

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

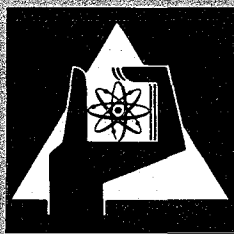
Dezember 1972

KFK 1516
EANDC(E) 145 „AL“

Institut für Angewandte Kernphysik
Projekt Schneller Brüter

Der totale Wirkungsquerschnitt von Fe^{54} im keV-Energiebereich

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



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

April 1972

KFK 1516

EANDC(E)145 "AL"

Institut für Angewandte Kernphysik
Projekt Schneller Brüter

Der totale Wirkungsquerschnitt
von Fe^{54} im keV-Energiebereich

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

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

ZUSAMMENFASSUNG

Der totale Wirkungsquerschnitt von Fe^{54} 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 Resonanzparametern ausgewertet.

The Total Neutron Cross Section of Fe^{54} in the keV Energy Region

ABSTRACT

The total neutron cross section of Fe^{54} 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 and the resonance parameters of the detected resonances determined.

EINLEITUNG

Für den Bau schneller Brutreaktoren sind die totalen Neutronenwirkungsquerschnitte im keV-Bereich von Elementen mit $A = 40$ bis $A = 80$ von Bedeutung. Aus dem Wirkungsquerschnittsverlauf 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 Kernreaktionen vergleichen.

Bei der Bestimmung der Strahlungsbreiten 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^{54} wurde bereits von Newson et.al. [1] und Bowman et.al. [2] mit angereicherten Proben von ca. 5 keV - 390 keV gemessen. Weitere Studien des Fe^{54} -Gesamtquerschnitts wurden anhand von Messungen an natürlichem Eisen von Garg et.al. [8] 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 KHz. Die Neutronen wurden mit der $\text{Li}^7(p,n)\text{Be}^7$ Reaktion in einem dicken Lithiumtarget erzeugt.

Für den Nachweis der Neutronen wurde im Energiebereich 6 keV - 90 keV ein Borscheibendetektor eingesetzt [3], [4]. Von 90 keV - 300 keV diente ein Li-Glas Detektor als Neutronenzähler.

Die Lithiumglasscheibe^{+) (4 $\frac{3}{8}$ " ϕ x 1/2", 6,6 % Lithium angereichert auf 95 % Li⁶) wurde in einer innen verspiegelten Bronze-Tüte angebracht und auf den Photomultiplier XP 1040 von Valvo montiert [5]. Die Neutronenenergie wurde aus der Flugzeit zwischen Target und Detektor bestimmt. Zur Messung der Flugzeit diente eine digitale Zeitcodiereinheit^{++) mit der Kanalbreite von 2 ns über einen Zeitbereich von 2 μ s - 4 μ s. 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 Fe⁵⁴ wurden mit einer Probenwechselanlage ⁵⁴Fe₂O₃-Proben (Anreicherung: 97,7 % Fe⁵⁴, 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 [6] ausgewertet, das die Parametrisierung des Wirkungsquerschnitts durch Anpassen mit der Methode der kleinsten Quadrate nach der R-Matrix-Theorie [7] durchführt. Der totale Wirkungsquerschnitt wird wie folgt angesetzt:

$$\sigma = 2\pi \lambda^2 \sum_{J=|I-1/2|}^{I+1/2} \overline{g_J (1 - \text{Re}U_J)} + \sigma_1 \quad (1)$$

$2\pi\lambda = 2\pi/k_n$:	Neutronenwellenlänge im Schwerpunktsystem
I:	Targetspin
J:	Compoundspin
$g_J = (2J+1) / \sqrt{2(2I+1)}$:	Statistischer Spinfaktor
σ_1 :	p-Wellen-Potentialstreuquerschnitt

^{+) Lithiumglas NE 905 der Fa. Nuclear Enterprise}

^{++) Laben digital time sorter}

$$U_J = e^{-2ika'_J} \underline{1} \underline{(1 - i R_J)^{-1}} \underline{(1 + i R_J)} \underline{1} \quad (2)$$

ist das Stoßmatrixelement, das den Gesamtquerschnitt bestimmt.

