Zählrohr

Golubkov Andrej
Meierhofer Georg

Betreuer: Dr. Carlo Callegari
Datum: 13.05.2004

printf

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen

1.1 Radioaktive Strahlung

Radioaktive Strahlung entsteht bei Kernumwandlungen von Atomen. Es gibt 3 Arten radioaktiver Strahlung: α, β und γ Strahlung.

1.2 α Strahlung

Die Strahlung besteht hier aus Helium Kernen, das α Teilchen ist also aus 2 Protonen und 2 Neutronen zusammengesetzt. Es hat die Ladung von $C = 2e$. Die kinetische Energie der Teilchen beträgt 2 - 8 MeV. Da die Ionisierungsenergie der Luft im Mittel 32.5 eV beträgt, können der Größenordnung nach 10^5 Ionen pro α Teilchen durch Stossionisation erzeugt werden. Danach ist seine Energie aufgebraucht und es wird ein gewöhnlicher Heliumkern. Die Reichweite der *alpha* Strahlung ist relativ gering. Zwischen der Reichweite R und der Radioaktivitätskostante λ ($\lambda = \frac{1}{\tau}$) gibt es einen einfachen Zusammenhang: Das Geiger Nutall Gesetz.

$$ln(\lambda) = A + B \cdot ln(R) \tag{1}$$

Mit konstanten A und B. Es wurde emirisch festgestellt, dass R proportional der kinetischen Energie E ist.

$$ln(\lambda) = a + b \cdot ln(E) \tag{2}$$

Das Energiespektrum der α Strahlung ist diskret. Es kann gleichzeitig γ Strahlung auftreten.

1.3 β Strahlung

Beim β Zerfall werden Elektronen oder Positronen sowie Neutrinos emitiert. Die Teilchen werden entsprechend β^- und β^+ genannt. Die Kinetische Energie kann bis zu 16MeV betragen. Bei diesen Energien muss relativistisch gerechnet werden.
Folgende Effekte tragen zur Absorption bei:
Elastische Streuung Die β Teilchen können an Atomkernen wie auch an Elektronen gestreut werden. Da der Wirkungqerschnitt proportional zu $\frac{1}{E^2}$ ist, muss die Streuung besonders bei niedrigen Energien berücksichtigt werden.
Ionisation Zwischen 10keV und 2MeV ist die spez. Ionisation proportional $\frac{1}{v^2}$.
Röntgen Strahlung Beim abbremsen der β Teilchen durch elektrische Potentiale der Atomkerne entsteht röntgen Strahlung.
Insgeasmt gehorcht die Absorption annähernd einer Exponentialfunktion:

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu d} \tag{3}$$

Mit der Schichtdicke d, Anzahl der durchgegangenen Teilchen N und der Anzahl der auftrefenden Teilchen N_0.

1.3.1 β Energiespektren

Beim β^- Prozess wandelt sich im Atomkern ein Neutron in ein Proton um. Beim β^+ Prozess ein Proton in ein Neutron. Da die Energienievaus der Atomkerne vor un nach dem Prozess bestimte fixe werte haben, sollte auch die β Strahlung ein diskretes Energiespektrum mit wenigen Linien haben. Statdessen wird aber ein kontinuirliches Spektrum gemessen. Das liegt daran, dass bei diesen Prozessen auch Neutrinos entstehen. Die freiwerdende Energie wird also auf das Neutrino und β Teilchen aufgeteilt. Die Neutrinos können mit dem Zählrohr nicht aufgespürt werden, da sie nicht ionisieren. Die Gesamtenergie kann trotzdem bestimmt werden: sie entspricht der maximalen Energie E_0 bei der noch β Teilchen gemessen werden. Das ist der Punkt, an dem die β Teilchen praktisch die gesammte Übergangsenergie bekommen. Für das Energiespektrum gilt die Formel:

$$N(p)dp \propto p^2(E_0 - E)^2 F(Z, E)dp \tag{4}$$

mit der Anzahl der β Teilchen $N(p)$ mit dem Impuls zwischen p und dp. E_0 ist die uns interresierende Übergangsenergie. E ist die gesamtenergie $E = (T + mc^2)$. F ist die Fermi Funktion:

$$F(Z, W) = \frac{2\pi\eta}{1 - e^{-2\pi\eta}} \tag{5}$$

mit $\eta = \pm\frac{Ze^2}{hv}$, v der β Teilchen Geschwindigkeit und Z der Kernladungszahl nach dem β Zerfall. [1]

1.4 γ Strahlung

γ Strahlung ist kurzwellige elektromagnetische Srahlung mit Energien ab 2.5 keV. Sie entsteht wenn ein angeregter Atomkern zum Grundzustand übergeht (häufig nach α und β Prozessen). Das Strahlungsspektrum ist dann diskret. Bei Energien ¡ 1MeV erfolgt die übliche photoelektrische absorption und streuung. Ab 1MeV tritt Paarbildung auf. Die Absorption erfolgt wiederum mit

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu d} \tag{6}$$

Der Koeffizient μ ist stark Energieabhängig.

