

**Ausgabe:** 07.12.2015

**Abgabe:** 14.12.2015, 10:15 Uhr

Prof. Dr. D. Suter

## Aufgabe 1: Zyklotron (4 Punkte)

Eine Möglichkeit Radionuklide, welche für die Nuklearmedizin geeignet sind, herzustellen, besteht darin Mutterkerne mit geladenen Teilchen, wie beispielsweise Protonen zu beschleunigen. Um die hohen kinetischen Energien dieser Teilchen zu erzeugen, welche benötigt werden um die Coulomb-Abstoßung der Kerne zu überwinden, werden häufig Zyklotrons verwendet.

- Welche Eigenschaften muss ein für die Nuklearmedizin geeignetes Präparat aufweisen und warum werden keine in der Natur vorkommenden Radionuklide verwendet?
- Erläutern Sie die Funktionsweise eines Zyklotrons und fertigen Sie eine Skizze an.
- Leiten Sie anhand einer geeigneten Kräftebetrachtung die Frequenz

$$f = \frac{qB}{2\pi m} \quad (1)$$

her. Erläutern Sie anhand dieses Zusammenhangs, dass Teilchen mit diesem Zyklotron nicht auf relativistische Geschwindigkeiten beschleunigt werden können.

Im Folgenden soll ein „low-cost-Zyklotron“ für Protonen betrachtet werden, das mit der Haushaltswechselspannung (Frequenz: 50 Hz) betrieben wird. Die Energiezufuhr findet dabei für ein Proton immer dann statt, wenn die Spannung ihren Scheitelwert 325 V annimmt.

- Welchen Zuwachs an kinetischer Energie erhalten die Protonen bei einem Umlauf?
- Berechnen Sie die magnetische Flussdichte  $B$ , mit der dieses Zyklotron betrieben werden muss.
- Wie lange dauert es, bis dieses Zyklotron ein anfangs ruhendes Proton auf 1,0 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt hat? Berechnen Sie den Radius  $r$  der Kreisbahn, die auf 1,0 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigte Protonen durchlaufen.
- Halten Sie ein solches „low-cost-Zyklotron“ für sinnvoll realisierbar? Begründen Sie Ihre Antwort. Was könnte man an dem Aufbau korrigieren um eine sinnvollere Realisierung zu erhalten?

## Aufgabe 2: Radionuklidtherapie I (3 Punkte)

Für die Bestrahlung von Tumoren kommen in der Brachytherapie unter anderem sogenannte Seeds zum Einsatz. Das sind kleine, umschlossene, radioaktive Proben, die direkt an oder in das erkrankte Gewebe eingebracht werden. Ein mögliches Nuklid, das in Seeds verwendet wird, ist  $^{125}\text{I}$  mit einer Halbwertszeit von  $T_I = 59,41$  d.

Als Ausgangsnuklid für die Herstellung von  $^{125}\text{I}$  dient  $^{124}\text{Xe}$ , welches durch Neutroneneinfang zu  $^{125}\text{Xe}$  wird und in das gewünschte Iod zerfällt. Die eigentliche Zerfallsreihe ist etwas komplizierter. Nehmen Sie hier für  $^{125}\text{Xe}$  eine Halbwertszeit von  $T_{Xe} = 19,9$  h an und betrachten sie das Produkt des Iodzerfalls, Tellur, als stabil.

- Stellen Sie die Differentialgleichungen für die Teilchenanzahl von  $^{125}\text{Xe}$ ,  $^{125}\text{I}$  und  $^{125}\text{Te}$  auf.
- Lösen Sie die Differentialgleichungen unter den Annahmen  $N_{Xe}(t=0) = N_0$ ,  $N_I(t=0) = 0$  und  $N_{Te}(t=0) = 0$ .
- Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Teilchenzahl ( $N(t)$ ) für alle drei Teilchensorten.

