

Über die Anwendung der Neutronendiffusion durch Grenzflächen zur Messung von Wirkungsquerschnitten

Von HEINZ RAETHER¹

(Z. Naturforschg. 1, 367—371 [1946]; eingegangen am 20. April 1946)

Durchsetzt ein Strom thermischer Neutronen die Trennfläche zweier Medien, so gilt die Stetigkeit der Normalkomponenten der Stromdichte

$$D_1 \operatorname{grad}_x n_1 = D_2 \operatorname{grad}_x n_2.$$

(D Diffusionskoeffizient, n Neutronendichte, x Richtung senkrecht zur Trennfläche). Setzt man $D = \lambda v / 3$ (λ Streuweglänge und v Geschwindigkeit der Neutronen), so kann nach einem Vorschlag von Heisenberg aus dem Verhältnis der Dichtegradienten das Verhältnis der Weglängen ermittelt werden. — In der vorliegenden Arbeit wird auf diese Weise das Verhältnis der Streuweglängen thermischer Neutronen in schwerem und leichtem Wasser gemessen. Legt man für den Wasserstoffwirkungsquerschnitt $\sigma_H = 45 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ zugrunde, so erhält man aus einer größeren Zahl von Messungen des Gradientenverhältnisses bei verschiedenen Versuchsbedingungen einen Deuterium-Wirkungsquerschnitt von $5,6 \pm 0,3 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$. Dieser Wert stimmt mit $\sigma_D = 5,7 \pm 0,14 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ überein, welcher aus Messungen des Absorptionskoeffizienten von D_2O -Schichten erhalten wurde. Einige für die Diffusion durch Grenzschichten abgeleitete Beziehungen werden bestätigt.

Bekanntlich kann das Verhalten thermischer Neutronen in Substanzen, deren Streuquerschnitt groß gegen den Einfangquerschnitt ist, mit Hilfe der klassischen Diffusionstheorie beschrieben werden². Für einen Strom thermischer Neutronen gilt daher die Beziehung $j = D \operatorname{grad} n$ (j Stromdichte, D Diffusionskoeffizient, n Dichte der Neutronen). Durchsetzt ein solcher Neutronenstrom die Grenzschicht zweier Medien, so gilt infolge der Stetigkeit der Normalkomponenten der Stromdichte: $D_1 \operatorname{grad}_x n_1 = D_2 \operatorname{grad}_x n_2$, wenn mit x die Koordinate senkrecht zur Grenzschicht bezeichnet wird. Mit $D = \lambda v / 3$ (λ [Streu-]Weglänge, v Geschwindigkeit) lautet diese Beziehung

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{(dn/dx)_2}{(dn/dx)_1}. \quad (1)$$

Nach einem Vorschlag von W. Heisenberg wird dieser Zusammenhang in der vorliegenden Arbeit zur Messung des Weglängenverhältnisses von schwerem und leichtem Wasser benutzt, um den Streuquerschnitt von Deuterium zu bestimmen. In beiden Substanzen (H_2O , D_2O) ist der Streuquerschnitt σ_s groß gegen den Einfangquerschnitt σ_e : $\sigma_s^{H_2O} = 180 \sigma_a^{H_2O}$ ³, $\sigma_s^{D_2O} > 6000 \sigma_a^{D_2O}$ ⁴.

¹ Z. Zt. Heidenheim/Brz. (Württ.).

² E. Fermi, Ric. sci. Progr. tecn. Econ. naz. II, 1—2, 1 [1936].

