

Übung 6

Ausgabe: 25.10.2017 (im Internet)

Abgabe: 02./03.11.2017 (in der Übungsstunde)

Aufgabe 1: Zerfall von ^{137}Cs

^{137}Cs ist ein radioaktives Isotop von Cäsium. Es zerfällt in zwei konkurrierenden Prozessen zu ^{137}Ba . Im einen Fall entsteht ein ^{137}Ba -Kern im Grundzustand, im anderen Fall in einem angeregten Kernzustand¹. Die Wahrscheinlichkeiten der beiden konkurrierenden Zerfallsprozesse betragen 5.3%, beziehungsweise 94.7%. Die Halbwertszeit von ^{137}Cs ist 30.08 a.

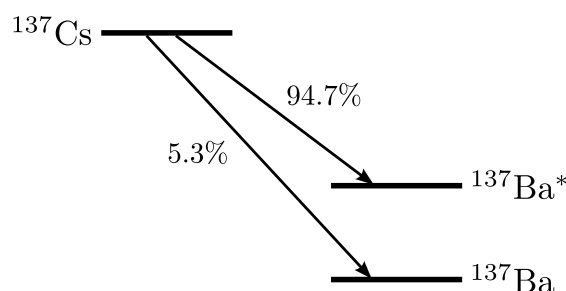


Abbildung 1-1: Schematische Darstellung der beiden konkurrierenden Zerfallsprozesse von ^{137}Cs zu ^{137}Ba . Dabei wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 5.3% ^{137}Ba im Grundzustand des Kernes und mit einer Wahrscheinlichkeit von 94.7% $^{137}\text{Ba}^*$ in einem angeregten Kernzustand gebildet.

Referenz: National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, NuDat Database, Version 2.7 β (20.10.2017), <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>

- Um welchen radioaktiven Zerfallsprozess handelt es sich? Stellen Sie die vollständigen Gleichungen der beiden konkurrierenden Zerfallsprozesse von ^{137}Cs unter Angabe der Elementsymbole, der Massen- und Ordnungszahlen, der Ladungen und der emittierten Teilchen auf.
- Bestimmen Sie die Geschwindigkeitskonstanten (Zerfallskonstanten) der beiden Zerfallsprozesse.
- Wie kann der angeregte $^{137}\text{Ba}^*$ -Kern in einem einzelnen Schritt in seinen Grundzustand gelangen?

Aufgabe 2: Radioaktive Zerfallskette

Die wahrscheinlichste Zerfallsreihe von ^{238}U zum stabilen Isotop ^{206}Pb beinhaltet 14 radioaktive Zerfälle. Über die letzten zwei Prozesse zerfällt ^{210}Bi zu ^{210}Po und dieses weiter zu ^{206}Pb . Die Halbwertszeiten von ^{210}Bi und ^{210}Po betragen 5.012 d respektive 138.376 d. Aus einer ^{238}U -Probe wird nun das ^{210}Bi extrahiert und liegt zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ als reines Nuklid vor.

Referenz: National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, NuDat Database, Version 2.7 β (20.10.2017), <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>

¹Der Stern in der Bezeichnung $\ll^{137}\text{Ba}^*\gg$ bezeichnet einen angeregten Kernzustand.

- a) Nennen Sie alle möglichen direkten Vorgängernuklide von ^{210}Bi und schreiben Sie die vollständigen Zerfallsgleichungen auf.
- b) Stellen Sie die Elektronen-, Protonen- und Neutronenzahlen der Isotope ^{210}Bi , ^{210}Po und ^{206}Pb tabellarisch dar. Welche Werte haben die entsprechenden Kernspindrehimpulsquantenzahlen I dieser Isotope?
- c) Stellen Sie die vollständigen Gleichungen der beiden Zerfallsprozesse von ^{210}Bi und ^{210}Po auf. Um welche radioaktiven Zerfallsprozesse handelt es sich?
- d) Bestimmen Sie die Geschwindigkeitskonstanten (Zerfallskonstanten) der beiden Zerfallsprozesse.
- e) Stellen Sie die Differentialgleichungen auf, die die Zerfallsgeschwindigkeiten aller drei Isotope beschreiben und geben Sie deren analytische Lösungen an.
- f) Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der Teilchenzahl $N_{\text{Po}}(t)$ des radioaktiven Isotops ^{210}Po relativ zur Teilchenzahl $N_{\text{Bi},0}$ des Isotops ^{210}Bi zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ graphisch dar.
- g) Zu welchem Zeitpunkt ist die Teilchenzahl von ^{210}Po maximal? Leiten Sie zur Berechnung des Zeitpunkts einen analytischen Ausdruck her.
- h) Gibt es weitere mögliche Zerfallsreihen, die von ^{210}Bi zu ^{206}Pb führen? Dürfen diese vernachlässigt werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 3: Isotope und Radioaktivität (prüfungsähnliche Aufgabe)

