

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH

des Landes Nordrhein-Westfalen

Die Spektren der Protonen
aus (d,p)-Reaktionen an schweren Kernen
bei Deuteronenenergien unter 12 MeV.


von

J. Pflieger, U. Schmidt-Rohr
u. P. Turek

Jü1 - 28 - KP

November 1961

Als Manuskript gedruckt



Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 28

Dok.: NUCLEAR REACTIONS (d,p) * DK 539.172.138.12 : 539.125.4.164

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich,
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Die Spektren der Protonen
aus (d,p)-Reaktionen an schweren Kernen
bei Deuteronenenergien unter 12 MeV.

von

J. Pflieger, U. Schmidt-Rohr
u. P. Turek

Die Spektren der Protonen aus (d,p)-Reaktionen an schweren Kernen bei Deuteronenenergien unter 12 MeV.

J.Pfleger, U.Schmidt-Rohr und P.Turek.
(Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg)

The proton spectra of the (d,p)-reactions on heavy nuclei show, in addition to the low energy continuum and the gross structure at higher energies, a pronounced proton group. The relative intensity of the proton group increases with decreasing energy of the primary deuterons. The dependence of the spectra on the atomic number of the target and the energy dependence and angular distribution for gold have been measured. The results are explained in terms of the properties of the nuclear surface.

1. Ziel der Untersuchung

Die Spektren der Protonen aus (d,p)-Reaktionen an mittelschweren und schweren Kernen zeigen im allgemeinen neben einem niederenergetischen Kontinuum eine Grobstruktur, die sich zu höheren Energien in einzelne Linien auflöst. Das niederenergetische Kontinuum stammt teils aus (d,pn)-Reaktionen, in denen das einfallende Deuteron aufgebrochen wird, teils aus Kompoundkernreaktionen, in denen das ganze Deuteron eingefangen und ein niederenergetisches Proton abgedampft wird. Die Grobstruktur des höherenergetischen Teils des Spektrums wird direkten Reaktionen zugeschrieben, in denen das Neutron in bestimmte Einteilchenzustände eingefangen wird. Die Winkelverteilung der Linien der Grobstruktur ist durch Maxima in Vorwärtsrichtung gekennzeichnet.

Die untere Energiegrenze, bei der die Intensität des Kontinuums auf Null abfällt, verschiebt sich mit zunehmender Ordnungszahl des Targetkerns zu höheren Energien, weil die Mindestenergie, die das Coulombpotential den auslaufenden Protonen erteilt, größer wird.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie sich die Form des Spektrums der Protonen ändert, wenn die Deuteronenenergie kleiner wird als die Coulomb-Barriere des Targetkerns.

2. Experimentelle Methode.

Die Energie des verwendeten Deuteronenstrahls des Heidelberger Zyklotrons beträgt 11,8 MeV. Sie kann durch Absorberfolien auf 10,9; 9,8; und 8,7 MeV reduziert werden. Die Energiebreite des Strahls wird durch die Folien von 0,5% auf 7% bei 8,7 MeV vergrößert. Die (d,p)-Reaktionen wurden an Ta, W, Pt, Au, Tl, Pb und Bi untersucht. Die Höhe der Coulomb-Barriere dieser Kerne ist größer als die Maximalenergie der Deuteronen. Die Höhe der Coulomb-Barriere läßt sich aus den Anregungsfunktionen der (d,p)-Reaktionen entnehmen und beträgt für Tantal etwa 12,6 MeV, für Wismut etwa 13,8 MeV. Die Intensität der elastisch gestreuten Deuteronen ist daher wesentlich höher als die aller Reaktionsprodukte.

Zur Untersuchung und Trennung der sekundären Protonen von den Deuteronen diente die früher schon mehrfach beschriebene Streukammer von 20 cm Durchmesser ^{1, 2)}. Die Protonen wurden durch Messung der spezifischen Ionisation mit Proportionalzählrohren von den Deuteronen getrennt. In Vorwärtsrichtung war das Intensitätsverhältnis zwischen Deuteronen und Protonen so groß, daß das Trennvermögen des Sortierers nicht ausreichte, um alle Impulse elastisch gestreuter Deuteronen aus den Protonenspektren zu eliminieren. Es mußte daher bei Winkeln von weniger als 60° mit Vorabsorbern von etwa 50 mg cm^{-2} Dicke gearbeitet werden und das Protonenspektrum konnte in Vorwärtsrichtung nur im

Energiebereich oberhalb 8 MeV untersucht werden.

