Experiment 4:

Untersuchungen zur Radioaktivität

1.Vorbetrachtungen (Beachten Sie unten stehende Tabelle zu den Halbwertzeiten)

1. Welche Arten radioaktiver Strahlung sind Ihnen bekannt? Geben Sie für alle Teilchenstrahlungen ein Beispiel an! Wie lassen sich die Arten beschreiben?
2. Was versteht man unter Spontanzerfall?
3. Warum sind in der Natur von den vier möglichen Zerfallsreihen nur drei zu finden?
4. Berechnen Sie wie viele radioaktive Kerne des Isotops $^{131}_{53}I$ nach einer Zeit von 22 Tage noch vorhanden sind, wenn am Anfang 2 500 000 Kerne vorhanden waren!
5. $^{14}_{7}N$ - Kerne werden mit Alphateilchen beschossen.

   5.1. Welcher hochangeregte Zwischenkern entsteht, wenn das Alphateilchen vom $^{14}_{7}N$ - Kern aufgenommen wird?

   5.2. Je nach Energie der Alphateilchen emittiert der Zwischenkern entweder ein Proton oder ein Neutron. Geben Sie für jeden der beiden Fälle die Zerfallsgleichung an.

   5.3. Wenn der Zwischenkern ein Neutron emittiert, beträgt der Massendefekt 0,005058u. Berechnen Sie die Energie (in J), die diesem Massendefekt entspricht.

   5.4. Diese Energie (Lösung von 4c) muss das Alphateilchen vor dem Auftreffen auf den Stickstoffkern besitzen. Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Alphateilchens. (Die Masse des Alphateilchens betragt $6{,}45 \cdot 10^{-27}$ kg)

Isotop	**T½**
^{14}C	5730 a
^{40}K	$1{,}3 \cdot 10^{9}$ a
^{3}H	12,3 a
^{226}Ra	1608 a
^{131}I	8,1 d
^{137}Cs	30,2 a
^{90}Sr	28,1 a
^{239}Pu	24400 a

2. Experimentelle Untersuchungen

Aufgaben

1) **Messung Radioaktiver Strahlung von Jodsalz und Kaffee**
Bestimmen Sie mit Hilfe des Geiger-Müller-Zählrohres die radioaktive Strahlung der jeweiligen Materialien. Messen Sie jeweils 10 mal je eine Minute lang und erfassen Sie die Messwerte in einer Tabelle.
   a) Die Zählrate am Zählrohr, ohne dass irgendein besonderer Stoff in der Nähe ist (Nulleffekt)
   b) Die Zählrate unter der Voraussetzung, dass das Zählrohr in Jodsalz steckt
   c) Die Zählrate unter der Voraussetzung, dass das Zählrohr in Kaffee steckt
Treffen Sie eine Aussage zur Radioaktivität von Jodsalz und von Kaffee.

2) **Simulation: Radioaktiver Zerfall mit Würfeln**

Idee:
Mithilfe von einfachen Würfeln können Sie zentrale Aspekte des radioaktiven Zerfalls wie die Abnahme des radioaktiven Materials und die Halbwertszeit simulieren.
Modellvorstellungen
Im Würfelmodell für den radioaktiven Zerfall werden folgende Analogien genutzt:
- Die Anzahl der Würfel entspricht der Anzahl der radioaktiven Teilchen.
- Ein Wurf entspricht einem Zeitschritt t.
- Die Anzahl der verbleibenden Würfel entspricht der Anzahl der noch vorhandenen radioaktiven Teilchen.
- Die nach einem Wurf entfernten Würfel entsprechen den zerfallenen Teilchen.

Aufbau und Durchführung
Für den Versuch benötigen Sie 50 einfache Würfel und einen ausreichend großen Würfelbecher. Nun würfeln Sie. Nach dem Wurf entfernen Sie alle Würfel mit der Augenzahl 1 und notieren die Anzahl der verbleibenden Würfel in einer Tabelle. Jetzt würfeln Sie wieder mit den verbliebenen Würfeln und wiederholen alle Vorgänge bis Sie alle Würfel entfernt haben.

Anzahl der Würfe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	u.s.w.
zu entfernende Würfel	0															
verbleibende Würfel	50															

   a) Führen Sie das Experiment dreimal durch.
   b) Erstellen Sie für jedes Experiment ein **x-y-Diagramm** mit der Anzahl der Würfe auf der x-Achse und der Zahl der verbleibenden Würfel auf der y-Achse. Beschreiben Sie anschließend, wann besonders viele Würfel entfernt werden müssen, also wann viele radioaktive Teilchen zerfallen und wann wenige.
   Erklären Sie, warum das so ist.
   c) Nach wie vielen Würfen haben Sie in den verschiedenen Experimenten die Hälfte der Würfel entfernt? (entspricht der Halbwertszeit?!)
   d) Berechnen Sie jeweils die dazugehörige Zerfallskonstante!