$\underline{1}$ bedeutet die 2 x 2 Einheitsmatrix,

R_J eine 2 x 2 Matrix mit den Elementen

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

$\Gamma_{\lambda c}^{1/2} = (2 k_c a_c)^{1/2} \Gamma_{\lambda c}$: 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'_J wird mit Hilfe eines "picket fence model" berechnet: Die außerhalb des Analysierbereichs liegenden Niveaus werden durch äquidistante Resonanzen gleicher reduzierter Breite angenähert.

$$a'_J = a_J - \lambda \operatorname{arc\,tg} (S_J \sqrt{E/1 \text{ eV}} \operatorname{ar\,tgh} \frac{E-\bar{E}}{\Delta/2})$$

- a_J : Radius der Wirkungssphäre für s-Wellen-Neutronen
 S_J : Stärkefunktion des verwendeten Modells
 \bar{E} : 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.

ERGEBNISSE

Fig. 4,5 und 6 geben die gefitteten, experimentellen Transmissionsdaten mit den statistischen Fehlern für beide Probendicken und den dazugehörigen Verlauf des Wirkungsquerschnitts 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 Fe⁵⁴ zwischen 4.85 und 290 keV berechnet. Dieser Datensatz ist vom Neutronendatenzentrum in Saclay⁺⁾ auf Anforderung erhältlich.

Die meisten Resonanzenergien und viele Halbwertsbreiten stimmen mit den Ergebnissen anderer Autoren ([1,2,8,9]) 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] ohne hinreichende experimentelle Fundierung eingeführt wurde und daß die anderen Autoren sie einfach übernahmen. 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 Datenqualität und Analysemethoden zurückzuführen.

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

TABELLE 1

E_o (keV)	$g\Gamma_n$ (keV)	l
$7,67 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,01$	0
$11,19 \pm 0,03$	$\approx 0,007$	> 0
$30,70 \pm 0,10$	$\approx 0,010$	> 0
$39,18 \pm 0,12$	$\approx 0,015$	> 0
$52,78 \pm 0,18$	$2,16 \pm 0,02$	0
$55,46 \pm 0,19$	$0,03 \pm 0,02$	> 0
$71,86 \pm 0,25$	$1,77 \pm 0,03$	0
$98,5 \pm 0,4$	$0,51 \pm 0,05$	0
$129,6 \pm 0,5$	$3,00 \pm 0,09$	0
$147,1 \pm 0,7$	$2,75 \pm 0,11$	0
$159,0 \pm 0,8$	$0,18 \pm 0,09$	0
$163,9 \pm 0,9$	$\approx 0,08$	> 0
$173,9 \pm 0,8$	$2,8 \pm 0,1$	0
$191,2 \pm 1,0$	$42,4 \pm 0,5$	0
$222,8 \pm 1,2$	$1,57 \pm 0,14$	0
$230,2 \pm 1,2$	$0,26 \pm 0,14$	0
$244,4 \pm 1,3$	$0,25 \pm 0,15$	> 0
$245,7 \pm 1,3$	$24,6 \pm 0,6$	0

