

Versuchsprotokoll

Wechselwirkungsquerschnitt thermischer Neutronen

Maximilian Obst, Thomas Adlmaier

Protokoll: 14. Dezember 2016

Messung: 02.12.2016

Ort: Technische Universität Dresden, IKTP

Betreuer: M.Sc. Nico Madysa

Inhaltsverzeichnis

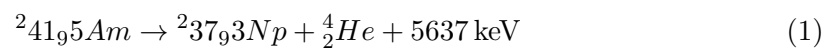
1	Physikalische Grundlagen	3
1.1	Neutronenquelle	3
1.2	Thermische Neutronen	3
1.3	Detektion von Neutronen	4
1.4	Zählrohrcharakteristik	4
1.5	Neutronendetektoren	5
1.5.1	Beeinflussung von Messungen	5
1.5.2	^3He - sowie einem BF_3 -Detektoren	6
1.6	Wirkungsquerschnitt	6
2	Durchführung	7
2.1	Aufnahme der Zählrohrcharakteristik	7
2.2	Charakterisierung der Neutronenquelle	7
2.3	Bestimmung von Transmissionskoeffizienten	7
2.4	Bestimmung des Spektrums	8
3	Analyse	8
3.1	Aufnahme der Zählrohrcharakteristik	8
4	Diskussion	8
4.1	Fazit	8
	Literatur	8

1 Physikalische Grundlagen

In diesem Versuch geht es darum, den Wirkungsquerschnitt verschiedener Materialien in Bezug auf thermische Neutronen zu bestimmen. Verwendet wird dazu eine Am-Be-Neutronenquelle und ein ^3He - sowie ein BF_3 -Detektor.

1.1 Neutronenquelle

Anders als für Alpha-, Beta- oder Gammateilchen gibt es keine einfachen Quellen für Neutronen. Diese müssen daher über komplexere Zerfallsreihen gewonnen werden. In diesem Versuch wird dafür eine Americium-Beryllium-Quelle mit Bleiabschirmung verwendet:



Die erzeugten Neutronen haben eine Energie von 2 bis 11 MeV. Die Bleiabschirmung erfüllt zwei Zwecke: Erstens werden in ihr die schnellen Neutronen über eine (n,2n)-Reaktion in zwei Neutronen umgewandelt, deren Energie bei etwa 6 bis 8 MeV liegt. Diese Neutronen können dann jedoch durch ihre zu niedrige Energie nicht mehr mit dem Blei interagieren und gelangen durch die Abschirmung zum Detektor. Und zweitens dient sie als Abschirmung gegenüber den hoch- und niederenergetischen Photonen, die ebenfalls abgestrahlt werden.

1.2 Thermische Neutronen

Neutronen werden je nach Energie in vier unterschiedliche Kategorien eingeteilt:

- **Schnelle Neutronen:** Diese haben eine Energie über 1 MeV. Sie werden in Kernreaktionen erzeugt und gewinnen ihre Energie aus der frei werdenden Kernbindungsenergie, die zwischen 7 und 8 MeV beträgt.
- **Epithermische Neutronen:** Dies sind Neutronen intermediärer Energien zwischen 0,4 und 1 MeV. Sie entstehen, wenn schnelle Neutronen ihre Energie über Streuung verlieren, also moderiert werden.
- **Thermische Neutronen:** Wenn die Neutronen weiter moderiert werden, entstehen thermische Neutronen. Diese haben eine Energie, die mit der Umgebungsenergie im Gleichgewicht steht. Sie lässt sich über die Boltzmann-Formel berechnen:

$$E = kbT \quad (3)$$

Für Raumtemperatur, also etwa 300 K beträgt sie 25 meV.

- **Kalte Neutronen:** Ist die Umgebung stark abgekühlt (etwa 23 K), bezeichnet man thermische Neutronen auch als kalte Neutronen. Diese besitzen eine Energie von etwa 2 meV. Bei weiterer Abkühlung existieren auch die Begriffe sehr kalte (0,3 bis 50 μ eV, also etwa 0,003 bis 0,6 K) und ultrakalte Neutronen (unter 300 neV).

