

Nachweis von ^{155}Eu im radioaktiven Fern-Fallout mit Hilfe eines Ge(Li)-Halbleiterdetektors

H. KŁOS, R. MAY und H. SCHNEIDER

I. Physikalisches Institut der Universität Gießen

(Z. Naturforsch. 21 a, 363–365 [1966]; eingeg. am 10. Februar 1966)

Mit einem Ge(Li)-Halbleiterzähler wurde das γ -Spektrum von Staubproben und Regenwasserrückständen aus der zweiten Hälfte des Jahres 1963 untersucht. Es konnten die Radionuklide: ^{144}Ce , ^{137}Cs , ^{125}Sb , ^{106}Rh , ^{57}Co und ^{54}Mn gefunden werden. Zum ersten Mal wurde im Fern-Fallout außerdem das Spaltprodukt ^{155}Eu nachgewiesen.

Einleitung

Zur Analyse der bei Kernwaffenexplosionen entstehenden Radionuklide wird häufig die γ -Szintillations-Spektrometrie herangezogen. Als Beispiel zeigt Abb. 1 das γ -Spektrum eines etwa zwei Jahre alten Spaltproduktgemisches. Verwendet wurde ein Vielkanal-Impulshöhen-Analysator ND 130 A (Nuclear Data); die übrige Apparatur und das Verfahren zur Probengewinnung wurden bereits früher beschrieben¹. Eine Deutung der Meßergebnisse wird jedoch wegen des geringen Energie-Auflösungsvermögens erschwert. Zum Beispiel erklärt man das bei etwa 430 keV auftretende Maximum häufig als ^{125}Sb -Linie, obwohl auch ^{102}Rh (475 keV) und bei frischen Proben eventuell ^7Be (478 keV) hierzu beitragen können². Andererseits wurden weitere Linien des ^{125}Sb nicht gefunden, da sie von der Strahlung anderer Nuklide verdeckt werden. Um Genaueres über die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Fallout auszusagen, müssen daher zusätzliche Verfahren herangezogen werden, die jedoch zeitraubend bzw. nicht in allen Fällen anwendbar sind. In Frage kommen radiochemische Trennung, Abklingzeit-Messungen, β - γ -Koinzidenz-Analyse³ und γ - γ -Koinzidenz-Messungen⁴.

γ -Spektroskopie mit dem Ge(Li)-Halbleiterzähler

Demgegenüber bietet der Ge(Li)-Halbleiterzähler erhebliche Vorteile. Er erlaubt eine wesentlich bessere Energieauflösung als der Szintillationszähler und hat im Bereich unter 200 keV noch eine relativ günstige Photoausbeute. Gerade in diesem Bereich waren daher genauere Ergebnisse bei Fallout-Untersuchungen zu erwarten. Auch für das Maximum bei etwa 430 keV war eine Klärung nicht ausgeschlossen.

Eingesetzt war ein Ge(Li)-Detektor 100 LDG 3000-M (Solid State Radiations, Inc.) mit 3 mm dicker Feldzone und einer Zählfläche von 1 cm². Gekühlt wurde mit flüssiger Luft⁵. Die Detektor-Impulse wurden durch das System 101 XL/201 (Ortec) verstärkt und einem 1024 Kanal-Impulshöhen-Analysator ND 150 (Nuclear Data) zugeführt. Untersucht wurden ausgewählte, be-

sonders stark radioaktive Staubproben und Regenwasserrückstände aus der zweiten Hälfte des Jahres 1963. Diese Auswahl war erforderlich, da bei unserer Meßanordnung z. B. für 770 keV- γ -Quanten die Photoausbeute im Halbleiterdetektor um etwa den Faktor 10³ niedriger ist als beim Szintillationszähler.

Diskussion der Meßergebnisse

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die gemessenen Spektren. Bei der Einstellung der Apparatur zur Messung des unteren Energiebereichs (Abb. 2) ist die Energie-Eichung genauer; es ist mit einem Fehler von ungefähr ± 1 keV zu rechnen. Bei der Messung der höheren Energien (Abb. 3) beträgt der Fehler höchstens 3 keV; in diesem Fall wurde darauf verzichtet, den Untergrund abzuziehen, da er außer der Blei-RÖNTGEN-Strahlung der Abschirmung keine Maxima zeigt.

