

## Transmission thermischer Neutronen (TR)

Klaus Steiniger, Alexander Wagner, Gruppe 850

klaus.steiniger@physik.tu-dresden.de, alexander.wagner@physik.tu-dresden.de

Betreuer: Herr A. Jahn

Protokoll vom 13. März 2009

---

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Grundlagen . . . . .	2
1.2	Aufgabenstellung . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>2</b>
2.1	Charakterisierung des Proportionalzählrohres . . . . .	2
2.2	Charakterisierung der Neutronenquelle . . . . .	3
2.3	Bestimmung von Transmissionskoeffizienten für verschiedene Materialien . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
3.1	Charakterisierung des Proportionalzählrohres . . . . .	4
3.2	Charakterisierung der Neutronenquelle . . . . .	4
3.3	Bestimmung von Transmissionskoeffizienten für verschiedene Materialien . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>6</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Grundlagen

In diesem Versuch sollen Wirkungsquerschnitte für thermische Neutronen ( $E \approx 25 \text{ meV}$ ) in verschiedenen Materialien ermittelt und mit theoretischen Werten verglichen werden. Dazu werden Zählraten von Neutronen aus einer Americium-Beryllium-Quelle gemessen werden. Der Nachweis findet mit einem  $\text{BF}_3$ -Proportionalitätszählrohr, welches an ein Pulshöhenanalysator angeschlossen ist, statt.

Der Fluss der Neutronen ergibt sich aus

$$\Phi = \frac{N}{t} \quad (1.1)$$

Will man den Fluss von Neutronen hinter einem Target ermitteln, so geht man in erster Näherung von einer exponentiellen Abschwächung im Target aus. Es folgt also

$$\Phi(X) = \Phi(0) \cdot e^{-\Sigma \cdot X} \quad (1.2)$$

Der Exponent  $\Sigma$  hängt von der Variablen  $X$  ab. Dieser ist für  $X = x$  die Targetdicke

$$\Sigma = \frac{N_A}{A} \sigma \rho \quad \text{mit} \quad X = x \quad (1.3)$$

Wobei  $\rho$  der Dichte,  $A$  der Atommasse und  $\sigma$  dem totalen Wirkungsquerschnitt des Targets entspricht. Wenn  $X = m_F$  der Flächenmasse entspricht, dann gilt

$$\Sigma = \frac{N_A}{A} \sigma \quad \text{mit} \quad X = m_F \quad (1.4)$$

Um den Fluss der thermischen Neutronen zu erhalten, haben wir zunächst den Fluss der ungestörten Neutronen aus der Quelle bestimmt. Danach haben wir auf die Quelle eine Cadmiumkappe gelegt. Dieses absorbiert thermische Neutronen besonders gut. So können wir den Fluss der schnellen Neutronen messen und die Differenz der Beiden ist die gesuchte Größe.

Man definiert noch

$$T := e^{\Sigma \cdot X} = \frac{\Phi(X)}{\Phi(0)} \quad (1.5)$$

und nennt  $T$  den Transmissionskoeffizienten. Dieser lässt sich experimentell ermitteln und damit der totale Wirkungsquerschnitt  $\sigma$  mit (1.2) und (1.3) bzw. (1.4) errechnen aus

$$\sigma = \frac{A}{N_A \rho x} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \quad \text{bzw.} \quad \sigma = \frac{A}{N_A m_F} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \quad (1.6)$$

## 1.2 Aufgabenstellung

1. Charakterisierung des Proportionalzählrohres
2. Charakterisierung der Neutronenquelle
3. Bestimmung von Transmissionskoeffizienten für verschiedene Materialien

# 2 Durchführung

## 2.1 Charakterisierung des Proportionalzählrohres

Dafür haben wir bei fünf verschiedenen Hochspannungen  $U$  im Bereich von 1500-2500 V die Zählrate für 1000 Impulse des ungestörten Neutronenflusses aufgenommen.

## 2.2 Charakterisierung der Neutronenquelle

Dazu wurde der ungestörte Neutronenfluss und der Fluss der schnellen Neutronen (d.h. mit Cadmium-Kappe) der Quelle ermittelt. Bei dieser und bei den folgenden Messungen sollte der relative Fehler der Messung kleiner als 2 % sein, das bedeutet, dass wir mindestens 1600 Impulse messen mussten.

