

Bestimmung des massigen Dämpfungskoeffizienten für Gamma Strahlungen

Ziel des Experiments

Das Ziel des Experiments ist die Bestimmung der Koeffizienten der massigen Dämpfung der γ Strahlen für verschiedene Materialien. Die Ergebnisse werden später für praktische Zwecke angewendet.

Die Theorie des Experiments

Die Dämpfung der γ Strahlen bei der Durchströmung einer Substanzschicht bedingt man sowohl eine Aufnahme der γ Quanten-Energie von den Atomen der Substanz als auch einer Streuungserscheinung dieser Quanten. Bei einer Energie von (100KeV... 3MeV), welche die γ Quanten (Photonen) besitzen, die von der radioaktiven Quelle abgestrahlt werden, finden die folgenden Hauptprozesse statt:

Der fotoelektrische Effekt, die Entstehung der Paare (Ereignisse, die hauptsächlich zur Absorption der Energie führen) und der Compton Effekt (der hauptsächlich ein Streuungsereignis ist, das aber nur zusammen mit der Partialabsorption der Energie der Quanten stattfindet).

Der fotoelektrische Effekt findet statt, wenn ein Photon mit einem Elektron ab der sich in der Hülle eines Atoms befindet, trifft. Das Photon gibt seine ganze Energie dem Elektron ab und nimmt ihn aus der Elektronenhülle heraus. Falls die Bindungsenergie des Elektrons kleiner als die abgegebene Energie des Photons ist, wird die Energiedifferenz vom Elektron als kinetische Energie aufgenommen. Die Wahrscheinlichkeit des Prozesses ist um so höher, als die Energie des Photons sehr nah als Wert der Bindungsenergie liegt, und also steigt mit der Ordnungszahl des Aufnahmematerials.

Der Compton-Effekt tritt dann ein, wenn ein Photon mit einem freien oder schwach atomgebundenen Elektron zusammentrifft. Das Photon gibt nur einen Teil seiner Energie dem Elektron ab (die, das Elektron als kinetische Energie aufnimmt) und das Photon wird nach dem Zusammenstoß unter einem bestimmten Winkel abgelenkt. Die

Energie des Photons ist jetzt kleiner als vor dem Zusammenstoß. Das Photon wird nicht ausgelöscht, sondern es vergrößert nur seine Wellenlänge. Die Energie, die das Elektron vom Photon erhalten hat, ist um so wichtiger als die Energie des Photons und ebenso der Elektronrückstoßwinkel größer ist.

Die Entstehung eines Paares Elektron - Positron findet in der Anwesenheit eines Atomkerns oder anderer Partikel statt, wenn die Energie des Photons größer als 1.02 MeV, das ist die Energie entsprechend der Stillstandmasse der zwei neu entstandenen Partikel. Der Überschuss zwischen der Energie der Photonen und 1.02MeV erscheint als kinetische Energie des entstandenen Paar Elektron und Positron.

Den früheren beschriebenen Erscheinungen ist es zu verdanken die Dämpfung das γ Strahlungsbündel bei der Überquerung der Metallscheiben und das dass globalen Effekt durch die Vereinigung der Effekte der drei beschriebenen Prozesse herausgefunden wird. Der dominante Effekt hängt von der Energie der γ Strahlen ab. Bei kleineren Energien (unter 200-300KeV) findet der Photoeffekt, bei mittleren Werten der Energie (200 KeV - 2 MeV) der Compton-Effekt und bei höheren Energiewerte (über 2 MeV) die Paarbildung statt.

Auf der Oberfläche einer Substanzschicht, die eine Dicke dx hat, trifft ein γ Strahlungsbündel mit einer einkommende Stromdichte I (in Teilchen pro cm^2s), normal ein. Dann wird die Dämpfung dieser Schicht folgenderweise ausgedrückt:

$$-dI = \mu I_0 dx \tag{1}$$

wo μ den Dämpfungskoeffizienten darstellt, den wir eigentlich erfahren wollen. Wenn wir die oben geschriebene Gleichung integrieren finden wir die folgende Gleichung heraus:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{2}$$

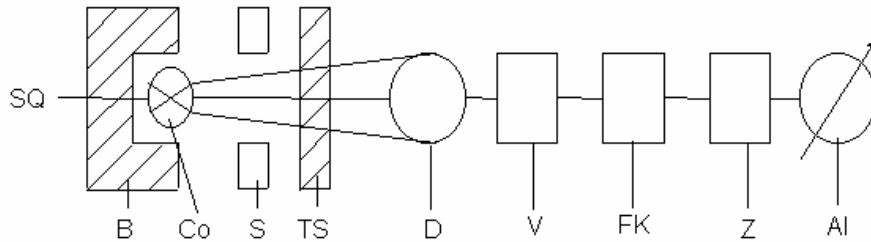
wo I_0 die Stromdichte der γ Strahlungsbündel bei der Eindringung in der Substanz ($x=0$) und I die Stromdichte nach der Verlassung der Schicht darstellt. Daher kann man erkennen, dass μ das umgekehrte einer gewissen Dicke darstellt, für welche die Stromdichte der Strahlungsbündel e-mal kleiner wird. Sein Wert hängt von der Energie der γ Quanten ab, als auch von der Natur der dampfenden Schicht.

Der Quotient von Dämpfungskoeffizienten und Dichte des Materials, also $\frac{\mu}{\rho}$ nennt sich massiger Dämpfungskoeffizient und wird in cm^2/g ausgedrückt. Bei derselben Energie der γ Quanten wird dieser Koeffizient für verschiedene Materialien annähernde Werte annehmen. Falls wir logarithmieren (2) erhalten wir folgende Gleichung:

$$\ln I = \ln I_0 - \mu x \quad (3)$$

Diese Gleichung ergibt eine Gerade in einer $\ln I = f(x)$ Darstellung. Die Ordinate zum Ursprungspunkt ist $\ln I_0$ und die Neigung ist $m = \mu$.