Mathematische Beschreibung

Mithilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung können Sie bei Würfeln vorhersagen, wie viele „Einer“ Sie bei einem Wurf im Mittel würfeln. Die Wahrscheinlichkeit eine Eins zu würfeln ist $\frac{1}{6}$, da es sechs Möglichkeiten gibt, von denen eine die gewünschte „Eins“ ist. Bei 50 Würfeln würfeln Sie also im Mittel $50 \cdot \frac{1}{6} \approx 8$ Einsen, die Sie entfernen müssen. Aus Sicht der verbleibenden Würfel können Sie sagen, dass die Wahrscheinlichkeit $1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$ beträgt, im nächsten Wurf noch dabei zu sein. Für die verbleibenden Würfel nach dem 1. Wurf gilt also:

$$\text{Anzahl nach 1. Wurf} = \text{Anzahl der Würfel} \cdot \frac{5}{6}$$

$$\Rightarrow \text{Anzahl nach 1. Wurf } 50 \cdot \frac{5}{6} \approx 42$$

Es bleiben also nachher noch 42 Würfel übrig. Beim zweiten Wurf bleibt die Wahrscheinlichkeit unverändert, aber die Zahl der Würfel im Becher ist jetzt nur noch $50 \cdot \frac{5}{6} \approx 42$. Nach dem zweiten Wurf bleiben im Mittel also

$$\text{Anzahl nach 2. Wurf} = \frac{5}{6} \cdot \text{Anzahl nach 1. Wurf} = \frac{5}{6} \cdot \left(50 \cdot \frac{5}{6}\right) \text{ Würfel}$$

Da also bei jedem Wurf eine gleiche relative Abnahme um $\frac{1}{6}$ stattfindet, lässt sich die Zahl der noch vorhandenen Würfel mithilfe folgender Exponentialfunktion beschreiben:

$$\text{Anzahl nach n-tem Wurf} = 50 \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^n$$

oder $$y = 50 \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^x$$

e) Diesen "idealen" Verlauf zeichnen Sie nun auch in **die Diagramme** ein. Vergleichen Sie jeweils den idealen mit dem tatsächlichen Verlauf.

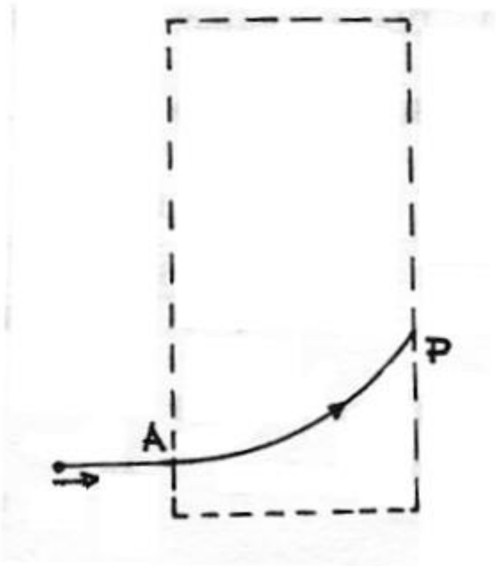
3. Weiterführende Aufgaben

Aufgabe 1

1) Das Bleiisotop $^{204}_{82}Pb$ kommt in der Natur mit einer Häufigkeit von 1,4 % vor. Es steht am Ende einer radioaktiven Zerfallsreihe und kann auf zweierlei Art entstehen. Einerseits ist es möglich, dass es aus einem radioaktiven Nuklid unter Aussendung von α – Strahlen entsteht, es ist aber auch möglich, dass es aus einem radioaktiven Nuklid unter Aussendung von β^- - Stahlen entsteht.

1.1. Geben Sie für beide Möglichkeiten die Zerfallsgleichungen an.

1.2. β^- - Teilchen sollen in ein homogenes Magnetfeld geleitet werden (siehe Abbildung). Das homogene Magnetfeld wirkt nur im umrandeten Bereich. Im Punkt A treten Elektronen mit dem konstanten Geschwindigkeitsbetrag v in das Magnetfeld ein; im Punkt P verlassen sie das Magnetfeld wieder. Wie muss das Magnetfeld gerichtet sein?



1.3. Zeichnen Sie die Bahnkurve über P hinaus weiter! Vom Einfluss der Gravitationskraft kann abgesehen werden.

1.4. Die kinetische Energie eines Elektrons beträgt im Punkt A $1{,}0 \cdot 10^3 eV$. Wie groß ist dort seine Bahngeschwindigkeit?