## 2.3 Bestimmung von Transmissionskoeffizienten für verschiedene Materialien

In diesem Teil wurde der Fluss der thermischen Neutronen hinter einem Target bestimmt. Als Target standen zur Verfügung:

1. 50 mm dicke Aluminiumplatte
2. 10 mm dicke Eisenplatte
3. Kohlenstoffplatte mit  $m_F = 2.7 \text{ g/cm}^2$
4. Vier verschiedenen Paraffinproben mit
  - a) 0.09455
  - b) 0.18485
  - c) 0.36113
  - d) 0.52757 $\text{g/cm}^2$  Flächenmasse

### 3 Auswertung

#### 3.1 Charakterisierung des Proportionalzählrohres

Die Messwerte aus diesem Versuchsteil stammen von unserer Partnergruppe 834.

Der Neutronenstrom wurde mit Formel (1.1) berechnet. In Abb. 1 lässt sich im Spannungsbereich 1500-1900 V ein Plateau erkennen. In diesem Bereich ist der ausgelöste Strom proportional

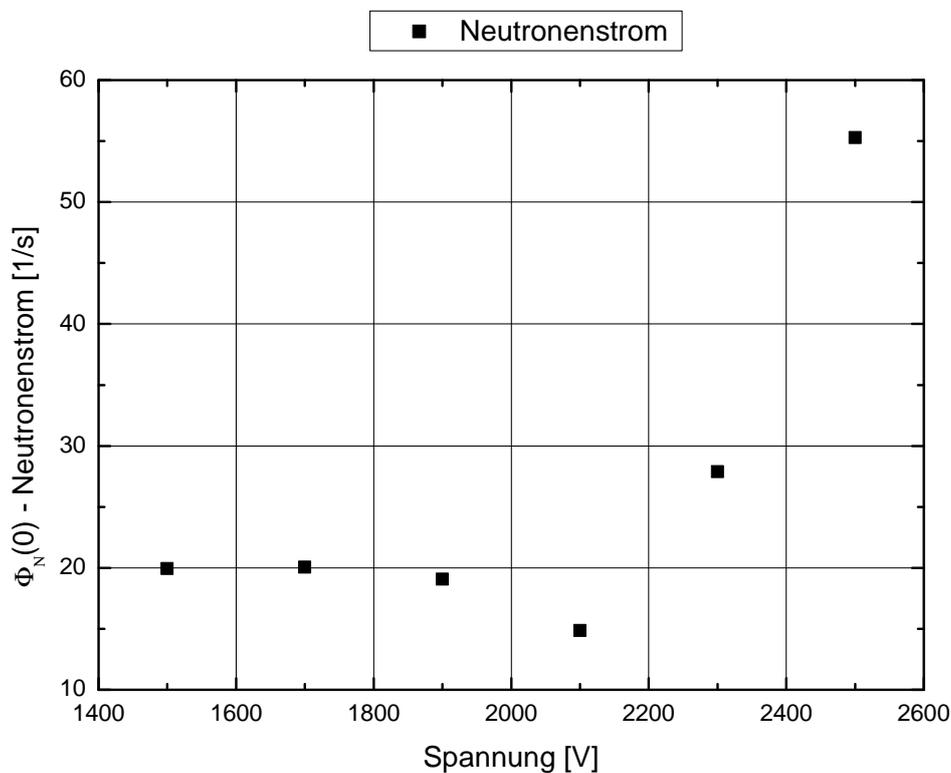


Abbildung 1: Aufnahme der Charakteristik des Zählrohres im Bereich von 1500 V bis 2500 V

zur Energie der detektierten Teilchen. Dieser Bereich ist der Arbeitsbereich des Detektors. Im folgenden Bereich des starken Anstiegs lösen alle Teilchen die eine gewisse Mindestenergie haben eine Ladungsträgerlawine im Zählrohr aus. Alle detektierten Teilchen erzeugen den gleichen Strom und eine Filterung des Untergrundes mit einem Diskriminator ist nicht mehr möglich. Wir haben an unserem Messplatz die Arbeitsspannung auf 2000 V festgelegt.

#### 3.2 Charakterisierung der Neutronenquelle

Die gemessenen Neutronenflüsse sind in Tabelle 1 abgebildet. Sie errechneten sich mit Formel

	alle Neutronen	schnelle Neutronen
Fluss [1/s]	$7.58 \pm 0.23$	$3.62 \pm 0.10$
rel. Fehler	0.030	0.027

Tabelle 1: Neutronenflüsse ohne und mit Cadmiumkappe zur Charakterisierung der Neutronenquelle

(1.1) aus den gemessenen Impulsen. Der Fluss der thermischen Neutronen ergibt sich damit zu

$$\Phi_{\text{therm}} = \Phi_{\text{alle}} - \Phi_{\text{schnell}} = (3.96 \pm 0.33) \frac{1}{\text{s}} \quad (3.1)$$

Der Fehler errechnet sich aus 2.5 % rel. Fehler bei der Zählmessung und 1 s Fehler der Zeitmessung. Also  $\Delta\Phi/\Phi = 0.025 + 1 \text{ s}/t$ .

