Schüler Labor

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung

Station 4

Ablenkung von

β - Strahlen im Magnetfeld

Aufnahme eines ß - Spektrums

Inhaltsverzeichnis

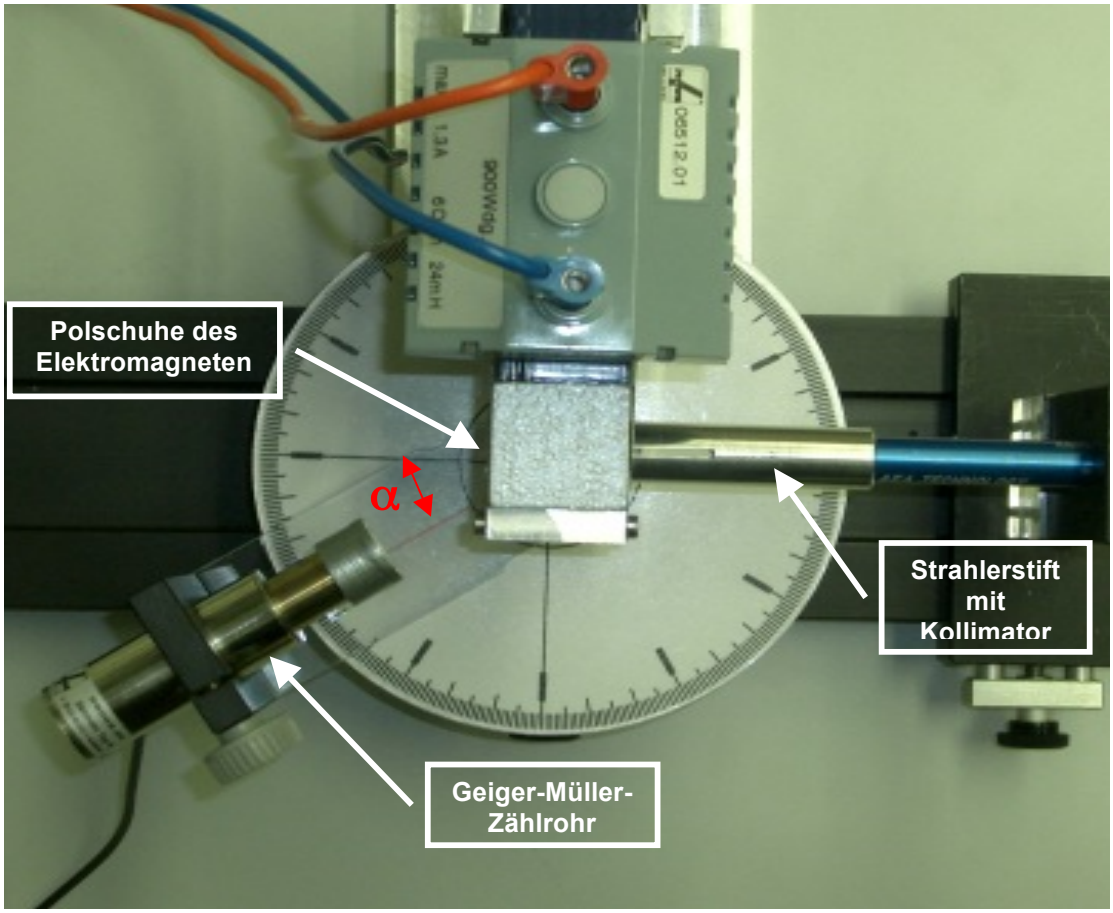
Inhalt 2
Absorption und Ablenkung von β-Strahlen 3
Worum es geht 3
V.1. Der Experimentierplatz 3
V.2. Inbetriebnahme des Zählrohres 4
V.3. Zählrate und Nulleffekt 5
V.4. Die Eichung der Winkelskala 6
V.5. Justierung des Elektromagneten 6
V.6. Spulenstrom und Magnetfeld – die Remanenzkurve 7
V7.(Vorbereitung) 9
V.7. Inbetriebnahme des Elektromagneten 10
V.8. Messung der Elektronenenergien 11
V.9. Auswertung der Messung 12
V.10.Zusätzlicher Hinweis (für interessierte Schüler/innen) 12
Hintergrundwissen 13
H.1. β-Zerfall und β-Strahlung 133
H.2. Das ^{90}Sr-Präparat 155
H.3. Ablenkung von β-Teilchen im Magnetfeld 177
H.4. Nachweis von β-Strahlen mit einem Geiger-Müller-Zählrohr 20

Absorption und Ablenkung von β-Strahlen

Worum es geht

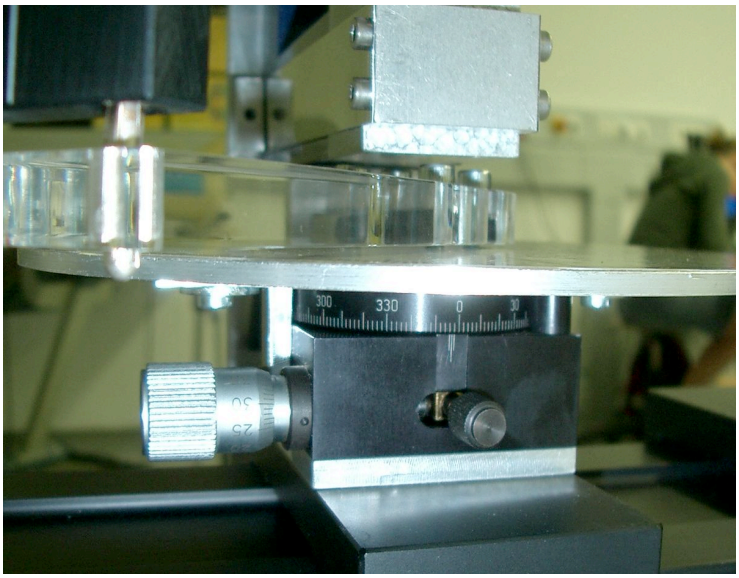
Aus einem **Strahlerstift** (^{90}Sr-Quelle) treten **β^--Teilchen (Elektronen)** mit **unterschiedlichen Geschwindigkeiten** aus**.** Diese Geschwindigkeiten sollen im Experiment bestimmt werden. Da dies auf direktem Weg nicht möglich ist, schickt man die β^--Teilchen durch das **magnetische Feld** eines **Elektromagneten**. In einem Magentfeld wirkt auf die Elektronen, eine Kraft, die sog. Lorentzkraft, die die Elektronen aus ihrer geradlinigen Bahn ablenkt.
Je stärker das Magnetfeld des Elektromagneten ist, desto größer ist die ablenkende Lorentzkraft und desto größer ist auch die Ablenkung der Elektronen.
Zusätzlich spielt aber auch die Geschwindigkeit der Elektronen eine Rolle. Schnelle Elektronen lassen sich schwerer ablenken, langsamere leichter. Das bedeutet, dass es einen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Elektronen, der Stärke des Magnetfeldes und dem Ablenkwinkel gibt, um den die Elektronen von der geraden Flugbahn abweichen. Kennt man den Ablenkwinkel und die Magnetfeldstärke, kann man daraus die Geschwindigkeit der Elektronen berechnen. Das ist zunächst auch das Ziel des Experimentes.