Gold, Platin und Wolfram standen in Form von kommerziellen Folien zur Verfügung. Tantal- und Bleifolien wurden durch Walzen dickerer Folien erhalten. Thallium- und Wismutfolien wurden durch Aufdampfen auf NaCl, bzw. Blattgold hergestellt. Nach Auflösen des NaCl in Wasser ließen sich trägerfreie Wismutfolien gewinnen. Die Dicke der verwendeten Folien betrug bei Tantal 11 mg cm^{-2} , bei allen anderen Elementen 4 bis 6 mg cm^{-2} .

Das Auflösungsvermögen des zur Energiemessung verwendeten CsJ-Kristalls lag bei etwa 4%. Der Energieverlust der Teilchen in den Folien vergrößerte die Breite der Linien im Spektrum auf 5-6%. Durch Vergleich der Spektren bei 60° und 165° wurde für jedes Target geprüft, daß die auftretenden Liniengruppen nicht von Verunreinigungen leichter Kerne stammen. Als Energieeichmarken dienten die drei intensivsten Linien der $C^{12}(d,p)$ -Reaktion. Ein Folienrahmen der Streukammer war deshalb immer mit einer Polyäthylenfolie besetzt.

Die Intensität des Deuteronenstrahls wurde über einen Faraday-Käfig mit einem Integrator und einem CsJ-Monitorezähler bei 25° Streuwinkel gemessen. Die absoluten Wirkungsquerschnitte für Gold wurden außerdem durch gleichzeitige Messung der Intensität der elastisch gestreuten Deuteronen bei 50° und der ausgeprägtesten energiereichen Gruppen des Protonenspektrums geprüft. Für das Verhältnis des differentiellen Wirkungsquerschnitts zum Rutherfordquerschnitt bei 50° hatten frühere Messungen der Winkelverteilung elastisch gestreuter Deuteronen³⁾ den Wert $6/6_{\text{Rutherford}} = 1,02 \pm 0,05$ ergeben. Der totale Wirkungsquerschnitt für Protonen erzeugende Deuteronenreaktionen bei 11,8 MeV beträgt unter Berücksichtigung dieses Wertes $310 \pm 50 \text{ mbarn}$.

3. Ergebnisse.

In Fig.1. sind die Spektren der unter 90° emittierten Protonen für alle untersuchten Elemente zusammengestellt. Sie zeigen für Tantal und Wolfram ein niederenergetisches Kontinuum, das sich nach höheren Energien mehr und mehr in eine Grobstruktur aufgliedert. Mit zunehmender Ordnungszahl wird die Form des Spektrums vom Platin beginnend durch eine Linien-
gruppe beherrscht, deren Breite von 0,7 MeV bei Gold bis auf 1,6 MeV bei Wismut ansteigt. Das Verhältnis der Intensität dieser Gruppe zur Intensität der energiereichen Linien, die einem Übergang in niedrige Zustände des Endkerns entsprechen, nimmt ebenfalls mit der Ordnungszahl der Targetkerne zu. Die Protonenspektren der (d,p)-Reaktion an Gold, Blei und Wismut sind schon mehrfach bei höheren Deuteronenenergien untersucht worden⁴⁻⁷⁾. Besonders sorgfältig sind die neuesten Messungen von B.L.Cohen und Mitarbeitern⁸⁾ bei einer Primärenergie von 14,8 MeV. Bei dieser höheren Energie zeichnet sich bereits ab, daß die Niveaus des Endkerns, die einem kleinen Q-Wert entsprechen, besonders stark angeregt werden. Das Verhältnis der Intensität der ausgeprägten Protonengruppe zur Intensität der energiereichsten Linie des Spektrums ist bei 14,8 MeV Primärenergie der Deuteronen für Blei und Wismut etwa halb so groß wie bei 11,8 MeV.

