

Vorbereitung

Absorption radioaktiver Strahlung

Versuch P2-80,82,84

Iris Conradi und Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

30. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen	3
1 Geiger-Müller Zählrohr	5
1.1 Einsatzspannung, Plateau-Anstieg	6
1.2 Nulleffekt	6
1.3 Totzeit	6
1.4 Abstandsgesetz	7
2 Alpha-Absorption	7
3 Beta-Absorption	7
4 Gamma-Absorption	9
4.1 Massensabsorptionskoeffizient	9
4.2 Absorbermaterialien	9
Literatur	9

Grundlagen

Alpha-Strahlung Alpha-Teilchen sind Heliumkerne (zwei Protonen, zwei Neutronen). Sie können aus schweren Kernen abgespalten werden, da im gespaltenen Zustand die Bindungsenergie geringer ist (Masse der Tochterkerne geringer). Die Alpha-Teilchen wechselwirken mit Materie durch Ionisation. Sie schlagen Elektronen aus Atomen aus. Wenn sie schon einige Energie verloren haben, so geben sie die restliche Energie sehr schlagartig ab.

Beta-Strahlung Bei einer instabilen Nukleonenkonfiguration kommt es zum Beta-Zerfall. Es kann zur Umwandlung eines Neutrons oder zur Umwandlung eines Protons kommen.

Beim sogenannten β^- Zerfall wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt. Dabei wird ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino frei. Unter diesen Teilchen wird die Überschussenergie aufgeteilt (kinetische Energie). Daher gibt es eine kontinuierliche Energieverteilung der Elektronen aus dem β^- Zerfall.

Eine umgekehrte Umwandlung (β^+ Zerfall) eines Protons in ein Neutron erfolgt analog unter Entstehung eines Positrons und eines Elektron-Neutrinos. Auch hier ist die Energieverteilung kontinuierlich.

Für die Entstehung eines Neutrons aus einem Proton existiert noch eine andere Möglichkeit, der K-Einfang. Hier wird ein Elektron aus der K-Schale mit dem Proton zu einem Neutron und einem Elektron-Neutrino.

Die Wechselwirkung von Beta-Strahlung mit Materie geschieht durch die Elektronen/-Positronen:

Ionisation Die Elektronen/Positronen können Atome durch Ausschlagen von Elektronen ionisieren. Die Abgabe der Energie erfolgt über einen recht lange Wegstrecke (im Vergleich zur Alpha-Strahlung), in der viele Atome ionisiert werden.

Bremsstrahlung Im elektrischen Feld von Atomen können die Elektronen/Positronen abgelenkt werden. Dabei erfahren sie eine Beschleunigung. Dies führt zur Aussendung eines Photons (Maxwell Gleichungen).

Gammastrahlung Im Zusammenhang mit radioaktiven Zerfällen tritt auch die Abstrahlung hochenergetischer Photonen (Gammaquanten) auf.

Nach einem Zerfall kann noch eine Energiedifferenz zur Energie des Grundzustandes des entstandenen Nukleons existieren. Diese wird durch Abstrahlung eines entsprechenden Photons überwunden. Wenn Umordnungsprozesse im Kern nötig sind, können währenddessen metastabile Zustände auftreten. Für jede erfolgte „Teilumordnung“ wird ein Gammaquant abgestrahlt.

Wichtige Wechselwirkungsprozesse von Gammastrahlung mit Materie sind:

Comptonstreuung Die Comptonstreuung gleicht klassischen Stoßprozessen. Das gestoßene Elektron muss also quasi frei sein, d.h. quasi kontinuierliche Energien haben können. Die Comptonstreuung tritt somit nur bei Elektronen der äußeren Schalen auf. Nach dem Stoß existiert ein freies Elektron und ein Photon geringerer Energie. Die Compton-Formel $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta)$ beschreibt den Zusammenhang zwischen Streuwinkel θ des Photons und seiner Energieänderung. Wenn der Streuwinkel 180° beträgt, hat das Photon die größt mögliche Energie an das Elektron abgegeben.

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Comptonstreuung steigt mit höherer Ordnungszahl der Materie in der gestreut wird, da dann mehr Elektronen vorhanden sind. Außerdem sinkt die Wahrscheinlichkeit mit zunehmender Quantenenergie.

Photoeffekt Im Gegensatz zur Comptonstreuung wird beim Photoeffekt ein Elektron aus einem niedrigeren Energieniveau herausgeschlagen. Die gesamte Energie des Gammaquants geht auf das Elektron über. Das Elektron hat dann eine kinetische Energie, die der Energie des Gammaquants abzüglich der Bindungsenergie entspricht. Ein Elektron aus einer höheren Schale nimmt den Platz des herausgeschlagenen Elektrons ein. Dabei wird ein Photon emittiert. Dieses kann wieder zu

Comptonstreuung oder Photoeffekt führen. Auch der Photoeffekt geschieht hauptsächlich bei niedrigen Quantenenergien und Atomen mit vielen Elektronen.

