# **KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

## KARLSRUHE



Dezember 1972

Institut für Angewandte Kernphysik Projekt Schneller Brüter

Der totale Wirkungsquerschnitt von Fe<sup>54</sup> im keV-Energiebereich

INIS

KFK 1516 EANDC(E) 145 "AL"

H. Beer, R.R. Spencer, F.H. Fröhner, M. Cho



## Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

è,

GESELLSCHAFT FOR KERNFORSCHUNG M.B.H. KARLSRUHE

### KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

April 1972

۰.

KFK 1516 EANDC (E) 145 "AL"

Institut für Angewandte Kernphysik Projekt Schneller Brüter

Der totale Wirkungsquerschnitt von Fe<sup>54</sup> im keV-Energiebereich

> H. Beer, R.R. Spencer, F.H. Fröhner, M. Cho

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

#### ZUSAMMENFASSUNG

Der totale Wirkungsquerschnitt von Fe<sup>54</sup> wurde am Karlsruher 3 MV Van-de-Graaff-Beschleuniger mit der Flugzeitmethode im Energiebereich von 6 keV-300 keV gemessen. Die Datenpunkte wurden mit einer R-Matrix-Multiniveauformel anhand eines Fortranprogramms nach Resonanzperametern ausgewertet.

The Total Neutron Cross Section of Fe<sup>54</sup> in the keV Energy Region

### ABSTRACT

The total neutron cross section of Fe<sup>54</sup> was measured with the time-of-flight method at the 3 MeV Karlsruhe Van-de-Graaff-Accelerator in the energy region from 6 keV to 300 keV. The data points were analyzed with an R-Matrix multilevel formula end the resonance parameters of the detected resonances determined.

#### EINLEITUNG

Für den Bau schneller Brutreaktoren sind die totalen Neutronenwirkungsguerschnitte im keV-Bereich von Elementen mit  $\lambda = 40$  bis  $\lambda = 80$ von Bedeutung. Aus dem Wirkungsguerschnittsverlauf und den daraus ermittelten Resonanzparametern lassen sich die Verteilungsfunktionen für Niveauabstände und -breiten, die Niveaudichteparameter und Stärkefunktionen bestimmen und mit den Voraussagen bestehender Theorien der Kenreaktionen verwleichen.

Bei der Bestimmung der Strahlungspreiten von Resonanzen des Neutroneneinfangwirkungsquerschnittes ist die genaue Kenntnis von Spin und Gesamtbreite dieser Resonanzen erforderlich. Aus Gesamtquerschnittsdaten können diese Parameter abgeleitet werden.

Der Wirkungsquerschnitt von Fe<sup>54</sup> wurde bereits von Newson et.al.  $\boxed{1}$ ,  $\boxed{7}$ und Bowman et.al.  $\boxed{2}$ , wit angereicherten Proben von ca. 5 keV - 390 keV gemessen. Weitere Studien des Fe<sup>54</sup>-Gesamtquerschnitts wurden anhand von Messungen an natürlichem Eisen von Garg et.al.  $\boxed{8}$ ,  $\boxed{7}$ veröffentlicht. In der gegenwärtigen Arbeit wurde versucht, den Wirkungsquerschnittsverlauf mit einer besseren Energieauflösung im interessierenden Bereich 6 keV bis 300 keV zu bestimmen.

#### EXPERIMENTELLE METHODEN

Der totale Wirkungsquerschnitt wurde durch ein Transmissionsexperiment nach der Flugzeitmethode gemessen. Der Karlsruher Van-de-Graaff-Beschleuniger lieferte Protonenimpulse von 1 ns Impulsbreite bei einer Wiederholfrequenz von 250 KBz. Die Neutronen wurden mit der Li<sup>7</sup>(p,n)Be<sup>7</sup> Reaktion in einem dicken Lithiumtarget erzeugt.

Für den Nachweis der Neutronen wurde im Energiebereich 6 keV - 90 keV ein Borscheibendetektor eingesetzt  $\sqrt{3}$ ,  $\sqrt{4}$ , Von 90 keV - 300 keV diente ein Li-Glas Detektor als Neutronenzähler. Die Lithiunglasscheibe<sup>+)</sup> ( $4\frac{3}{6}$  # x 1/2", 6,6 % Lithium angereichert auf 95 % Li<sup>6</sup>) wurde in einer innen verspiegelten Bronze-Tüte angebracht und auf den Photomultiplier XP 1040 von Valvo montiert  $\sqrt{5}$ . Die Neutronenenergie wurde aus der Flugzeit zwischen Target und Detektor bestimmt. Zur Meseung der Flugzeit diente eine digitale Zeitcodiereinheit<sup>++)</sup> mit der Kanalbreite von 2 ns über einen Zeitbereich von 2 µs - 4 µs. Der Flugweg der Neutronen betrug 4,962 m.

