

Das Neutronenspektrum radioaktiver $\text{Be}(\alpha, n)$ -Quellen im Energiebereich unterhalb 1 MeV

H. ZILL

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig

(Z. Naturforsch. **24 a**, 1287—1289 [1969]; eingegangen am 18. Juni 1969)

Für die Neutronenspektrometrie lassen sich Rückstoßprotonenteleskope mit festem Radiator nur bis zu einer Neutronenenergie von etwa 1 MeV herab verwenden, weil bei diesen Instrumenten Energieauflösung und Ansprechvermögen durch die Radiatordicke gegenseitig beeinflusst werden: Mit zunehmender Dicke nimmt das Ansprechvermögen zu und die Energieauflösung infolge der Absorption von Protonenenergie in der Radiatorfolie ab. Um eine bestimmte Energieauflösung aufrechtzuerhalten, muß man deshalb zu niedrigeren Neutronenenergien die Radiatordicke und damit das Ansprechvermögen vermindern. Aus diesem Grunde war das Energiespektrum der Neutronen unterhalb 1 MeV aus radioaktiven Quellen bisher kaum bekannt.

In diesem Bereich lassen sich zufriedenstellende Ergebnisse mit der Rückstoßprotonenmethode nur bei Verwendung gasförmiger Radiatoren erzielen. Man benutzt das wasserstoffhaltige Gas (bevorzugt Methan) eines Proportionalzählrohrs zur Auslösung der Rückstoßprotonen und gleichzeitigen Messung ihrer Energie. Eine von PERLOW¹ angegebene Zählrohrkombination gestattet, die Richtung der im Radiator-Zählrohr erzeugten Rückstoßprotonen dabei auszusondern und ist deswegen geeignet, die Energieverteilung von schnellen Neutronen, die aus einer bekannten Richtung einfallen, im Bereich unterhalb 1 MeV zu bestimmen. Rückstoßprotonen, die von den in Pfeilrichtung (Abb. 1) einfall-

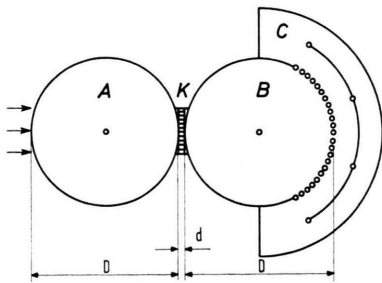


Abb. 1. Prinzipskizze der Zählrohrkombination nach Perlow.

lenden Neutronen im Zählrohr A durch „zentralen“ elastischen Stoß ausgelöst werden, können durch das Blendensystem K, den „Kollimator“, in das Zählrohr B und durch dessen durchlässige Rückwand bei entsprechender Reichweite auch in das Zählrohr C eintreten. Die Höhen der von einem solchen Rückstoßproton in A

und B erzeugten Impulse werden addiert, und der Summenimpuls wird einem Vielkanalanalysator zugeführt, der ihn aber nur dann analysiert, wenn das Rückstoßproton seine gesamte Energie in A und B abgegeben hat und die Höhe des Summenimpulses somit dieser Energie proportional ist. Falls das Proton bis in das Zählrohr C vordringt, bleibt das „Tor“ des Analysators geschlossen. Die Öffnung des Tores geschieht durch den Ausgangsimpuls einer Koinzidenz-Antikoinzidenz-Stufe, die von den Impulsen der Zählrohre A, B und C angesteuert wird: Koinzidente Impulse von A und B bewirken die Abgabe eines öffnenden Ausgangsimpulses, koinzidente Impulse von A, B und C dagegen nicht.

Das Verhältnis der Koinzidenzzählrate

$$\frac{dZ}{dE} dE = Z_E(E) dE$$

der im Energieintervall zwischen E und $E+dE$ registrierten Neutronen zur Stromdichte $S_E(E) dE$ der in diesem Energieintervall einfallenden Neutronen bezeichnet man als spektrales Ansprechvermögen $\varepsilon(E)$ des Spektrometers. ε hat also die Dimension einer Fläche und liegt bei einem Instrument, dessen Kollimatordimensionierung auf eine möglichst hohe Energieauflösung hinzielt, zwischen 10^{-6} und 10^{-7} cm^2 . Daraus geht hervor, daß sich das Gerät in erster Linie zur Spektrometrie der von starken Quellen (z. B. Beschleuniger-Targets) ausgehenden Neutronenstrahlung eignet. Dessen ungeachtet wurden in der Bundesanstalt Messungen an einer $^{241}\text{Am}-\alpha\text{-Be}$ - und einer $\text{Ra}-\alpha\text{-Be}$ -Quelle im Energiebereich unterhalb 1 MeV ausgeführt, deren vorläufige Ergebnisse in den Abb. 2 und 3 wiedergegeben sind. Die dabei beobachtete Koinzidenzzählrate lag in der Größenordnung von $0,1 \text{ min}^{-1}$.