V.1. Der Experimentierplatz



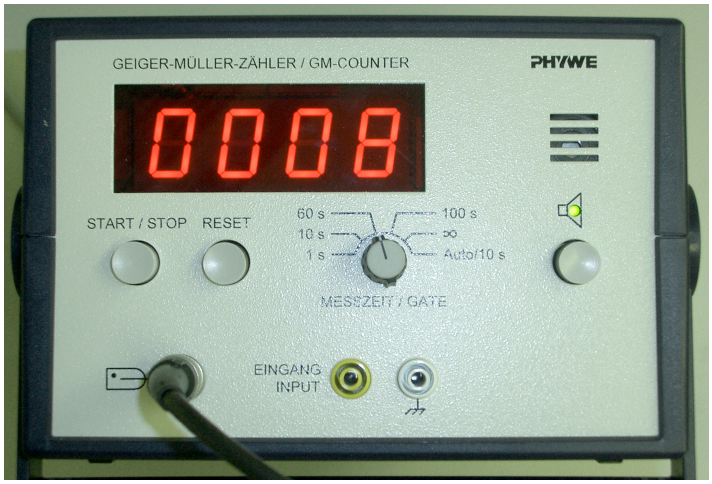
Die Einzelheiten des Aufbaus sind aus der Abbildung ersichtlich. Der Strahlerstift mit der ^{90}Sr-Quelle und dem aufgesteckten Aluminium-Kollimator wird erst nach Messung des Nulleffektes (s. unten). vom Betreuer in den Quellenhalter eingebaut. Der Kollimator hat die Aufgabe, nur ein schmales Bündel von β-Teilchen in das Magnetfeld eintreten zu lassen, um die dort stattfindende Ablenkung gut messen zu können. Der Kollimatorschlitz muss vor der Messung – wie hier gezeigt – möglichst sorgfältig genau senkrecht ausgerichtet werden und darf im Verlauf des Experimentes nicht mehr verändert werden. Links unten im Bild ist das Geiger-Müller-Zählrohr, mit dem die abgelenkten Elektronen gemessen werden, zu sehen. Es ist auf einer Winkelscheibe drehbar montiert, so dass man Elektronen, die unter verschiedenen Winkeln ankommen (= verschieden stark abgelenkt wurden), messen kann.
Zum Schutz der Experimentatoren vor den hochenergetischen β-Teilchen, die in Luft eine Reichweite von etwa 2 m haben, ist eine dicke Trennscheibe aus Plexiglas vorgesehen, die die β-Teilchen nicht durchdringen können.

Die Abbildung rechts zeigt die an der Unterseite der Winkelscheibe angebrachte Mikrometerschraube, mit der sich der Ablenkwinkel α sehr genau einstellen lässt. Nach einer groben Winkeleinstellung (feststellbar mit dem kleinen schwarzen Drehknopf) kann eine Feineinstellung über einen begrenzten Winkelbereich mit der dicken silberne Mikrometer-schraube auf der linken Seite erfolgen.



V.2. Inbetriebnahme des Zählrohres

☞ Nehmen Sie das Zählrohr durch Einschalten des Zählgerätes (Schalter an der Rückseite) in Betrieb! Dieses Gerät liefert automatisch die richtige Zählrohrspannung (500V) und erlaubt es, die gewünschte Messzeit (Messintervall) vorzuwählen.



☞ Jedes im Zählrohr nachgewiesene β-Teilchen erzeugt einen elektrischen Impuls. Dieser kann durch Zuschalten des Lautsprechers (Taste mit dem Lautsprechersymbol 🔈) als lautes Knacken hörbar gemacht werden. Eine grüne Leuchtdiode zeigt an, ob der Lautsprecher in Betrieb ist. Es empfiehlt sich, den Lautsprecher eingeschaltet zu lassen, da man bei diesem Gerät

oft nur so erkennen kann, dass die Messzeit abgelaufen ist. Zu beachten ist, dass im Zählrohr neben der β-Strahlung aus dem Strahlerstift auch α- und γ-Quanten aus der Umgebung nachgewiesen werden, die zufällig in das Zählrohr gelangen (sog. **Nulleffekt**, s.u.).

- Die Anzahl der registrierten Impulse wird auf dem Zifferndisplay dargestellt.
- Als Messintervalle stehen 1s, 10s, 60s und 100s zur Verfügung. In der Stellung „∞“ stoppt die Messung nicht von alleine. In der Stellung „Auto/10s“ wird nach einem einmaligen Start die Messzeit 10 s automatisch immer wieder neu gestartet. Während ein Messintervall läuft, wird die im vorangegangenen Messintervall gemessene Impulszahl am Display angezeigt.
- Eine Messung wird mit der „Start/Stop“-Taste begonnen und kann durch nochmaliges Drücken dieser Taste auch vor Ablauf der eingestellten Messzeit abgebrochen werden.
- „Reset“ stellt die Ziffernanzeige zurück auf den Wert „0000“.

V.3. Zählrate und Nulleffekt

Die Zahl der Impulse, die in einer bestimmten Zeit mit dem Zählrohr gemessen wird, ist die **Zählrate**. Sie ist ein Maß für die Intensität der Strahlung:

$$\text{Zählrate} := \frac{\text{Anzahl der Impulse}}{\text{Messzeit}} \qquad [\text{Zählrate}] = \frac{\text{Imp}}{\text{s}}$$

Wenn man das Zählrohr in Betrieb genommen hat, stellt man fest, dass Impulse registriert werden, obwohl sich kein radioaktives Material in der Nähe des Zählrohres befindet. In diesem Fall wird die natürliche Radioaktivität aus der Umwelt registriert. Dieser **Nulleffekt** ist ständig vorhanden und tritt sehr unregelmäßig auf. Erst bei Messungen über einen längeren Zeitraum gleichen sich diese zufälligen Schwankungen aus. Die auf den Nulleffekt zurückzuführende Zählrate wird **Nullrate** genannt und ist bei allen Messungen zu berücksichtigen.

☞ Bestimmen Sie die Nullrate (d.h. die Zahl der ohne Anwesenheit eines Präparates nachgewiesenen Teilchen („Ereignisse“)). Führen Sie diese Messung 5 mal mit je **100 Sekunden(!)** Messzeit durch und bestimmen Sie daraus die **mittlere Nullrate** $\overline{N}$ .pro 100 Sekunden. Der dabei eingestellte Ablenkwinkel α ist für die Messung unerheblich.

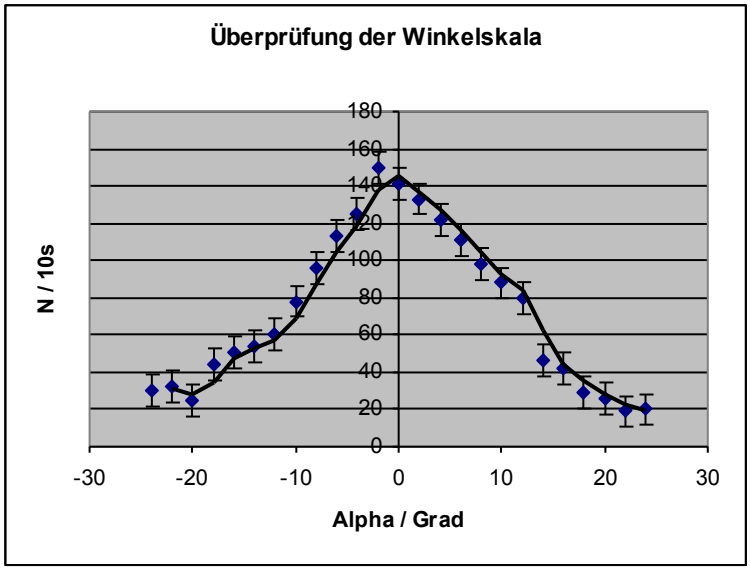
☞ Bestimmen Sie für den Mittelwert der Nullrate auch den Wert der sog. **Standardabweichung** $\sigma_0 = \sqrt{N}$ als Maß für den Messfehler. Die Nullrate ist von den im weiteren Verlauf des Experiments gemessenen Impulsraten abzuziehen.

