

# RADIOAKTIVER ZERFALL

Die Tatsache, dass Atomkerne *radioaktive Strahlung* aussenden können, ist schon seit 1896 (Becquerel) bekannt. Diese „Strahlung“ besteht z.B. aus  $\alpha$ -Teilchen (Heliumkerne),  $\beta^+$ - oder  $\beta^-$ -Teilchen (Positronen oder Elektronen) oder  $\gamma$ -Quanten (hochenergetische elektromagnetische Strahlung). Sie wurde an natürlichen radioaktiven Substanzen wie Uran und Radium entdeckt, die zu den schwersten bekannten Elementen gehören. Heute erzeugt man künstlich eine grosse Zahl von leichteren radioaktiven Kernen bei Kernumwandlungen.

## THEORIE

Zwischen den Nukleonen wirken starke anziehende Kräfte sehr kurzer Reichweite (*starke Wechselwirkung*), welche den Kern trotz der abstossenden Coulomb-Kräfte der Protonen zusammenhalten. Trotzdem bilden nur bestimmte Kombinationen von Protonen- und Neutronenzahl einen stabilen Kern. Die beiden Zahlen sind etwa gleich gross, bei schweren Kernen überwiegt die Zahl der Neutronen leicht.

Ein *instabiles Isotop* eines Elementes zerfällt unter Emission von Strahlung entweder direkt oder über einige Zwischenkerne in einen stabilen Kern (normalerweise nicht mehr des gleichen Elements).

Die Zahl der Zerfälle pro Sekunde ist proportional zur Anzahl der aktiven Kerne:  $\Delta N = -\lambda N \Delta t$

Die *Zerfallskonstante*  $\lambda$  ist eine für den Zerfall charakteristische Grösse. Für kleine Zeitintervalle ist  $\lambda \Delta t$  die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern in diesem Zeitintervall zerfällt.

In gleichen Zeitintervallen ist also die relative Änderung der Zahl aktiver Kerne immer gleich gross. Dieses Verhalten ist charakteristisch für einen exponentiell abnehmenden Vorgang. In der Tat folgt aus für die Zahl aktiver Kerne zur Zeit  $t$ :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-t/T_{1/2}}$$

Die *Halbwertszeit*  $T_{1/2}$  des Zerfalls ist durch die Zerfallskonstante bestimmt:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Die Halbwertszeiten verschiedener radioaktiver Elemente umspannen einen Bereich von mehr als  $10^9$  Jahren bei natürlichen radioaktiven Isotopen bis zu Bruchteilen von Sekunden bei kurzlebigen Zerfallsprodukten.

Die *Aktivität*  $A$  einer Quelle gibt an, wie viele Zerfälle pro Sekunde stattfinden: 1 Zerfall/s = 1 Bq (Becquerel). Es gilt die Beziehung

$$A(t) = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| = \lambda N.$$

$[A] = 1 \text{ Zerfall pro Sekunde} = 1 \text{ Bq (Becquerel)}$

Häufig gibt man die Aktivität auch in der Einheit *Curie* (Ci) an:  $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

Da man nie weiss, zu welcher Zeit ein bestimmter Kern zerfallen wird, sondern nur eine Wahrscheinlichkeit dafür angeben kann, dass er es in der nächsten Sekunde tun wird, erhält man bei einer Messung der Aktivität einer radioaktiven Probe immer statistische Schwankungen (Diese haben nichts mit Messfehlern zu tun!).

Die *Wahrscheinlichkeit*, dass von  $N$  aktiven Kernen im Zeitintervall  $\Delta t$  genau  $x$  Kerne zerfallen, ist durch die *binomische Verteilung* gegeben:

$$P_N(x) = \binom{N}{x} p^x q^{N-x}$$

Dabei ist  $p = \lambda \Delta t$  die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern im Zeitintervall  $\Delta t$  zerfällt, und  $q = 1 - p$  die Gegenwahrscheinlichkeit.

Für schwache Quellen kann die binomische Verteilung durch die *Poissonverteilung* angenähert werden, unter bestimmten Umständen auch durch die *Normalverteilung* (vgl. "Formeln, Tabellen, Begriffe", S. 121 ff.).

Im letzten Fall ist die Standardabweichung gleich  $\sqrt{N}$ .

## VERSUCHE

**ZIELE:** Sie kennen und verstehen das Zerfallsgesetz und den Zufallscharakter des radioaktiven Zerfalls. Sie können mit einem Geiger-Müller-Zähler Aktivitäten messen.

### DEMO 1 Nachweis von radioaktiver Strahlung

**MATERIAL:**

- ▶ Wilson-Kammer
- ▶ Schautafel: Messung radioaktiver Strahlung

**BEOBACHTUNGEN:**

- A Beobachten und skizzieren Sie die Teilchenspuren in der Wilson-Kammer.
- B Studieren Sie die Schautafel und machen Sie Notizen dazu.

