

Der atomare Bremsquerschnitt von H_2 , D_2 , He, N_2 und A für α -Teilchen im Umladungsgebiet ($0,5 \leq E_\alpha \leq 2$ MeV)

U. HOYER* und H. WÄFFLER

Abteilung für Kernphysik
am Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

(Z. Naturforsch. 26 a, 592–595 [1971]; eingegangen am 1. Februar 1971)

Herrn Professor Dr. H. Maier-Leibnitz zum 60. Geburtstag gewidmet

Measurements of the atomic stopping cross section of the gases H_2 , D_2 , He, N_2 and A for α -particles, in the energy range $0.5 \text{ MeV} \leq E_\alpha \leq 2 \text{ MeV}$, are described. The values obtained are in good agreement with the data given by Weyl for energies up to 0.5 MeV and they agree also with the stopping cross sections taken from Whalings compilation for energies beyond 2 MeV.

Die Energieverluste von α -Teilchen beim Durchgang durch Materie lassen sich im Energiebereich unterhalb $E_\alpha \cong 2 \text{ MeV}$ rechnerisch nicht erfassen. Das hat seine Ursache in den Umladungsprozessen, denen α -Teilchen

dieser Energie unterliegen und für welche eine allgemeine Theorie noch nicht existiert. Man ist deshalb für eine Kenntnis des Bremsquerschnitts in diesem Energiebereich ganz auf das Experiment angewiesen. Obwohl diesem Bremsquerschnitt als Hilfsgröße in der Kernphysik und verwandten Gebieten große praktische Bedeutung zukommt, liegen im Energiebereich

$$0,5 \leq E_\alpha \leq 2 \text{ MeV}$$

zwar Messungen desselben an verschiedenen Metallen vor¹, hingegen nur an einem Gas, nämlich Luft². Es ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung, diese Lücke teilweise auszufüllen.

I. Meßanordnung

Die in Abb. 1 schematisch dargestellte Versuchsanordnung dient der Messung des differentiellen Energieverlustes von α -Teilchen in den verschiedenen untersuchten Gasen. Als Quelle (s. Abb. 1) der α -Teilchen wird ein starkes (20 mC) ^{210}Po -Präparat benutzt. Die α -Teilchen treten aus einem luftdichten Behälter durch

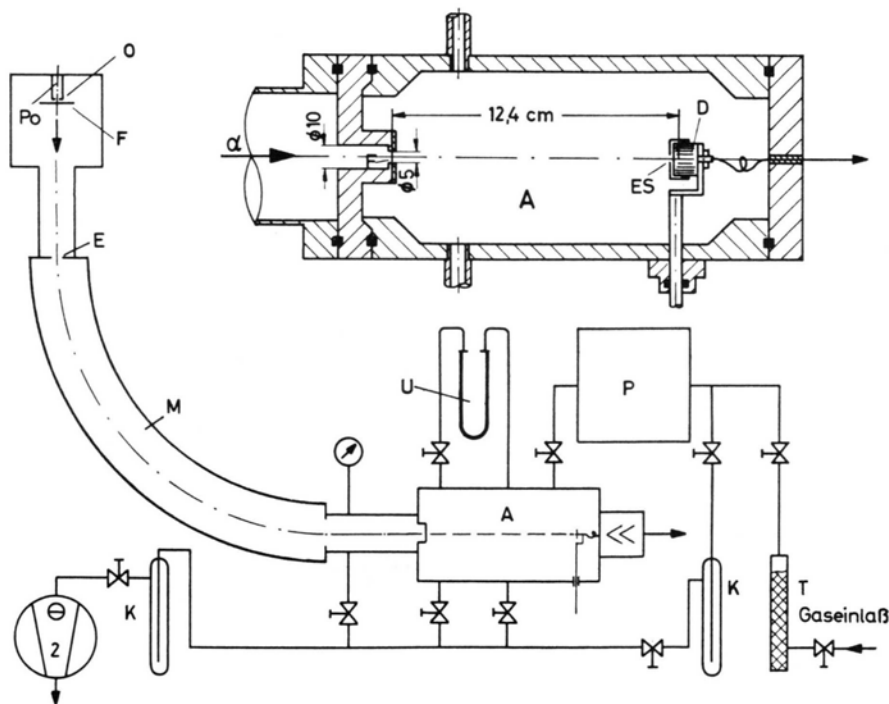


Abb. 1. Schematische Darstellung der Meßanordnung. A Abdetektor (2 mm), Po Poloniumpräparat, O Aperturfolie, E Eintrittsblende für den Magneten, M Magnetkaskenturm.