Die meisten Materialien interagieren vor allem mit thermischen Neutronen, in diesem Energiebereich ist also der Wirkungsquerschnitt am größten. Dies wird vor allem für Kernspaltungen genutzt. Blei reagiert jedoch vor allem mit schnellen Neutronen, während es mit thermischen nahezu gar nicht reagiert. Dies wird sich im Versuch zu nutze gemacht, um die schnellen Neutronen zu moderieren und im Anschluss die thermischen zu messen.

1.3 Detektion von Neutronen

Neutronen können mittels zweier Methoden gemessen werden:

- **Szintillatoren:** Bei Streuung von Neutronen mit Atomen können diese ionisiert werden, die herausgeschlagenen Elektronen können gemessen werden. Dies funktioniert vor allem mit leichten Atomen wie Wasserstoff und Helium. Die Schwierigkeit dieser Methode ist, dass bei dem Stoß nicht die gesamte Energie des Neutrons übertragen wird und somit nicht bestimmt werden kann.
- **Gaszählrohre:** Mittels Gaszählrohren können Produkte von Kernreaktionen des Neutrons mit anderen Atomen gemessen werden. Dies funktioniert, da die Zerfallsprodukte das Gas im Zählrohr ionisieren. Die entstehenden freien Elektronen sowie die Ionen können gemessen werden. Hier liegt die Schwierigkeit darin, dass das Energiespektrum der Reaktionsprodukte und nicht der Neutronen gemessen wird.

Für beide Messmethoden sind also Aussagen über die Neutronenquelle nötig. Im Versuch wird mit einem ^3He - sowie einem BF_3 -Detektor gearbeitet, die beide den Gaszählrohren zuzuordnen sind.

1.4 Zählrohrcharakteristik

Gaszählrohre arbeiten mit einem dünnen Draht als Anode, die Detektorwand dient als Kathode. Damit existiert im Detektor ein elektrisches Feld, welches am Draht am höchsten und an der Wand am schwächsten ist. Gefüllt ist der Detektor mit einem speziellen, für die Messung geeigneten Gas, in diesem Experiment ^3He und BF_3 . Für eine Messung mit Gaszählrohren ist es nötig zu wissen, dass diese in unterschiedlichen Spannungs-Bereichen unterschiedlich messen. Es werden vier Bereiche unterschieden:

1. **Rekombinationsbereich:** Ab diesem Spannungsbereich „saugt“ die Anode alle durch Ionisation entstandenen Elektronen ab. Die Elektronen bekommen aber noch nicht eine Energie, die für weitere Ionisationen ausreichend wäre. In diesem Bereich

ist die gemessene Energie proportional zur Energie der Zerfallsprodukte, daher kann mit einer Messung in diesem Bereich auf die Zerfallsprodukte geschlossen werden

