

K10 Abschwächung von γ-Strahlung	
Name:	Matrikelnummer:
Fachrichtung:	Versuchsdatum:
Mitarbeiter/in:	Gruppennummer:
Assistent/in:	Endtestat:

Dieser Fragebogen muss von jedem Teilnehmer **eigenständig** (keine Gruppenlösung!) handschriftlich beantwortet und vor Beginn des Versuchs abgegeben werden. Die Vorbereitung wird zusätzlich durch einen Test bzw. eine mündliche Prüfung über die physikalischen Grundlagen des Versuchs kontrolliert.
(Version: 16. Oktober 2021)

Versuchsziel und Versuchsmethode:

1.) Skizzieren Sie den schematischen Aufbau von Atom und Atomkern. Welche Kräfte wirken?

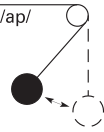
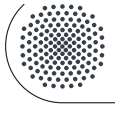
2.) Was versteht man unter einem Isotop? Geben Sie Anzahl und Art der Teilchen in einem Atom des Cobalt-Isotops ^{60}Co an.

3.) Geben Sie das Zerfallsgesetz für radioaktive Kerne an. Was versteht man unter der Halbwertszeit?

4.) Nennen und erläutern Sie die drei Strahlenarten, die bei der natürlichen Radioaktivität beobachtet werden.

5.) Notieren und erklären Sie das Absorptionsgesetz für γ -Strahlung

6.) Erklären Sie die Arbeitsweise eines zylindrischen Gasionisationsdetektors. Skizzieren Sie den Aufbau und das elektrische Feld eines solchen Detektors. Wie unterscheiden sich Geiger-Müller-Zähler und Ionisationskammer?



K Kernphysik

K10 Abschwächung von γ -Strahlung

Diese Anleitung kann und soll kein Lehrbuch ersetzen. Die beschriebenen Grundlagen stellen einen kurzen Überblick dar und sind daher zum Erlernen der physikalischen Grundlagen nicht ausreichend. Genauere Beschreibungen finden sich in:

- [1] BRÖCKER, B.: *Dtv-Atlas zur Atomphysik: Tafeln u. Texte*. Dt. Taschenbuch-Verl., 1976
- [2] *Kapitel Kerne und Elementarteilchen*. In: MESCHÉDE, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, 2010. – E-Book
- [3] *Kapitel Instabile Kerne, Radioaktivität*. In: DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. – E-Book
- [4] *Kapitel Kernzerfälle-Radioaktivität*. In: BETHGE, Klaus: *Kernphysik: Eine Einführung*. Springer Berlin Heidelberg, 2008. – E-Book
- [5] *Kapitel Experimentelle Techniken und Geräte in Kern- und Hochenergiephysik*. In: DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. – E-Book
- [6] *Kapitel Aufbau der Atomkerne*. In: DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. – E-Book

Stichworte

Natürliche Radioaktivität [3], Strahlungsarten [3], Isotope [2], Halbwertszeit [4], Lebensdauer [4], Zerfallsreihen anhand der Nuklidkarte [3], Wechselwirkung von Strahlung mit Materie [2, 3], Absorption von Strahlung [2], Zählrohre [2], Ionisationskammer [2, 5], Proportionalzählrohr [5], Gasentladungszählrohre (Geiger-Müller-Zählrohr) [5], Zählrohrcharakteristik des Geiger-Müller-Zählers [5], statistische Schwankungen [2], Strahlenschutz [2].

Grundlagen

Atome, deren Atomkerne spontan Strahlung aussenden, ohne dass ihnen von außen Energie zugeführt wird, werden als radioaktiv bezeichnet [3]. Bei der natürlichen Radioaktivität treten dabei drei Strahlungsarten auf:

1. elektromagnetische Wellen (γ -Strahlen mit diskreter Energie)
2. Elektronen (β^- -Strahlen mit kontinuierlichen Energiespektren, Neutrinos!)

3. zweifach positiv geladene Heliumkerne (α -Strahlen mit charakteristischen Energien)

Bei künstlich erzeugten Isotopen kommt im wesentlichen noch Positronenstrahlung (β^+) dazu.

Der radioaktive Zerfall ist ein rein statistischer Vorgang: Die zeitliche Abnahme $-dn/dt$, auch Zerfallsrate genannt, ist der Zahl $n(t)$ der vorhandenen Atomkerne proportional:

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda n \quad (\text{K10-1})$$

Der Proportionalitätsfaktor λ heißt Zerfallskonstante, dessen Kehrwert τ die (mittlere) Lebensdauer. Die Integration dieser Gleichung ergibt die Zahl n der zur Zeit t noch nicht zerfallenen Kerne [6]

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{K10-2})$$

n_0 ist hier die Zahl der Kerne zur Zeit $t_0 = 0$.