Das Spektrometer, über dessen technische Ausführung an anderer Stelle berichtet werden soll, wurde zunächst am 3 MV-Ionenbeschleuniger des Zentralbüros für Kernmessungen der Europäischen Atomgemeinschaft in Geel mit monoenergetischen Neutronen aus der Reaktion $T(p, n)$ geprüft. Zum Beispiel wurden 824 keV-Neutronen mit einer Halbwertsbreite von 6,5% registriert. Da zu dieser Zeit hinreichend genaue Meßeinrichtungen für die Hochspannungen an den Zählrohren und den Radiatorgasdruck noch fehlten, konnten die am Beschleuniger erhaltenen Meßergebnisse zur Energiekalibrierung später nicht mehr verwendet werden. Für die in Abb. 2 und 3 wiedergegebenen Spektren mußte die Energieskala daher anders ermittelt werden: Wegen seiner Geometrie (siehe Abb. 1) und der Koinzidenz-Antikoinzidenz-Bedingung kann das Spektrometer nur Rückstoßprotonen registrieren, deren Reichweiten beim eingestellten Druck des Radiatorgases (137 Torr CH_4) kleiner oder gleich $2D+d$ sind. Protonen mit der Reichweite $2D+d$ liefern also eine maximale Impulshöhe, die sich aus der Kurve der Analysatorkanalinhalt mit einer Unsicherheit von etwa 5% ermitteln läßt. Die Energie dieser Protonen kann man

Sonderdruckanforderungen erbeten an: H. ZILL, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 33 Braunschweig, Bundesallee 100.

¹ G. J. PERLOW, Rev. Sci. Instr. **27**, 460 [1956].



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 digitalized 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.

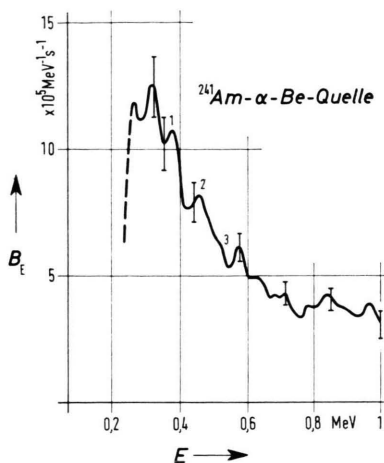


Abb. 2. Neutronenspektrum einer ^{241}Am - α -Be-Quelle mit der Quellstärke $B=3,09 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ (statistische Fehler nur für einige Meßpunkte eingezeichnet).

aus den von WHALING² veröffentlichten Energie-Reichweite-Tabellen für Methan berechnen und so den Zusammenhang zwischen Impulshöhe und Energie herstellen.

Bei den Messungen wurden die Protonenimpulse auf etwa 60 Analysatorkanäle verteilt. Nach der Energiezuordnung der Kanäle wurden ihre mit der Meßzeit dividierten Inhalte zur Ermittlung der von der Quelle im jeweils wirksamen Radiatorvolumen erzeugten Neutronenstromdichte $S_E(E) dE$ mit dem spektralen Ansprechvermögen der Zählrohrkombination multipliziert, das nach dem von PERLOW¹ angegebenen, für telezentrische Neutronenbündel gültigen Näherungsausdruck berechnet wurde. Der quadratische Kollimator mit einer Gesamtfläche von 4 cm^2 hatte die Transparenz $\eta=0,533$, die Dicke $d=0,395 \text{ cm}$ und Bohrungen mit einem Querschnitt $a=8,17 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$. Mit diesen Daten ergibt sich $\varepsilon(E)=9,49 \cdot 10^{-7} R_0(E) \sigma(E) \text{ cm}^2$. R_0 ist die mittlere Protonenreichweite in Methan in cm bei 0°C und 760 Torr, σ der (n,p)-Streuquerschnitt in barn. Der Mittelpunktsabstand Quelle-Kollimator betrug bei den Messungen an der Am- α -Be-Quelle ($25 \text{ mm } \phi$, 25 mm Länge) $21,85 \text{ cm}$ und bei den Messungen an der Ra- α -Be-Quelle ($13 \text{ mm } \phi$, $13,8 \text{ mm}$ Länge) $21,25 \text{ cm}$. Bei einer solchen Bestrahlungsgeometrie erscheint die Anwendung des Perlowschen Näherungsausdruckes gerechtfertigt.