1.5 Radioaktiver Zerfall

Beim radioaktiven Zerfall ändert sich die Zahl der Neutronen bzw. Protonen. Der zerfall erfolgt dabei absolut zufällig, lediglich die Halbwertszeit kann bestimmt werden. Für die Anzahl der nicht zerfallenen Atome N gilt

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{7}$$

wobei sich τ aus der Halbwertszeit T oder der Aktivität λ berechnen lässt

$$\tau = \frac{T}{ln(2)} = \frac{1}{\lambda} \tag{8}$$

In der Natur gibt es 4 radioaktive Familien. Sie werden jeweils nach dem schwersten Element benannt. Die für uns wichtige ist die $U-283$ Reihe. Wie in Abbildung () gezeigt, gibt

[1] aus http://personal.tcu.edu/ quarles/PHYS3/Betadecay.htm

es 2 Zerfallsarten. Beim α- Zerfall wird die Massenzahl A um 4 kleiner, die Kernladungszahl Z um 2 kleiner. Beim β^-- Zerfall bleibt die Massenzahl konstant, die Kernladungszahl wird um 1 größer. Die Halbwertzeit des Zerfalls der Isotope schwankt erheblich. Die von U238 beträgt 4.47 milliarden Jahre beim Pa234 ha sie nur 1.18 Minuten. Irgendwann entsteht Ra226, das bei unseren Experimenten als Strahlungsquelle diente. Ra226 hat eine Halbwertszeit von 1622 Jahren, also kann seine Strahlungsintensität bei unseren Experimenten als zeitlich konstant angesehen werden.

Tabelle 1: Nachfolgeprodukte des Ra226 Quelle (http://environmentalchemistry.com)

Vor Zerfall	Nach Zerfall	Halbwertszeit T	Zerfallsart	Zerfallsenergie
Ra226	Rn222	1600a	α	4.871MeV
Rn222	Po218	3.824d	α	5.590MeV
Po218	Pb214	3.1m	α	6.115MeV
Pb214	Bi214	26.8m	β	1.024MeV
Bi214	Po214	19.9m	β	3.272MeV
Po214	Pb210	164.3μs	α	7.833MeV
Pb210	Bi210	22.3a	β	0.064MeV

1.6 Zählrohr

Die sogenannten Geiger Müller Zählrohre dienen der Messung ionisierender Strahlung. Das Zählrohr besteht aus einem mit Edelgas gefüllten Metalrohr mit geringen Druck (ca. 0.1 bar). Das Metalrohr dient als Kathode (minus Pol). Im inneren des Rohres ist ein draht angebracht, er dient als Anode (plus Pol) und ist von der Kathode isoliert. Durch das Fenster an der Frontseite des Rohres kann Strahlung eindringen. Je nach Material kann verschiedene Strahlung durch das Fenster durchgelassen werden. Zum Nachweis der β Strahlung wird Glimmer als Material verwendet. Das Zählrohr misst die Strahlung dadurch, dass die Gasatome durch energiereiche Teilchen ionisiert werden und elektrischen Strom zwieschen der Anode und Kathode leiten.

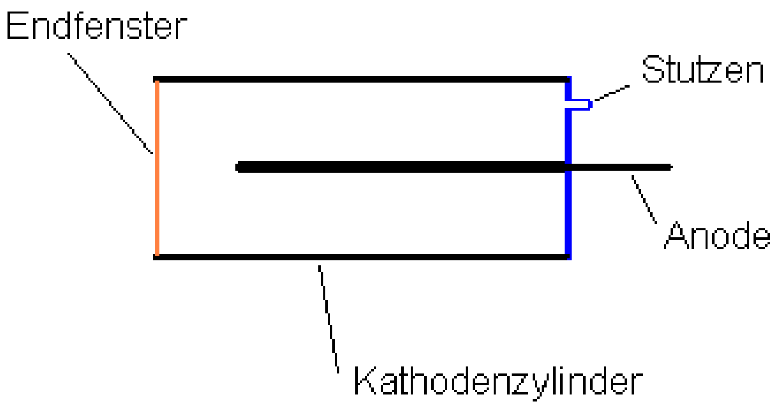

Abbildung 1: Zählrohr

1.6.1 Funktionsweise

Ein β Teilchen kann bis zu 16MeV an kinetischer Energie besitzen. Die Ionisierungsenergie des Füllgases liegt in der Größenordnung von 30eV. Das bedeutet, dass bei einfallenden Teilchen sehr viele Ion- Elektron Paare erzeugt werden können. Bei angelegter Spannung zwischen Anode und Kathode gibt es in der Röhre ein konzentrisches elektrisches Feld in dem die Ionen und die Elektronen beschleunigt werden. Die Elektronen haben eine viel geringere Masse und reagieren deshalb viel schneller. Während die Elektronen bereits bei der Anode angekommen sind, wandern die schweren Ionen langsam zur Kathode. Sie schirmen das Elektische Feld um den Draht ab, so dass weitere Strahlungs- Teilchen schwer registriert werden können. Erst nach einer Erholungszeit $\tau_{irgendwas}$ hat das Zählrohr die ursprüngliche Empfindlichkeit. $\tau_{irgendwas}$ ist von der angelegten Spannung und vom Aufbau des Zählrohrs ab. Zusätzlich ist das Rohr auch mit Löschgas gefüllt. Es verindert, dass die Ionen Elektronen aus der Kathode herausschlagen, nachdem sie auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt wurden.

1.6.2 Betriebsbereiche