sorptionszelle, D Sperrschichtzähler, ES Eintrittsspalt für Öffnung (1,3 mm Durchmesser), F Absorptions- und Streusetze, U Manometer, P Puffergefäß, K Kühlfalle, T Trok-

* Jetzt: Institut für Geschichte der Naturwissenschaften und Technik, Stuttgart.
Sonderdruckanforderungen an Prof. Dr. H. WÄFFLER, Abt. für Kernphysik am Max-Planck-Institut für Chemie, 6500 Mainz, Saarstraße 23.

¹ W. K. CHU u. D. POWERS, Phys. Rev. **187**, 478 [1969].

² W. P. JESSE u. J. SADAUSKIS, Phys. Rev. **78**, 1 [1950].

ein Fenster ($10\ \mu\text{Al}$) in die Magnetkassette, welche mittels einer zweistufigen, rotierenden Schieberpumpe auf einem Vakuum von etwa 10^{-4} Torr gehalten wird. Durch Vorschalten von Absorberfolien geeigneter Dicke (3,3 bis $5,2\ \text{mg/cm}^2\text{Al}$) wird die Po- α -Linie (5,3 MeV) zunächst auf annähernd die gewünschte Energie abgebremst und dabei zu einem kontinuierlichen Spektrum verbreitert. Aus diesem Spektrum blendet der doppel-fokussierende 90° -Magnet α -Teilchen mit einer Energieschärfe von $<0,5\%$ des eingestellten Energiewertes aus, unter annähernder Abbildung der Quelle auf den Eintrittsspalt vor dem Detektor. Als Detektor dient ein Ortec A-018-025-100 Oberflächensperrschichtzähler von $25\ \text{mm}^2$ Fläche und einem Energieauflösungsvermögen von 16–18 keV für α -Teilchen der zu messenden Energie. Der Zähler befindet sich im Innern des Meßvolumens, welches quallseitig durch eine dünne (ca. $50\ \mu\text{g/cm}^2$) Kollodiumfolie abgeschlossen ist und mit dem zu untersuchenden Gas gefüllt werden kann.

Die Länge der Absorptionsstrecke beträgt 124 mm, die Po- α -Quelle befindet sich hinter einer kreisförmigen Aperturöffnung von 1,3 mm Durchmesser, die Linearvergrößerung der Magnetoptik beträgt 1,4 und der das Alphabündel definierende Eintrittsspalt hat eine Spaltweite von 2 mm. Die im Sperrschichtzähler ausgelösten Ladungsimpulse werden über eine konventionelle Verstärkerelektronik einem 200-Kanal Pulshöhenanalysator zugeführt. Die Absoluteichung des Zählers mitsamt der nachgeschalteten Elektronik erfolgt mit Hilfe der Reaktion $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}^*$, ^7Li ($E_\alpha = 1,472$ bzw. $1,77\ \text{MeV}$) sowie einem die 3 Alphastrahler ^{239}Pu , ^{241}Am und ^{244}Cu in dünner Schicht enthaltenden Präparat ($E_\alpha = 5,147$, $5,482$ und $5,801\ \text{MeV}$). Referenzimpulse eines in diesen Alphaenergien geeichten Impulsgebers erlauben die