$$4 < E_n < 22 \text{ keV}$$

$$a_J = 4,0 \text{ fm}$$

$$S_J = 11,7 \times 10^{-4}$$

$$22 < E_n < 90 \text{ keV}$$

$$a_J = 3,8 \text{ fm}$$

$$S_J = 13 \times 10^{-4}$$

$$E_n > 90 \text{ keV}$$

$$a_J = 4,27 \text{ fm}$$

$$S_J = 11,2 \times 10^{-4}$$

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 $(7,8 \pm 3,4) \times 10^{-4}$ und stimmt innerhalb der angegebenen Fehler mit der Stärkefunktion $(5,2 \pm 1,7) \times 10^{-4}$ von Seth [10] überein. Der größere Wert der Stärkefunktion der vorliegenden Arbeit wird zusätzlich durch die hohen Werte von S_J 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 [11] als auch über denjenigen von Müller und Rohr [12], die auf dem Doorway-Konzept beruhen. Eine mögliche Erklärung könnte sein, daß zur Neutronenbreite von ^{54}Fe in diesem Energiebereich eine größere Komponente direkter Einfangprozesse beiträgt. Es sei in diesem Zusammenhang angemerkt werden, daß kürzlich [13] eine starke Korrelation zwischen den Stärkefunktionen für thermischen Einfang (n,γ) und der (d,p)-Reaktion gefunden wurde.

TABELLE 2:

Zusammensetzung der ^{54}Fe -Probe:

Fe^{54}	97,69 %
Fe^{56}	2,25 %
Fe^{57}	0,05 %
Fe^{58}	0,01 %

Verwendete Probendicken von Fe_2O_3 :

(4.8 - 22) keV	0,036 $\frac{\text{Kerne}}{\text{barn}}$
(22 - 90) keV	0,036 "
	0,102 "
(90 - 290) keV	0,067 "
	0,157 "

Wir möchten der USAEC-EANDC für die Bereitstellung des Fe^{54} -Probenmaterials danken. Bei der Durchführung der Messungen war die Unterstützung des Van-de-Graaff-Personals eine wertvolle Hilfe.

LITERATURVERZEICHNIS

- [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. Newson, *Ann. Phys.* 17,319 (1962)
- [3] Rohr, G., *Doktorarbeit, Universität Karlsruhe* (1967)
- [4] Rohr, G., K.-N. Müller, *Z. Physik* 227, 1 (1969)
- [5] H. Beer, *Arbeitsbericht Nr. 99* (unveröffentlicht)
- [6] F.H. Fröhner, *FANAL 2, Arbeitsbericht Nr. 97* (unveröffentlicht)
- [7] A.M. Lane, J.R. Thomas, *Rev. Mod. Phys.* 30,257 (1958)
- [8] J.B. Garg, J. Rainwater, W.W. Havens, jr., *Phys. Rev. C* 3,2447 (1971)
- [9] M.D. Goldberg, S. Mughabghab, B.A. Magurno, V.U. May (ed.),
BNL-325, 2nd ed., Suppl. No. 2, (1966)
- [10] K.K. Seth, *Nucl. Data Sect. A* 2 299 (1966)
- [11] B. Buck and F. Perey, *Phys. Rev. Letters* 8 444 (1962)
- [12] K.N. Müller and G. Rohr, *Nucl. Physics A* 164, 97 (1971)
- [13] J. Kopecky, K. Abrahams and F. Stecher-Rasmussen, *Nuclear
Physics A* 188, 535 (1972)

Fig. 1 Die Transmissionsdaten von ^{54}Fe für die Probendicke 0,036 Kerne/barn und ein R-Matrix-Fit im Energiebereich (4.8 - 22) keV (unten).

Der aus den R-Matrix-Parametern berechnete Gesamtquerschnitt des reinen Isotops ^{54}Fe (Auflösungsverbreiterung berücksichtigt) (oben).

Fig. 2 Die Transmissionsdaten von ^{54}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 Gesamtquerschnitt des reinen Isotops ^{54}Fe (Auflösungsverbreiterung berücksichtigt) (oben).

Fig. 3 Die Transmissionsdaten von ^{54}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 ^{54}Fe (Auflösungsverbreiterung berücksichtigt) (oben).