^{144}Ce verursacht die Peaks bei 35 keV, 41 keV, 80 keV, 134 keV, sowie schwach angedeutete Maxima bei 52 keV und 95 keV. Bei 35 keV wird hauptsächlich die Praseodym-RÖNTGEN-Strahlung gemessen, da die 80 keV- und 134 keV- γ -Strahlung teilweise konvertiert ist. Der Vergleich mit einem ^{144}Ce -Eichstrahler zeigt, daß die relativen Intensitäten gut übereinstimmen. Nur die 41 keV-Linie enthält eine geringe Beimischung.

Es handelt sich dabei um Gadolinium-RÖNTGEN-Strahlung. Sie stammt vom ^{155}Eu , das durch seine beiden γ -Energien von 87 keV und 106 keV identifiziert wird. ^{155}Eu ist ein Spaltprodukt, das bisher noch nicht im Fern-Fallout nachgewiesen wurde. Lediglich in Bodenproben vom Explosionsort konnte es durch radiochemische Analyse gefunden werden⁶.

Vom ^{125}Sb werden außer der bereits erwähnten γ -Linie bei 430 keV weitere Linien bei 176 keV, 465 keV und 600 keV gefunden. Die Linie bei 205 keV erscheint nur sehr schwach. Bei einigen anderen unserer Meßreihen ist ein Maximum bei 117 keV angedeutet. Der Vergleich mit einem Eichstrahler zeigt, daß die γ -Linien bei 35 keV und 110 keV nur mit geringer Intensität auftreten, da sie fast völlig konvertiert sind. Die entsprechende Tellur-RÖNTGEN-Strahlung tritt bei 27 keV auf.

^{106}Rh verursacht Photopeaks bei 513 keV und 625 keV, ^{137}Cs die γ -Linie bei 662 keV und die Barium-RÖNTGEN-Strahlungslinie bei 32 keV. Zu der bei 513 keV gemessenen Intensität trägt außerdem die Positronen-Vernichtungsstrahlung der im folgenden aufgeführten Radionuklide zu schätzungsweise 30% bei.

Die Maxima bei 295 keV und 355 keV können als γ -Linien des ^{133}Ba gedeutet werden. Jedoch zu der gemessenen 80 keV-Intensität kann das Barium keinen wesentlichen Beitrag liefern. Wie stark die 80 keV-Linie des ^{133}Ba auftreten müßte, kann noch nicht geklärt werden, da im Augenblick kein Eichstrahler zur Verfügung steht und die in der Literatur angegebenen

¹ R. MAY u. H. SCHNEIDER, Atomkernenergie 4, 28 [1959].
² R. P. PARKER u. J. O. CROCKALL, Nature 190, 574 [1961].

³ R. MAY, Atomkernenergie 11 [1966], im Druck.

⁴ M. DE BORTOLI, P. GAGLIONE u. A. MALVICINI, Nucl. Instr. Methods 35, 177 [1965].

⁵ H. GFRITNER, Diplomarbeit, Gießen 1966 (in Vorbereitung).

⁶ R. F. PALUMBO u. F. G. LOWMAN, USFL-56 [1958].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

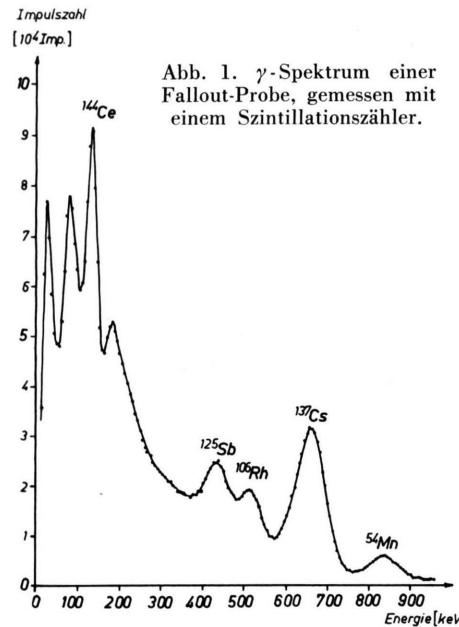


Abb. 1. γ -Spektrum einer Fallout-Probe, gemessen mit einem Szintillationszähler.

