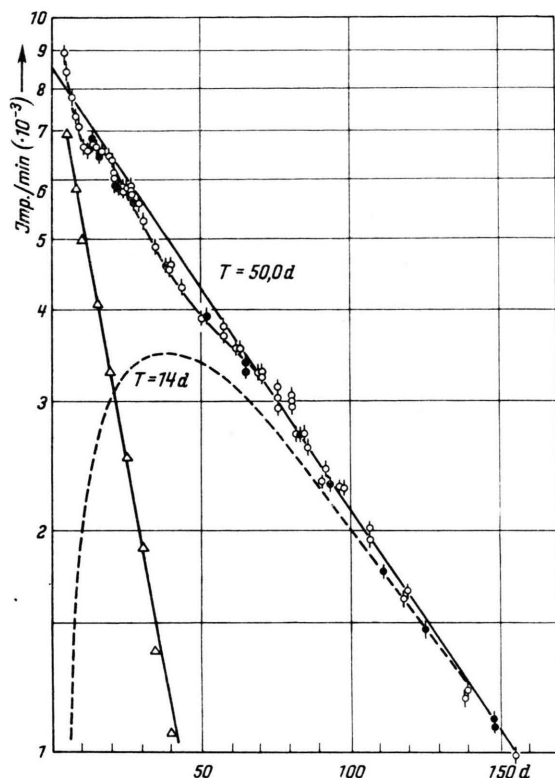


Abb. 2. Anfangsteil der Kurve ohne Absorber aus Abb. 1. o o o Messung mit laufender Abtrennung der Tochtersubstanzen; • • • Laufende Messung des ersten Präparates; --- theoretischer Anstieg des 50 d Sr aus einer 15 d Muttersubstanz; Δ Δ Δ Anfangsabbau nach Abzug dieses Anstiegs.

Suche nach dem > 100 d Yttrium

Da die Messungen der Strontiumfraktion keine endgültige Entscheidung über die Existenz der gesuchten Strahler gestatten, wurde nach dem > 100 d Yttrium gesucht. Hierzu wurde ein Teil der für die Strontiummessungen verwendeten Präparate etwa fünf Tage nach Bestrahlungsende vom 61 d ^{91}Y befreit und im Abstand von einigen Wochen oder Monaten erneut Yttrium aus demselben Strontium isoliert. Die Yttriumpräparate zeigten nach Zerfall des schwachen 65 h ^{90}Y keine weitere Aktivität, obwohl die Strontiummessungen mit demselben Präparat im Sinne der Abb. 2 ausgewertet werden konnten. Wir hätten das > 100 d Y noch beobachten müssen, wenn nur 1% des