

68. W. Rieder, H. Müller, E. B.: Zum Szilard-Chalmers-Effekt mit schnellen Neutronen, *Acta Physica Austriaca* 4 (4) (1951), 457-460.

Sonderabdruck aus Band IV, 1950, Heft 4, der

**ACTA PHYSICA AUSTRIACA**

Unter Mitwirkung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegeben von  
K. W. Fritz Kohlrausch, Graz, und Hans Thirring, Wien

Schriftleitung: Paul Urban, Wien

Springer-Verlag in Wien

Alle Rechte vorbehalten

## **Zum Szilard-Chalmers-Effekt mit schnellen Neutronen.**

Von

**Werner Rieder, Herbert Müller und Engelbert Broda.**

II. Physikalisches Institut der Universität Wien.

(Eingelangt am 3. Januar 1951.)

In mehreren Arbeiten<sup>1-5)</sup> ist der *Szilard-Chalmers*-Effekt am Mangan und am Arsen mit schnellen Neutronen untersucht worden. Es wurde geprüft, ob die Zerstörung des Permanganat-, bzw. Arsenat- und Arsenit-Ions beim Einfang schneller Neutronen mit größerer Ausbeute verläuft als beim Einfang langsamer Neutronen. Das Auftreten eines solchen Unterschiedes wäre ein Beweis dafür, daß die Ausbeute durch den Anregungszustand des Ions unmittelbar nach dem Einfang des Neutrons, nicht aber durch chemische Sekundärreaktionen nach Verlust dieser Anregungsenergie bestimmt wird. Ein Unterschied wurde tatsächlich beim Arsen, aber nicht beim Mangan beobachtet. Die Verschiedenheit des Verhaltens der beiden Ionen steht im Einklang mit den Schlüssen, die man aus der Abhängigkeit der Ausbeute bei diesen Ionen von den Bestrahlungsbedingungen bei ausschließlicher Verwendung langsamer Neutronen ziehen muß.

Die Deutung der Experimente konnte nur unter der Voraussetzung erfolgen, daß die Aktivierung des Mn und As im Versuche mit nicht abgebremsten Neutronen tatsächlich vorwiegend durch die schnellen Neutronen aus der verwendeten Radium-Beryllium-Quelle eintritt, daß also die Intensität der von der Quelle emittierten langsamen Neutronen zu klein ist, um das Ergebnis zu verfälschen. Eine quantitative Grundlage zur Diskussion dieser Voraussetzung wurde nun in letzter Zeit geschaffen<sup>6)</sup>. In eigens zu diesem Zweck angestellten Versuchen wurde die Emission von Neutronen des Bereiches 0—100 eV

<sup>1)</sup> E. Broda, J. Chim. physique **45**, 196 (1949).

<sup>2)</sup> W. Rieder, Acta Physica Austriaca **4**, 290 (1950).

<sup>3)</sup> E. Broda u. W. Rieder, J. chem. Soc. S 356 (1949).

<sup>4)</sup> W. Rieder, E. Broda u. J. Erber, Monatsh. Ch. **81**, 657 (1950).

<sup>5)</sup> H. Müller u. E. Broda, Monatsh. Ch. **82**, 48 (1951).

<sup>6)</sup> E. Giegerl, Dissertation, Wien (1950); E. Giegerl u. E. Broda, Nature, London, im Druck.



durch die Quelle geprüft. Die Methode beruhte auf der selektiven Absorption der Neutronen bestimmter Energiegruppen durch gewisse Elemente (Resonanz). Die erhaltenen Werte liegen eher zu hoch als zu niedrig, da jeweils nur die niedrigste Resonanzbande berücksichtigt werden konnte. Es wurde gefunden, daß die Emission im Bereich 0—1 eV  $1,52 \pm 0,76$ , im Bereich 0,5—2,5 eV  $1,20 \pm 0,17$  und im Bereich 20—100 eV  $1,01 \pm 0,36$  Neutronen/Sekunde.eV.Millicurie (mC) beträgt. Die Gesamtemission derartiger Quellen beträgt bekanntlich etwa 15.000 Neutronen (aller Energien)/ $\text{sec}^{-1}\text{mC}^{-1}$ ). Der verhältnismäßig langsame Abfall der Intensität mit steigender Energie zeigt übrigens, daß die langsamen Neutronen nicht durch Bremsung in der Quelle, sondern direkt in der Kernreaktion entstanden sind. Andernfalls wären nämlich — außerhalb des thermischen Bereichs — die beobachteten Intensitäten den Energien verkehrt proportional.

Die direkt von der Quelle kommenden schnellen, bzw. langsamen Neutronen (Intensitäten  $I_s$ , bzw.  $I_l \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ mC}^{-1}$ ) vermögen in der bestrahlten Probe des Mn oder As die Betaaktivitäten  $A_s$ , bzw.  $A_l$  zu induzieren:

$$A_s = I_s n \bar{\sigma}_s \quad (1)$$

$$A_l = I_l n \bar{\sigma}_l \quad (2)$$

$n$  ist die Zahl der Atome pro  $\text{cm}^2$  und  $\bar{\sigma}$  der mittlere effektive Wirkungsquerschnitt für den Einfang der Neutronen des betreffenden Energiebereiches.