2. **Proportionalbereich:** Hier bekommen die Elektronen durch das elektrische Feld genug Energie, um weitere Gasatome oder -moleküle zu ionisieren. Dies führt zu einem Kaskadeneffekt, in dem die entstehenden Elektronen zu weiteren Ionisationen führen, was zu einer Signalverstärkung führt. Das Feld ist aber noch nicht stark genug, um die Elektronen so zu beschleunigen, dass alle Atome und Moleküle ionisiert werden. Auch in diesem Bereich ist die gemessene Energie proportional zu der Energie der Zerfallsprodukte, allerdings ist das Signal im Vergleich zum Rekombinationsbereich verstärkt, typischerweise um 10^3 bis 10^5 , und kann viel besser gemessen werden. Da das Feld an der Anode am höchsten ist, entsteht der Kaskadeneffekt nur in ihrer direkten Nähe (etwa 10 bis 20 μm). Die Ionen tragen kaum zur Messung bei, da sie viel schwerer sind als die Elektronen und das Feld an der Kathode viel geringer ist. Messungen, in denen das Spektrum und die Energie von Zerfallsprodukten bestimmt werden soll, wie in diesem Versuch, werden in diesem Spannungsbereich durchgeführt
3. **Plateaubereich:** In diesem Bereich liefert das elektrische Feld genug Energie, um zu einem Kaskadeneffekt zu führen, indem alle Moleküle und Atome des Gases ionisiert werden. Damit wird das Signal sehr stark und äußerst gut messbar, allerdings geht die Proportionalität zu der Energie der Zerfallsprodukte verloren. Wegen diesen Eigenschaften wird dieser Spannungsbereich für Geiger-Müller-Zähler verwendet, die anzeigen sollen, ob und wenn ja wie viel Strahlung vorhanden ist
4. **Dauerentladung:** Bei sehr hohen Spannungen wird keine Energie von außerhalb des Zählers mehr benötigt, um die Gasatome und -moleküle zu ionisieren.

Es findet andauert Ionisation statt und es kann keine Rückschlüsse mehr auf die Umgebung gezogen werden.

1.5 Neutronendetektoren

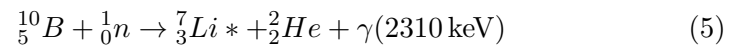
1.5.1 Beeinflussung von Messungen

Gaszählrohre werden durch das enthaltene Gas, den Gasdruck und das Material der Detektorwand charakterisiert. Dabei haben unterschiedliche Gase unterschiedliche Eigenschaften: Schwere Gase wie Argon verringern die Reichweite der Zerfallsprodukte, sodass häufiger die gesamte Energie im Zählrohr abgegeben wird, wodurch der Vollenergiepeak deutlicher wird. Mehratomige Gase können durch ihre höhere Zahl von Freiheitsgraden mehr Energie aufnehmen und somit Kaskaden dämpfen, was ebenfalls die Sichtbarkeit des Vollenergiepeaks erhöht. Hohe Drücke führen ebenfalls zu geringeren Reichweiten der Zerfallsprodukte. Da Gaszählrohre die Zerfallsprodukte messen, die durch Kernreaktio-

nen mit Neutronen entstehen, sind sie aber auch für schon vorhandene Zerfallsprodukte empfindlich. Insbesondere die hochreichweitige Gammastrahlung kann Messungen stark beeinflussen. Daher ist ein Ziel, die Empfindlichkeit für Gammastrahlen zu senken. Gerade hohe Drücke und schwere Gase erhöhen aber die Empfindlichkeit für Gammastrahlung deutlich. Um dennoch gute Ergebnisse zu erzielen, müssen Gammastrahlen abgeschirmt werden, dies geschieht durch Abschirmung der Neutronenquelle mit z.B. Blei und durch die Wahl von Detektorwandmaterialien, die Gammastrahlung gut abschirmen, wie z.B. Aluminium.

1.5.2 ^3He - sowie einem BF_3 -Detektoren

Im Versuch wird ein Zählrohr mit ^3He - und eines mit BF_3 -Gasfüllung verwendet. Die Zerfallsreihen bei Reaktion mit Neutronen in diesen Zählrohren kann in Formel 6 nachvollzogen werden.



Der höchste Wirkungsquerschnitt wird hierbei mit thermischen Neutronen erzeugt.

1.6 Wirkungsquerschnitt

Der Wirkungsquerschnitt σ stellt die Wahrscheinlichkeit einer Kernreaktion dar. Anschaulich beschreibt er die Fläche, die getroffen werden muss, damit die Reaktion stattfindet. Mit der Kenntnis der Transmissionsrate T der Teilchen kann der Wirkungsquerschnitt über Formel 8 berechnet werden.

$$T = \frac{\Phi_x - \Phi_{bkg}}{\Phi_0 - \Phi_{bkg}} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{A}{\rho x} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (8)$$

Dabei stellt Φ_x die Anzahl der Ereignisse mit Material, dessen Wirkungsquerschnitt bestimmt wird, Φ_0 die Anzahl der Ereignisse ohne Material, Φ_{bkg} die Untergrundstrahlung inklusive schneller Neutronen, A die atomare Masse, x die Dicke und ρ die Volumendichte des Materials dar.