Meßanordnung

Zur Bestimmung von λ_1/λ_2 ist nach dem eben Gesagten eine Messung des Verhältnisses der Dichtegradienten in der Grenze H_2O/D_2O notwendig. Hierzu wird in einen mit D_2O gefüllten Behälter ein mit H_2O gefüllter Einsatz getaucht, dessen Boden von einer dünnen Al-Folie gebildet ist, welche die Grenzschicht H_2O/D_2O darstellt. Schnelle Neutronen werden in das leichte Wasser geschossen, dort auf thermische Geschwindigkeiten abgebremst und diffundieren durch die Trennwand in das schwere Wasser. Wird die Neutronendichte in verschiedenen Abständen beiderseits der Trennwand mittels Indikatoren ausgemessen, so erhält man die Dichtegradienten. Da jedoch nur das Verhältnis der Gradienten ermittelt werden soll, genügt die Kenntnis der der Neutronendichte proportionalen β -Aktivität, welche die thermischen Neutronen beim Einfang im Indikatormaterial anregen. Die Aktivität wird in einer Ionisationskammer mit Elektrometer gemessen. Um von Schwankungen der Quelle der schnellen Neutronen, die zwecks ausreichender Intensität durch Beschleunigen von Beryllium mit schnellen Deuteronen erzeugt werden, unabhängig zu sein und damit von Schwan-

³ H. Volz, Z. Physik 121, 201 [1943].

⁴ Nach einer privaten Mitteilung von R. Döpel u. W. Heisenberg.



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

kungen des Dichtegradienten, war es notwendig, die Aktivität an den verschiedenen Stellen gleichzeitig zu messen. Da in dem Bereich einer Streuweglänge mit einem linearen Verlauf der Neutronendichte an der Grenzschicht gerechnet werden kann (vergl. S. 370), genügt zur Festlegung des Gradienten die Messung der Aktivität an zwei Stellen. Es werden also mittels einer geeigneten Halterung auf der „leichten“ sowie auf der „schweren“ Seite jeweils zwei Indikatoren befestigt, einer in unmittelbarer Nähe der Trennwand, der andere in einer mit der Streuweglänge vergleichbaren Entfernung von der Trennfolie. Die Differenz der Aktivitäten ergibt zusammen mit dem Indikatorenabstand eine dem Dichtegradienten proportionale Größe, aus der nach (1) das Weglängenverhältnis berechnet werden kann.

Einzelheiten der Anordnung

Der Wasserbehälter besteht aus einem zylindrischen Al-Gefäß (Wandstärke 2 mm, Innendurchmesser 13 cm, Höhe 19 cm), das zur Hälfte mit D_2O gefüllt wird. In dieses taucht ein mit H_2O gefüllter Einsatz von 10 cm Höhe und 11,8 cm Außendurchmesser. Sein Boden enthält eine Öffnung von 8 cm Ø, die mit einer 50 μ dicken Al-Folie bespannt ist. Der Durchmesser dieser Öffnung beträgt also ein Mehrfaches der Streuweglänge in D_2O ($\lambda = 1,7$ bis 1,8 cm, je nach D_2O -Gehalt) und in H_2O ($\lambda = 0,3$ cm), so daß eine ungestörte Diffusion der Neutronen durch die Al-Folie stattfindet. Die Neutronenabsorption in der Abschlußfolie ist infolge ihrer geringen Dicke zu vernachlässigen. Der H_2O -Einsatz trägt an seinem Boden Aluminiumstangen, an denen die Halterung für die Indikatoren befestigt werden kann. Diese Halterung (vergl. Abb. 1) besteht aus zwei Al-Scheiben (*Sch*) von 0,05 cm Dicke und 7,6 cm Durchmesser, in deren Mitte die Indikatoren ($J_{1,2}$) bestehen. Die Indikatoren ($J_{1,2}$) bestehen aus Al-Scheiben von 0,5 mm Dicke und 25 mm Durchmesser. Die Dicke muß so groß genommen werden, um vor Durchbiegungen sicher zu sein. Die Nachmessung mit einer Meßuhr ergibt eine Ebenheit der Al-Indikatoren bis auf wenige $1/100$ mm. Die Verwendung von Al ist günstig, da wegen seines geringen Einfangquerschnittes ($\sigma_e = 0,4 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$) und seiner geringen Dichte größere Materialstärken verwendet werden können, ohne daß der Sondenfehler erheblich wird. Eine Abschätzung⁵ ergibt einen vernachlässigbaren Fehler von wenigen Promille in der Dichtemessung. Die Indikatorscheibe J_1 liegt auf einem Ansatz und wird mit einem kleinen Al-Sprengring (*SpR*) (0,01 cm Stärke) gehalten, während die Scheibe J_2 in der in Abb. 1 gezeigten Weise direkt auf die Trennfolie (*TF*) gedrückt wird. Die Indikatorenträger (*Sch*) werden durch Al-Röhrchen (*D*) zusammengehalten, welche zugleich als Distanzstücke dienen und austauschbar sind. Sie haben Längen von 20 und 30 mm für die schwere Seite und 2,3 und 4 mm für die leichte. Das