Zur Ermittlung der spektralen Quellstärke

$$B_E(E) = dB/dE$$

wurde der Abstand ϱ des mittleren Querschnittes des im betrachteten Energiebereich wirksamen Radiatorvolumens vom Quellenmittelpunkt berechnet und die spektrale Stromdichte $S_E(E)$ mit $4\pi\varrho^2$ multipliziert. Es ergab sich, daß die von der Am- α -Be-Quelle im Energiebereich zwischen 250 keV und 1 MeV emittierten

² W. WHALING, in Flügel, Handbuch der Phys. **34**, 209, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.

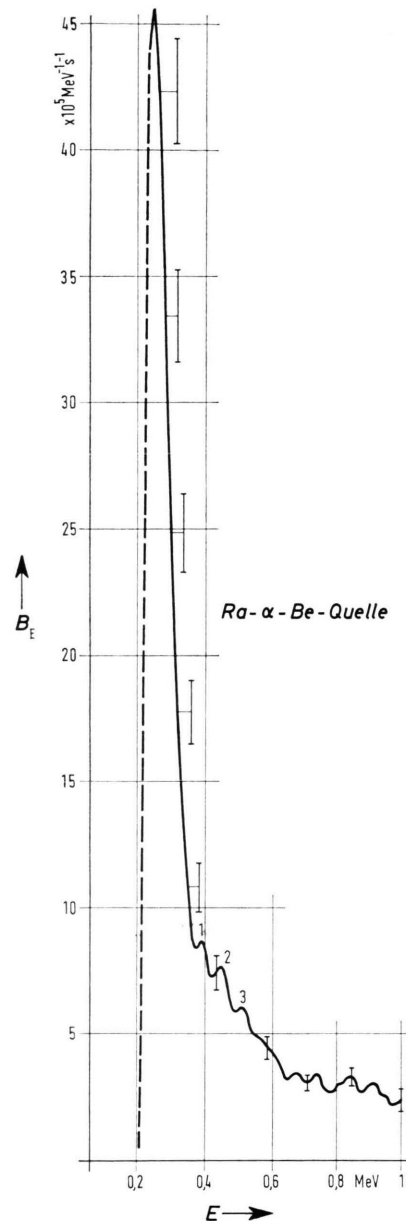


Abb. 3. Neutronenspektrum einer Ra- α -Be-Quelle mit der Quellstärke $B=2,00 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ (statistische Fehler nur für einige Meßpunkte eingezeichnet).

Neutronen einen Quellstärkebeitrag von 15,5% und die von der Ra- α -Be-Quelle im selben Bereich emittierten Neutronen einen Quellstärkebeitrag von 34,5% liefern. Die nur aus der Zählstatistik folgende Unsicherheit dieser Anteile ist geringer als 0,5%. Die mitgeteilten Werte sind nicht als endgültig anzusehen und werden sich nach Ausdehnung der Messungen auf tiefere und höhere Energiebereiche sowie einer strengeren Berechnung der Ansprechfunktion sicherer ermitteln lassen. Immerhin liegen sie etwa in der Größe des bei Mes-

sungen mit Festradiatorspektrometern³⁻⁵ festgestellten Quellstärkedefizits und rechtfertigen daher die Annahme, daß die mitgeteilten Spektren von groben systematischen Fehlern frei sind.

Es wird besonders darauf hingewiesen, daß nur der in den Abb. 2 und 3 ausgezogene Teil der Spektren aus den Messungen folgt. Der gestrichelte Abfall entsteht, weil die Reichweite von Protonen mit Energien unterhalb 250 keV beim gewählten Gasdruck für eine sichere Registrierung zu klein ist. Die mit 1, 2 und 3 gekennzeichneten Maxima treten in beiden Spektren

bei der gleichen Energie auf und können möglicherweise beim Versuch einer theoretischen Deutung nützlich sein. Die Beobachtungsdauer betrug bei der Messung des Am-Be-Spektrums $2,66 \cdot 10^6$ s, bei der Messung des RaBe-Spektrums $3,27 \cdot 10^6$ s. In diesen Zeiten wurden von jedem Analysatorkanal im Mittel nur 100 Impulse registriert. Wegen der damit verbundenen statistischen Unsicherheit wurde die Kurve der Kanal-inhalte einer 5-Punkt-Glättung⁶ unterworfen.

Dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung wird für die Förderung der Untersuchungen gedankt.

³ K. W. GEIGER u. C. K. HARGROVE, Nucl. Phys. **53**, 204 [1964].