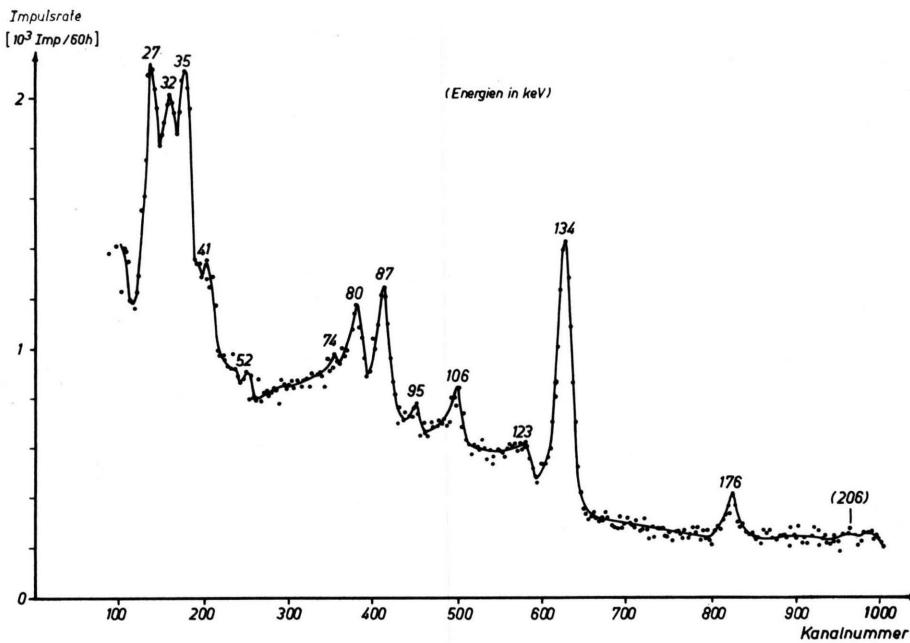


Abb. 2. γ -Spektrum derselben Probe, gemessen mit einem Ge(Li)-Halbleiterdetektor, unterer Energiebereich (nach Subtraktion des Untergrundes).

Energie (keV)	Nuklid
27	Te-Rö
32	Ba-Rö
35	Pr-Rö
41	¹⁴⁴ Ce
52	¹²⁵ Sb
80	¹⁴⁴ Ce
87	¹⁵⁵ Eu
95	¹⁴⁴ Ce
106	¹⁵⁵ Eu
123	¹⁴⁴ Ce
134	¹²⁵ Sb
176	¹²⁵ Sb
(205)	¹³³ Ba
295	¹³³ Ba
355	¹²⁵ Sb
430	¹²⁵ Sb
465	¹²⁵ Sb
513	¹⁰⁶ Rh
600	Positiv.-Ver-
625	niichtungs-
662	strahlung
835	¹²⁵ Sb
	¹⁰⁶ Rh
	¹³⁷ Cs
	⁵⁴ Mn

Positiv.-Ver-
niichtungs-
strahlung

Tab. 1. Gemessene Energiewerte und zugehörige Strahler (Rö: RÖNTGEN-Strahlung).