aus den Scheiben samt Distanzstücken bestehende Gestell wird mittels federnder Al-Streifen (*F*) an die Trennfolie (*TF*) gepreßt. Die Wandstärken aller Teile wurden möglichst gering genommen und aus Reinaluminium (bis auf die Federstreifen *F*) gefertigt, um die Neutronendichte in der Nähe der Indikatoren möglichst wenig zu beeinflussen; u. a. wurden die Scheiben (*Sch*), so weit es möglich war, auf etwa 0,3 mm abgedreht.

Die schnellen Neutronen werden vorzugsweise in Richtung der Meßtopfachse in das leichte Wasser geschossen, dort zum Teil abgebremst — etwa 50% der schnellen gelangen in den unteren schweren Wasserteil — und diffundieren als thermische Neutronen zum Teil seitlich ab, zum Teil jedoch in das schwere Wasser und von dort durch den Boden des Gefäßes in die Luft. Um eine Rückdiffusion der Neutronen zu verhindern, und

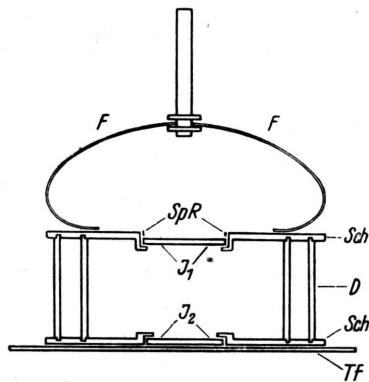


Abb. 1. Schematische Darstellung der Indikatorhalterung.

um einen Vergleich mit der Rechnung (S. 370) durchzuführen, wird die schwere Seite in einer Entfernung von mehreren Weglängen durch eine Cadmiumplatte (125 mm Durchmesser und 0,5 mm Dicke) abgeschlossen. Um die seitliche Diffusion zu verringern, was vor allem im schweren Teil wegen des geringen Topfdurchmessers ($\sim 8 \lambda_{D_2O}$) von Bedeutung ist, werden die Topfwände von Paraffin umgeben. Außer an dieser Anordnung, die als „aufrechter Topf“ bezeichnet ist, wird am „liegenden Topf“ gemessen; hierbei liegt die Gefäßachse senkrecht zur Richtung des Deuteronenstrahles, so daß die schnellen Neutronen praktisch nur das leichte Wasser bestrahlen.

Um über die Wirkung des Randes im schweren Teil einen Anhalt zu haben, werden einige Kontrollmessungen in einem Topf von erheblich größerem Durchmesser ausgeführt. Der oben beschriebene H_2O -Einsatz wird hierzu in einen mit D_2O gefüllten Behälter von 30 cm Durchmesser getaucht und von einem Paraffinring (entspr. der Wirkung eines Schutzringkondensators) umgeben; vergl. die schematische Darstellung Abb. 2.

Die Aktivität wird in einer mit Kohlensäure von 4 Atmosphären Druck gefüllten Ionisationskammer gemessen, an welche ein Einfadenelektrometer angeschlossen ist, das bei einer Empfindlichkeit von wenigen Hundert-

⁵ Hr. Dr. W. Ramm stellte mir diese Anordnung zur Verfügung, wofür ich ihm bestens danke.

