

Prof. Dr. Johannes Haller, Prof. Dr. Peter Schleper

Institut für Experimentalphysik

8.12.2020

Abgabe: 15.12.2020

Blatt 5**Aufgabe 1: Formelsammlung****1**

Erstellen Sie jede Woche eine Formelsammlung zum Stoff der Vorlesungen der letzten Woche und dieser Übung. Diese wöchentlichen Formelsammlungen sollen Grundlage ihrer Klausurvorbereitung sein.

Aufgabe 2: Altersbestimmung mit der C14-Methode

Das Isotop ^{14}C wird in der Atmosphäre durch die Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und ^{14}N erzeugt. ^{14}C zerfällt über β -Zerfall mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren. Durch den Stoffwechsel wird ^{14}C in einem Verhältnis von $1.5 \cdot 10^{-12}$ relativ zu ^{12}C in lebende Organismen eingebaut. Um den ^{14}C Gehalt einer Probe zu messen, wird ein Geiger-Müller-Zählrohr mit CO_2 -Gas, das aus der Probe gewonnen wurde, befüllt und die Zahl der ^{14}C -Zerfälle gemessen.

- a) Wie viele ^{14}C -Zerfälle werden gemessen, wenn das Zählgas aus einer „frischen“ Probe gewonnen wurde und 0,6 g Kohlenstoff enthält? **1**
- b) Wie viele ^{14}C -Zerfälle werden gemessen, wenn das Zählgas aus einer 2500 Jahre alten Holzprobe gewonnen wurde und ebenfalls 0,6 g Kohlenstoff enthält? **1**
- c) Während Ihres Urlaubs auf der Insel Samos wird Ihnen ein außergewöhnliches, antikes Objekt angeboten: ein rechtwinkliges Holzdreieck mit der Inschrift: $\Pi\nu\theta\alpha\gamma\omicron\rho\rho\alpha\varsigma$. Sie befüllen ein Geiger-Müller Zählrohr mit 0,2 g Kohlenstoff des Objekts und messen 161 Zerfälle pro Stunde.
Wie alt ist das Holzdreieck ? (Und sollten Sie es kaufen?) **1**

Aufgabe 3: Geiger-Nuttall-Regel**1**

Zwei α -strahlende Kerne mit gleicher Massenzahl aber unterschiedlicher Ladungszahl sollen die gleiche Zerfallskonstante haben. Wenn die α -Teilchen aus dem Zerfall des ersten Kerns mit $Z = 84$ eine Energie von 5,3 MeV haben, wie groß ist dann die Energie der α -Teilchen vom zweiten Kern mit $Z = 82$?

Aufgabe 4: Produktion radioaktiver Isotope durch Bestrahlung

Das radioaktive Isotop C (Zerfallskonstante λ_C) wird durch die Reaktion $b + B \rightarrow c + C$ oder kurz $B(b, c)C$ erzeugt. Es wird also ein Strahl von Teilchen b auf Targetkerne B

geschossen. Es seien N_B Targetkerne vorhanden, der konstante Fluss der Teilchen b sei Φ_b und σ bezeichne den Wirkungsquerschnitt der Reaktion.

- a) Berechnen Sie die Zeitabhängigkeit der Zahl der Kerne C , $N_C(t)$. Dabei werde der Strahl zum Zeitpunkt $t = 0$ eingeschaltet. 1
- b) Welcher Sättigungswert von N_C ergibt sich nach sehr langer Zeit? Welcher Aktivität entspricht dies? 1
- c) Berechnen Sie diese Aktivität für die Reaktion $^{11}\text{B}(p, n)^{11}\text{C}$ mit $T_{1/2}(^{11}\text{C}) = 20,3$ min, $\sigma = 0.1$ barn und $\Phi_p = 1 \mu\text{A cm}^{-2}$ für ein ^{11}B -Target von 0.1 mol. 1

Aufgabe 5: Castle Bravo

Die Castle Bravo-Bombe enthielt 500 Liter Lithiumdeuterid LiD ($\rho_{\text{LiH}} = 0,78 \text{ g/cm}^{-3}$, $m = 7.95 \text{ g/mol}$). Während in der Natur Lithium zu 92,4% aus ^7_3Li und 7,6% aus ^6_3Li besteht, bestand das Lithiumdeuterid in der Bombe zu 40% aus $^6\text{Li}^2\text{H}$ und 60% aus $^7\text{Li}^2\text{H}$. Die zwei wichtigsten nuklearen Reaktionen, die wir für LiD betrachten wollen, sind:



Die Massen der einzelnen Kerne sind: $m(D) = m(^2\text{H}) = 1875,61 \text{ MeV}$, $m(^3\text{H}) = 2808,93 \text{ MeV}$, $m(^4\text{He}) = 3727,38 \text{ MeV}$, $m(^6\text{Li}) = 5601,50 \text{ MeV}$ und $m(^7\text{Li}) = 6533,83 \text{ MeV}$

- a) Klassifizieren Sie die beiden Prozesse je als Zerfall, Fusion oder Spaltung? 1
- b) Berechnen Sie die Bindungsenergien pro Nukleon für n , ^2H , ^3H , ^4He , ^6Li , ^7Li . 1
- c) Welche kinetische Energie wird bei den beiden Prozessen frei? Sind die Prozesse endo- oder exotherm? 1
- d) Fassen Sie die Prozesse zu einem Prozess $^6\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow ?$ zusammen, der bei hohem Druck und hohen Temperaturen ablaufen kann, und berechnen Sie die pro Reaktion frei werdende Energie. 1
- e) Wie viel Energie wird frei, wenn 25% des $^6\text{Li}^2\text{H}$ reagieren? Drücken Sie die Energie als TNT-Äquivalent aus ($1 \text{ kg}_{\text{TNT}} = 4,184 \text{ MJ}$). 1
- f) Entgegen den damaligen Erwartungen konnte auch 25% des $^7\text{Li}^2\text{H}$ über den Prozess $^7\text{Li} + n \rightarrow ^4\text{He} + ^3\text{H} + n$ reagieren. Berechnen Sie die Energiebilanz dieses Prozesses. Stellen Sie die Gleichung des Gesamtprozesses $^7\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow ?$ auf und berechnen Sie die frei werdende Energie. Wie stark erhöht sich die Sprengkraft der Bombe? 1
- g) Das Lithiumdeuterid ist wiederum von einem Mantel aus ^{238}U umgeben. Die schnellen Neutronen aus dem Fusionsprozess können Kernspaltungen des ^{238}U induzieren und so die Gesamtsprengkraft der Bombe steigern. Die erwartete Sprengkraft der Castle Bravo-Bombe ohne den $^7\text{Li} + ^2\text{H}$ -Prozess lag bei 5 Megatonnen TNT. Die wirkliche Sprengkraft betrug 15 Megatonnen TNT. Warum hat sich die Sprengkraft durch den $^7\text{Li} + ^2\text{H}$ -Prozess verdreifacht und nicht nur verdoppelt? 1