⁴ K. W. GEIGER u. C. J. D. JARVIS, Can. J. Phys. **42**, 1097 [1964].

⁵ H. KLUGE, Z. Naturforsch. **24 a**, 1289 [1969].

⁶ A. SAVITZKY u. M. J. E. GOLAY, Anal. Chem. **36**, 1627 [1964].

Das Neutronenspektrum radioaktiver Be(α ,n)-Quellen im Energiebereich oberhalb 1 MeV

H. KLUGE

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig

(Z. Naturforsch. **24 a**, 1289—1290 [1969]; eingegangen am 18. Juni 1969)

Die Messung der spektralen Energieverteilung schneller Neutronen aus radioaktiven Neutronenquellen führte bisher zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen¹⁻⁴. Der Grund hierfür kann einmal in der Zusammensetzung der jeweils untersuchten Quelle, zum anderen jedoch auch in dem benutzten Meßverfahren liegen. Eine erneute Vermessung in Verbindung mit einer Untersuchung der Neutronen mit Energien unterhalb 1 MeV⁵ erschien lohnend. Die Spektren einer $^{241}\text{Am-}^9\text{Be}(\alpha, n)$ - und einer $^{226}\text{Ra-}^9\text{Be}(\alpha, n)$ -Quelle sind mit einem Rückstoßprotonenteleskop ähnlich demjenigen von GEIGER und JARVIS⁶ untersucht worden. Zur Energiemessung der Rückstoßprotonen diente dabei jedoch ein Silicium-Oberflächengrenzschichtzähler. Gemessen wird die Energie der Rückstoßprotonen, die von Neutronen im elastischen Stoß aus dünnen wasserstoffhaltigen Folien (Polyäthylen auf Tantalträger) herausgeschlagen werden (Abb. 1). Die Energie E_p des Rückstoßprotons, das dabei unter dem Winkel θ gegen die Richtung des einfallenden Neutrons (Energie E_n) emittiert wird, beträgt

$$E_p = E_n \cos^2 \theta.$$

Quelle, Radiatorfolie und Detektor liegen in einer Achse (Abb. 1). Durch die Geometrie dieser Anordnung werden nur Rückstoßprotonen zur Energiemes-

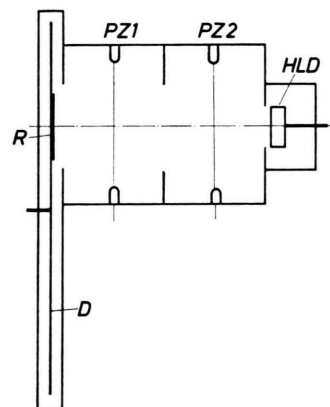


Abb. 1. Prinzipieller Aufbau des Rückstoßprotonenteleskops. R=Radiatorfolie, D=Drehteller, PZ 1, 2=Proportionalzählrohre 1 und 2, HLD=Halbleiterdetektor.

sung zugelassen, die unter einem mittleren Streuwinkel $\theta = 0^\circ$ in einen kleinen Winkelbereich $\Delta\theta$ ausgesandt werden. Um den Untergrund herabzusetzen, befinden sich zwischen Radiatorfolie und Halbleiterdetektor zwei Proportionalzählrohre, die zusammen mit dem Halbleiterdetektor in Koinzidenz betrieben werden.

Mit Hilfe eines von außen bedienbaren Drehtellers lassen sich entweder Radiatorfolien verschiedener Dicke, eine Tantalscheibe für Untergrundmessungen oder ein $^{241}\text{Am-}\alpha$ -Präparat zur Energiekalibrierung des Halbleiterdetektors in den Strahlengang des Spektrometers bringen. Die Zählrohre werden mit einem Gemisch aus Argon und CO_2 gefüllt. Energieverlusten der Rückstoßprotonen in der Radiatorfolie sowie nichtzentralen Stö-

Sonderdruckanforderungen erbeten an: H. KLUGE, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 33 Braunschweig, Bundesallee 100.

¹ K. W. GEIGER, R. HUM u. C. J. D. JARVIS, Can. J. Phys. **42**, 1097 [1964].

² K. W. GEIGER u. C. K. HARGROVE, Nucl. Phys. **53**, 204 [1964].

³ M. N. THOMPSON u. J. M. TAYLOR, Nucl. Instr. Meth. **37**, 305 [1965].

⁴ H. B. GREISS, Nukleonik **10**, 283 [1968].

⁵ H. ZILL, Z. Naturforsch. **24 a**, 1287 [1969].

⁶ K. W. GEIGER u. C. J. D. JARVIS, Can. J. Phys. **40**, 33 [1962].