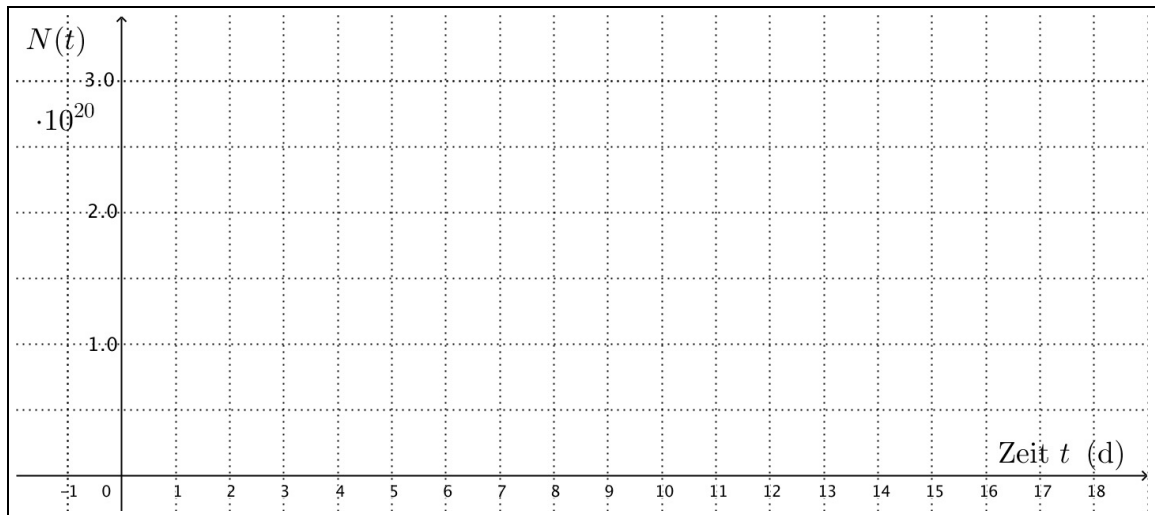


## Übungen zur Kernphysik

### Serie 5: Zerfallsgesetz und Aktivität

#### 1. Das Zerfallsgesetz graphisch

Zeichne die Funktion  $N(t)$  für  $^{222}_{86}\text{Rn}$  im folgenden Diagramm. Gehe dabei von  $2.6 \cdot 10^{20}$  anfänglichen Radon-222-Nukliden aus. Lies anschliessend ab, nach welcher Zeitspanne noch etwa  $5.0 \cdot 10^{19}$  Rn-222-Nuklide vorhanden sind.



#### 2. Einzelne Rechnungen zum Zerfallsgesetz

Gib bei den folgenden Aufgaben stets die formale Auflösung nach der gesuchten Variable an, um von diesen Aufgaben auch mathematisch zu profitieren!

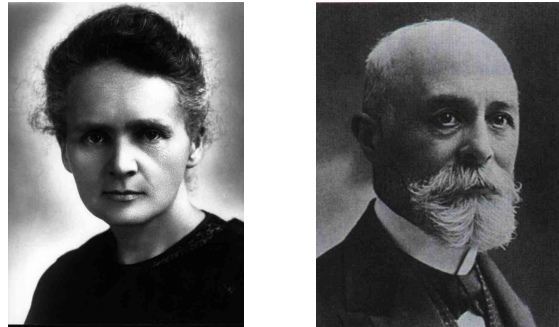
Zum Teil musst du zur Beantwortung der Fragen die Auswahl radioaktiver Nuklide im Tabellenanhang A konsultieren!