☞ Bitten Sie nach der Messung der Nullrate den Betreuer um Einbau des ^{90}Sr-Präparates.

V.4. Die Eichung der Winkelskala

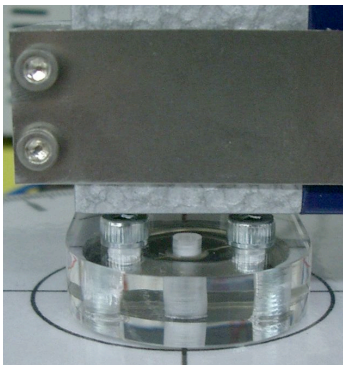
Die im folgenden beschriebene Prozedur hat noch nichts mit der Messung der Elektronengeschwindigkeiten zu tun. Sie dient nur dazu, sicherzustellen, dass die Winkelskala auch die richtigen Winkel anzeigt, denn man kann nicht unbedingt davon ausgehen, dass die Winkelskala bei Beginn des Experimentes genau justiert ist. Die Ausrichtung der Winkelskala in Bezug zu Quelle und Zählrohr muss daher zunächst experimentell bestimmt werden.

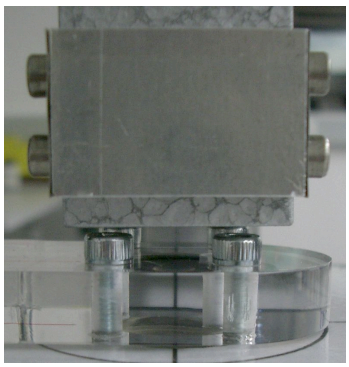
☞ Stellen Sie am Zählgerät eine Messzeit von 10 s ein und messen Sie **ohne Magneten** die Zählrate in Abhängigkeit vom Ablenkwinkel α. **Drehen Sie dazu das Gestell mit dem Magneten in einiger Entfernung von der Bahn der β-Teilchen zur Seite!** Verändern Sie nun die Position des Zählrohrs in 2-Grad Schritten im Bereich von $-20° \leq \alpha \leq 20°$. Stellen Sie die Messwerte grafisch dar (ein entsprechendes Arbeitsblatt finden Sie im Ordner „AAA Experimente“ bei Station 4 unter „POKA1.xls“) und bestimmen Sie aus den Messwerten, ob bei α=0°.auch tatsächlich die meisten Teilchen registriert werden (was ja ohne Magnet eigentlich der Fall sein sollte) **Ist das nicht so, halten Sie Rücksprache mit dem Betreuer!**



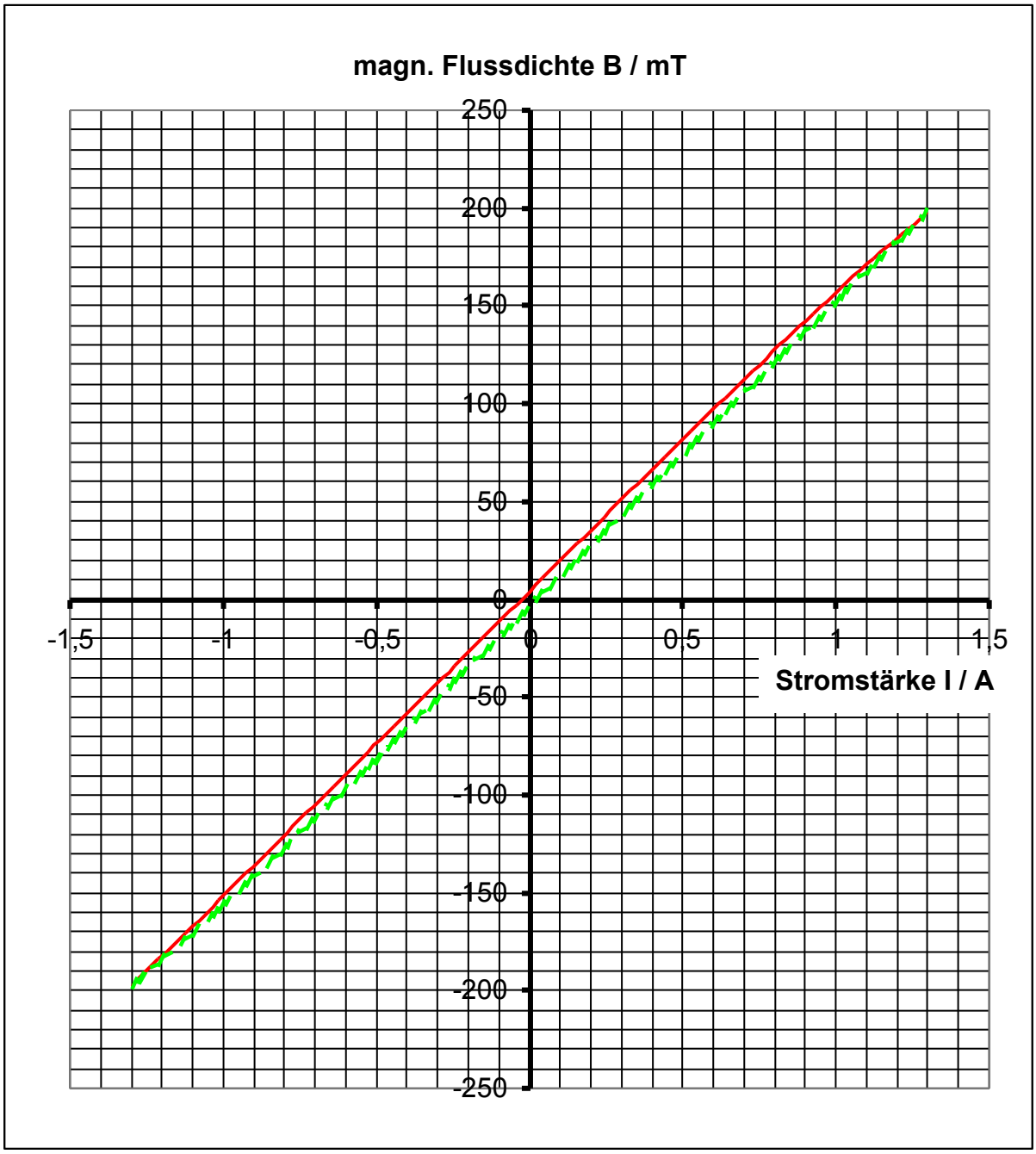
V.5. Justierung des Elektromagneten

☞ Zur genauen Positionierung des Ablenkmagneten wird das Zählrohr auf die linke Seite der Anordnung geschwenkt (α=0°). Anschließend sind die Pole des Ablenkmagneten an den 4 Befestigungsschrauben des Drehtellers auszurichten, wie dies in den Abbildungen zu sehen ist.