Zwischen der in Gl. K10-2 enthaltenen Zerfallskonstanten λ und der Halbwertszeit $T_{1/2}$, nach der die Zahl n_0 der anfangs vorhandenen Kerne durch Zerfall auf die Hälfte abgenommen hat, besteht folgender Zusammenhang:

$$\frac{n_0}{2} = n_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (\text{K10-3})$$

$$\Leftrightarrow \lambda T_{1/2} = \ln 2 = 0,693$$

$$\Leftrightarrow T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (\text{K10-4})$$

Als Aktivität bezeichnet man das Produkt $A = -dn/dt = \lambda \cdot n$, d.h. die Zahl der Zerfälle dn im Zeitintervall dt . A wurde früher in Curie (Ci) gemessen. Nach dem SI-System darf nur noch die Einheit Becquerel ($1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$) verwendet werden. Es gilt $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

Beachten Sie, dass n in Gl. (K10-2) die Zahl der noch nicht zerfallenen Kerne ist, wogegen die Messgröße die Zahl der Zerfallsprozesse $n_z = n_0 - n$ in einem Zeitintervall ist!

Nachweis der Strahlung

Die beim radioaktiven Zerfall der Atomkerne emittierten Teilchen haben im allgemeinen eine sehr große kinetische Energie. Durchlaufen diese Teilchen nun Materie, so werden deren Atome und Moleküle ionisiert und die Strahlungsteilchen verlieren kinetische Energie. Dieses Ionisationsvermögen wird zum Strahlungsnachweis verwendet. Bei einer Ionisationskammer z.B. lässt man die Strahlung in das elektrische Feld eines Luftkondensators eintreten und misst den durch die erzeugten positiven und negativen Ladungsträger verursachten Entladungsstrom, beispielsweise mit Hilfe eines Stromverstärkers. α - und β -Teilchen ionisieren das Gas direkt. Gammaquanten werden über die Entstehung von schnellen Elektronen im Kathodenmaterial oder im Gas infolge von Compton-Effekt, Photoeffekt oder Paarbildung nachgewiesen (indirekte Ionisation). Auf diesem relativ einfachen Prinzip beruhen nahezu alle in der Praxis verwendeten Zähl- und Nachweiseinrichtungen für Strahlung. Die einzelnen Systeme können sich jedoch — was Form und Stärke

des elektrischen Feldes sowie die Art des Füllgases anbetrifft — noch in mannigfaltiger Weise unterscheiden. Details zum Nachweis radioaktiver Strahlung ist beispielsweise [5] zu entnehmen.

Schwächungskoeffizient und Halbwertsdicke eines Materials für γ -Strahlung

Beim Durchgang durch Materie verursachen γ -Strahlen Ionisierung und werden dabei entweder gestreut (Comptoneffekt) oder vernichtet (Photoeffekt und Paarbildung). Diese Absorption der Strahlung lässt sich durch einen Schwächungskoeffizienten α oder anschaulicher durch eine Halbwertsdicke $x_{1/2}$ charakterisieren. $x_{1/2}$ gibt die Dicke an, die eine bestimmte Substanz besitzen muss, um die Intensität der Strahlung auf die Hälfte herabzusetzen. Für die Absorption von γ -Strahlen gilt

$$Z = Z_0 e^{-\alpha x} \quad (\text{K10-5})$$

α : Schwächungskoeffizient

Z : Zahl der vom Zerfall herrührenden Impulse pro Zeiteinheit (Zählrate), nachdem die Strahlung einen Abschwächer der Dicke x durchlaufen hat

Z_0 : Zählrate ohne Abschwächung

Daraus folgt:

$$\ln Z = \text{const} - \alpha x \quad (\text{K10-6})$$

Die Halbwertsdicke ist

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\alpha} \quad (\text{K10-7})$$

Bei der experimentellen Bestimmung von α und $x_{1/2}$ wird man also unter Berücksichtigung des Nulleffektes die gemessene Zählrate über der Substanzdicke logarithmisch auftragen. Dabei lassen sich die Messpunkte durch eine Gerade annähern, deren Steigung ein Maß für den Schwächungskoeffizienten darstellt. Mit seiner Hilfe kann aus Gl. (K10-7) unmittelbar die Halbwertsdicke bestimmt werden.

Der Schwächungskoeffizient für γ -Strahlen hängt von verschiedenen Materialeigenschaften ab, u.a. von der Dichte eines Stoffs und der Ordnungszahl (Kernladungszahl) der darin vorkommenden Elemente. Vergleichen Sie diesbezüglich Ihre Ergebnisse für Aluminium und Blei.

Nullrate

Atomare Zerfallsprozesse in der Erde und im Weltall führen zur natürlichen Hintergrundstrahlung, der wir permanent ausgesetzt sind. Deren Intensität wird mit der sog. Nullrate charakterisiert, die eine Zählleinrichtung auch **ohne** zusätzliche Strahlenquelle detektiert

- daher die Bezeichnung **Nullrate**. Beim Experimentieren mit radioaktiven Quellen ist daher stets zu berücksichtigen, dass neben der Strahlung eines Präparats auch immer die Hintergrundstrahlung mitgemessen wird. Diese wird deshalb in einem separaten Messvorgang ermittelt und - da sie zeitlich konstant ist - von der gemessenen Gesamtrate abgezogen.

