

1 Zielsetzung

Ziel des Versuchs ist die Bestimmung des Wirkungsquerschnittes σ , bzw des Absorptionskoeffizienten $\mu = n\sigma$, wobei n die Zahl der Materieteilchen ist.

2 section Theorie

Für diesen Versuch wird die Wechselwirkungen energiereicher Strahlung mit Materie betrachtet. Dafür wird zum einen γ -Strahlung als Photonen-Strahlung, zum anderen β^- -Strahlung als Teilchen-Strahlung von instabilen Kernen betrachtet. Beim Durchgang durch Materie tritt bei einem γ -Quant nur eine Wechselwirkung auf, wogegen bei den β -Teilchen viele Prozesse nacheinander auftreten bis die kinetische Energie verbraucht ist.

Trifft ein Teilchenstrahl auf eine Materieschicht nimmt durch die Wechselwirkungen die Intensität ab. Der Wirkungsquerschnitt σ ist ein Maß für die Häufigkeit der Wechselwirkungen. Die Wahrscheinlichkeit, dass durch ein Teilchen Wechselwirkungen stattfinden, wird beschrieben durch

$$W = nD\sigma \quad (1)$$

Dabei ist D die Dicke.

..... Das Absorptionsgesetz

$$N(D) = N_0 e^{-n\sigma D} \quad (2)$$

gilt, wenn jedes Teilchen durch eine Wechselwirkung vernichtet wird oder die mittlere Abstand zwischen zwei Reaktionen sehr groß ist. Der Absorptionskoeffizient $\mu = \sigma n$ kann durch die Absorptionmessung bestimmt werden.

Die Anzahl der Teilchen im Absorber wird mit

$$n = \frac{zN_L}{V_{mol}} = \frac{zN_L\rho}{M} \quad (3)$$

berechnet. Dabei ist N_L die Loschmidtsche Zahl, V_{mol} das Molvolumen und M das Molekulargewicht.

3 Gamma-Strahlung

Die Elektronenhülle und die Atomkerne besitzen diskrete Energieniveaus. Wird eine große Zahl von Quanten über die Zeit und den Raum gemittelt, ergeben sich Eigenschaften, die einer Elektromagnetischen Welle ähneln. Somit ergibt sich für die Energie :

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (4)$$

Dabei ist h das Plancksche Wirkungsquantum, c die Lichtgeschwindigkeit und λ die Wellenlänge.

Tritt ein γ -Quant in eine Materieschicht ein, kommt es zu Wechselwirkungen. Am Häufigsten treten diese bei Energien zwischen 10 keV und 10 MeV. Es wird zwischen Annihilationsprozessen, inelastischer Streuung und elastischer Streuung unterschieden. Bei Annihilation verschwindet der γ -Quant. Prozesse, in denen dieses auftritt sind zum einen der Photoeffekt, bei dem das γ -Quant bei Wechselwirkungen mit einem Hüllenelektron vernichtet und das Elektron aus seiner Bindung entfernt wird, und zum anderen die Paarbildung, dass die Umwandlung eines Photons in ein Elektron-Positron-Paar beschreibt. Bei elastischer Streuung tritt eine Richtungsänderung der Quanten auf. Bei inelastischer Streuung tritt eine Änderung der Richtung auf und der γ -Quant gibt einen Teil seiner Energie an seinen Stoßpartner ab. Dieses wird beim Comptoneffekt beobachtet. Der Effekt führt zu einer Intensitätsabnahme eines γ -Strahls, da die Quanten in unterschiedliche Richtungen abgelenkt werden. Somit nimmt auch die Zahl der Quanten pro Fläche und Zeit ab. Der Wirkungsquerschnitt σ_{com} ergibt sich zu

$$\sigma_{com} = 2\pi r_e^2 \left(\frac{1+\varepsilon}{\varepsilon^2} \left(\frac{2(1+\varepsilon)}{1+2\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon} \ln(1+2\varepsilon) \right) + \frac{1}{2\varepsilon} \ln(1+2\varepsilon) - \frac{1+3\varepsilon}{(1+2\varepsilon)^2} \right). \quad (5)$$

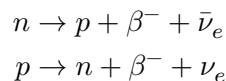
Dabei ist r_e der klassische Elektronenradius und ε das Verhältnis der Quantenenergie E_γ zur Ruheenergie des Elektrons.

für kleine Energien E_γ wird σ_{com} energieunabhängig. Durch den Comptoneffekt ist ein Absorptionskoeffizient μ_{com} bedingt. Dieser ergibt sich zu

$$\mu_{com} = n\sigma_{com}(\varepsilon). \quad (6)$$

4 Beta-Strahlung

Die β -Strahlung besteht aus negativen oder positiven Elektronen. Die β -Teilchen entstehen durch Umwandlung eines Nukleons. Dies kann auf zwei unterschiedliche Wege erfolgen:



. Neben dem Elektron wird ein Neutrino ν_e bzw. ein Antineutrino $\bar{\nu}_e$ emittiert. Das Neutrino hat einen Spin von $1/2$, eine Ladung von Null und eine Ruhemasse, die kleiner als 1 eV ist. Das β -Teilchen tritt durch seine Ladung und geringe Masse in Wechselwirkung mit Materie, wenn es in eine Materieschicht eindringt. Dieser Wechselwirkungsmechanismus wird auch Rutherford-Streuung genannt. Durch das Coulomb-Feld der Kerne werden die β -Teilchen aus ihrer Bahnrichtung abgelenkt. Dadurch werden die parallelen Strahlenbündel aufgefächert und es kommt zu einer Intensitätsabnahme.