Vergl. W. Bothe, Z. Physik 120, 437 [1943].

steln Volt benutzt wird⁶. Die Messung erfolgt in der Weise, daß nach Abschalten der Hochspannung zur Beschleunigung der Deuteronen die Indikatoren rasch aus dem Wasser genommen werden und nach 2 min der erste Indikator — meist der schwächste, d. h. der im D_2O liegende — zur Messung kommt. Nach 1 min langem Bestrahlten der Ionisationskammer wird in einer Pause von $\frac{1}{2}$ min der Indikator gewechselt und der zweite Indikator

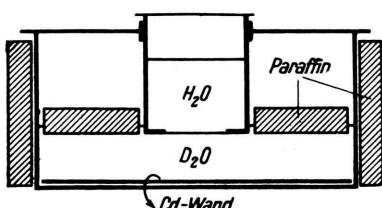


Abb. 2. Schematische Darstellung der Meßanordnung (großer Topf).

— meist der an der Trennwand im D_2O liegende — 1 min lang gemessen usw. Mit Hilfe der bekannten Halbwertszeit von 2,36 min⁷ werden die Aktivitäten auf einen Zeitpunkt umgerechnet, meist 2 min nach Aufhören der Deuteronenbestrahlung. Die gleichen Indikatoren werden erst wieder nach einer längeren Pause zur Messung benutzt, um eine meßbare Anregung längerlebiger Aktivitäten durch schnelle Neutronen zu vermeiden⁸.

Ergebnisse und Diskussion

Das Beispiel einer Meßreihe zeigt Abb. 3. Hier sind als Ordinaten die Elektrometerausschläge pro Minute aufgetragen und als Abszisse die Abstände von der Trennfolie in mm. Es sind die zehn Bestrahlungen der Meßreihe 1 (s. Tab. 1) verwendet, so daß die Streuung der einzelnen Meßwerte zu erkennen ist. Die Neutronendichte nimmt erwartungsgemäß von H_2O nach D_2O ab, wobei auf der leichten Seite der Gradient infolge der kleineren Weglänge steiler verläuft als auf der schweren Seite. Für das Gradientenverhältnis ergibt sich $5,1 \pm 0,2$, wobei das schwere Wasser 97 Molprozent D_2O enthält. Legt man einen Wirkungsquerschnitt von Wasserstoff⁹ und Sauerstoff¹⁰ von $\sigma_H = 45 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ bzw. $\sigma_O = 4,1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ zugrunde, so erhält man für den Wirkungsquerschnitt von Deuterium $\sigma_D = 5,9 \pm 0,4 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$.

Tab. 1 enthält eine Zusammenstellung der Werte, die unter verschiedenen Versuchsbedingungen ge-

	Δx (H_2O) (mm)	Δx (D_2O) (mm)	D_2O - Gehalt (in Mol %)	$(dn/dx) H_2O$ $(dn/dx) D_2O$	σ_D (cm^2)
1.	3,65	30,25	97	$5,1 \pm 0,2$	$5,9 \pm 0,4 \cdot 10^{-24}$
2.	4,85	20,25	97,8	$5,6 \pm 0,3$	$5,4 \pm 0,4$
3.	3,65	30,25	98,35	$5,6 \pm 0,4$	$5,6 \pm 0,6$
4.	2,65	20,25	98,35	$5,6 \pm 0,8$	$5,6 \pm 1,2$
5.	2,65	20,25	98,35	$5,6 \pm 0,5$	$5,5 \pm 0,75$
	3,65	20,25	98,1	$5,6 \pm 0,5$	$5,5 \pm 0,75$
	4,85	20,25	98,1	$5,3 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,5$
	4,85	20,25	98,1	$5,8 \pm 0,4$	$5,2 \pm 0,5$
6.	3,65	30,25	98,1	$5,3 \pm 0,5$	$6,0 \pm 0,8$
7.	4,85	20,25	98,1	$5,6 \pm 0,7$	$5,4 \pm 1$
8.	3,65	30,25	98,35	$6,1 \pm 0,9$	$4,9 \pm 1,1$
9.	3,65	30,25	98,35	$5,6 \pm 0,4$	$5,7 \pm 0,6$
	2,65	20,25	98,6	$5,75 \pm 0,25$	$5,5 \pm 0,36$
10.	2,65	20,25	98,6	$5,3 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,65$
	2,65	30,25	98,6	$5,3 \pm 0,4$	$6,2 \pm 0,65$
11.	3,65	20,25	99	$5,5 \pm 0,2$	$5,5 \pm 0,3$
					$5,6 \pm 0,1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$

Tab. 1. Meßergebnisse (Δx Indikatorenabstand, dn/dx Dichtegradient; σ Wirkungsquerschnitt).