1.5. Welche Größen müssten gegeben sein, damit man den Bahnradius des Elektrons bestimmen kann?

1.6. Die magnetische Feldstärke wird verdoppelt. Zeichnen Sie in die Abbildung möglichst exakt die neue Bahnkurve ein. Begründen Sie Ihre Konstruktion!

1.7. Die Eintrittsgeschwindigkeit des geladenen Teilchens wird verdoppelt. Zeichnen Sie in die Abbildung die neue Bahnkurve ein. Begründen sie Ihre Konstruktion!

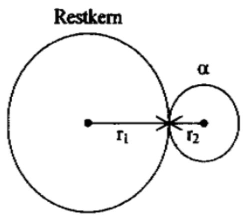
Aufgabe 2

2) Untersuchungsgegenstand der Kernphysik ist der aus Protonen und Neutronen zusammengesetzte Atomkern. Fragen nach der relativen Stabilität vieler Atomkerne, die aufgrund elektrostatischer Abstoßungskräfte zwischen Protonen zerfallen müssten, und den Masseunterschieden einzelner Nukleonen und des gesamten Kerns beantworteten Physiker auch durch die Entwicklung von Modellvorstellungen. Sie entwickelten dazu das Modell „Potentialtopf".

2.1. Erläutern Sie dieses Modell und stellen Sie dar, wie die genannten Fragen beantwortet werden.

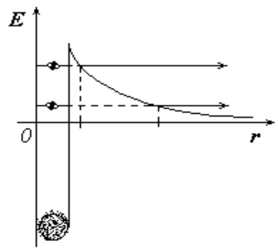
2.2. Die sog. „Tiefe" des Potentialtopfes ergibt sich aus der mittleren Kernbindungsenergie je Nukleon. Zeigen Sie, dass für Ra-226 die Kernbindungsenergie je Nukleon ca. 7,66 *MeV* beträgt.

2.3. Messungen der kinetischen Energie der freigesetzten α-Teilchen ergaben für Ra-226 Werte von ca. 4,6 bis 4,8 *MeV*. Die theoretische Überprüfung dieser Ergebnisse führte historisch zu Deutungsproblemen. Für die Ermittlung der kinetischen Energie der α-Teilchen könnte das folgende "klassische" Modell betrachtet werden: Das α -Teilchen beginnt gerade, sich vom Folgekern zu lösen. Beide Teilchen werden als kugelförmig angenommen und befinden sich in Ruhe. Aufgrund der abstoßenden Kräfte wandelt sich die potentielle Energie im radialen Coulombfeld $E_{Pot} = -\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r}$ in kinetische Energie um.



Zeigen Sie, dass mit dieser Rechnung die Messwerte für die kinetische Energie nicht bestätigt werden können.

2.4. Der Vergleich der gemessenen und der berechneten Werte der kinetischen Energie führte zu der Hypothese, dass das α-Teilchen den „Potentialwall" gar nicht überwunden haben kann, sondern diesen "durchtunnelt" haben muss (siehe Abb.). Interpretieren Sie diese Aussage.



Masse des Radiumnuklids Ra-226	225,97713 *u*
Masse des α-Teilchens	4,00151 *u*
Masse des Protons	1,007276 *u*
Masse des Neutrons	1,008665 *u*

Abschätzung für den Radius eines Atomkerns mit der Massenzahl *A*:

$$r_{Kern} = \sqrt[3]{A} \cdot 1{,}46 \cdot 10^{-15}\, m$$

Aufgabe 3

3) Für die Behandlung bestimmter Gehirntumore werden derzeit Studien zu Therapiemöglichkeiten mit Neutronen durchgeführt. Dabei wird dem Patienten ein borhaltiges Medikament verabreicht, das sich bevorzugt in Tumorzellen anreichert. Dann wird der Patient kontrolliert der Neutronenstrahlung eines Forschungsreaktors ausgesetzt. Dabei fängt ein (ruhender) ^{10}B-Kern mit großer Wahrscheinlichkeit ein thermisches Neutron ein und zerfällt dann sofort in einen stabilen Restkern, wobei ein α -Teilchen mit der kinetischen Energie 1,47 MeV und ein γ -Quant mit der Energie von 0,478 MeV emittiert werden.