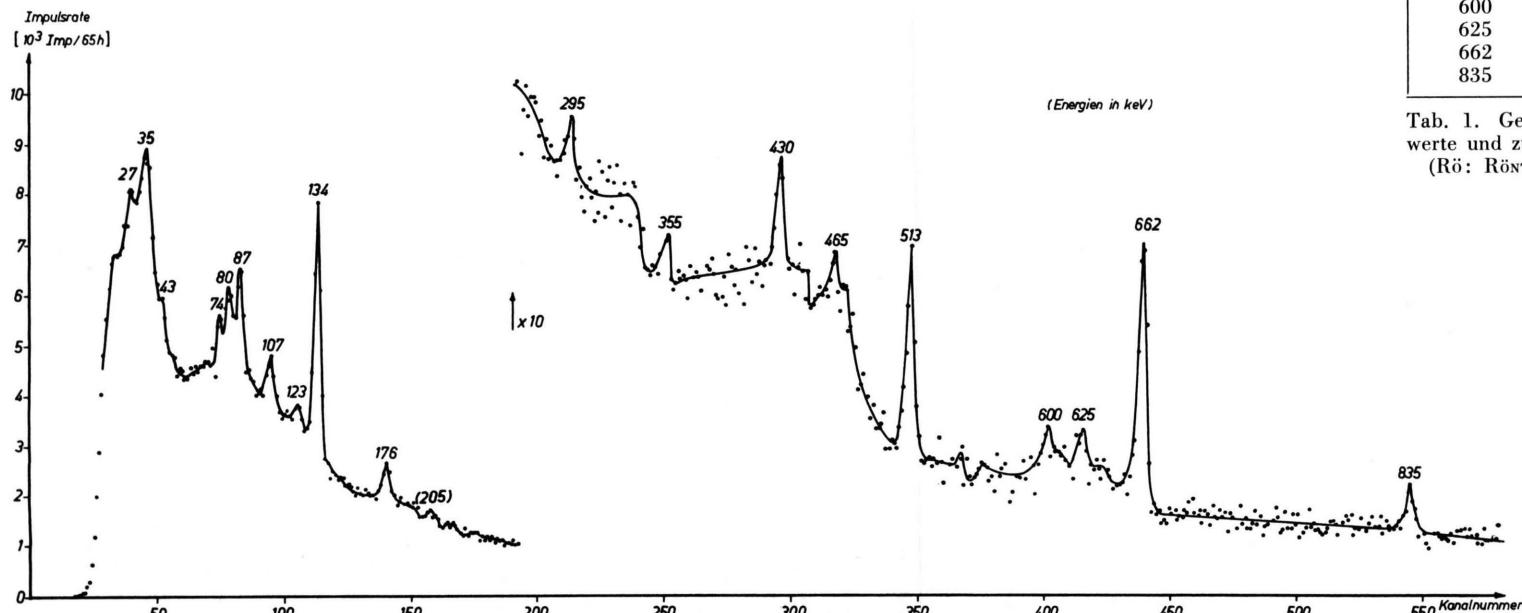


Abb. 3. γ -Spektrum, erweiterter Energiebereich (Untergrund nicht abgezogen).

Werte sich erheblich widersprechen. Eventuell ist diese Linie stark konvertiert, was einen Beitrag zur gemessenen RÖNTGEN-Strahlung bei 32 keV ergäbe. ^{133}Ba wurde bisher im radioaktiven Fallout nicht gefunden. Es wurde jedoch nachgewiesen, daß es bei der Aktivierung von Bodenproben zu erwarten ist⁷.

Der Photopeak des neutroneninduzierten ^{54}Mn erscheint bei 835 keV; in der Literatur wird im allgemeinen ein etwas höherer Wert angegeben, jedoch bestätigen neuere Messungen mit dem Halbleiterdetektor unser Ergebnis⁸.

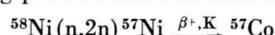
^{57}Co wird durch die 123 keV- γ -Linie nachgewiesen. Dieses Radionuklid konnte bisher nur nach Anwendung chemischer Trennungsmethoden gefunden werden^{6, 9-11}.

⁷ H. NISHITA, Health Phys. **11**, 1527 [1965].

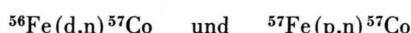
⁸ D. BRUNE, J. DUBOIS u. S. HELLSTRÖM, Nukleonik **7**, 484 [1965].

⁹ P. O. STROM, J. L. MACKIN, D. MACDONALD u. P. E. ZIGMAN, NP-8169 [1958].

Als Entstehungsprozeß kommt die Reaktion



in Frage. Auch die Reaktionen



wurden vorgeschlagen¹⁰.

In der Tabelle werden die gefundenen Linien und die ihnen zugeordneten Nuklide noch einmal zusammengestellt.