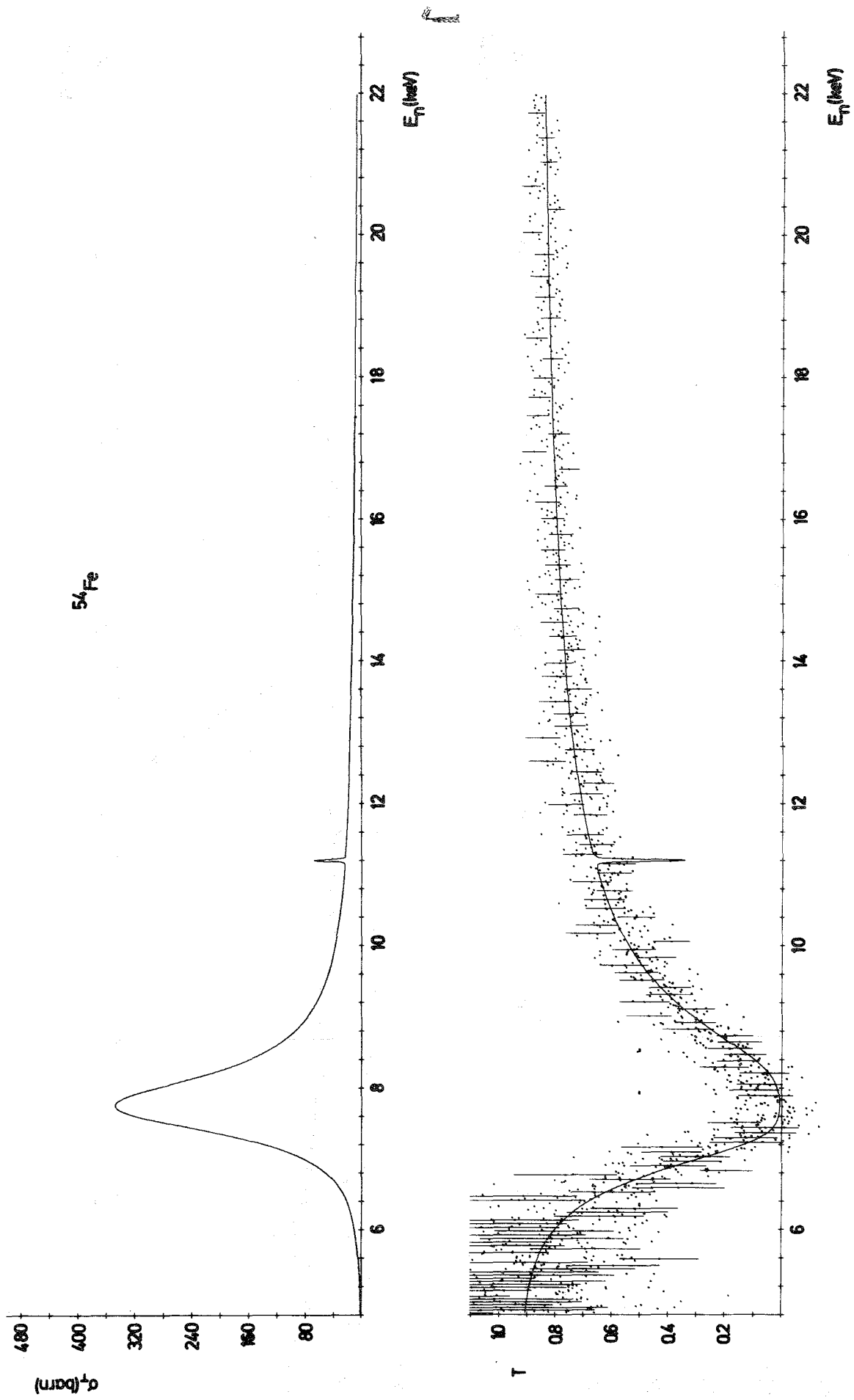


Fig. 1