2 Durchführung

2.1 Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

Für beide Zählrohre soll die Zählrohrcharakteristik aufgenommen werden. Dafür wird zunächst ein erstes Spektrum aufgenommen und anhand dieses Beispiels die betrachteten Kanalgrenzen festgelegt. Anschließend wird das Verhalten der Zählrohre bei unterschiedlichen Spannungen untersucht: Für das BF_3 -Zählrohr wird dabei die Spannung ausgehend von 1500 V bis 2500 V gesteigert. Für das ^3He -Zählrohr wird der Spannungsbereich zwischen 800 und 1200 V untersucht. Die Messzeit ist hierbei und für den Rest des Versuchs so zu wählen, dass der Fehler bei Annahme einer Poisson-Verteilung 2,5 % nicht übersteigt. Die gemessenen Werte werden in einem sinnvollen Diagramm untersucht.

2.2 Charakterisierung der Neutronenquelle

Von jetzt an wird das ^3He -Zählrohr bei einer Spannung von 1150 V und das BF_3 -Zählrohr bei einer Spannung, die im Proportionalbereich liegt, betrieben. Für beide Zählrohre werden die gleichen Messungen durchgeführt.

Zunächst wird der Beitrag des Untergrunds sowie der schnellen Neutronen Φ_{bkg} gemessen. Dafür wird die Cadmium-Abdeckung vor die Neutronenquelle geschoben. Anschließend wird die Cadmium-Abdeckung entfernt und der Fluss der ungestörten thermischen Neutronen samt Untergrund Φ_0 gemessen.

2.3 Bestimmung von Transmissionskoeffizienten

Jetzt wird die Transmission verschiedener Materialien bestimmt, indem sie in den Strahlengang geschoben und die nun erfolgende Anzahl an Ereignissen Φ_x untersucht wird. Die betrachteten Materialien sind:

- Eisen: Dicke $x = 1 \text{ cm}$, Volumendichte $\rho = 7,874 \text{ g cm}^{-3}$
- Aluminium: Dicke $x = 5 \text{ cm}$, Volumendichte $\rho = 2,70 \text{ g cm}^{-3}$
- Kohlenstoff: Dicke $x = 1,59 \text{ cm}$, Masse $m = 468 \text{ g}$, Durchmesser $d = 15 \text{ cm}$

Aus den Transmissionskoeffizienten werden die Wirkungsquerschnitte bestimmt. Anschließend werden für vier Paraphin-Schichten unterschiedlicher Dicke die Transmissionskoeffizienten bestimmt:

1. Flächendichte $\rho = 0,094\,549 \text{ g}^2 \text{ cm}^{-1}$
2. Flächendichte $\rho = 0,184\,85 \text{ g}^2 \text{ cm}^{-1}$

3. Flächendichte $\rho = 0,361\,13\,\text{g}^2\,\text{cm}^{-1}$
4. Flächendichte $\rho = 0,527\,57\,\text{g}^2\,\text{cm}^{-1}$

Anhand der gemessenen Koeffizienten wird der Wirkungsquerschnitt von Wasserstoff bestimmt.

2.4 Bestimmung des Spektrums

Zuletzt wird das Energiespektrum der gemessenen Signale bei geschlossener Cadmium-Abdeckung über einen Zeitraum von einer Stunde vermessen. Das Spektrum wird bezüglich seiner Erzeuger untersucht.

3 Analyse

3.1 Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

Nach einer

4 Diskussion

4.1 Fazit

Literatur