Das von der Zeitcodiereinheit erzeugte Flugzeitspektrum wurde im Memoryblock einer Rechenmaschine (CAE 510) gespeichert. Für die Bestimmung 'der Transmission von Fe<sup>54</sup> wurden mit einer Probenwechselanlage <sup>54</sup>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Proben (Anreicherung: 97,7 % Fe<sup>54</sup>, s. Tabelle 2) in den Neutronenstrahl gebracht und die Flugzeitspektren mit und ohne Probe registriert.

#### AUSWERTUNG DER MESSDATEN

Die Meßdaten wurden mit einem Fortran-Programm  $\sqrt{6}$  ausgewertet, das die Parametrisierung des Wirkungsquerschnitts durch Anpassen mit der Methode der kleinsten Quadrate nach der R-Matrix-Theorie  $\sqrt{7}$ durchführt. Der totale Wirkungsquerschnitt wird wie folgt angesetzt:

$$\begin{array}{c}
\mathbf{I} + 1/2 \\
\boldsymbol{\sigma} = 2\pi \, \lambda^2 \sum_{\mathbf{J} = \left[\mathbf{I} - 1/2\right]} \overline{\boldsymbol{f}} \mathbf{g}_{\mathbf{J}} \left(\mathbf{I} - \operatorname{Reg}_{\mathbf{J}} \right) \overline{\boldsymbol{f}} + \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{I}} \quad (1)
\end{array}$$

2  $\pi = 2\pi / k_n$ : Neutronenwellenlänge im Schwerpunktsystem 1: Targetspin 3: Compoundspin  $g_J = (2 J+1) / \overline{/2} (2 I+1) \overline{/}$ : Statistischer Spinfaktor  $\sigma_i$ : p-Wellen-Potentialstreuquerschnitt

+) LithiumgIas NE 905 der Fa. Nuclear Enterprise

$$U_{J} = e^{-2ika'_{J}} \int (1 - iR_{J})^{-1} (1 + iR_{J}) \int R_{I} (2)$$

ist das Stoßmatrixelement, das den Gesamtquerschnitt bestimmt.

<u>1</u> bedeutet die 2 x 2 Einheitsmatrix, R<sub>r</sub> eine 2 x 2 Matrix mit den Elementen

$$P_{J'cc'} = \frac{1}{2} \sum_{\lambda} \frac{r_{\lambda c}^{1/2} \cdot r_{\lambda c'}^{1/2}}{E_{\lambda} - E - 1(\Gamma_{\lambda \gamma}/2)}$$
(3)

$$\Gamma_{\lambda c}^{1/2} = (2 k_{c} a_{c})^{1/2} \Gamma_{\lambda c}$$
: Resonanzbreitenamplitude,

 $\gamma_{\lambda_C}$ : reduzierte Breitenamplitude

Die Summation in Gleichung (3) erstreckt sich über alle Resonanzen mit Spin J. Die Kanalindizes können die Werte n (elastischer Kanal) oder n' (inelastischer) Kanal annehmen.

Der effektive Kernradius a'<sub>3</sub> wird mit Hilfe eines "picket fence model" berechnet: Die außerhalb des Analysierbereichs liegenden Niveaus werden durch äquidistante Resonanzen gleicher reduzierter Breite angenähert.  $a_J = a_J - \pi$  arc tg (S<sub>J</sub>  $\sqrt{E/1 \text{ eV}}$  ar tgh  $\frac{E-E}{\Delta/2}$ 

a <sub>J</sub>	:	Radius der Wirkungssphäre für s-Wellen-Neutronen		
s_	:	Stärkefunktion des verwendeten Modells		
Ē	:	Mitte des Analysierbereichs		
Δ	:	Länge des Analysierbereichs		

Das Rechenprogramm berücksichtigt die instrumentelle Auflösungsverbreiterung der Transmission, vernachlässigt hingegen den Dopplereffekt. Verunreinigungen des Probenmaterials wurden ebenso korrigiert wie der Sauerstoffanteil.

#### ERCEBNISSE

Fig. 4,5 und 6 geben die gofitteten, experimentellen Transmissionsdaten mit den statistischen Fehlern für beide Probendicken und den dazugehörigen Verlauf des Wirkungsgerschnitts nach den errechneten Parametern wieder.