V.6. Spulenstrom und Magnetfeld – die Remanenzkurve



Bevor die eigentliche Messung beginnt, muss man sich anhand des obigen Diagramms noch ein paar Gedanken über den Zusammenhang zwischen der Stromstärke in der Spule des Elektromagneten (auf der x-Achse aufgetragen) und der daraus resultierenden Stärke des magnetischen Feldes zwischen den Polschuhen des Elektromagneten machen. Diese Größe wird meist als magnetische Flussdichte B bezeichnet und ist auf der y-Achse in der Einheit mT (Milli-Tesla) aufgetragen. Sie wurde bei dem Elektromagneten des Praktikums in Vorversuchen mit einer sog. Hall-Sonde“ bereits gemessen.
Betrachtet man zunächst die grün gestrichelte Kurve, dann erkennt man, dass die magnetische Flussdichte B proportional mit der Stromstärke I ansteigt, und beim

Maximalstrom I = 1,3 A einen Wert von B ≈ 200mT erreicht. Wenn man nun die Stromstärke reduziert, nimmt die magnetische Flussdichte nicht mehr in dem gleichen Maße ab, sondern folgt dem durchgezogenen, rot eingezeichneten Verlauf. Das kommt daher, dass die Elementarmagnete im Eisenkern auch bei geringer werdendem Spulenstrom noch ausgerichtet bleiben, und sogar bei 0 A noch einen Restmagnetismus von knapp 5 mT zwischen den Polschuhen erzeugen. Diese Eigenschaft eines Elektromagneten bezeichnet man als Remanenz.
Um für eine bestimmte Stromstärke die entsprechende magnetische Flussdichte B eindeutig angeben zu können, muss man in den folgenden Messungen folgendermaßen vorgehen:
Die Einstellungen der unten stehenden Tabelle müssen erst während des Versuchs vorgenommen werden, sie sind hier nur zur Vorbereitung bereits aufgeführt.
Man stellt zunächst den maximalen Spulenstrom von 1,3 A ein. Dies führt zu einem Magnetfeld von knapp 200 mT. Anschließend reduziert man schrittweise die Stromstärke und erhält die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte:

Spulenstrom I / A	**magnetische Flussdichte B / T**
1.3	0.1979
1.2	0.1848
1.1	0.1710
1.0	0.1569
0.9	0.1423
0.8	0.1275
0.7	0.1124
0.6	0.0972
0.5	0.0819
0.4	0.0664
0.3	0.0509
0.2	0.0354
0.1	0.0198
0	0.0042
-0.1	-0.0114
-0.2	-0.0270
-0.3	-0.0426
-0.4	-0.0583
-0.5	-0.0739
-0.6	-0.0895
-0.7	-0.1051
-0.8	-0.1207
-0.9	-0.1363
-1.0	-0.1518
-1.1	-0.1672
-1.2	-0.1825
-1.3	-0.1976

☞ Die rot gedruckten Werte sind hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Sie werden im vorliegenden Experiment nicht benötigt.
Ein Umpolen der Stromversorgung des Elektromagneten ist daher nicht vorgesehen.

☞ V.7. (Vorbereitung)

Vielleicht ist Ihnen bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ganz klar, wie die Messung der Elektronengeschwindigkeiten eigentlich funktionieren soll.
Wie oben erklärt, werden die in das Magnetfeld des Elektromagneten eintretenden Bata - Elektronen durch die Lorentzkraft abgelenkt. Um welchen Winkel sie abgelenkt werden hängt in relativ komplizierter Weise von mehreren Faktoren ab:

1.) Der Magnetfeldstärke – oder genauer: der magnetischen Flussdichte B. Diesen Faktor können Sie mit Hilfe der Stromstärke am Elektromagneten sehr gut kontrollieren (s. Ausführungen zu V6 auf den beiden vorherigen Seiten).

2.) Der Geschwindigkeit der Elektronen. Schnellere Elektronen sind schwerer von ihrer Flugbahn abzubringen als langsamere. Daher werden bei einer gegebenen Magnetfeldstärke die langsameren Elektronen eine sehr viel größere Ablenkung erfahren, als schnellere.

3.) Der Masse der Elektronen. Objekte mit mehr Masse lassen sich schwerer von ihrer Bahn abbringen als Objekte mit geringer Masse (Trägheit!). Eigentlich sollten zwar alle Elektronen gleich schwer sein, so dass die Masse keine Rolle spielt, jedoch sind einige der Elektronen, die aus dem Strahlerstift austreten, fast so schnell wie das Licht. Und bei diesen hohen Geschwindigkeiten nimmt die Masse der Elektronen zu (dies ist eine vielfach experimentell überprüfte Aussage der Relativitätstheorie). Dieser Effekt führt dazu, dass schnelle Elektronen sich noch schwerer von dem Magnetfeld beeinflussen lassen als das „nur“ aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit ohnehin schon der Fall wäre.

Diskutieren Sie in Ihrer Gruppe diese Zusammenhänge bevor Sie mit der eigentlichen Messung (s. nächster bzw. übernächster Punkt) beginnen. Fragen Sie bei Unklarheiten noch einmal Ihren Betreuer.

Mit den danach klar gewordenen Prinzipien der Vorgänge im Magnetfeld ist es relativ einfach zu verstehen, dass man bei Kenntnis des Ablenkwinkels (oder mit anderen Worten: des Bahnradius, denn größere Ablenkwinkel entsprechen kleineren Flugbahnradien) und der Magnetfeldstärke die Geschwindigkeit der Elektronen berechnen kann.
Die Formelzusammenhänge sind dabei relativ kompliziert und die entsprechenden Berechnungen werden im Versuch vom Computer durchgeführt. Sie müssen nur die erforderlichen Daten eingaben.
Näheres zu den Formelzusammenhängen finden Sie bei Interesse im Hintergrundwissen dieser Anleitung.

V.7. Inbetriebnahme des Elektromagneten

☞ **Achtung! Die Einstellung des Spulenstroms mit dem Netzgerät ist sehr sorgfältig vorzunehmen, da die Spule durch zu hohe Ströme zerstört werden kann!**

☞ Die Einstellungen sollen in folgender Reihenfolge vorgenommen werden:

- Sicher stellen, dass das Gerät ausgeschaltet ist (Power „0“)
- Den Drehregler „Voltage“ ganz nach links gegen den Uhrzeigersinn bis zum Anschlag drehen.
- Der Drehregler „Current“ ist so voreingestellt, dass die Stromstärke den Maximalwert von 1,3 A nicht übersteigen kann. **Dieser Regler darf auf keinen Fall verstellt werden!**
- Gerät einschalten (Power „I“)
- Mit dem Regler **„Voltage“** die Spannung unter ständiger Kontrolle der Stromstärke (rechte Digitalanzeige) langsam erhöhen und möglichst genau den Spulenstrom 1,3 A einstellen.