Einfangquerschnitte für schnelle Neutronen sind der Energie verkehrt proportional<sup>8)</sup>. Für den vorliegenden Zweck soll mit einer mittleren effektiven Energie der schnellen Neutronen von 1 MeV gerechnet werden. Dieser Wert steht in grober Übereinstimmung mit den Messungen *Dunnings*<sup>9)</sup> an Rückstoßprotonen und den Messungen *Frl. Giegerls*<sup>6)</sup> mit Hilfe der Kernspaltung des Urans, die durch solche Neutronen hervorgerufen wird. Es ist auch ungefähr der Wert, den man erhält, wenn man die Gesamtaktivierung des Mn, bzw. As in unseren Versuchen den schnellen Neutronen zuschreibt, dann aus Gl. (1)  $\bar{\sigma}_s$  berechnet und aus dessen Wert nach<sup>8)</sup> auf die Energie schließt. Mit Neutronen von 1 MeV betragen die Zahlenwerte für Mn  $3,5 \cdot 10^{-27}$  und für As  $23 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$ <sup>8)</sup>. Wegen des enormen Vorwiegens der schnellen Neutronen kann  $I_s$  für beide Elemente einfach gleich  $15.000/4\pi r^2$  gesetzt werden. Daher gilt:

$$A_s = 15.000 n \bar{\sigma}_s / 4\pi r^2 \quad (3)$$

<sup>7)</sup> S. Bauer, F. W. Fenning, H. F. Freundlich, L. Kowarski u. H. Seligman, British Atomic Energy Report (1942).

<sup>8)</sup> D. J. Hughes, W. D. B. Spatz u. N. Goldstein, Physic. Rev. 75, 1781 (1949).

<sup>9)</sup> J. R. Dunning, Physic. Rev. 45, 586 (1934).



Was nun  $I_l$  betrifft, so deuten die Zahlen Fr. *Giegerls* auf eine wenn auch langsame Abnahme mit steigender Energie. Eine solche Abnahme muß ja auch angenommen werden, weil sonst ein Widerspruch mit der Gesamtemission entstehen würde. Da aber das Gesetz, nach dem diese Abnahme erfolgt, nicht bekannt ist, sei für den Zweck der vorliegenden halbquantitativen Überlegungen mit einem konstanten Wert der Emission je Energieband von Einheitsbreite von  $i = 1 \text{ sec}^{-1} \text{ mC}^{-1} \text{ eV}^{-1/4} r^2 \pi$  gearbeitet; dafür werde die Emission bei einer bestimmten willkürlich anzunehmenden Energie  $E_{\max}$  gänzlich „abgeschnitten“.  $\sigma_l$  für jede Energie sei einfach durch das sogenannte  $1/v$ -Gesetz bestimmt, d. h. es sei von den bei Mn und As ohnehin nicht sehr ausgeprägten Resonanzen abgesehen. Es gilt demnach

$$\sigma_E / \sigma_0 = E_0^{1/2} / E^{1/2}. \quad (4)$$

Unter  $E_0$  sei thermische Energie ( $1/40 \text{ eV}$ ) verstanden. Es folgt

$$A_l^1 = (n i / 4 r^2 \pi) \int_0^{E_{\max}} \sigma_E dE, \quad (5)$$

das heißt

$$A_l = n i \sigma_0 E_0^{1/2} E_{\max}^{1/2} / 2 r^2 \pi \quad (6)$$

und in Verbindung mit (3)

$$A_s / A_l = 7500 \bar{\sigma}_s / i \sigma_0 E_0^{1/2} E_{\max}^{1/2} \quad (7)$$

Die aus (7) erhaltenen Werte des Quotienten  $A_s / A_l$  mit zwei willkürlichen Werten von  $E_{\max}$  sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Werte für  $\sigma_0$  sind der Literatur<sup>10)</sup> entnommen.

Tabelle.

Element	$E_{\max}$ (eV)	$\sigma_0$ (cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_s / A_l$
As	100	$4,2 \cdot 10^{-24}$	$23 \cdot 10^{-27}$	26
	1000	$4,2 \cdot 10^{-24}$	$23 \cdot 10^{-27}$	8
Mn	100	$10,7 \cdot 10^{-24}$	$3,5 \cdot 10^{-27}$	1,5
	1000	$10,7 \cdot 10^{-24}$	$3,5 \cdot 10^{-27}$	0,5

Offenbar ist also die Voraussetzung, daß bei Vermeidung eines Bremsmittels nur die schnellen Neutronen zur Aktivierung beitragen, beim As gut erfüllt. Weniger klar liegt das Mn. Immerhin halten wir auch die experimentellen Ergebnisse mit

<sup>10)</sup> L. Seren, H. N. Friedlander u. S. H. Turkel, Physic. Rev. 72, 888 (1947).



diesem Element für gültig, da selbst bei  $A_s/A_t = 0,5$  ein Unterschied der Ausbeute hätte merklich sein müssen und außerdem die der vorliegenden Rechnung zugrunde gelegten Annahmen besonders ungünstig gewählt wurden.

Wir danken Herrn Professor *K. Przibram* für vielfache Förderung unserer Arbeit und Frau Professor *B. Karlik* für freundliche Überlassung der Neutronenquelle.

diesem Element für gültig, da selbst bei  $A_s/A_l = 0,5$  ein Unterschied der Ausbeute hätte merklich sein müssen und außerdem die der vorliegenden Rechnung zugrunde gelegten Annahmen besonders ungünstig gewählt wurden.

Wir danken Herrn Professor *K. Przibram* für vielfache Förderung unserer Arbeit und Frau Professor *B. Karlik* für freundliche Überlassung der Neutronenquelle.