Paarbildung Wenn die Energie des Gammaquants größer ist, als die doppelte Ruheenergie eines Elektrons, so ist Paarbildung möglich. Es entsteht ein Positron und ein Elektron. Das Positron zerstrahlt mit einem Elektron zu zwei Photonen. Diese Photonen können wieder Comptonstreuung und Photoeffekt verursachen. Das Elektron kann, wenn es nicht mit dem Positron zerstrahlt ist, und wenn es die richtige Energie hat, ein Elektron in einem Atom anregen. Dies führt wieder zur Abstrahlung eines Photons.

Diese Wechselwirkungen können zum Nachweis der Strahlung ausgenutzt werden.

1 Geiger-Müller Zählrohr

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein Nachweisgerät für radioaktive Strahlung. Sowohl Alpha-, Beta- als auch Gamma-Strahlung hat ionisierende Wirkung auf Materie. Diese Eigenschaft wird im Zählrohr ausgenutzt.

Im Zählrohr befindet sich ein Gas (meist ein Gemisch mit einem Edelgas) welches ionisiert werden kann. Im Zentrum des Rohres verläuft ein dünner Draht. Zwischen diesem Draht und der Wand des Zylinders liegt eine Spannung an. Somit entsteht ein radiales elektrisches Feld.

Die radioaktive Strahlung ionisiert das Gas, die Ionen und die Elektronen werden im Feld beschleunigt und können bei ausreichender Beschleunigung (Spannung) weitere Atome ionisieren (Sekundärionisation). Somit entstehen durch ein radioaktives Teilchen viele Ionen und Elektronen. Der dadurch entstehende Strom kann gemessen werden. Jeder Peak steht für ein radioaktives Teilchen.

Während dieser Ionisationslawine kann das Eintreffen eines weiteren radioaktiven Teilchens nicht registriert werden (Totzeit).

In Abbildung 1 ist die Kennlinie eines Geiger-Müller-Zählrohrs zu sehen. Diese ist bei konstanter Bestrahlung unter Variation der Betriebsspannung aufgenommen worden. Bis zu der Spannung U_S ist die Zählrate Null, da geschieht aufgrund der geringen Beschleunigungsspannung kaum Sekundärionisation, sodass die Elektronenanzahl zu gering ist, um einen Strom zu registrieren.

Im sogenannten Proportionalbereich steigt die Zählrate. In diesem Bereich können Teilchen ab einer gewissen Mindestenergie Ionen erzeugen, die genug Energie besitzen, sodass die Beschleunigungsspannung ausreicht um Sekundärionisation hervorzurufen. Man kann in diesem Bereich also darauf rückschließen, wieviel Energie die radioaktive Strahlung mindestens hatte.

Ab einer gewissen Spannung ist die Beschleunigungsspannung pro Weglänge im Vergleich

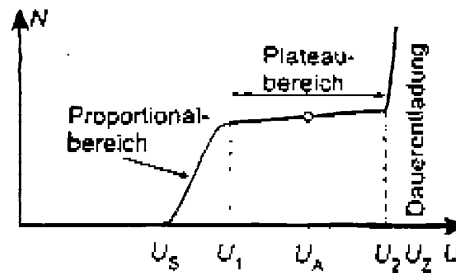


Abbildung 1: Kennlinie

zur mittleren freien Weglänge des Gases groß genug, sodass jedes herausgeschlagene Elektron Sekundärelektronen erzeugen kann. Somit ist in diesem Bereich radioaktive Strahlung jeder Energie messbar.

Wenn die Betriebsspannung noch weiter erhöht wird, kommt es irgendwann zur Gasentladung. In diesem Bereich kann also nicht gemessen werden.

Es ist also ersichtlich, dass man das Zählrohr üblicherweise im mittleren Bereich des Plateaus betreibt (Arbeitspunkt).

1.1 Einsatzspannung, Plateau-Anstieg

Um für die folgenden Versuche eine sinnvolle Betriebsspannung des Zählrohres wählen zu können, messen wir die oben gezeigte Kennlinie nach, vor allem den Plateau-Bereich.

1.2 Nulleffekt

In diesem Aufgabenteil messen wir den Untergrund. Um diesen immer auftretenden Effekt können nachfolgende Messungen besser eingeschätzt und korrigiert werden.

1.3 Totzeit

Hier wird die Totzeit (s.o.) nach der Zwei-Präparaten-Methode bestimmt. Es wird ein fester Abstand und eine feste Messzeit gewählt.

Zwei Proben werden zunächst separat vermessen. Bei diesen Messungen wirkt sich die Totzeit schon aus, es werden weniger Effekte gezählt, als tatsächlich aufgetreten sind. Wenn man beide Proben gleichzeitig vermisst, wirkt sich die Totzeit stärker aus, da insgesamt mehr Effekte auftreten. Daher ist die Zählrate hier kleiner als die Summe der vorherigen Messungen.