V.8. Messung der Elektronenenergien

Nun beginnt die eigentliche Messung, nämlich die Bestimmung der Energien der β-Teilchen, die aus der Quelle emittiert werden. Wie in der Simulation erläutert wurde, wirkt auf die β-Teilchen im Magnetfeld die Lorentzkraft, so dass es für jede Geschwindigkeit (und damit verbunden auch für jede β-Energie, denn diese hängt mit der Geschwindigkeit zusammen) einen bestimmten Winkel α gibt, unter dem die Teilchen abgelenkt und im Zählrohr registriert werden. Dementsprechend gibt es, wenn man einen bestimmten Ablenkwinkel α fest vorgibt, für jede β-Energie eine bestimmte magnetische Flussdichte B, bei der die Teilchen in das Zählrohr fallen. Dieses Messprinzip soll im Folgenden angewendet werden.

☞ Messen Sie nun bei α = 35° die Impulsraten N_b in Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte B. Beginnen Sie mit der Stromstärke I=1,3 A (entsprechend 197,9 mT) und reduzieren Sie die Stromstärke in 0,1-A-Schritten gemäß der Tabelle der magnetischen Flussdichte (s.oben). Wählen Sie eine Messzeit von 100 Sekunden.

☞ Tragen Sie die Messergebnisse in eine EXCEL-Tabelle ein, die gleichzeitig aus dem eingestellten Strom und der magnetischen Flussdichte die kinetische Energie der β-Teilchen nach den im „Hintergrundwissen“ gegebenen Gleichungen berechnet. Eine solche EXCEL-Tabelle finden Sie unter dem Namen „Beta_Berechnung“ in den Unterlagen zu diesem Experiment (s.u.) und im Verzeichnis „AAA Experimente“ auf Ihrem PC. Die gelb gefärbten Felder sind Eingabefelder, die rosa gefärbten enthalten Überschriften. Die blauen Felder enthalten Konstanten und Formeln und sollten keinesfalls geändert werden.

☞ Eingetragen werden: Stromstärke I, Magnetische Flussdichte B (Achtung: Einfach abschreiben aus der Tabelle auf Seite 8), sowie die Zählrate N_b nach Abzug der Nullrate. **Beachten Sie, dass das vorliegende Excel – Programm auf angelsächsische Schreibweise eingestellt ist, d.h. statt eines Kommas muss bei Zahlenangaben grundsätzlich ein Punkt benutzt werden.**

EXCEL-Berechnungsblatt für Beta-Spektrometer							
Alpha=	35	a/m =	0.03		e/m/C/kg=	1.8E+11	
I	B	r	w	v	v/c	Ekin	Nb
Ampere	T	m		m/s		keV	
1.3	0.1979	0.0523	1.82E+09	2.96E+08	0.98671	2633.32	
		0.0523	0	0	0	0	
		0.0523	0	0	0	0	
		0.0523	0	0	0	0	

V.9. Auswertung der Messungen

☞ Stellen Sie auf mm-Papier oder mit Hilfe von EXCEL den Verlauf von N_b in Abhängigkeit von E_{kin} graphisch dar und zeichnen Sie auch σ als Messfehler mit ein. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit den Angaben für das ^{90}Sr-Präparat

☞ Stellen Sie ebenso N_b in Abhängigkeit von v/c graphisch dar und interpretieren Sie das Ergebnis.

V.10. Zusätzlicher Hinweis (für interessierte Schüler/innen)

Dass Ihnen zur Verfügung gestellte Excel – Arbeitsblatt berechnet die Energien der Beta – Teilchen, die bei einem bestimmten Spulenstrom in Ihren Zähler fallen. Gleichzeitig wird die Geschwindigkeit der Teilchen berechnet. Normalerweise geht man stets davon aus, dass zwischen der Energie und der Geschwindigkeit der Teilchen der bekannte Zusammenhang:

$$E_{kin} = \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

besteht (mit m als Masse der Teilchen, in diesem Fall der Beta – Elektronen).
Rechnen Sie für die Energien, die Ihnen Excel geliefert hat, mit dieser Formel und mit Hilfe eines Taschenrechners nach, welche Werte Sie im Vergleich zu Excel herausbekommen.

Dabei fällt auf, dass die Werte, die Sie mit dem Taschenrechner erhalten, bei kleinen Geschwindigkeiten zumindest ungefähr mit denen übereinstimmen, die Ihnen das Excel - Arbeitsblatt geliefert hat. Bei höheren Geschwindigkeiten der Betateilchen weichen die Ergebnisse, die auf diesen beiden Wegen gewonnen werden, aber mehr und mehr voneinander ab und stimmen bei sehr hohen Geschwindigkeiten überhaupt nicht mehr überein.
Überlegen Sie, welchen Grund das haben könnte. Sprechen Sie den Betreuer auf die Problematik an.

<u>Hier sind einige Hilfen für die Auswertung zusammengestellt:</u>

Folgende Zahlenwerte und Formeln sind zu verwenden:

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C$$

$$m_0 = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,kg$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Hintergrundwissen

H.1. β-Zerfall und β-Strahlung

Der β^--Zerfall[1] ist eine radioaktive Zerfallsart, bei der Elektronen aus dem Atomkern emittiert werden. Diese Elektronen nennt man β-Strahlung. Sie entsteht durch Zerfall eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron. Das Proton verbleibt im Kern, das Elektron wird emittiert. Aus diesem Grund besitzt der Tochterkern eines β-Strahlers die gleiche Massenzahl A und eine um 1 höhere Ordnungszahl (Kernladungszahl) Z als der Mutterkern.

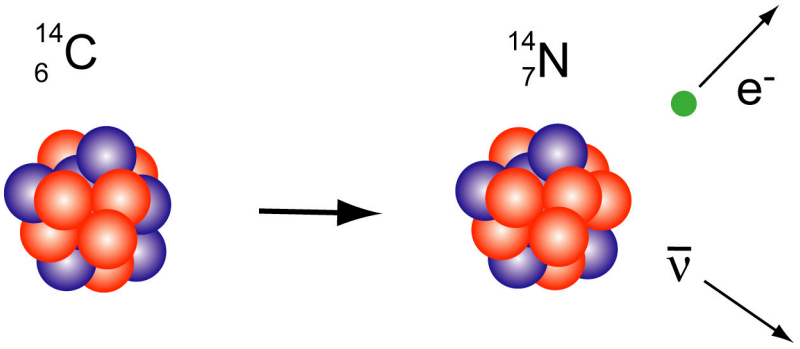
Beim β^--Zerfall wird außerdem noch ein weiteres Teilchen ausgesandt: das Antineutrino $\bar{\nu}$. Antineutrinos besitzen fast keine Masse und haben auch keine Ladung (sind elektrisch neutral). Deshalb übt es nur kleine Wechselwirkungen mit der durchstrahlten Materie aus, woraus sich eine Reichweite von mehreren Lichtjahren ergibt. Aufgrund dieser Eigenschaften sind Antineutrinos außerordentlich schwer nachweisbar. Der Nachweis des Antineutrinos gelang erst 1957 – 27 Jahre nachdem Wolfgang Pauli das Teilchen postuliert hat.

