

# Ablenkung von $\beta$ -Strahlen

---

## 1 Lernziele

---

Radioaktiver Zerfall, Entstehung von  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung, deren Ablenkung in Magnetfeldern, Neutrino, relativistische Kinematik (Impuls, Energie), Energie- und Impulserhaltung, Spektroskopie

---

## 2 Vorbereitung

---

- Merkblatt K0 (**wichtig!** Voraussetzung zur Teilnahme am Versuch!)
- Nachweis ionisierender Strahlung wie auch deren Wechselwirkung mit Materie (siehe auch K3)
- $\beta$ -Zerfall und Elektroneneinfang (Energiespektren der  $\beta$ -Teilchen)
- geladene Teilchen im Magnetfeld (Lorentzkraft)
- Zerfallsschema  $^{90}\text{Sr}$
- Funktionsweise von Geiger-Müller-Zählrohren
- Magnetfelder und Magnetfeldmessung (Hall-Sensor)

---

## 3 Literatur

---

1. Rietzler-Kopitzki *Kernphysikalisches Praktikum*
2. Marmier *Kernphysik I*
3. Mayer-Kuckuk *Kernphysik*
4. Evans *Atomic Nucleus*

---

## 4 Hilfsmittel

---

Bitte bringen Sie Millimeterpapier mit!

---

## 5 Grundlagen

---

Unter  $\beta$ -Strahlen versteht man Elektronen ( $e^-$ , auch  $\beta^-$ ) oder Positronen ( $e^+$ ,  $\beta^+$ ), die bei der Umwandlung eines Neutrons ( $n$ ) in ein Proton ( $p$ ) oder umgekehrt aus dem Kern eines radioaktiven Isotops emittiert werden:



Für freie Neutronen gilt auch Gl. (1), nicht aber für freie Protonen Gl. (2) da freie Protonen stabil sind. Daher kann der zweite Prozess nur innerhalb eines Atomkerns erfolgen. (Warum? Welches Teilchen ist schwerer: Proton oder Neutron?) Außer den  $\beta$ -Strahlen werden noch Neutrinos ( $\nu$ ) bzw. Antineutrinos ( $\bar{\nu}$ ) emittiert. Durch  $\beta$ -Zerfall wird also die Kernladungszahl geändert. Die Zahl der Protonen im Kern kann außer durch  $\beta^+$ -Emission nach Gl. (2) auch durch *Elektroneneinfang* aus der Atomhülle vermindert

werden. Hierbei wird ein Elektron  $e^-$  i.a. aus der  $K$ -Schale eingefangen. Außerdem wird wiederum ein Neutrino emittiert:



Beim Auffüllen der Lücke in der  $K$ -Schale entsteht zusätzliche Röntgenstrahlung.

Elektronen werden im homogenen Magnetfeld auf Kreisbahnen (Radius  $r$ ) abgelenkt. Hierbei muss die Zentrifugalkraft dem Betrag nach gleich der vom Magnetfeld auf das fliegende Elektron ausgeübten Lorentzkraft sein. Aus der Zyklotronfrequenz für Elektronen

$$\omega = \frac{eB}{m}$$

folgt mit der Kreisfrequenz  $\omega = v/r$  und dem Impuls  $p = mv$

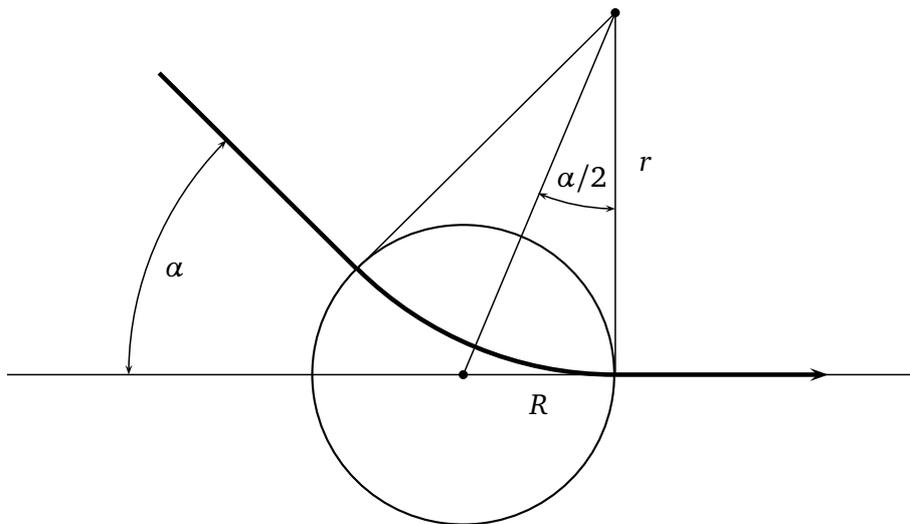
$$p = eBr$$

mit  $e$  der Elementarladung,  $m$  der Elektronenmasse und  $B$  der magnetischen Kraftflussdichte. Der letzte Ausdruck stimmt auch, wenn man relativistisch rechnet.