Die Resonanzparameter, die Modell-Stärkefunktion und der s-Wellenradius sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Aus den Parametern wurde der Gesamtquerschnitt für reines re<sup>54</sup> zwischen 4.85 und 290 keV berechnet. Dieser Datensatz ist vom Neutronendatenzentrum in Saclay<sup>+)</sup> auf Anforderung erhältlich.

Die meisten Resonanzenergien und viele Halbwertsbreiten stimmen mit den Ergebnissen anderer Autoren ( $\overline{1},2,8,3\overline{7}$ ) überein.

In einigen Fällen bestehen jedoch ernste Diskrepanzen. So wurde in der vorliegenden Arbeit kein Anzeichen für die starke Resonanz bei 102 keV gefunden, die in sämtlichen obengenannten Arbeiten aufgeführt ist. Eine genauere Nachprüfung zeigt, daß diese Resonanz in Ref.  $\_1\_7$  ohne hinreichende experimentelle Fundierung eingeführt wurde und daß die anderen Autoren sie einfach übernehmen. Die Diskrepanzen in den Resonanzbreiten der Niveaus bei 98.5 und 129.6 keV sind eine Folge davon. Andere kleinere Diskrepanzen sind wahrscheinlich auf unterschiedliche batenqualität und Analysenmethoden zurückzuführen.

+) CCDN, B.P. 9, F-91 Gif-sur-Yvette

- 5 -

TABELLE	1
---------	---

E <sub>o</sub> (keV)	gF <sub>n</sub> (keV)	£
7,67 ± 0,02	1,01 ± 0,01	0
11,19 ± 0,03	≃ 0,007	> 0
30,70 ± 0,10	≈ 0,010	> 0
39,18 ± 0,12	= 0,015	>_0
52,78 ± 0,18	2,16 ± 0,02	0
55,46 ± 0,19	0,03 ± 0,02	· > 0
71,86 ± 0,25	1,77 ± 0,03	0
98,5 ± 0,4	0,51 ± 0,05	0
129,6 ± 0,5	3,00 ± 0,09	0
147,1 ± 0,7	2,75 ± 0,11	o
159,0 ± 0,8	0,18 ± 0,09	o
163,9 ± 0,9	≃ 0,08	> 0
173,9 ± 0,8	2,8 ± 0,1	0
191,2 ± 1,0	42,4 ± 0,5	0
222,8 ± 1,2	1,57 ± 0,14	o
230,2 ± 1,2	0,26 ± 0,14	0
244,4 ± 1,3	0,25 ± 0,15	> 0
245,7 ± 1,3	24,6 ± 0,6	0
$4 < E_n < 22 \text{ keV}$	22 < E <sub>n</sub> < 90 keV	E <sub>n</sub> > 90 keV
a <sub>J</sub> = 4,0 fm	$a_{\rm J} = 3.8  {\rm fm}$	a <sub>J</sub> = 4,27 fm
$s_{3} = 11,7 \times 10^{-4}$	$s_{J} = 13 \times 10^{-4}$	s <sub>y</sub> = 11,2 × 10
and the second	the the second second	
and the second	en de la service de la serv	1 (4 g
<ul> <li>A state</li> </ul>	والمحاج والمحاج والمعادية	
and the second second	en ante de la composition de la composi	1.00
		ter a ser en en el composition de la co
and the formal data	an Brite State Bringer	Service and

Die neu gefundenen Resonanzen bei 11,19 keV, 30,70 keV, 39,18 keV, 55,5 keV und 164 keV wurden nicht als s-Wellenresonanzen interpretiert. Dagegen ergab sich für die Resonanz bei 159 keV nur bei der Behandlung als s-Welle ein guter Fit.

Die aus den vorliegenden Daten berechnete s-Wellen-Stärkefunktion beträgt (7,8  $\pm$  3,4) x 10<sup>-4</sup> und stimmt innerhalb der angegebenen Fehler mit der Stärkefunktion (5,2  $\pm$  1,7) x 10<sup>-4</sup> von Seth  $\sqrt{10}$  überein. Der größere Wert der Stärkefunktion der vorliegenden Arbeit wird zusätzlich durch die hohen Werte von S<sub>3</sub> gestützt, wie sie für die durchgeführten R-Matrix-Fits benötigt wurden. Dieser hohe Wert der s-Wellen-Stärkefunktion liegt sowohl deutlich über den Voraussagen der auf das optische Modell gestützten Rechnungen von Buck und Perey  $\sqrt{11}$  als auch über denjenigen von Miller und Rohr  $\sqrt{127}$ , die auf dem Doorway-Konzept beruhen. Eine mögliche Erklärung könnte sein, daß zur Neutronenbreite von <sup>54</sup>Fe in diesem Energiebereich eine größere Komponente direkter Einfangprozesse beitzägt. Es sei in diesen Zusammenhang angemerkt werden, daß kürzlich  $\sqrt{137}$  eine starke Korrelation zwischen den Stärkefunktionen für thermischen Einfang (n, $\gamma$ ) und der (d,p)-Reaktion gefunden wurde.