Messprogramm

Sie arbeiten mit radioaktiven Substanzen! Beachten Sie daher genau die folgenden Punkte im Interesse Ihrer Sicherheit:

- a) Achten Sie stets darauf, dass die Strahlung niemals auf eine Person gerichtet ist! Nach Beendigung der Messungen wird die Strahlöffnung mit der linken oder rechten Hälfte des Detektorblocks abgedeckt - dort ist die Bleiwand am dicksten!
- b) Fassen Sie die strahlenden Präparate auf keinen Fall an! Verwenden Sie die Zange, um die Aluminium- und Bleizylinder in den Strahlengang zu setzen.
- c) Blei ist ein giftiges Schwermetall. Besondere Gefahr geht von inkorporierbaren Bleistäuben und Blei-Lösungen aus, nicht jedoch von Hautkontakt mit massivem Blei. Verwenden Sie dennoch die bereitliegenden Schutzhandschuhe, wenn Sie die Bleiblöcke bewegen.
- d) Beginnen Sie den Versuch erst, wenn der Assistent den Aufbau überprüft hat.

Bestimmen Sie Schwächungskoeffizient und Halbwertsdicke von Aluminium und Blei für die γ -Strahlung eines ^{60}Co -Präparates.

1. Bestimmen Sie die Nullrate ohne Einstrahlung des Kobaltpräparats gemäß Abb. K10-1. Messen Sie dreimal 5 Minuten lang den Nulleffekt und berechnen Sie die mittlere Nullrate N (Impulse pro Minute).
2. Bestimmen Sie die Zählrate Z_i (Impulse pro Minute) in Abhängigkeit von der Dicke x der zwischen Zählrohr und Präparat eingefügten Aluminium- und Bleizylinder, setzen Sie die Metallzylinder dabei vor die Strahlöffnung. Messen Sie die Zählraten für jedes Metall mit möglichst vielen unterschiedlichen Schichtdicken (beginnend bei Null). Zählen Sie bei kleinen Dicken jeweils 2 Minuten lang, die letzten 4 Werte jedoch 5 Minuten lang.
3. Bestimmen Sie für jedes Material den Schwächungskoeffizienten α und die Halbwertsdicke $x_{1/2}$.
4. Die Aktivität des Kobaltpräparats zur Zeit der Herstellung ist vor Ort angegeben. Welche Aktivität (Angabe in Bq) besitzt es heute? Informieren Sie sich über die genaue Halbwertszeit anhand der Nuklidkarte im Praktikumsraum. **Nur Physiker:** Schätzen Sie mittels geometrischer Überlegungen die erwartete Zählrate ab und schließen Sie hieraus auf die Effizienz des verwendeten Detektors.

Hinweise

- Nach dem Einschalten des Geräts wird die Zählrohrspannung vom Assistenten auf 500 V eingestellt. Nicht mehr ändern!
- Zur Vorbereitung der Messung wird das Gerät auf die Messung der Impulszahl in 60 Sekunden-Intervallen eingestellt. Dazu wird mit der RATE-Taste das GATE auf 60 Sekunden gestellt. In dieser Einstellung speichert das Gerät jede Minute den entsprechenden Messwert in einem internen Speicher. Durch Drücken der Taste N wird die Messung der Impulszahl eingestellt. Die Anzahl der gespeicherten Messwerte kann in der unteren Anzeige abgelesen werden. Ist die vorgegebene Messdauer (5 bzw. 2 Minuten) erreicht, so kann die Messung gestoppt werden. Danach werden die gespeicherten Messwerte einzeln ausgelesen (Taste < bzw. >), aufgeschrieben und der Messwertspeicher durch wiederholtes Drücken der Taste CLEAR komplett gelöscht.
- Stellen Sie zur Bestimmung der Nullrate den Bleiblock mit dem radioaktiven Präparat in mind. 20 cm Abstand seitlich neben den Block mit dem Zählrohr und richten Sie die Strahlöffnung und die Detektoröffnung zur Wand. Stellen Sie alle Bleizylinder zur Abschirmung vor die Strahlöffnung. In dieser Anordnung ist die Einwirkung des Kobalt-Strahlers auf das Zählrohr vernachlässigbar klein.
- Positionieren zur Zählratenbestimmung den Strahler im Abstand von 20 cm (lange Holzbank) vor das Zählrohr und richten Sie die Öffnungen genau aufeinander aus.
- Die Höhe der Aluminiumzylinder beträgt 25 mm (1 Stück) bzw. 50 mm (3 Stück), die der Bleizylinder 5 mm (1 Stück) bzw. 10 mm (5 Stück).
- Die Zahl der Zerfälle n_Z , die man in einem festen Zeitintervall t beobachtet, ist um den Mittelwert Poisson-verteilt, der Fehler muss daher entsprechend berechnet werden. Berücksichtigen Sie, dass sowohl die Zählrate, als auch die Nullrate fehlerbehaftet sind.



Abb. K10-1: Anordnung zur Bestimmung der Nullrate