- (a) Eine radioaktive Quelle beinhalte  $13.2 \text{ mg } ^{210}\text{Po}$ .
  - i. Welche Aktivität besitzt diese Quelle aktuell?
  - ii. Wie viele Milligramm Po-210 beinhaltet die Quelle nach 200 Tagen noch und auf welchen Wert ist die Aktivität dann gesunken?
- (b) Nach welcher Zeit sind von einer anfänglichen Menge Phosphor-32 95 % zerfallen?
- (c) Technetium, das Element 43, besitzt ausschliesslich instabile Nuklide. Das langlebigste darunter ist Tc-98 mit einer Halbwertszeit von 4.2 Millionen Jahren.  
Angenommen, vor 85 Millionen Jahren hätte ein Asteroideneinschlag  $^{98}\text{Tc}$  auf die Erde gebracht. Welchen Bruchteil dieses Technetiums könnte man heute noch finden?
- (d) Die Aktivität eines Präparates aus dem radioaktiven Kupfer-69-Isotop nehme in 10.0 Minuten um 91.2 % ab. Wie gross ist demnach die Halbwertszeit von Cu-69?
- (e) Nicht allzu viele "Abfallnuklide" aus Kernkraftwerken sind langlebig und damit längerfristig effektiv problematisch. Dazu gehört zum Beispiel das Cäsium-137-Isotop. Es zerfällt via  $\beta^-$ -Zerfall ins stabile Barium-137.
  - i. Wie viele  $\beta^-$ -Zerfälle "enthält" ein Kilogramm Cs-137 und nach welcher Zeit sind davon "nur" noch 1 000 000 000 Zerfälle übrig?
  - ii. Welche Aktivität besitzt diese Cs-137-Quelle dann noch?

### 3. Marie Curie und das Radium

Marie Curie (1867 – 1934) entdeckte im Jahre 1898 das Isotop  $^{226}\text{Ra}$ . Bis zum Jahre 1911 hatte sie es unter enormen Schwierigkeiten fertiggebracht, 22 mg dieses Isotopes zu isolieren.

- (a) Gib die Zerfallsreaktion von Ra-226 an.
- (b) Wann wird von Curies ursprünglich isolierter Radiummenge nur noch 90.0 % vorhanden sein?
- (c) Welcher Prozentsatz der damals von Curie isolierten Radiummenge ist bis heute zerfallen?
- (d) Marie Curie zu Ehren wurde die Einheit der Aktivität vor Einführung des Becquerels (Bq) als **Curie (Ci)** bezeichnet. Per Definition war 1 Ci die Aktivität von 1 g Ra-226.  
Wie viele Bq sind 1 Ci?



Marie Curie (1867 –1934) und Henri Becquerel (1852 – 1908).

### 4. Die Radiokarbon-Methode

Auf der Erde entsteht durch Einwirkung von Neutronen der kosmischen Strahlung auf Stickstoff-Atome der Atmosphäre stets radioaktiver Kohlenstoff  $^{14}\text{C}$ . In der Luft kommen somit drei Kohlenstoff-Isotope vor: Am häufigsten das C-12 mit etwa 98.89 %, dann das C-13 mit lediglich 1.11 % und schliesslich ein minimaler Anteil C-14 von nur gerade etwa  $10^{-10}$  %!

Das C-14 gelangt, wie die anderen beiden Kohlenstoff-Isotope direkt und indirekt in die lebenden Organismen und wird dort mit eingebaut. Mit dem Tod des Lebewesens ist die Aufnahme aktiven Kohlenstoffs abgeschlossen. Ab diesem Moment wird der prozentuale C-14-Anteil im toten Organismus mit fortschreitender Zeit immer geringer.

Eine Zählrohrapparatur registrierte in 10 g Kohlenstoff, der aus frischem Holz gewonnen worden ist, 124.0 Zerfälle pro Minute. Hingegen misst die Apparatur bei 10 g Kohlenstoff aus dem Holz eines prähistorischen Fundes nur noch 41.2 Zerfälle pro Minute. Wie alt dürfte der Fund sein?

**Hinweis:** Je mehr radioaktive Kerne ein Präparat enthält, umso mehr Zerfälle werden pro Zeiteinheit stattfinden! Der Zusammenhang zwischen Zählrate und Anzahl noch vorhandener Kerne im Material ist also eine Proportionalität.