**AUFGABE:**

1. Erklären Sie, wie ein Geiger-Müller-Zählrohr funktioniert.
2. Beschreiben Sie eine zweite Methode zum Nachweis radioaktiver Strahlung.

### DEMO 2 Zerfallskurve von Radon 220

**MATERIAL:**

- ▶ Ionisationskammer
- ▶ Elektrometer
- ▶ Thoriumquelle zur Erzeugung von Radon 220

**MESSUNG:** Der Lehrer führt das Experiment vor. Eine Kopie der Messdaten für die Auswertung erhalten Sie als Logger Pro Datei.

**AUFGABEN:**

1. Schlagen Sie die Zerfallsreihe nach, welche von Thorium 232 zu Radon 220 und dessen Tochterkernen führt. Erklären Sie die verschiedenen Zerfälle.
2. Bestimmen Sie die Halbwertszeit von Radon 220 mit Hilfe des Zerfallsdiagramms. Vergleichen Sie Ihr Resultat mit dem Literaturwert.

### VERSUCH 1 Messung der radioaktiven Substanzmenge

**MATERIAL:**

- ▶ Radioaktive Quelle (Sr-90, Cs-137 oder Am-241 mit abnehmbarer Schutzkappe)
- ▶ Geiger-Müller-Zähler

**VORGEHEN:**

- A Messen Sie den Durchmesser des Zählrohrfensters. Platzieren Sie die Quelle ca. 20 cm vor dem Zählrohr.
- B Entfernen Sie die Schutzkappe von der Quelle und messen Sie dreimal die Zeit für 1'000 Ereignisse. Setzen Sie die Schutzkappe sofort wieder auf die Quelle.
- C Wiederholen Sie die Messung für einen Abstand von ca. 10 cm.

**AUFGABEN:**

1. Schlagen Sie die charakteristischen Grössen (Strahlungsart, Halbwertszeit, ...) für die von Ihnen verwendete Quelle nach.
2. Berechnen Sie die Aktivität der Quelle aus der gemessenen Zählrate und dem Durchmesser des Zählrohrfensters. Vergleichen Sie die Resultate der beiden Messungen und begründen Sie den Unterschied.
3. Berechnen Sie die Masse der aktiven Substanz in der Quelle. Ist die Masse in Wirklichkeit eher grösser oder kleiner als der berechnete Wert? Begründen Sie Ihre Antwort.

<b>VERSUCH 2</b>	<b>Binomische Verteilung</b>
MATERIAL:	Würfel
VORGEHEN:	Würfeln Sie 20 Mal mit 24 Würfeln („aktive Kerne“). Notieren Sie jedes Mal die Zahl der Würfel mit Augenzahl Sechs („Zerfälle“).
AUFGABEN:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bestimmen Sie den Mittelwert und den Wert maximaler Häufigkeit aus ihren Messwerten. Vergleichen Sie die Werte mit dem Erwartungswert.</li> <li>2. Erstellen Sie ein Histogramm für die Häufigkeit der Anzahl Sechser.</li> <li>3. Berechnen Sie für jede Anzahl Sechser die theoretische Häufigkeit mit der binomischen Verteilung. Zeichnen Sie die entsprechenden Balken im Histogramm ein.</li> </ol>

<b>VERSUCH 3</b>	<b>Streuung der Zerfallszahlen</b>
MATERIAL:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Radioaktive Quelle</li> <li>▶ Geiger-Müller-Zähler</li> </ul>
VORGEHEN:	<p>A Platzieren Sie die Quelle vor dem Zählrohr. Wählen Sie den Abstand so, dass in 5 s zwischen 5 und 10 Ereignissen gemessen werden. Messen Sie 50 Mal während jeweils 5 s die Zahl der Ereignisse.</p> <p>B Messen Sie anschliessend im gleichen Abstand 25 Mal während jeweils 10 s.</p>
AUFGABEN:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vergleichen Sie für die beiden Messungen Erwartungswert, Mittelwert und Wert maximaler Häufigkeit miteinander.</li> <li>2. Zeichnen Sie ein Histogramm für die beiden Messreihen.</li> <li>3. Erklären Sie, wie Versuch 3 mit Versuch 2 zusammenhängt.</li> </ol>

---

BEDINGUNGEN:	<p>Falls Sie einen vollständigen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung ab. Für einen Kurzbericht bearbeiten Sie die Aufgaben zu den Demonstrationen und zu einem der drei Versuche.</p> <p>Abgabetermin ist <b>Donnerstag, 2. Juni 2022</b>.</p>
--------------	---