Die experimentelle Vorrichtung



Die experimentelle Vorrichtung

Die Strahlenquelle (SQ) ist in Form einer Kapsel, die ein Co-Präparat (Co) enthält. Die Strahlungsquelle ist mit Blei (B) verschirmt, damit die negativen Effekte der Gamma-Strahlung niemandem Schaden zufügen. Man erhält das nötige Strahlenbündel durch den Schlitz (S), der in ein Bleielement gebildet ist. (TS) bezeichnet man als die Testsubstanzschicht.

Die Messanlage besteht aus einem Geiger-Müller Detektor (D) oder aus einem anderen Detektor, ein Verstärker (V), ein Pulsformierungskreis (FK), ein elektronische Zähler (Z) und ein Angabeinstrument (AI).

Die Testscheiben sind aus Fe, Al, Pb, Cu, usw.

Arbeitsweise

1) Während der Durchführung des Experimentes wird der Detektor nicht bewegt, ebenso die Strahlenquelle, weil die Anzahl der Quanten, die den Detektor

erreichen, vom Winkel abhängig ist und damit "sieht" der Detektor die Strahlung nur unter einem bestimmten Winkel, der am Anfang festgelegt wird. Die Spannung die dem Detektor zugesetzt wird, muss konstant bleiben.

2) Die Zählgeschwindigkeit des Zählers wird für die Grundstrahlung herausgefunden. Die Strahlenquelle wird durch eine aus Bleiwand gedämpft. Die Dauer der Messungen beträgt 10-15 Minuten.

3) Man nimmt die Bleidämpfung von der Spalte weg und man misst die Zählgeschwindigkeit der Quelle. Die Messungsdauer beträgt 3 Minuten.

4) Man findet die Zählgeschwindigkeit für die γ Strahlung, wenn der Schlitz von einem der angegebenen Scheiben gedämpft ist (Pb, Fe, Al, Cu). Die Scheiben werden übereinander in einer ständig wachsenden Anzahl vor die Strahlenquelle gelegt. Damit vergrößert sich die Dicke der Dämpfungsschicht. Für jede neu gesetzte Dämpfungsschicht wird eine andere Messung unternommen, damit man die Zählgeschwindigkeit herausfinden kann. Man unternimmt 5 Messungen mit einer Dauer von 2 Minuten.

5) Man nimmt die Scheiben von der Spalte weg und man vertauscht sie mit dem dicken Bleistück und nachher schaltet man die Messgeräte aus.

Die Ergebnisse des Experiments, werden in einer Tabelle eingetragen, wo x die Dicke der gesamten vor der Spalte gestellter Scheiben, t die Zeit, N die gemessene Impulsanzahl für jeden Stoff mit einer bestimmten Dicke, n' ist die Zählgeschwindigkeit in Anwesenheit der Grundstrahlung, f die Zählgeschwindigkeit der Grundstrahlung und n die reine Zählgeschwindigkeit der Quelle.

<i>Stoff</i>	<i>Dicke x</i> [mm]	<i>t</i> [Min]	<i>N</i> [Imp.]	$n' = N/t$ [Imp./Min]	$n = n' - f$ [Imp./Min]	$\ln n$	μ [1/mm]
Pb	0						
	5						
	10						
	15						
Cu	5						
						

Die Bearbeitung der Experimentaldaten

Die Zählgeschwindigkeiten n' , die in der Tabelle eingetragen sind, müssen wir ins Allgemeine korrigieren für:

a) Die "tote Zeit" der Anlage:

$$n'' = n' / (1 - \tau n') \quad ; \quad \tau = 10^{-6} \text{ s} \quad (4)$$

Die Korrektur beträgt in diesen Fall $\tau = 10^{-6} \text{ s}$, sie ist aber vernachlässigbar.

b) Die Korrektur für die Grundstrahlung:

$$n = n'' - f \quad (5)$$

Damit man den Dämpfungskoeffizienten herausfinden kann, wird man in Betracht ziehen, dass die Zählgeschwindigkeit n (also die Zahl der γ Quanten, die durch den Detektor dringen, vom Zähler in Zeiteinheiten registriert werden) proportional mit der Stromdichte der γ Strahlungsbündel ist, so dass wir die Gleichung (2) in folgender Weise umwandeln können:

$$n = n_0 e^{-\mu x} \quad (6)$$

wo jetzt n = Zählgeschwindigkeit ist. Mit Hilfe der Ergebnisse aus der Tabelle werden wir eine grafische Darstellung machen. In der Darstellung wird auf der Ordinate die Dicke der Metallscheiben und auf der Abszisse des Logarithmus der Zählgeschwindigkeit eingetragen. Man bemerkt, dass eine Gerade entsteht.

Vom Graphen berechnet man die Neigung der Gerade.

$$m = \Delta(\ln n) / \Delta x \quad (7)$$

Das ist aber gerade der Dämpfungskoeffizient:

$$\mu = m \quad (8)$$

Danach berechnen wir, den massigen Dämpfungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$, der in cm^2/g Einheiten angegeben wird. Die Dichten, die uns interessieren haben folgende Werte:
 $\rho_{\text{Pb}} = 11,34 \text{ g / cm}^3$; $\rho_{\text{Fe}} = 7,80 \text{ g / cm}^3$; $\rho_{\text{Al}} = 2,70 \text{ g / cm}^3$; $\rho_{\text{Cu}} = 8,90 \text{ g / cm}^3$.