### 3.3 Bestimmung von Transmissionskoeffizienten für verschiedene Materialien

Den Fluss  $\Phi_{\text{therm}}(X)$  der thermischen Neutronen nach dem Target kann man Tabelle 2 entnehmen.

	Al	Fe	C	Paraffin (C <sub>30</sub> H <sub>62</sub> ) 1	Paraffin 2	Paraffin 3	Paraffin 4
Fluss [1/s] $\Phi_{\text{therm}}$	2.84	1.50	1.41	2.24	1.94	1.31	0.90
Fehler $\Delta\Phi_{\text{therm}}$	0.28	0.23	0.27	0.29	0.25	0.23	0.21

Tabelle 2: Ermittelte thermische Neutronenflüsse der zur Verfügung stehenden Materialien (s. Kapitel 2.3). Die Fehler ergeben sich durch  $\Delta\Phi_{\text{therm}} = \Delta\Phi_{\text{schnell}} + \Delta\Phi_{\text{alle}}$

In Tabelle 3 sind die jeweiligen Transmissionskoeffizienten für thermische Neutronen aufgelistet. Sie errechnen sich aus (1.5) mit den Werten für  $\Phi(0)$  aus (3.1) und  $\Phi(X)$  aus Tabelle 2. Mit diesen Werten lässt sich nun der Wirkungsquerschnitt nach Formel (1.6) berechnen. Diese

	Al	Fe	C	Paraffin (C <sub>30</sub> H <sub>62</sub> ) 1	Paraffin 2	Paraffin 3	Paraffin 4
$T$	0.72	0.38	0.36	0.56	0.49	0.33	0.23
$\Delta T$	0.18	0.24	0.28	0.21	0.21	0.26	0.32

Tabelle 3: Transmissionskoeffizienten mit absoluten Fehlern. Sie ergeben sich aus  $\Delta T/T = \Delta\Phi_{\text{therm}}/\Phi_{\text{therm}} + \Delta\Phi(0)/\Phi(0)$ .

sind in Tabelle 4 dargestellt. Um den WWQ für Paraffin zu bestimmen wird  $\ln(1/T)$  über der

	Aluminium	Eisen	Kohlenstoff
$\sigma$ [barn]	1.1	11.5	7.6
$\Delta\sigma$	0.6	2.8	2.0

Tabelle 4: Totale Wechselwirkungsquerschnitte der Proben. Fehler ergibt sich durch  $\Delta\sigma = \Delta T/(T \cdot \ln(1/T))$ . Mit den Werten aus Tabelle 3.

Flächenmasse  $m_F$  der einzelnen Proben aufgetragen (s. Abb. 2). Der Anstieg der Regressionsgeraden ist

$$b = \frac{\sigma \cdot N_A}{A}$$

Umstellen ergibt den Wirkungsquerschnitt. Der Fehler ist bestimmt durch den Fehler des Anstiegs, welcher sich durch einzeichnen zweier Geraden mit maximalen ( $m_{\text{max}}$ ), minimalen Anstieg ( $m_{\text{min}}$ ) und bilden von  $(m_{\text{max}} - m_{\text{min}})/2 = \Delta b$  ergibt. Für den abs. Fehler folgt  $\Delta\sigma = A \cdot \Delta b / N_A$ . Als Ergebnis für den Wechselwirkungsquerschnitt von Paraffin (C<sub>30</sub>H<sub>62</sub>,  $A = 426.52 \text{ g/mol}$ ) erhält man

$$\sigma_{\text{Paraffin}} = (1487.4 \pm 867.8) \text{ barn} \quad (3.2)$$

Um nun den WWQ für Wasserstoff zu ermitteln ist folgende Betrachtung nötig. Ein Paraffin-Molekül besteht aus 62 H-Atomen und 30 C-Atomen, d.h. es gilt  $\sigma_{\text{Paraffin}} = 62\sigma_{\text{H}} + 30\sigma_{\text{C}}$ . Damit ergibt sich der Wirkungsquerschnitt für Wasserstoff zu

$$\sigma_{\text{H}} = \frac{\sigma_{\text{Paraffin}} - 30\sigma_{\text{C}}}{62}$$