### 5. Zusatzaufgabe: Alternative Schreibweise für das Zerfallsgesetz

Eigentlich ist es in der Physik üblich alle Exponentialfunktionen unter Verwendung der Basis  $e$  (**Eulersche Zahl**  $\approx 2.718$ ) zu notieren. Nur zugunsten des Verständnisses schreiben wir momentan das Zerfallsgesetz mit der Basis  $\frac{1}{2}$  auf. In der Literatur trifft man es wie folgt an:

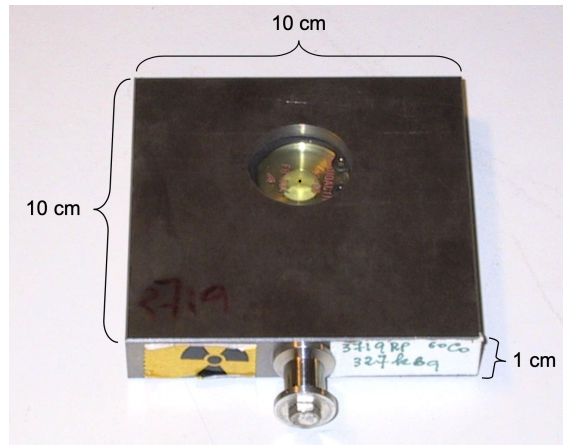
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Dabei nennt man  $\lambda$  die **Zerfallskonstante**. Sie ist – wie die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  – von Nuklidsorte zu Nuklidsorte verschieden.

- (a) Wie hängen die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  und die Zerfallskonstante  $\lambda$  mathematisch zusammen?
- (b) Wie schreibt sich die Anfangsaktivität  $A_0$  in Abhängigkeit von der Zerfallskonstante  $\lambda$ ?

## 6. Die Aktivität einer künstlichen Quelle

Cobalt-60 ist ein im Labor sehr gebräuchliches Radionuklid. In der Zeit meiner Diplomarbeit am Paul Scherrer Institut (PSI) habe ich selber mit einer solchen Cobalt-Quelle gearbeitet:



Das Mini-Pünktchen in der Mitte ist die eigentliche Quelle. Auf dem Bild erkennt man rechts unten die Aktivitätsangabe von 327 kBq (Kilobecquerel). Dies war die Aktivität am Tag, als ich die Quelle bezogen hatte.

- (a) Ziemlich genau zwei Monate später habe ich sie zurückgegeben.  
Um wie viele kBq hatte sich die Quellaktivität bis dahin verringert?
- (b) Wie viele Nanogramm Cobalt-60 enthielt meine Quelle anfänglich?

## 7. Das Alter eines Steins

In einem Stein finden sich 321 mg Uran-238 und 182 mg Blei-206. Wir wissen, dass dieses Pb-206-Isotop das stabile Endprodukt der natürlichen Zerfallsreihe von U-238 ist.

U-238 hat eine riesige Halbwertszeit von 4.46 Milliarden Jahren. Es zerfällt zwar nicht direkt in Pb-206, aber nach dem Zerfall des U-238-Kerns schreitet die weitere Zerfallsreihe, verglichen mit den 4.46 Milliarden Jahren Halbwertszeit des Primärzerfalls, sehr zügig voran.

- (a) Wie lange dauert es, bis ein weiteres Prozent der Uran-238-Kerne im Stein zerfallen sind?  
Gib das Resultat in Mio a, also Millionen von Jahren an.
- (b) Bestimme das ungefähre Alter des Steins!  
Gib das Resultat in Mia a, also Milliarden von Jahren an.  
Die folgenden Fragen sind quasi als Lösungsrezept zu verstehen:
  - i. Wie viele U-238- und wie viele Pb-206-Atome befinden sich heute im Stein?
  - ii. Wie viele U-238-Atome waren bei der Bildung des Steins maximal vorhanden?
  - iii. Vor wie vielen Jahren muss dies folglich der Fall gewesen sein?
- (c) Handelt es sich beim Rechenresultat von (b) um eine obere oder eine untere Grenze für das Alter des Steins? Begründe deine Antwort.

## 8. Zusatzaufgabe: Eine mathematische Herausforderung...

Löse die Aufgabe 2.(c) nochmals. Nun soll es aber um primordiales Technetium gehen, also um  $^{98}\text{Tc}$ , das bei der Entstehung der Erde vor 4.5 Mia a vorhanden war.

- (a) Versuche den heute noch vorhandenen Bruchteil als Zahl mit Zehnerpotenz anzugeben.
- (b) Das Resultat aus (a) ist zweifellos von 0 verschieden. Gibt es also noch primordiales Technetium auf der Erde?