Durch inelastische Streuung im Coulomb-Feld werden die β -Teilchen beschleunigt. Die Emission von Photonen führt zu einer Abbremsung der β -Teilchen. Diese so entstehende

Strahlung wird als Bremsstrahlung bezeichnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Prozess eintritt wird mit durch den Wirkungsquerschnitt σ_{Br} beschrieben.

$$\sigma_{Br} = \alpha r_e^2 z^2 \quad (7)$$

Dabei ist α die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante und r_e der klassische Elektronenradius. Wenn die Strahlung inelastisch am Elektron gestreut wird, werden die absorberatome ionisiert und angeregt.

Die Absorptionskurve eines natürlichen β -Strahlers ist in Abbildung zu sehen.

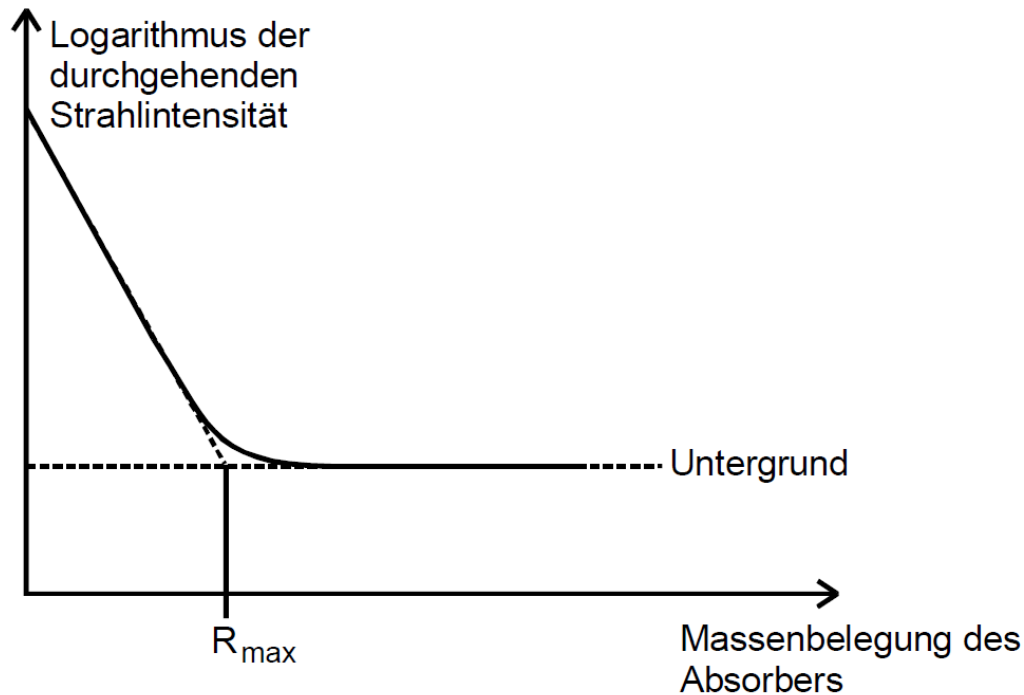


Abbildung 1

5 Durchführung

Zunächst werden die zu verwendenden Materialien ausgemessen. Die Messung wird zum einen mit dem Beta-Strahler durchgeführt. Dafür wird der Beta-Strahler in den Versuchsaufbau eingebaut. Es werden für unterschiedlich dicke Aluminiumplatten, die ebenfalls in den Versuchsaufbau gesteckt werden, die Zählraten aufgenommen.

Weiter wird der Versuch mit einem Gamma-Strahler durchgeführt. Hier werden zum einen Zink-Platten und zum anderen Blei-Platten eingebaut.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 8 zu sehen.

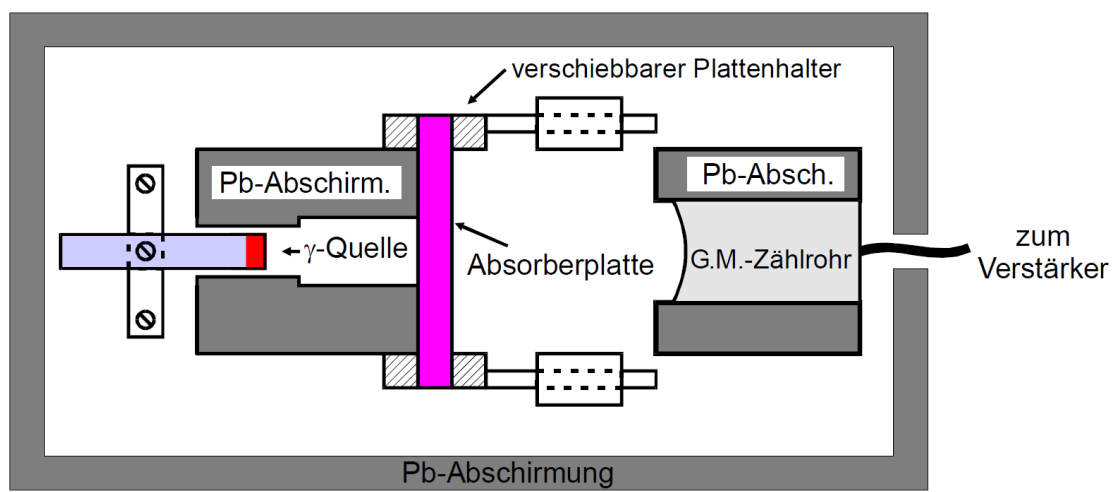


Abb.8: Schematische Darstellung der Messapparatur für die γ -Absorption