### Aufgabe 3: Radionuklidtherapie II (2 Punkte)

Morbus Bechterew ist eine chronisch entzündliche rheumatische Erkrankung mit Schmerzen und Versteifungen der Gelenke. Zur Behandlung dieser Erkrankung lässt sich unter anderem eine Radiumchloridtherapie durchführen. Hierbei wird dem Patienten ein Präparat verabreicht, welches mit  $^{224}\text{Ra}$  angereichert ist.

- Stellen Sie mit Hilfe der angegebenen Nuklidkarte die Zerfallskette von  $^{224}\text{Ra}$  auf und geben Sie die jeweilige Zerfallsart an. (Gehen Sie jeweils vom wahrscheinlichsten Zerfall aus.)
- Nehmen Sie an, Sie besitzen 1 g einer Probe, welche ausschließlich aus  $^{224}\text{Ra}$  besteht. Nehmen Sie an, dass das Radium-224 direkt in sein (wahrscheinlichstes) stabiles Endprodukt zerfällt. Wie groß ist die Masse der Probe nach einem Tag, wenn die Aktivität der Ausgangsprobe  $A_0 = 5,939 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$  beträgt? ( $^{224}\text{Ra}$  besitzt eine Halbwertszeit von  $t_{1/2} \approx 125 \text{ h}$ .)

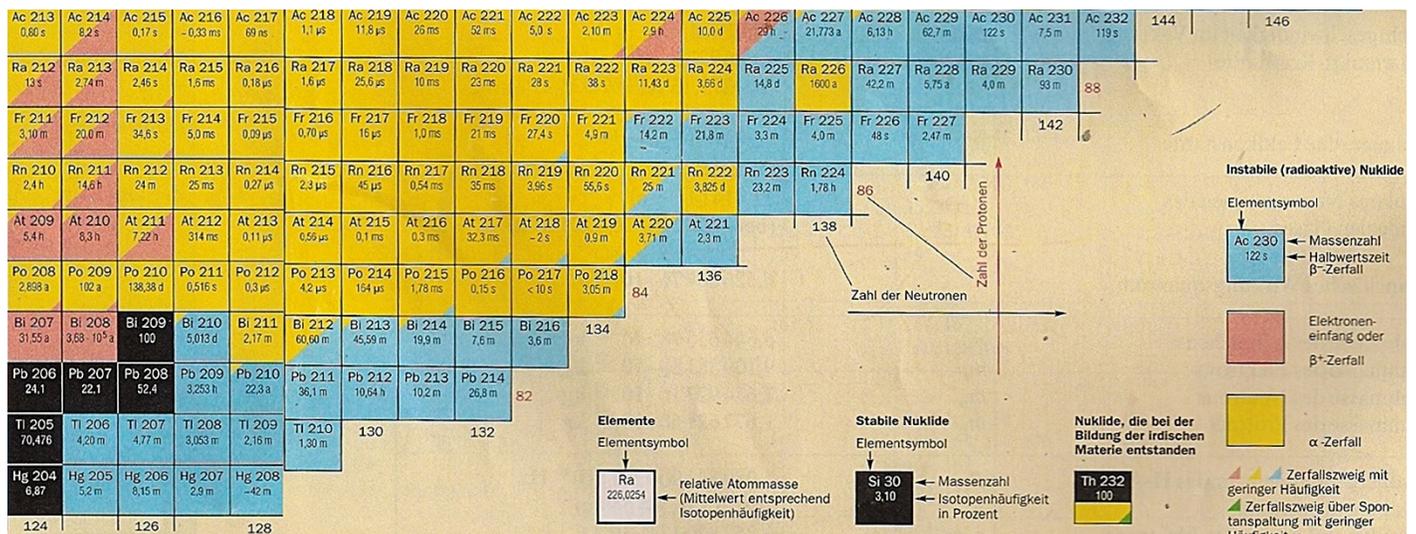


Abbildung 1: Ausschnitt aus einer Nuklidkarte