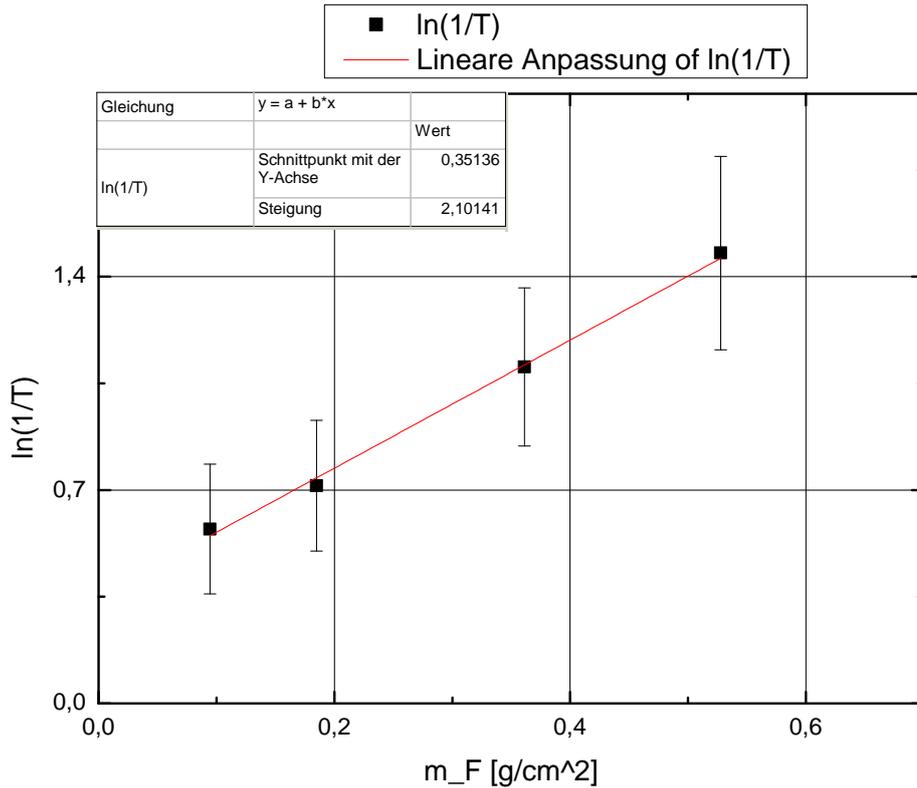


Abbildung 2: Zur Berechnung des Wirkungsquerschnittes von Paraffin. Es wurde ein linearer Fit mit Origin durchgeführt und die Regressionsgerade zu  $\ln(1/T) = 2.10m_F + 0.35$  bestimmt. Fehler entsprechen den umgerechneten Werten ( $\Delta \ln(1/T) = \Delta T/T$ ) aus Tabelle 3

Mit  $\sigma_C$  aus Tabelle 4 und  $\sigma_{\text{Paraffin}}$  aus (3.2) ergibt sich für den Wechselwirkungsquerschnitt von Wasserstoff.

$$\sigma_H = (20.3 \pm 15.0) \text{ barn} \quad (3.3)$$

## 4 Diskussion

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse nocheinmal zusammengefasst und zusätzlich theoretische Werte von [www.nea.fr/janis](http://www.nea.fr/janis) (JEFF3.1 für Sig(2200)) eingetragen. Die Werte für Eisen und Kohlen-

	gemessen [barn]	theoretisch
Aluminium ( $^{27}\text{Al}$ )	$1.1 \pm 0.6$	1.6851
Eisen ( $^{56}\text{Fe}$ )	$11.5 \pm 2.8$	14.7933
Kohlenstoff ( $^{12}\text{C}$ )	$7.6 \pm 2.0$	4.9401
Wasserstoff ( $^1\text{H}$ )	$20.3 \pm 15$	30.442

Tabelle 5: Wechselwirkungsquerschnitte mit Fehlern der untersuchten Proben

stoff weichen stark vom Wert aus der Datenbank ab. Hier müssten in der Fehlerbetrachtung weitere Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Eventuell müssen nicht gleiche Versuchsbedingungen (im Vergleich zu den Datenbankwerten) korrigiert werden. Zum Beispiel sei hier die Geschwindigkeits-/Energieverteilung der Quellneutronen genannt.