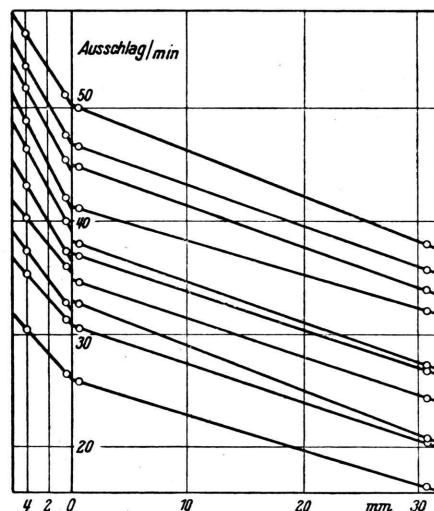


Abb. 3. Beispiel einer Messung der Aktivitäten beiderseitig der Grenzfläche H_2O/D_2O . Ordinate: Elektrometerausschläge pro min. Abszisse: Abstand von der Grenzschicht in mm. Für die unterste Kurve gelten die an die Ordinate geschriebenen Zahlen. Für die darüberliegenden Kurven wurden die Ordinaten um jeweils 2 Einheiten heraufgerückt.

wonnen wurden. Die Beschleunigungsspannung der Deuteronen lag im Mittel bei 1000 kV, der Strom auf die Berylliumplatte betrug 100 bis 130 μA und die Bestrahlung dauerte 5 oder 10 min. Die

⁷ C. D. Ellis u. W. J. Henderson, Proc. Roy. Soc. [London] **156**, 360 [1936].

⁸ 10 min: (n, p) ; 14,8 h : (n, α) . Die Bestrahlung ohne Wasser ergab unter sonst gleichen Umständen keine Aktivität, d. h. die schnellen Neutronen sind ohne Einfluß.

⁹ H. Carroll, Physic. Rev. **60**, 702 [1941].

¹⁰ H. Carroll u. J. R. Dunning, Physic. Rev. **54**, 541 [1938].

Zahl der Bestrahlungen bei jeder Meßreihe wechselte von 4 bis 10. In Meßreihe 1 und 2 wurde in schwerem und leichtem Wasser gleichzeitig gemessen; in den übrigen 3 bis 10 auf beiden Seiten getrennt, wobei die Betriebsbedingungen (Spannung und Strom im Auffänger [Be-Platte]) möglichst konstant gehalten wurden. Die Meßreihen 1 bis 8 sind am „aufrechten Topf“, 9 und 10 am „liegenden Topf“ ausgeführt und zeigen die Unabhängigkeit des Ergebnisses von der Verteilung der Neutronenquellen. In Meßreihe 1 bis 8 und 11 liegt eine Cd-Abschlußplatte in 6 cm, in Meßreihe 10 in 4,5 cm Abstand von der Grenzschicht und in der 9. Meßreihe ist keine Cd-Platte angewendet worden. Die Anwesenheit der Cadmiumplatte ist, wie zu erwarten,

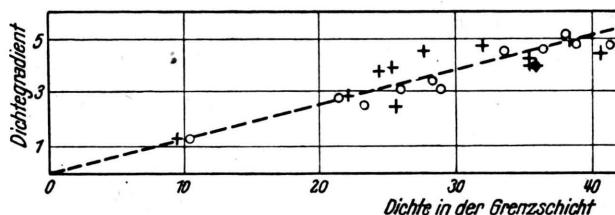


Abb. 4 zeigt die lineare Abhängigkeit des Dichtegradienten $\frac{n(x) - n(0)}{x}$ (in Elektrometerausschlägen pro min/cm) von der Dichte in der Grenzschicht $n(0)$ (in Elektrometerausschlägen pro min) auf der leichten (+) und schweren (o) Seite. Der Gradient in H_2O ist durch $\lambda_s/\lambda_l = 5,9$ geteilt.