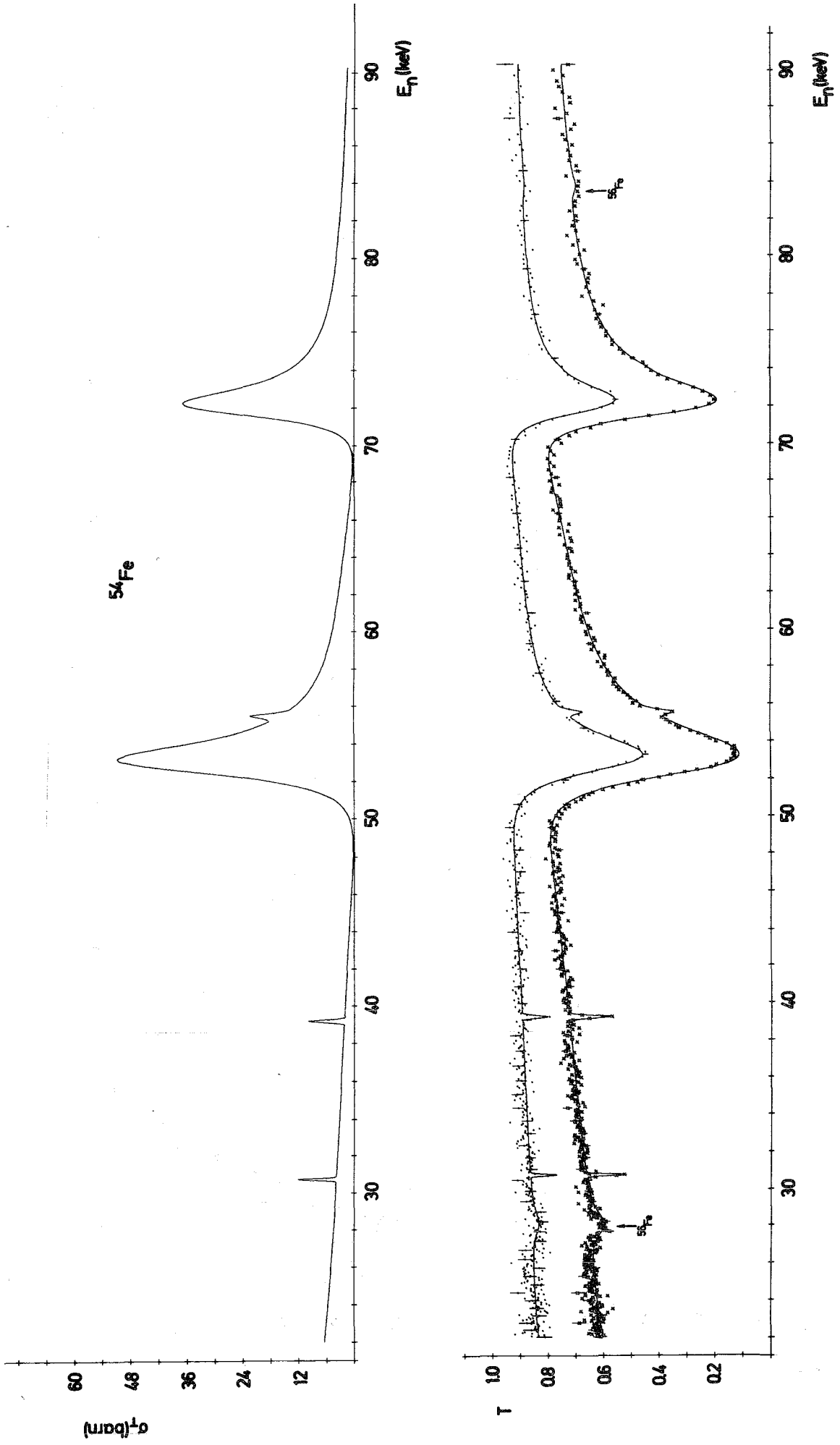


Fig. 2