In Fig.2. sind die Spektren der unter 140° von Gold emittierten Protonen für drei verschiedene Primärenergien der Deuteronen aufgetragen. Zieht man noch das von Gove⁴⁾ bei 14 MeV gemessene Spektrum hinzu, so ergibt sich, daß mit abnehmender Deuteronenenergie die kleinen Q-Werten entsprechende Protonengruppe immer ausgeprägter und breiter wird. Der Einfluß einer zunehmenden Höhe der Coulomb-Barriere ist offensichtlich dem einer abnehmenden Primärenergie der Deuteronen ähnlich.

In Fig.3. ist die Winkelverteilung des gesamten Protonenspektrums und der ausgeprägten Protonengruppe aufgetragen. Die Trennung der Protonengruppe vom Untergrund ist nur mit mäßiger Genauigkeit möglich. Der Fehler der in der Winkelverteilung angegebenen relativen differentiellen Wirkungsquer-

schnitte kann daher bis zu $\pm 20\%$ betragen.

4. Diskussion.

Aus den in Fig.1. und 2. dargestellten Spektren ergibt sich, daß die Protonenlinien, die einem kleinen Q -Wert der (d,p) -Reaktion entsprechen, besonders stark angeregt werden, wenn die Energie der Deuteronen kleiner ist als die Coulomb-Barriere des Targetkerns. Für den Ablauf einer (d,p) -Reaktion dieser Art sollten die Eigenschaften der äußersten Kernoberfläche von besonderer Bedeutung sein. Das primäre Deuteron wird nach Abbremsung im Coulombfeld des Kerns polarisiert sein und eine besonders große Aufenthaltswahrscheinlichkeit in einem Kernabstand haben, in dem das Kernpotential gerade noch wirksam ist. Das Neutron befindet sich dabei in Kernnähe und muß wegen der Gleichheit der Energie der primären Deuteronen und sekundären Protonen mit einer Energie von etwa $2 M_e V$, der Bindungsenergie im Deuteron, eingefangen werden. Die starke Bevorzugung einer Bindungsenergie von etwa $2 M_e V$ für das Neutron im Endkern ist nicht ohne weiteres zu verstehen. Sie könnte darauf beruhen, daß das Neutron sich mit einem der äußersten Protonen des Targetkerns im Ausläufer des Kernpotentials zu einem Quasideuteron gruppiert. Eine andere Möglichkeit wäre, daß der Spin des Neutrons am Kernrand umgeklappt wird und das Deuteron im Singulettzustand dissoziiert, bevor das Neutron im Targetkern eingebaut wird. Das Maximum der Winkelverteilung der Protonengruppe bei einem Winkel von 65° spricht dafür, daß der Bahndrehimpuls, mit dem das Neutron eingebaut wird, recht groß ist. Bei der Diskussion der Winkelverteilung der Protonen der (d,p) -Reaktion an Blei hat schon Cohen⁸⁾ gezeigt, daß die Linien der hier diskutierten Liniengruppe nicht Einteilchenniveaus zugeschrieben werden können.

Die zunehmende Verbreiterung der Protonengruppe bei größer werdendem Minimalabstand des primären Deuterons kann vielleicht damit erklärt werden, daß das Coulombpotential in größerem Abstand vom Kern flacher verläuft

und die Polarisation des Deuterons daher nicht so ausgeprägt ist.

Wir danken Herrn Prof.W.Gentner für die Unterstützung unserer Arbeit. Den Herren Prof. B.Stech, J.Eichler, H.J.Mang, J.Petzold und W.Zeh danken wir für Diskussionen theoretischer Gesichtspunkte.

L i t e r a t u r

- 1.) A.Doehring, R.Jahr, U.Schmidt-Rohr Z.f.Physik 159,
149 (1960)
- 2.) R.Jahr, K.D.Müller, W.Oswald, U.Schmidt-Rohr
Z.f.Physik 161,
509 (1961)
- 3.) G.Igo, W.Lorenz, U.Schmidt-Rohr Phys.Rev. to published
- 4.) H.E.Gove Phys.Rev. 81, 364 (1951)
- 5.) N.S.Wall Phys.Rev. 96, 670 (1954)
- 6.) F.A. Aschenbrenner Phys.Rev. 98, 657 (1955)
- 7.) B.L.Cohen, J.B.Mead, R.E.Price Phys.Rev. 118, 499
(1960)
- 8.) B.L.Cohen, R.E.Price, Santos Mayo Nucl.Physics 20,
370 (1960)

A b b i l d u n g e n

Fig.1. Spektren der unter 90° emittierten Protonen der (d,p)-Reaktionen an schweren Kernen bei einer Primärenergie der Deuteronen von 11,8 MeV. Der Ordinatenmaßstab ist linear.