Der β^--Zerfall wird durch eine allgemeine Reaktionsgleichung beschrieben:

$$ {}^{A}_{Z}\text{Mutterkern} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\text{Tochterkern} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu} $$

Das folgende Bild zeigt eine solche Kernumwandlung am Beispiel eines Kohlenstoff-14-Nuklids, das durch Betazerfall in Stickstoff-14 umgewandelt wird. Dabei werden ein Elektron und ein Antineutrino frei. Die Reaktionsgleichung lautet:

$$ {}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu} $$

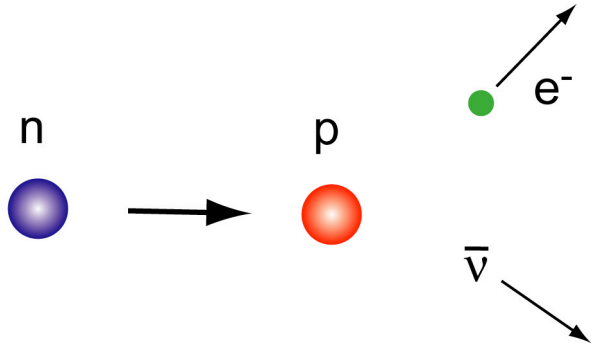


[1] Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass man zwischen β^--Zerfall und β^+-Zerfall unterscheidet. Hier wird nur der β^--Zerfall behandelt.

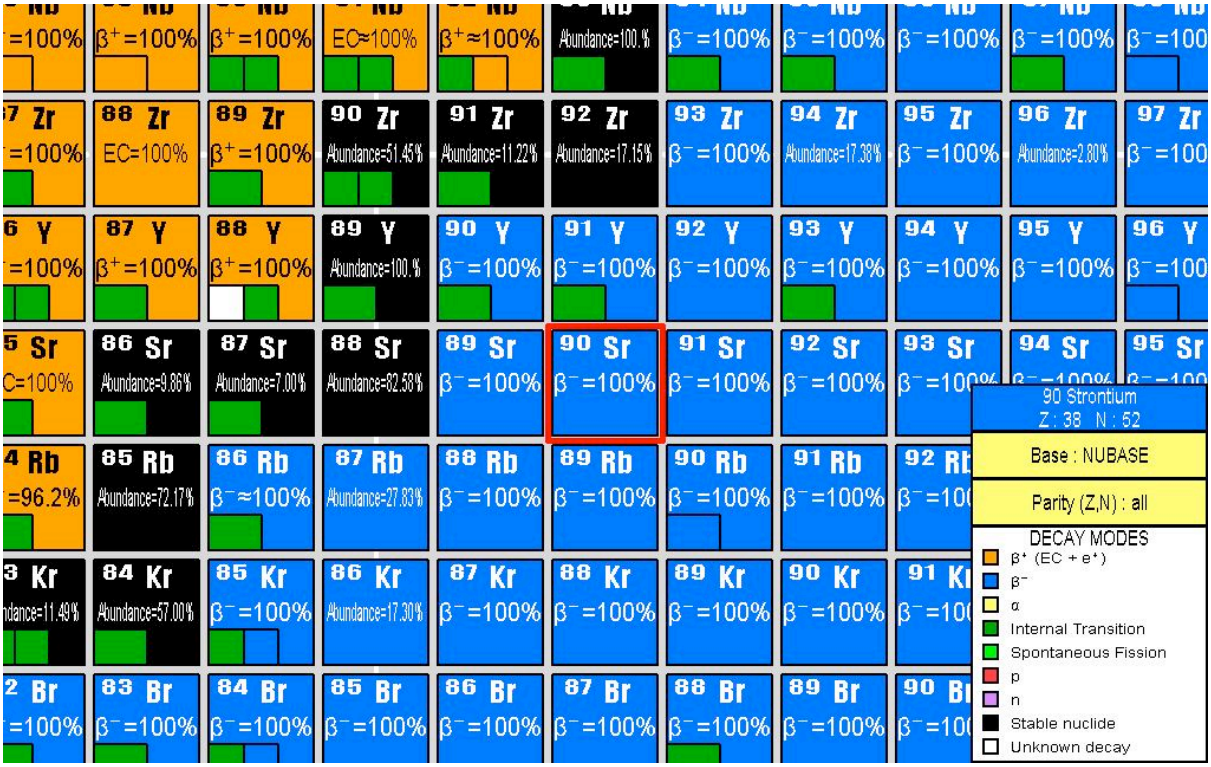
Die Reaktionsgleichung des β^--Zerfalls eines freien Neutrons ist:

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{p} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\bar{\nu} $$

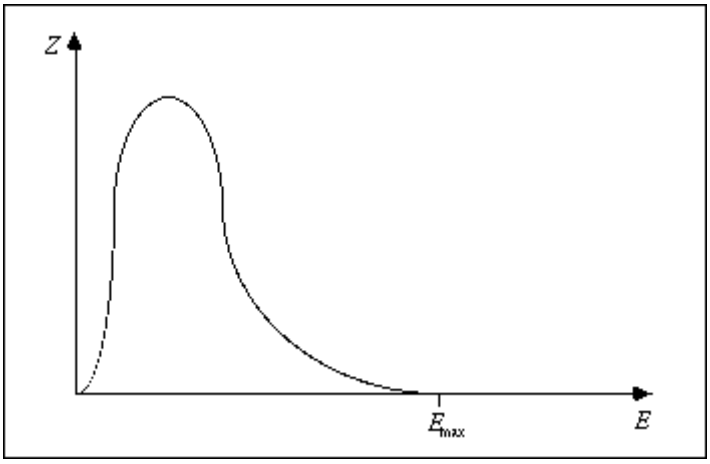
Dieser Zerfall ist in der nächsten Abbildung dargestellt:



Das nächste Bild zeigt einen Ausschnitt aus der Nuklidkarte: In der Nuklidkarte sind alle bekannten Isotope der chemischen Elemente eingeordnet. Die Anzahl der Protonen im Kern (Kernladungszahl) Z ist senkrecht und die Anzahl der Neutronen im Kern N waagerecht aufgetragen, somit liegen die Isotope eines Elements auf einer waagrechten Gerade. Die Farbe gibt die Zerfallsart des Kerns an. Dabei bedeuten blau dargestellte Nuklide einen Betaminus-Zerfall, rote einen Betaplus-Zerfall und gelbe einen Alphazerfall. Die stabilen Kerne sind schwarz. In den Kästchen steht das Element-Symbol und davor befindet sich die Massenzahl des Elements.



Wie bei allen Prozessen in der Physik muss auch beim β^--Zerfall die Energie erhalten bleiben. Dabei hat man in Experimenten festgestellt, das die Energie bzw. die Geschwindigkeit der austretenden Elektronen zwischen fast Null und einer maximalen Energie E_{max} variieren kann. Man nennt die Verteilung der Energie bzw. der Geschwindigkeiten der Elektronen kurz das "β-Spektrum".