ten, innerhalb der Streuung ohne Einfluß auf das Gradientenverhältnis. Über die Wirkung der Cd-Platte auf den Gradienten s. weiter unten. Bei den einzelnen Meßreihen wurden die Indikatorabstände von der Grenzschicht verändert, s. Spalte 1 und 2 der Tab. 1. Da die aus Messungen in verschiedenen Abständen ermittelten Wirkungsquerschnitte innerhalb der Meßgenauigkeit untereinander übereinstimmen, kann der oben angenommene lineare Verlauf der Dichte im Bereich einer Streuweglänge als bestätigt angesehen werden.

Während die Meßreihen 1 bis 10 im kleinen Topf ausgeführt wurden, sind die Werte der Messung 11 im großen Gefäß erhalten worden. Es interessierte hier die Frage, ob der Gradient der Dichte nicht nur durch die Entfernung von der Cadmiumwand u. a. bestimmt ist, sondern auch durch die seitliche Abdifusion wegen des im Vergleich zur Weglänge nicht sehr großen Durchmessers des kleinen Topfes ($\sim 8\lambda$). Die Messung zeigte, daß die Gradienten der Dichte in beiden Meßanord-

nungen innerhalb der Streuung und bei gleicher Dichte in der Trennfläche übereinstimmen. Offenbar streut das den Topf umgebende Paraffin die thermischen Neutronen hinreichend zurück und hebt dadurch den Randeinfluß auf.

Um die Abhängigkeit des Dichtegradienten von den einzelnen Größen, wie Abstand der Cd-Platte, Dichte in der Grenzschicht u. a., zu kennen, wurde das vorliegende Problem unter vereinfachenden Voraussetzungen mit Hilfe der Diffusionsgleichung gerechnet. Dazu wurde angenommen, daß im schweren und leichten Wasser die Quellstärke der thermischen Neutronen konstant ist oder im leichten Wasser auf eine Ebene in vorgegebenem Abstand von der Grenzschicht konzentriert gedacht wird, und daß auf der schweren Seite in der Entfernung b von der Trennwand die Neutronendichte Null gesetzt wird, entsprechend der Wirkung der Cadmiumplatte. Mit den üblichen Stetigkeitsbedingungen von Strom und Dichte in der Grenzschicht erhält man dann im Bereich einer Streuweglänge (in Entfernung x von der Grenzschicht, die klein gegen die Diffusionslänge sind: in H_2O $x < 2,5$ cm, in D_2O $x <$ mindestens 60 cm [99% D_2O]) folgende Lösungen für die Neutronendichte:

Schwere Seite (Index s):

$$n(x)_s - n(0) = n(0) \frac{x_s}{b} (1 - b/l_s), \quad (2a)$$

leichte Seite (Index l):

$$n(x)_l - n(0) = n(0) \frac{x_l}{b} (1 - b/l_s) \frac{\lambda_s}{\lambda_l}. \quad (2b)$$

$n(x)$ Dichte in der Entfernung x , $n(0)$ Dichte in der Grenzschicht, b Entfernung der Cd-Wand von der Grenzschicht, l_s Diffusionslänge in D_2O , λ_s/λ_l Weglängenverhältnis. Der Quotient beider Gleichungen ergibt Formel (1). Die Gleichungen (2) zeigen

a) den starken Einfluß der Cd-Wand auf die Größe des Gradienten $n(x) - n(0)/x$. Entsprechend nahm in einer Meßreihe, in der die Cd-Wand bis auf 2,3 cm Entfernung an die Grenzschicht gerückt wurde, der Gradient der Dichte um mehr als das Doppelte des bei 6 cm Cd-Wand-Abstand gemessenen Wertes zu;

b) daß $n(x) - n(0)/x = \text{const} \cdot n(0)$, d. h. der Dichtegradient proportional der Dichte in der

Grenzschicht ist. Die Meßreihe 11 wurde daraufhin ausgewertet und das Ergebnis in Abb. 4 zusammengestellt. Der Dichtegradient ergibt sich proportional der Dichte in der Grenzschicht.