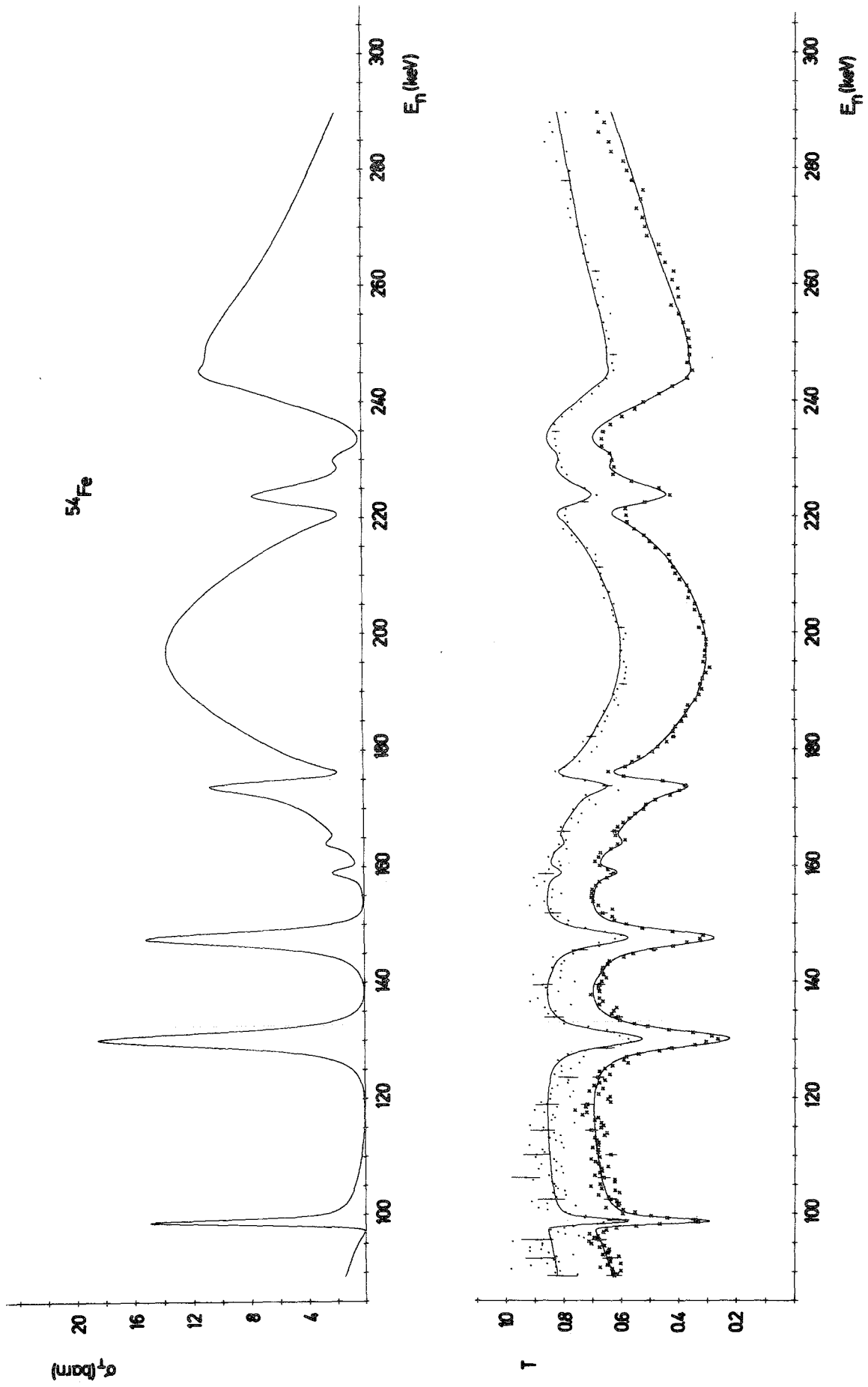


Fig. 3