Wir danken Herrn Prof. Dr. W. HANLE für sein förderndes Interesse und dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung für Bereitstellung von Forschungsmitteln.

¹⁰ L. MARQUEZ, N. L. COSTA u. I. G. ALMEIDA, A/CONF. 15/P /2285 [1958].

¹¹ F. SCHEFFER u. F. LUDWIEG, Atompraxis **9**, 75 [1963].

Zur Eindringtiefe von 70 keV-Kryptonionen in Wolfram-Einkristallen

H. HERRMANN

Physik-Department der Technischen Hochschule München

H. LUTZ

Oak Ridge National Laboratory, Tennessee

und R. SIZMANN

III. Physikalisches Institut der Universität München

(Z. Naturforsch. **21 a**, 365-366 [1966]; eingeg. am 14. Februar 1966)

DOMEIJ et al.¹ fanden beim Beschuß von Wolfram-Einkristallen mit Xe (40 keV), daß ein Bruchteil der Ionen ($\sim 10^{-2}\%$) eine außergewöhnliche Eindringtiefe („supertail“) von mehreren μ besitzt. Die normale Reichweite dieser Ionen beträgt nur einige 100 Å, die Überreichweite entlang ausgezeichneter Gitterrichtungen (vor allem $\langle 111 \rangle$ und $\langle 100 \rangle$ in W) beträgt höchstens einige 1000 Å (siehe hierzu z. B. ²). Erhitzen bis 1200 °C hatte auf die Xe-Verteilung keinen Einfluß. Es wurde daraufhin vermutet, daß die große Eindringtiefe unmittelbar durch den Einschubimpuls der Ionen zustande kommt. Eine interessante Deutung für einen solchen energieverlustarmen Penetrationsmechanismus wurde von ERGINSOY³ gegeben. Es blieb jedoch noch experimentell zu prüfen, ob nicht ein bereits unterhalb Zimmertemperatur rasch ablaufender Diffusionsprozeß die große Eindringtiefe vortäuscht. Hierzu haben wir eine Reihe von Untersuchungen vorgenommen.

1. Ein Wolfram-Einkristall wurde bei Zimmertemperatur mit 50 keV-Krypton-85-Ionen beschossen. Der

Winkel zwischen Ionenstrahl und 111-Kristallrichtung betrug rund 7,5°. Durch niederenergetische Kathodenzerstäubung (siehe hierzu ²) wurde das Reichweiteprofil ausgemessen. Es zeigte sich wie in den Messungen von ¹ ein gut ausgeprägter supertail bei rund $10^{-2}\%$ der eingeschossenen Gesamtaktivität (Abb. 1, Kurve 1).

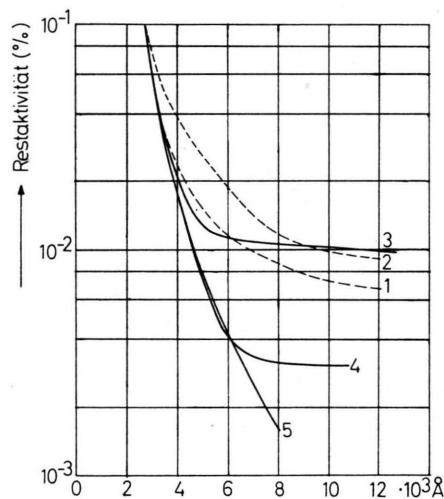


Abb. 1. Meßergebnisse.

2. Ein Wolfram-Einkristall wurde sorgfältig in $\langle 111 \rangle$ zum Ionenstrahl ausgerichtet und wieder bei Zimmertemperatur mit Kr-85 beschossen. Das Reichweiteprofil zeigt Kurve 2. Der Anteil des supertails hat zugenommen.

¹ B. DOMEIJ, F. BROWN, J. A. DAVIES, G. R. PIERCY u. E. V. KORNELSEN, Phys. Rev. Letters **12**, 363 [1964].

² H. LUTZ u. R. SIZMANN, Z. Naturforsch. **19 a**, 1079 [1964].

³ C. ERGINSOY, Phys. Rev. Letters **12**, 366 [1964].