Für den Wert der Konstanten erhält man im Mittel folgende Zahlen ($l_s = 60 \text{ cm}$ gesetzt [99 % D_2O , 1% H_2O]):

Seite	leichte	schwere
beob.	0,75	0,12
berechn.	0,89	0,15
berechn.	0,68	0,11

Der Grund für die geringe Abweichung liegt darin, daß in der Rechnung die Dichte an der Cd-Wand, d. h. in der Entfernung b , Null gesetzt wurde. Bekanntlich zeigt aber der Dichteabfall, z. B. in einem ausgedehnten Paraffinblock gegen eine Cd-Wand, daß die Neutronendichte an der Cd-Wand endlich ist und erst in einer Entfernung $\sim \lambda$ hinter der Cd-Wand verschwinden würde. Da sich aber in den vorliegenden Versuchen die Grenzschicht $\text{H}_2\text{O}/\text{D}_2\text{O}$ zu nahe an der Cd-Wand befindet, so kann man nur näherungsweise in obiger Formel $b + \lambda$ als Ort des Verschwindens der Dichte setzen. Man erhält dann die unterstrichenen Zahlen. Eine bessere Übereinstimmung ist nicht zu erwarten, da die Konstante unter der vereinfachten Annahme konstanter Quellverteilung berechnet ist.

An Hand der Gleichungen (2) sieht man, daß bei Schwankungen der Intensität der schnellen Neutronen, z. B. durch Pendeln des Deuteronenstrahles über der Berylliumplatte, die Gradienten der Dichte sich ändern. Infolge der Linearität der Beziehungen gelten aber die Formeln auch für die in diesem

Fall gemessenen Mittelwerte der Aktivitäten, so daß hierdurch keine Fehler entstehen.

In der letzten Spalte der Tab. 1 sind unter σ_D die aus dem gemessenen Weglängenverhältnis und dem angegebenen D_2O -Gehalt berechneten Wirkungsquerschnitte von Deuterium für thermische Neutronen zusammengestellt. Als Gesamtmittel ergibt sich $5,6 \pm 0,1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$, $\sigma_H = 45 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ vorausgesetzt. Nimmt man die Unsicherheit des Indikatorenabstandes, insbesondere bei kleinen Abständen im leichten Wasser, hinzu, so ist der Gesamtfehler auf rund 5% zu schätzen.

Vergleichen wir nun diesen aus dem Verhältnis der Dichtegradienten ermittelten Wirkungsquerschnitt von Deuterium mit dem aus Durchlässigkeitsmessungen gewonnenen. Bei dieser Methode wird die Intensität eines Stromes thermischer Neutronen das eine Mal hinter einer Platte aus dem Absorbermaterial (Dicke: d), das andere Mal ohne diese gemessen und das Ergebnis mittels $J = J_0 e^{-ud}$ ausgewertet. Die letzte Bestimmung dieser Art ergab einen Wert von $5,73 \pm 0,14 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$, welcher hiermit bestätigt wird. Die vorliegende Arbeit zeigt also — abgesehen von ihrem Beitrag zur Diffusion thermischer Neutronen —, daß die Methode der Diffusion durch eine Grenzschicht zur Wirkungsquerschnittsmessung brauchbar ist, wenn sie auch durch die Bedingung, daß der Streuquerschnitt groß gegen den Absorptionsquerschnitt sein muß, auf Substanzen wie z. B. Kohlenstoff/Wasser, Schwefelkohlenstoff/Wasser u. a. beschränkt ist.

Die Versuche wurden im Jahre 1944 im Max-Planck-Institut, Berlin-Dahlem, ausgeführt. Hrn. Prof. Dr. W. Heisenberg habe ich für die gastliche Aufnahme in seinem Institut und für anregende Diskussionen bestens zu danken. Frl. R. Bauersfeld sowie Frl. E. Vitense haben mich in dankenswerter Weise bei den Messungen unterstützt.