Am 16. Juli 2007 führte ein Erdbeben der Stärke 6.8 (Angabe gemäss *Japanese Metrological Agency*) unmittelbar vor der Küste Japans zu einem Störfall im weltgrössten Kernkraftwerk Kashiwazaki-Kariwa (Präfektur Niigata) der Tokyo Electric Power Company. Gemäss Betreibergesellschaft entwichen ^{131}I (Halbwertszeit $t_{1/2} = 8.0252\text{ d}$), ^{133}I ($t_{1/2} = 20.8\text{ h}$), ^{51}Cr und ^{60}Co durch das Entlüftungssystem des Reaktors Nummer 7 in die Atmosphäre. Die Menge des freigesetzten radioaktiven Iods entsprach dabei einer Aktivität von $4.0 \cdot 10^8\text{ Bq}$.²

- a) Erstellen Sie eine Tabelle mit den Neutronen-, Protonen- und Elektronenzahlen aller oben erwähnten Isotope und geben Sie jeweils an, ob die Kernspindrehimpulsquantenzahl null, ganzzahlig oder halbganzzahlig ist.
- b) Schreiben Sie die vollständigen Zerfallsgleichungen aller oben erwähnten Isotope auf.

Der Einfachheit halber gehen wir davon aus, dass beim Zwischenfall nur ^{131}I in ein Probenvolumen von $V = 1\text{ km}^3$ Luft (Atmosphäre) in Form von I_2 -Molekülen freigesetzt wurde. Gehen Sie ferner davon aus, dass sich alle Gase ideal verhalten, und dass das radioaktive Material zu jeder Zeit mit der Luft im Probenvolumen gut durchmischt ist. Sie dürfen ferner atmosphärische Effekte (Luftströmung, Höhenabhängigkeit des Luftdrucks, etc.) vernachlässigen. Das kontaminierte Luftvolumen hatte einen Druck von 1 atm (1013.25 hPa) und eine Temperatur von 20 °C.

- c) Welche Stoffmasse von Iod (^{131}I) wurde beim Zwischenfall freigesetzt?

²Die Werte entstammen dem Bericht der Internationalen Atomenergiebehörde IAEA in Wien (<http://www.iaea.org/>). Gemäss diesem Bericht entwich auch eine geringe Menge kontaminiertes Wasser ins Meer. Diese Kontamination wird jedoch im Rahmen dieser Aufgabe nicht behandelt.

- d) Welcher Volumenanteil an radioaktiven $^{131}\text{I}_2$ -Molekülen liegt unmittelbar nach der Freisetzung im Probenvolumen vor?
- e) Ein Reaktorarbeiter begibt sich 24 Stunden nach dem Zwischenfall (Freisetzung der $^{131}\text{I}_2$ -Moleküle) in das Probenvolumen und verbleibt dort 24 Stunden. Wieviele ^{131}I -Kerne zerfallen während des Aufenthaltes des Reaktorarbeiters im Probenvolumen in seinen Lungen (2.5 L)?
- f) Wie gross ist die akkumulierte Strahlendosis aufgrund der ^{131}I -Zerfälle im Lungengewebe, die der Reaktorarbeiter während seines Aufenthaltes im Probenvolumen aufnimmt?

Hinweis: Strahlendosis (D) ist die von der Strahlung an das Material abgegebene Energie pro Masseneinheit (J kg^{-1}). Die freigesetzte Energie beim Zerfall eines ^{131}I -Kerns beträgt 0.9708 MeV und wird zu 100 % vom Lungengewebe absorbiert. Die Masse des bestrahlten Lungengewebes sei 0.15 kg.

- g) Finden Sie die gesetzlichen Grenzwerte der Strahlendosis in der Schweiz. Wie stehen sie im Vergleich zu dem berechneten Wert?

Hinweis: Man verwendet für die gesetzlichen Grenzwerte der Strahlendosis eine Grösse, die die unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen Strahlenarten angemessen berücksichtigt, nämlich die Äquivalentdosis $H = D \cdot Q$, wobei Q der Qualitätsfaktor ist. Die Äquivalentdosis wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. In diesem Fall (β^- -Zerfall) ist der Qualitätsfaktor 1.