3.1. Geben Sie die Reaktionsgleichung an.

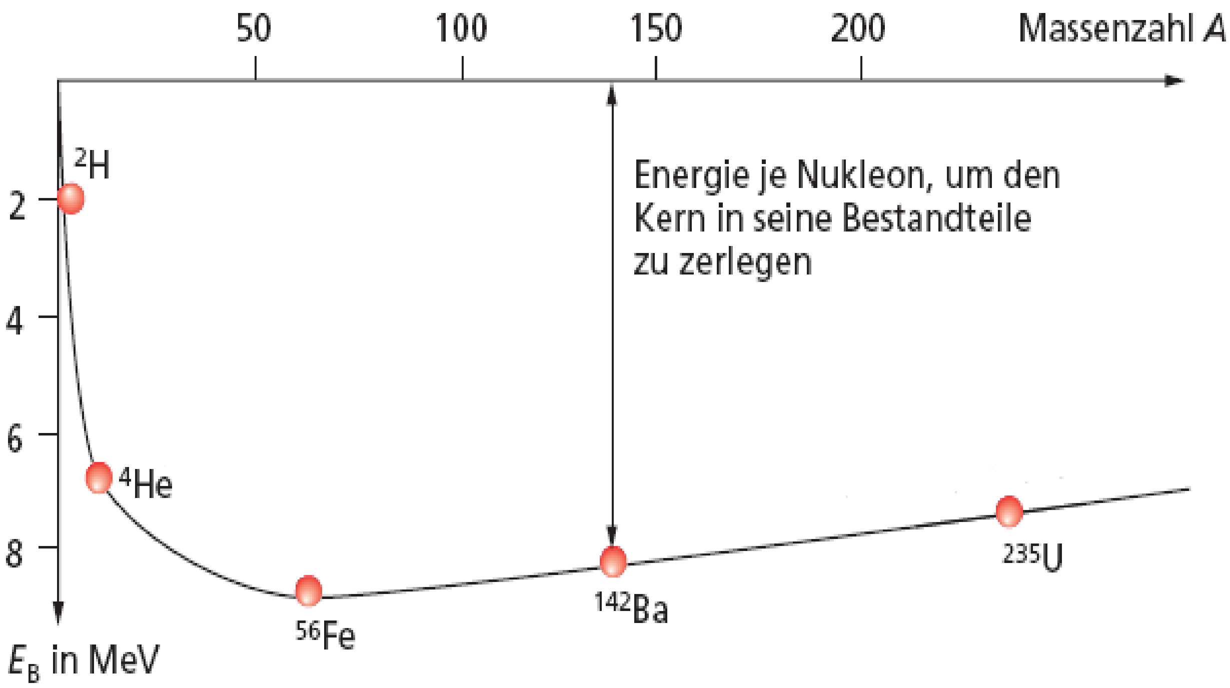
3.2. Berechnen Sie die kinetische Energie des entstandenen Restkerns. Die kinetische Energie des Neutrons kann hierbei vernachlässigt werden. Zur Berechnung der frei werdenden Bindungsenergie, die in kinetische Energie umgewandelt wird, benutzen Sie folgende Tabelle:

Nuklid	^{2}H	^{3}H	^{3}He	^{4}He	^{6}Li	^{7}Li	^{8}Be	^{9}Be	^{10}B	^{11}B	^{12}C
E_B in MeV	2,22	8,48	7,72	28,19	31,99	39,24	56,49	58,19	64,75	76,20	92,16
E_B/A in MeV	1,11	2,83	2,57	7,07	5,33	5,60	7,06	6,46	6,47	6,93	7,67

3.3. Das bei der Reaktion entstandene a-Teilchen verliert auf seinem Weg im Körper etwa alle $2 \cdot 10^{-10} m$ durch Wechselwirkung mit Molekülen bzw. Atomen im Durchschnitt 40 eV seiner kinetischen Energie.
Schätzen Sie die Reichweite des a-Teilchens ab. Zeigen Sie damit, dass die zerstörerische Wirkung des α -Teilchens auf die Tumorzelle beschränkt bleibt, wenn die Aussendung des α -Teilchens im Zentrum der Zelle mit dem Durchmesser $2 \cdot 10^{-5} m$ stattfindet.

4) Was verstehen Sie unter Kernspaltung und Kernfusion?

4.1. Die Skizze zeigt die Abhängigkeit der mittleren Bindungsenergie je Nukleon von der Massenzahl der Atomkerne.



Erklären Sie anhand der Kurve für Kernspaltung und Kernfusion das Freiwerden von Energie!

4.2. Vergleichen Sie die freiwerdenden Energiebeträge bei Kernspaltung und Kernfusion!

4.3. Nennen Sie wesentliche Bedingungen für die Realisierung eines dieser Prozesse!

4.4. Berechnen Sie die freiwerdende Energie in MeV für folgende Kernreaktion:

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow 2\,^{4}_{2}He$$

Masse des Lithiumkerns	$m_{Li} = 7{,}014358\,u$
Masse des Protons	$m_H = 1{,}007276\,u$
Masse des Heliumkerns	m_{He} = 4,001488 u
Atomare Masseneinheit	1 u = 1,660277 $\cdot 10^{27}$ kg