Die Energiebilanz für den β^--Zerfall ist:

$$E_{\text{Mutterkern}} = E_{\text{Tochterkern}} + E_{e-} + E_{\bar{\nu}}$$

und damit

$$E_{\text{Mutterkern}} - E_{\text{Tochterkern}} = E_{e-} + E_{\bar{\nu}}$$

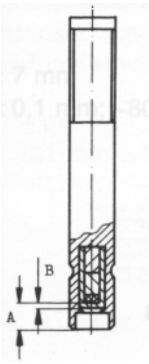
Dabei ist die Summe der Energien von Elektron und Antineutrino konstant:

$$E_{e-} + E_{\bar{\nu}} = const.$$

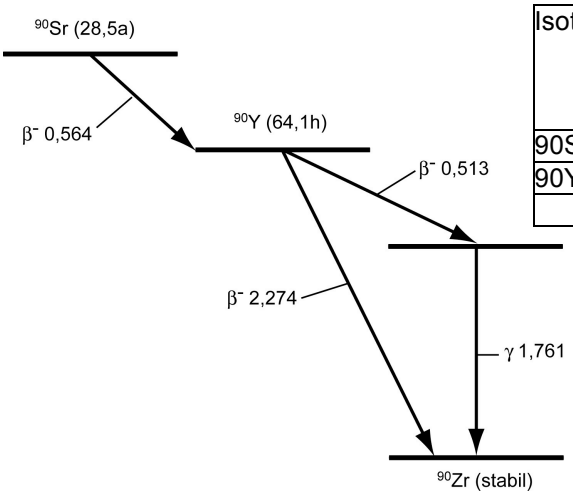
und für das Elektron gilt

$$0 \leq E_e \leq E_{max}$$

H.2. Das ^{90}Sr-Präparat



Das radioaktiven Strontium ist in die Vertiefung eines Strahlerhalters aus Aluminium eingebettet, der 85 mm lang ist und einen Durchmesser von 12 mm hat. Das Maß A gibt die Lage der Aktivität, bezogen auf die Vorderkante des Halters, an. B nennt die Dicke der Wandung, welche die Strahlung durchdringen muss.
Das Strontium-90 ist in eine Silberfolie eingewalzt und dadurch mit ca. 50 μm Silber abgedeckt. Diese Folie ist zusätzlich in dem Strahlerhalter mit einer Edelstahlfolie B geschützt (B : 0,1 mm; -130 mg/cm^2 , A*: 4 mm)
Die energiearmen β-Teilchen des Strontium-90 werden in den beiden Abdeckschichten total absorbiert, so dass nur die energiereichen β-Teilchen des Tochternuklids Yttrium-90 austreten.



Isotop	Halb-werts-zeit	β-Energie [MeV]	Übergangs-wahrschein-lichkeit %	γ-Energie [MeV]
90Sr	28,5a	0,546	100,00	
90Y	64,1h	2,274	99,98	
		0,513	0,02	1,761

Reaktionsgleichungen:

$$^{90}_{38}Sr \rightarrow ^{90}_{39}Y + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

$$^{90}_{39}Y \rightarrow ^{90}_{40}Zr + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

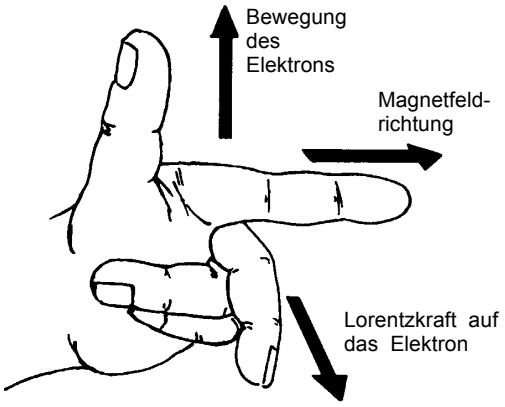
Sicherheitshinweis

Die im Praktikum verwendeten radioaktiven Stoffe sind nach der Strahlenschutzverordnung für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:
Das radioaktive Präparat wird erst nach der Inbetriebnahme des Zählrohres und der Messung der Nullrate vom Betreuer in das Kollimatorrohr eingebracht.
Zur Gewährleistung einer möglichst geringen Exposition verbleibt das Präparat während der Durchführung des gesamten Experiments im Kollimatorrohr.
Beim Experimentieren sollte auf Einhaltung eines möglichst großen Abstandes von dem Präparat geachtet werden.
Das Präparat ist vor dem Zugriff Unbefugter zu schützen.

H.3. Ablenkung von β-Teilchen im Magnetfeld

Das Energie-Spektrum und das Geschwindigkeits-Spektrum der β-Teilchen kann man mit Hilfe einer quantitativen Untersuchung der Ablenkung von β-Strahlen im Magnetfeld bestimmen.

Bewegt sich ein Elektron, durch ein Magnetfeld, erfährt es eine Kraft senkrecht zu Bewegungs- und Magnetfeldrichtung, die so genannte **Lorentzkraft**. Unter dem Einfluss der Lorentzkraft beschreiben die Elektronen innerhalb eines homogenen Magnetfeldes eine Kreisbahn. Die Richtung dieser Kraft kann man leicht mit der **Dreifingerregel der linken Hand** ermitteln (siehe Abbildung).



Die Stärke der Lorentzkraft lässt sich aus der Elektronenladung e, der Elektronengeschwindigkeit v und der Stärke der magnetischen Flussdichte B berechnen, wenn die Elektronenbewegung so wie im Praktikumsversuch senkrecht zur Magnetfeldrichtung verläuft:

$$F_{Lorenz} = e \cdot v \cdot B$$

Um die Geschwindigkeit der Elektronen aus den Radien der Elektronenbahnen berechnen zu können, setzt man die Lorentz-Kraft gleich der Zentralkraft der zugeordneten Kreisbahn:

$$F_{Lorenz} = F_Z$$

$$e \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

durch Umformung erhält man:

$$v = \frac{e}{m} \cdot B \cdot r \qquad \textbf{(1)}$$

An der Gleichung (1) erkennt man, dass die Geschwindigkeit der Elektronen proportional zu dem Magnetfeld der Flussdichte ist (Einheit der Flussdichte: [B] = 1 N/A·m = 1 Vs/m^2 = 1 Tesla).

Auf Grund der hohen Geschwindigkeiten der Elektronen (v > 0,1 c) muss man für die Bestimmung der Masse den relativistischen Ansatz benutzen.[2] Es gilt

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{, } m_0 \text{ ist die sogenannte „Ruhemasse“} \qquad \textbf{(2)}$$

[2] Informieren Sie sich in Ihrem Physikbuch über die Relativierung physikalischer Größen für den Fall hoher Geschwindigkeiten v ->c.

Setzt man nun Gleichung (2) in (1) ein folgt für die Geschwindigkeit der β-Strahlen

$$v = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

und mit der Vereinfachung

$$w = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r$$

erhält man

$$v = w \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \textbf{(3)}$$

Daraus folgt für die Geschwindigkeit der Elektronen:

$$v = \frac{c \cdot w}{\sqrt{c^2 + w^2}} \qquad \textbf{(4)}$$

Für den Energiezuwachs E_{kin}, den die β-Teilchen gegenüber ihrer Ruheenergie erfahren, gilt die Formel:

$$E = E_{kin} + E_0$$

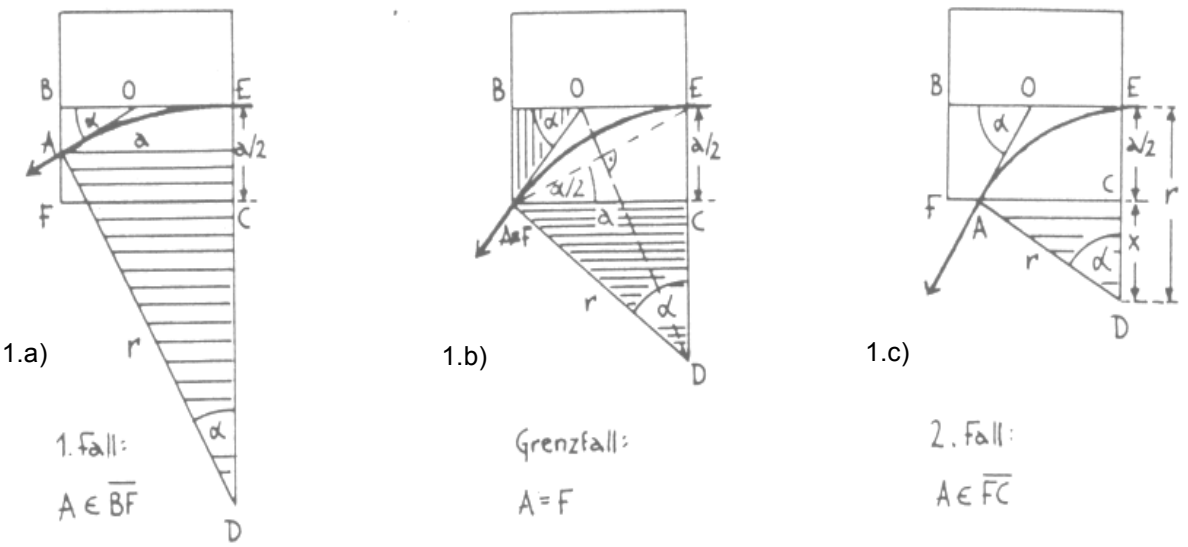
$$E_{kin} = (m - m_0)c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \qquad \textbf{(5)}$$

In dieser Gleichung ist die Einheit der Energie 1 Joule. In der Atom- und Kernphysik gibt man aber die Energien üblicherweise in eV („Elektronenvolt“) an. Es gilt 1 J = 0,624 x 10^{19} eV.

In der Versuchsanordnung wird nicht der Krümmungsradius r, sondern der Ablenkwinkel α gemessen. Daher muss r durch α eindeutig bestimmbar sein, wobei man zwei Fälle unterscheiden muss:

1. Fall: $0 \le \tan\frac{\alpha}{2} \le \frac{1}{2}$ 2. Fall: $\tan\frac{\alpha}{2} > \frac{1}{2}$

Es seien a = 3 cm die Kantenlänge der quadratischen Polschuhe, zwischen denen das homogene Feld liegt, α der Ablenkwinkel und r der Kreisbahnradius der Elektronen. Dann gelten für die beiden Fälle die folgenden Zeichnungen:



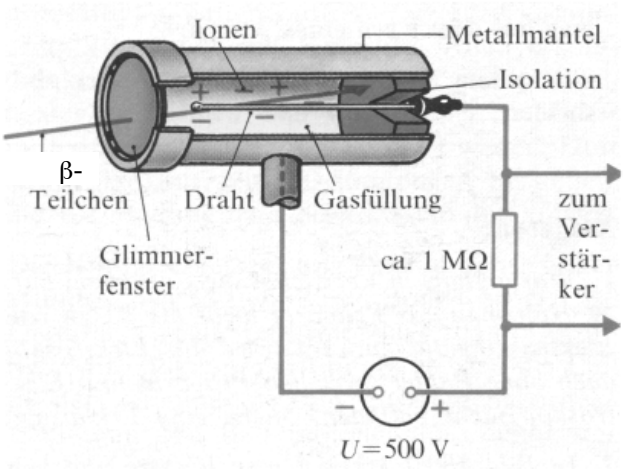
Für den Grenzfall A = F folgt (die Seitenlänge des Quadrats beträgt im Experiment a = 3 cm):

$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}$ mit α = 53,13° Damit gilt für r als Funktion von α:

1. Fall: $r = \frac{a}{\sin\alpha}$ für $\alpha \leq 53^\circ$ 2. Fall: $r = \frac{a}{2\cdot(1-\cos\alpha)}$) für $\alpha > 53^\circ$

☞ Für die Berechnung der Elektronengeschwindigkeit nach Gleichung (4) bzw. der Elektronenenergie nach Gleichung (5) wird am Labortag ein EXCEL-Rechenblatt zur Verfügung gestellt.

H.4. Nachweis von β-Strahlen mit einem Geiger-Müller-Zählrohr



Ein häufig verwendetes Nachweisgerät für radioaktive Strahlung ist das Geiger-Müller-Zählrohr. Es registriert einzelne schnelle Teilchen (z.B. α- oder β-Strahlen), die eine ionisierende Wirkung haben. Im Zählrohr ist ein Draht gegen das Gehäuse isoliert gehaltert. Er wird über einen Widerstand mit dem positiven Pol einer Spannungsquelle (300 bis 500 V) verbunden. Der negative Pol der Quelle liegt am Metallgehäuse. Im Rohr befindet sich ein Edelgas unter einem Druck von etwa 40 mbar. Durch das extrem dünne Abschlussfenster aus Glimmer (etwa 1/100 mm dick) können die schnellen Teilchen ins Innere fliegen. Ein in das Rohr eingetretenes ionisierendes Teilchen setzt dort aus den Hüllen der durchflogenen Gasatome Elektronen frei. Deren Zahl genügt nicht, um einen Stromstoß zu registrieren. Man wählt deshalb die Spannung U so hoch, dass die freigesetzten Elektronen zum positiv geladenen Draht stark beschleunigt werden. Bevor sie dort ankommen, erhalten sie so viel Energie, dass sie durch Stoß weitere Ionen und Elektronen freisetzen, die ihrerseits wieder ionisieren können. So steigert sich unterwegs die Zahl der ionisierten Teilchen in einer Kettenreaktion schlagartig: Das Gas im Zählrohr wird wie in einer Glimmlampe leitend. Dies führt zu einem sehr kurzen Stromstoß 1 durch den Widerstand R. Dabei tritt an R kurzzeitig die Teilspannung I·R auf; die Teilspannung $U_z = U - I \cdot R$ am Zählrohr sinkt deshalb so weit ab, dass dort die Kettenreaktion abbricht und das Gas wieder ein Isolator wird. Das Zählrohr ist dann für das nächste Teilchen bereit. So erzeugt jedes einzelne im Zählrohr ankommende Teilchen einen Stromstoß durch R.

Der am Widerstand R auftretende Spannungsstoß wird über einen Verstärker einem elektronischen Zählwerk und einem Lautsprecher zugeführt. Im Lautsprecher macht sich der Zählvorgang als knackendes Geräusch bemerkbar. Natürlich „hört" man nicht die einzelnen Teilchen, sondern die von ihnen im Zählrohr hervorgerufenen und dann verstärkten Stromstöße. Die Zahl dieser Stöße - oder wie man auch sagt, der Impulse in einer bestimmten Zeit, z. B. einer Sekunde, nennt man Zählrate.

C:\GSI-Projekt\GSI_SL_original\Anleitungen Stand November\Anleitung_4.doc

Erstelldatum 25.11.2005 08:36

Zuletzt gespeichert von Gruppe

Zuletzt gedruckt 03.07.12 13:45

Lessing

Zuletzt gespeichert 28.11.2005 18:26