Fig.2. Spektren der unter 140° emittierten Protonen der Au^{197} (d,p)-Reaktion bei verschiedenen Primärenergien.

Fig.3. Winkelverteilung der Protonen der Au^{197} (d,p)-Reaktion bei einer Primärenergie der Deuteronen von 11,8 MeV. Die Winkelverteilung der Protonengruppe bei $E_p = 11,7$ MeV ist ausgezogen, für sie gilt die rechte Ordinatenkala. Die Winkelverteilung des gesamten Spektrums ist gestrichelt eingezeichnet, die Ordinatenkala ist links.

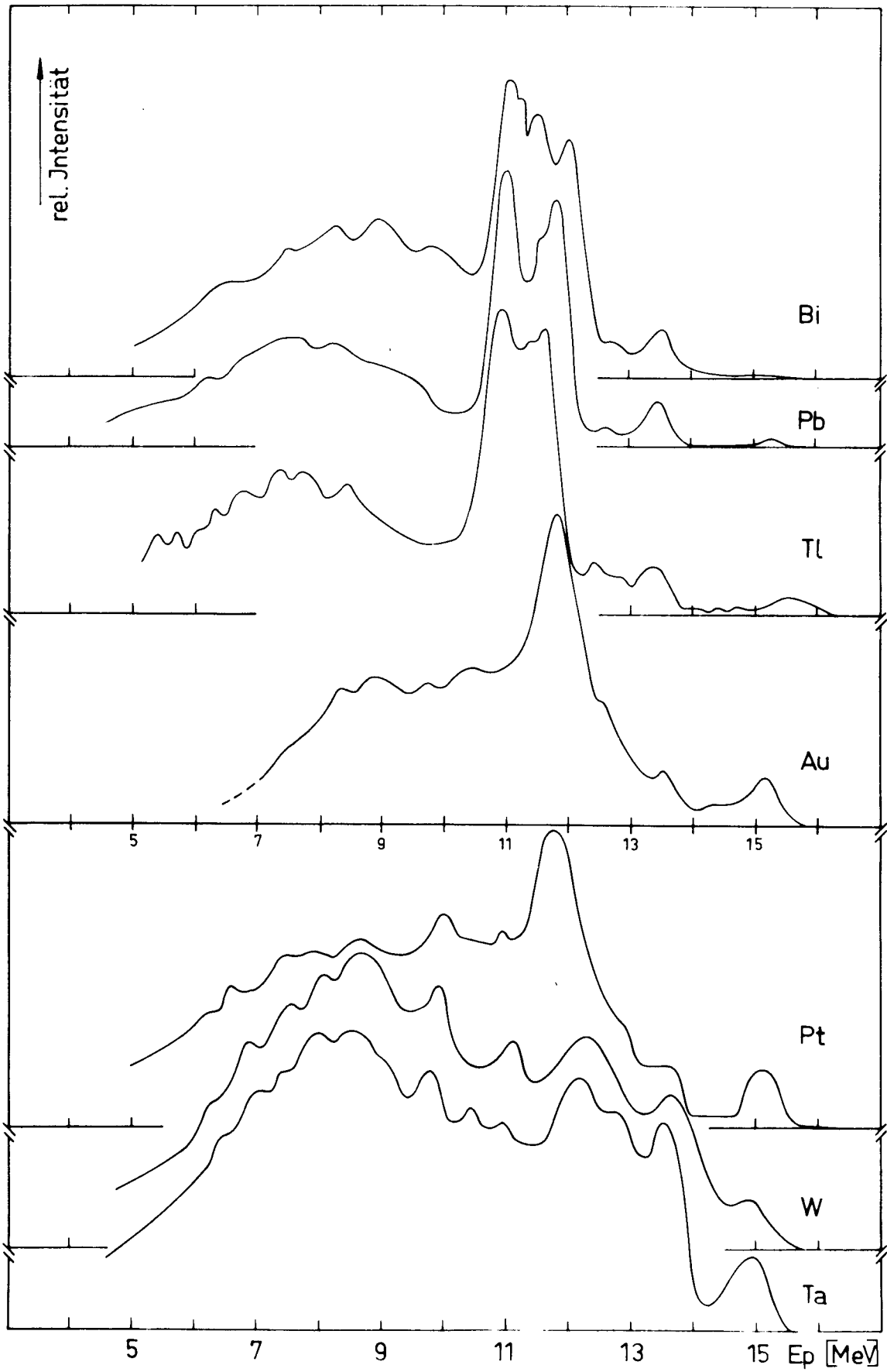


Fig. 1

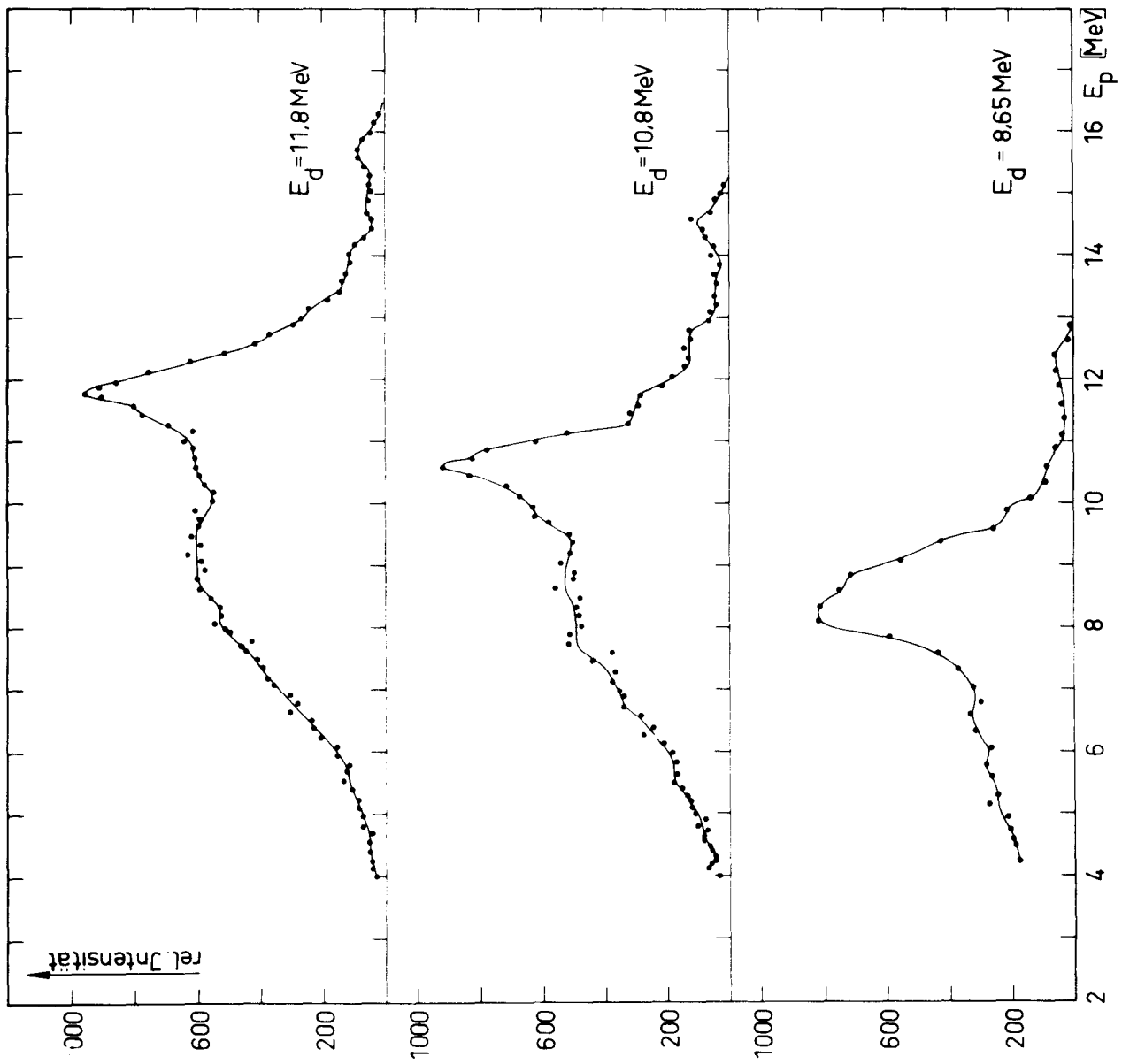


Fig. 2

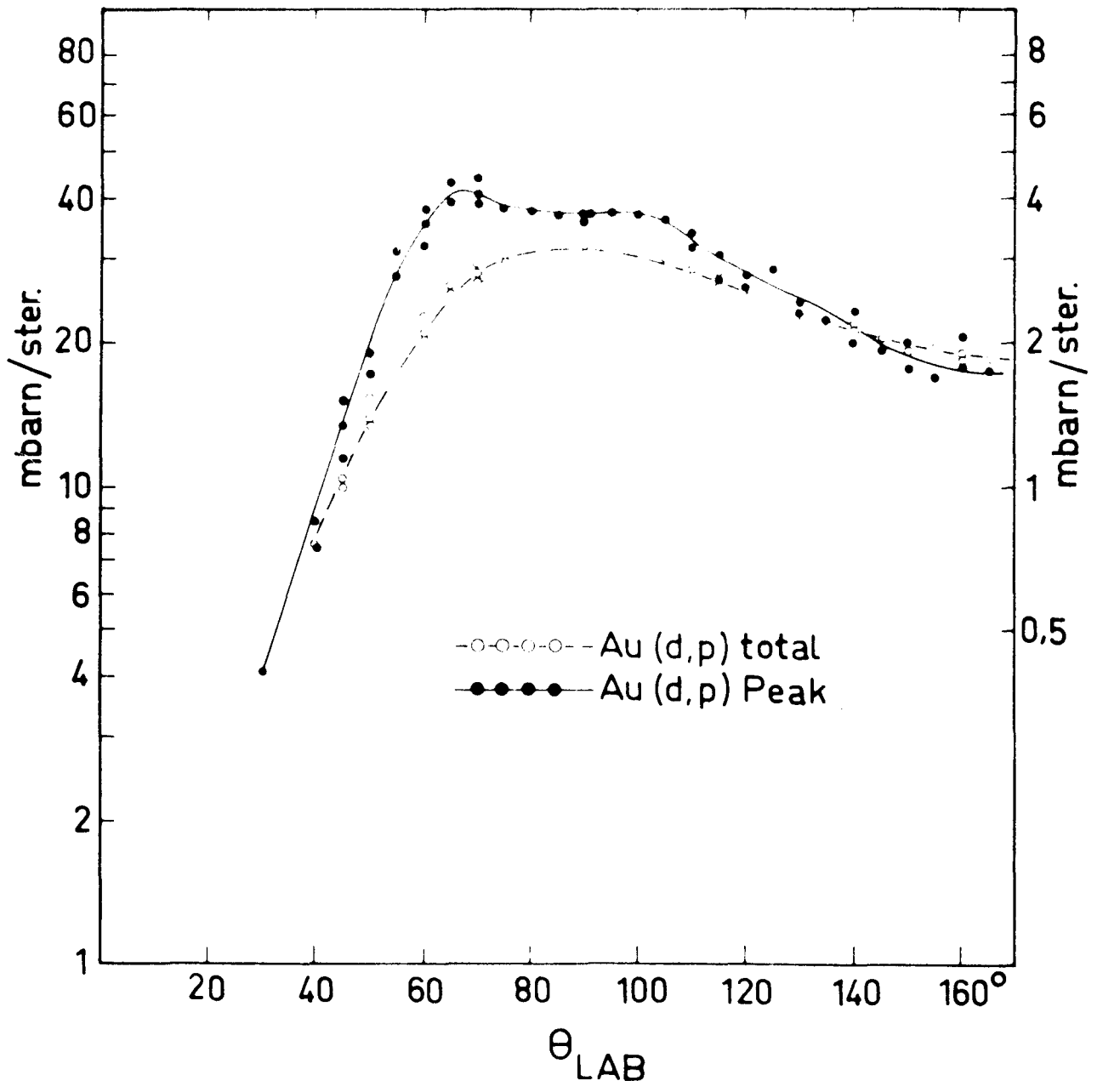


Fig. 3