TABELLE 2:

Zusammensetsung der Fe<sup>54</sup>-Probe:

Fe <sup>54</sup>	97,69	8
Fe <sup>56</sup>	2,25	8
Fe <sup>57</sup>	0,05	*
Fe <sup>58</sup>	0,01	*

Verwendete	Probendicken	von	Fe203:	
------------	--------------	-----	--------	--

(4.8 - 22) keV	0,036 Kerne barn
(22 - 90) keV	0,036 "
	0,102 "
(90 - 290) keV	0,067 "
	0,157 "

Wir möchten der USAEC-EANDC für die Bereitstellung des Pe<sup>54</sup>-Probenmaterials danken. Bei der Durchführung der Messungen war die Unterstützung des Van-de-Graaff-Personals eine wertvolle Hilfe.

434

## LITERATURVERZEICHNI(

[1]	H.W. Newson, E.G. Bilpuch, F.P. Karriker, L.W. Weston,
	J.R. Patterson, C.D. Bowman, Annals of Physics 14, 365 (1961)
[2]	C.D. Bowman, E.G. Bilpuch, H.W. Nawson, Ann. Phys. 17,319 (1962)
<u>[</u> 3 <u>]</u>	Rohr, G.,Doktorarbeit,Universität Karlsruhe (1967)
[4]	Rohr, G.,KN. Müller, Z. Physik 227, 1 (1969)
<u>[</u> 5]	H. Beer, Arbeitsbericht Nr. 99 (unveröffentlicht)
[6]	F.H. Fröhner, FANAL 2, Arbeitsbericht Nr. 97 (unveröffentlicht)
[י]	A.M. Lane, J.R. Thomas, Rev. Mod. Phys. 30,257 (1958)
<u>[</u> 8]	J.B. Garg, J. Rainwater, W.W. Havens, jr., Phys. Rev. C3,2447 (1971)
[9]	M.D. Goldberg, S. Mughabghab, B.A. Magurno, V.U. May (ed.),
	BNL-325, 2nd ed., Suppl. No. 2, (1966)
<u>_</u> 10_7	K.K. Seth, Nucl. Data Sect. <u>A 2</u> 299 (1966)
<u>_11_7</u>	B. Buck and F. Perey, Phys. Rev. Letters 8 444 (196.)
[12]	K.N. Müller and G. Rohr, Nucl. Physics <u>A 164</u> , 97 (1971)
/13/	J. Nopecky, K. Abrahams and F. Stecher-Rasmussen, Nuclear
	Physics <u>A 188</u> , 535 (1972)

Fig. 1 Die Transmissionsdaten von <sup>54</sup>Fe für die Probendicke 0,036 Xerne/barn und ein R-Matrix-Fit im Energiebereich (4.8 - 22) keV (unten).

> Der aus den R-Matrix-Parametern berechnete Gesamtquerschnitt des reinen Isotops <sup>54</sup>Fe (Auflösungsverbreiterung berücksichtigt) (oben).

Fig. 2 Die Transmissionsdaten von <sup>54</sup>Fe für die Probendicken 0,036 und 0,102 Kerne/barn und ein R-Matrix-Fit im Energiebereich (22 - 90) keV (unten).

> Der aus den R-Matrix-Parametern berechnete Gesamtguerschnitt des reinen Isotops <sup>54</sup>Fe (Auflösungsverbreiterung berücksichtigt) (oben).

Fig. 3 Die Transmissionsdaten von <sup>54</sup>Fe für die Probendicken 0,067 und 0,157 Kerne/barn und ein R-Matrix-Fit im Energiebereich (90 - 290) keV (unten).

> Der aus den R-Matrix-Parametern berechnete Gesamtquerschnitt des reinen Isotops <sup>54</sup>Fe (Auflösungsverbreiterung berücksichtigt) (öben).







аĘ Ũ