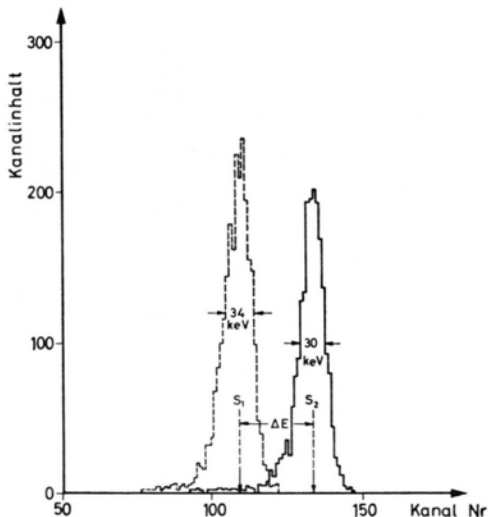


Abb. 2. Pulshöhenspektrum einer ausgeblendeten Alpha Linie, rechts bei evakuierter Absorptionszelle, links (gestrichelt) bei gasgefüllter Absorptionszelle. Die durch die Absorption im Gas bewirkte Energieverschiebung beträgt hier $\Delta E = 90\ \text{keV}$. Mit S_1 , S_2 sind die Schwerpunktslagen der beiden Linien angedeutet.

Festlegung der im Analysator eingeordneten Impulse auf der Energieskala. Der mittlere Energieverlust einer durch den Magneten ausgeblendeten, annähernd mono-energetischen Alphagruppe bestimmt sich aus der Änderung der Schwerpunktslage im Analysator, wenn diese Alphagruppe abwechselnd sowohl mit als auch ohne Gas in der Absorptionsstrecke aufgenommen wird. Die hierzu erforderliche Messung des Gasdrucks in der Absorptionsstrecke erfolgt mit einem ölgefüllten U-Rohrmanometer auf 0,1 Torr genau. Die Abb. 2 zeigt ein typisches Spektrum, das mit einer Energieabnahme von $\Delta E_\alpha = 90\ \text{keV}$ im Gas der Absorptionszelle aufgenommen wurde. Die Größe dieses absorbierten Energiebetrages wurde für alle Messungen auf etwa 100 keV eingestellt, wobei die der Schwerpunktslage der unverschobenen Linie entsprechende Alpha-Energie mit einer Genauigkeit von $\pm 10\ \text{keV}$ bestimmt werden konnte.

II. Meßergebnisse

Um die Meßanordnung auf ihre Zuverlässigkeit sowie auf die mit ihr erreichbare Meßgenauigkeit hin zu prüfen, wurde zunächst der Bremsquerschnitt von Luft für α -Teilchen im Energiebereich 800 bis 2500 keV bestimmt und mit den Meßwerten von JESSE und SADAUSKIS² verglichen. Abb. 3 zeigt das Ergebnis dieser Vergleichsmessung, die innerhalb der beidseitigen Fehler eine gute Übereinstimmung liefert. In dieser Kurve sind zum Vergleich auch noch die Werte für Stickstoff aufgetragen, die Gegenstand einer gesonderten Messung bilden (s. unten). Diese zeigen praktisch keinen Unterschied gegenüber den Werten für Luft.

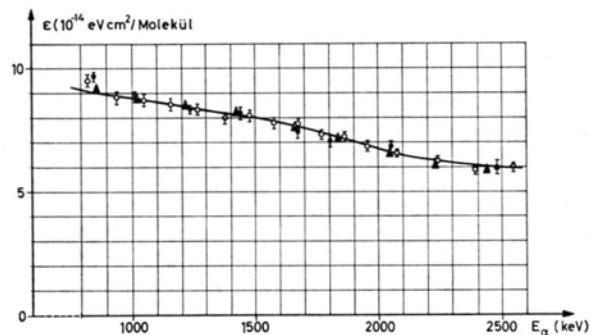


Abb. 3. Bremsquerschnitt von Luft für α -Teilchen. ● In der vorliegenden Untersuchung gewonnene Meßpunkte für Luft, $\triangle$ für Stickstoff. □ Meßpunkte von Jesse und Sadauskis (loc. cit.).

Die Ergebnisse der eigentlichen, in einheitlicher Weise durchgeführten Messungen sind in der nachstehenden Tabelle enthalten. Der in der ersten Spalte angegebene Energiewert bedeutet jeweils den Mittelpunkt des in der zweiten stehenden Energieintervalls ΔE . (ΔE ist die Differenz in der Lage der Linien-

schwerpunkte mit bzw. ohne Gas in der Absorptionszelle.) Der in der dritten Spalte enthaltene Bremsquerschnitt σ stellt somit den auf ein einzelnes Atom des betreffenden Gases bezogenen Differenzquotienten dar: $\varepsilon \cdot N = \Delta E / \Delta x$, wobei N die Zahl der Atome/cm³ und Δx die Länge der Absorptionsstrecke (12,4 cm) bedeuten. Die in der vierten Spalte angegebenen relativen Fehler des Bremsquerschnitts sind unter Berücksichtigung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes aus den verschiedenen, beim Meßvorgang auftretenden Ablesfehlern und zufälligen apparativen Schwankungen berechnet. Sie stellen somit die Standardabweichung für die einzelnen angeführten Meßwerte dar. Im einzelnen liefern die verschiedenen Teilmessungen etwa die folgenden Beiträge zum Gesamtfehler:

- Bestimmung des Energieschwerpunktes der einzelnen Alphagruppen mittels der Linienfolge des Pulsgeberspektrums (1,5%);
- Druckmessung des Gases in der Absorptionsstrecke (2%);
- Elektrische Schwankungen [Elektronik, Magnetstrom (2,5%)];
- Statistische Schwankungen der gemessenen Teilchenzahlen (1%).

Die tabellierte Ergebnisse sind in den Abb. 4 und 5 grafisch dargestellt.

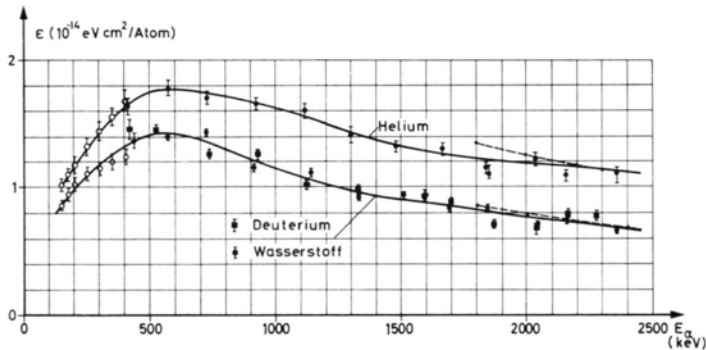


Abb. 4. Bremsquerschnitt von H₂, D₂ und He. $\circ$ Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. $\square$ Ergebnisse der Messung von WEYL³. Gestrichelte Kurven: Aus den Daten von WHALING⁴ für Protonen auf α -Teilchen umgerechneter Bremsquerschnitt.

In diese Darstellung sind zur Kontrolle der gewonnenen Werte auch noch die Messungen von WEYL³ aufgenommen, welche den hier untersuchten Energiebereich zu kleineren Energien hin ergänzen. Ferner sind am hochenergetischen Ende die von WHALING⁴ für Protonen angegebenen, in bekannter Weise auf α -Teilchen umgerechneten Werte für den Bremsquerschnitt

³ P. K. WEYL, Phys. Rev. **91**, 289 [1953].

⁴ W. WHALING, "The Energy Loss of Charged Particles in Matter", in: Handbuch der Physik, Bd. **34**, 193–217 [1958].

Tab. 1. Atomarer Bremsquerschnitt für α -Teilchen.