Die tatsächlichen Zählraten addieren sich jedoch exakt, können aber nicht gemessen werden.

Für die Beziehung der gemessenen Zählrate n' zur tatsächlichen Zählrate n gilt die Beziehung:

$$n = \frac{n'}{1 - n'\tau} \quad (1)$$

wobei τ die Totzeit bezeichnet, wobei diese in Anteilen an der Gesamtmesszeit angegeben wird. So ist $n'\tau$ der Anteil der Messzeit, in dem keine weiteren Effekte gemessen werden konnten.

Aus diesen Beziehungen kann die auf dem Aufgabenblatt angegebene Gleichung hergeleitet werden. Mit dieser kann die Totzeit bestimmt werden.

1.4 Abstandsgesetz

In diesem Versuch soll das Abstandsgesetz für isotrop abstrahlende Quellen überprüft werden. Es besagt, dass die Zählrate mit dem Quadrat des Abstandes abnehmen wird, da man durch zunehmend größere Kugeloberflächen dividieren muss.

2 Alpha-Absorption

In diesem Versuch soll die Absorptionskurve von Alpha in Luft aufgenommen werden. Die Strahlungsquellen senden jedoch auch Gamma-Strahlung aus. Diese Anteil kann man bei großen Entfernungen ermitteln, da die Gamma-Strahlung eine größere Reichweite besitzt und somit ab einer gewissen Entfernung nurnoch Effekte durch Gamma-Strahlung registriert werden.

Neben dem Untergrund und der Totzeit kann man also durch Rückschluss auf die Zählraten der Gamma-Strahlung bei kleineren Entfernungen die gemessene Zählrate korriegieren. Es sollte nurnoch der durch die Alpha-Strahlen entstandene Effekt übrig bleiben.

3 Beta-Absorption

In dieser Aufgabe soll die Beta-Absorption anhand einer Strahlungsquelle betrachtet werden, in der zwei Beta-Zerfälle stattfinden.

Die Beta-Zerfälle der beiden Atome folgen jeweils dem in Abbildung 2 gezeigten Verlauf. Wenn man diese Kurven aus der gesamten Kurve isoliert hat, kann man die gesuchten

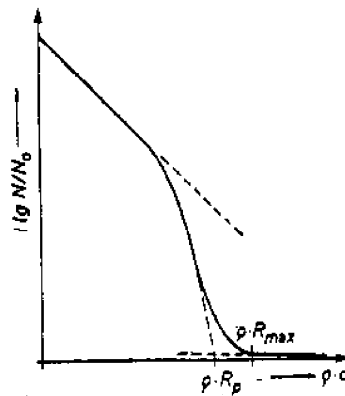


Abbildung 2: Absorptionskurve

Größen an den Kurven ablesen. Trägt man die Kurve über dem Produkt von Dichte und Abstand auf, so ist der Massenabsorptionskoeffizient κ der Faktor in der abfallenden Exponentialfunktion:

$$N(d) = N(0)e^{-\kappa d\rho} \quad (2)$$

Wie man an der Abbildung sieht liegt der exponentielle Zusammenhang nur für kleine Abstände vor.

Für monoenergetische Beta-Strahlung gilt die in Abbildung 3 dargestellte Kurve. Sie nor-

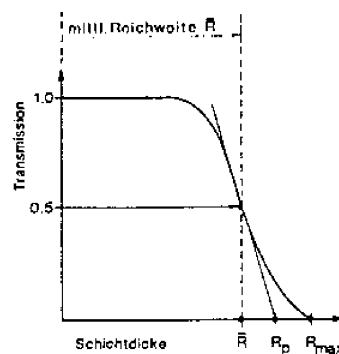


Abbildung 3: monoenergetische Beta-Strahlung

male Beta-Strahlung hat eine kontinuierliche Energieverteilung. Daher entsteht der exponentielle Zusammenhang aus der speziellen Überlagerung solcher monoenergetischen Kurven.

4 Gamma-Absorption

4.1 Massensorptionskoeffizient

Für Gamma-Strahlen wird ein vollständig exponentieller Zusammenhang erwartet. Der Massenabsorptionskoeffizient ist dabei definiert wie oben. Die Halbwertsdicke ist definiert als die Dicke, bei der die Zählrate um die Hälfte gesunken ist. Somit gilt:

$$d_H = \frac{\ln 2}{\kappa\rho} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3)$$

wobei μ als Absorptionskoeffizient definiert ist.

4.2 Absorbermaterialien

Für verschiedene Materialien gleicher Dicke ist ein anderer Absorptionskoeffizient zu erwarten. Dichtere Materialien werden besser abschirmen.

Literatur

- Tipler: Physik; 1.Auflage; Spektrum
- Eichler Kronfeld Sahn, Springer, 2001 (Abbildung 1 entnommen)
- H. Krieger, 5.Auflage, Teubner 2002 (Abbildung 2, Abbildung 3 entnommen)
- G. F. Knoll, Wiley & Sons, 1979