Der Radius  $r$  der Kreisbahn ist aus dem Ablenkwinkel  $\alpha$  und dem Radius  $R$  der Magnetpolschuhe nach der Formel

$$\tan(\alpha/2) = R/r \quad (4)$$

zu berechnen, wie aus folgendem Bild zu ersehen ist.

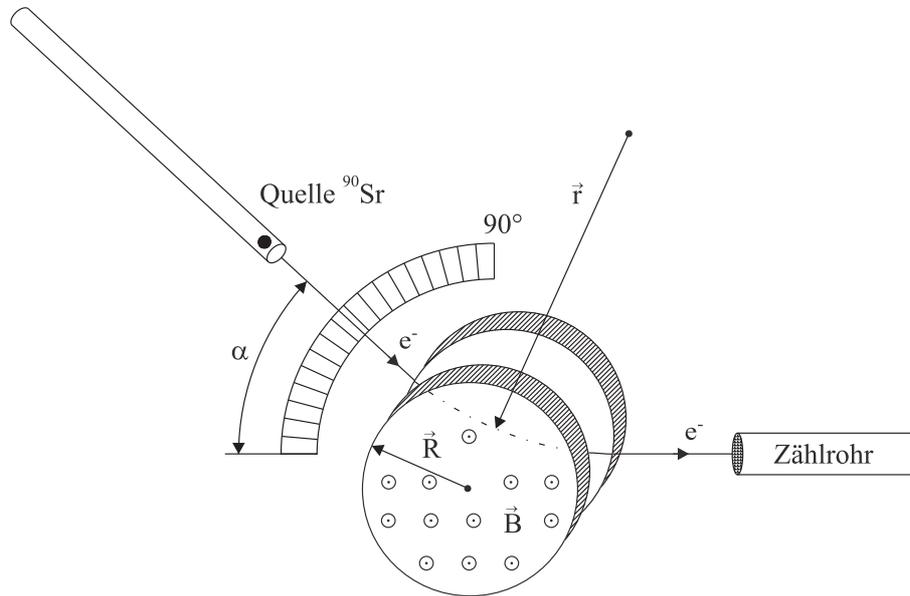


Übliche Ausdrücke für die relativistischen Größen sind

Gesamtenergie	$E = \gamma mc^2$
	$E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2}$
	$E = mc^2 + T$
kinetische Energie	$T = E - mc^2$
Impuls	$p = \gamma mv$
	$p = \gamma mc\beta$
	$p = \frac{E}{c}\beta$
relativistischer Faktor	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ mit $\beta = v/c$

Die benötigten Naturkonstanten:

$$\begin{aligned} c &= 2.998 \times 10^8 \text{ m/s} & e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ As} \\ c &= 29.98 \text{ cm/ns} & m &= 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ mc^2 &= 511 \text{ keV} \end{aligned}$$



## 6 Versuchsbeschreibung

Experimentelles Ziel dieses Versuches ist die Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektronen. Dazu sind vorhanden:

1.  $^{90}\text{Sr}$ -Präparat
2. Elektromagnet
3. Zählrohr und Ausleseelektronik
4. Multimeter
5. Teslameter (Hall-Sonde)

## 7 Aufgaben

### Achtung!

- Kreditkarten mit Magnetstreifen, etc. nicht in die Nähe des Magnetfeldes bringen!
- Elektrische Schaltungen sind vom Assistenten zu prüfen!

1. Vorher zu Hause zu bearbeiten!

Berechnen Sie die Gesamtenergie, den Impuls und den relativistischen  $\gamma$ -Faktor eines Elektrons, das die komplette Zerfallsenergie als kinetische Energie übertragen bekommt, also unter der Annahme, dass kein Neutrino emittiert wird. (Energie- und Impulserhaltung nutzen)

2. Bestimmung der Untergrund-Zählrate. (Messdauer: 5 min)

3. Ohne Magnetfeld ist die Zahl der Impulse in 60 s in Abhängigkeit von der Winkelstellung des  $\beta$ -Kollimatorrohres aufzunehmen, die Untergrund-Zählrate (pro 60 s) abziehen und das Resultat grafisch darzustellen.

4. Für eine magnetische Flussdichte von 75 mT ist dieselbe Messung wie unter Aufgabe 3 durchzuführen und auszuwerten. Überprüfen Sie die Magnetfeldstärke mit dem Teslameter.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wenn die 75 mT nicht ganz erreicht werden, ist es auch OK.

---

5. Mit dem in Aufgabe 4 bestimmten Winkel für die maximale Impulsrate berechne man

- den Impuls  $p$ ,
- die Gesamtenergie  $E$ ,
- den relativistischen Faktor  $\gamma$ ,
- die Geschwindigkeit in Einheiten der Lichtgeschwindigkeit  $\beta$ ,
- die Geschwindigkeit  $v$ ,
- die kinetische Energie  $T$  und
- die nicht-relativistische kinetische Energie  $E_{\text{kin}} = \frac{m}{2}v^2$ .

Die Impulse sind in keV/c und die Energien in keV anzugeben. Vergleichen Sie  $E_{\text{kin}}$  und  $T$ .