Gas	Energie (keV)	ΔE (keV)	Bremsquerschnitt ε (10^{-14} eV cm ² /Atom)	Rel. Fehler von ε in %
H ₂	436	105,2	1,36	4,5
	565	123,2	1,39	2,3
	718	137,7	1,43	2,3
	908	107,1	1,15	2,3
	1132	103,9	1,12	2,3
	1325	84,8	0,91	2,5
	1507	90,1	0,93	2,7
	1684	80,1	0,83	3,1
	1840	91,7	0,83	4,2
	2040	67,8	0,70	3,3
	2153	78	0,74	4,3
	2354	72	0,65	-3,4; +4,7
D ₂	425	155,5	1,46	5
	556	133,3	1,46	2,5
	736	115,8	1,27	3,2
	930	127,7	1,26	3
	1122	104,6	1,03	3,7
	1329	96,8	1,00	3,3
	1589	94,4	0,95	-3; +5,7
	1693	82,6	0,90	2,9
	1865	66,3	0,73	4,5
	2034	62,4	0,70	-8,4; +3,3
	2157	70,3	0,82	4
He	2271	68,4	0,80	-6; +4,4
	411	109,2	1,63	3,9
	572	96,9	1,78	3,4
	723	95,9	1,69	3
	919	103,5	1,65	2,9
	1118	102,9	1,60	3,8
	1295	90,5	1,41	4,2
	1480	79,6	1,32	3,1
	1666	76,5	1,30	4
	1836	71,7	1,15	4
	1843	64,4	1,10	-3,5; +6,8
N ₂	2028	70,7	1,22	3,9
	2154	63,5	1,09	3,8
	2361	69,5	1,11	-7,4; +4,5
	870	128,7	4,58	5,4
	1024	132,8	4,4	-5,3; +4,8
	1219	109,3	4,2	3,3
	1424	83,2	4,1	-6,6; +4,5
	1660	116,5	3,77	3,3
A	1829	87,3	3,55	-4,6; +3,8
	2047	86	3,25	-5,0; +4,0
	2231	95,5	3,10	4,1
	2440	119,1	2,92	3,6
	530	203,5	8,67	1,9
	734	191	8,14	2,1
	920	199,6	7,7	2,2
	1109	195,3	7,55	-4,9; +2,0
	1298	191,9	6,67	-2,0; +2,9
	1505	173,9	6,05	-2,0; +4,7
	1662	175	6,12	-4,5; +2,5
	1883	155,4	5,44	-2,0; +4,2
	1957	122,4	5,35	2,9
	2260	121,8	5,31	3,7

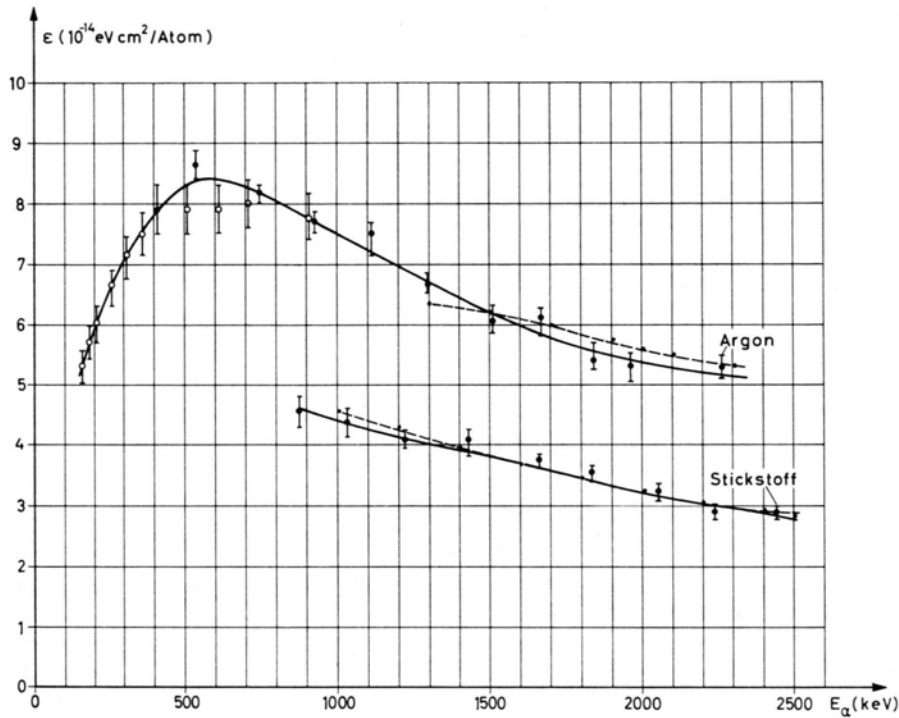


Abb. 5. Bremsquerschnitt von N_2 und A. • Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. ○ Ergebnisse der Messung von WEYL³. Gestrichelte Kurven: Aus den Daten von WHALING⁴ für Protonen auf α -Teilchen umgerechnete Bremsquerschnitte.

ingezeichnet. Zuzufolge der Umwandlungerscheinungen sollten diese erst für Energien oberhalb $E_\alpha \cong 2 \text{ MeV}$ Gültigkeit haben. Die Zusammenstellung dieser aus

verschiedenen Quellen stammenden Meßergebnisse vermittelt einen in sich konsistenten Verlauf des Bremsquerschnitts über das hier betrachtete Energiegebiet.