

**Aufgabe 1: Formelsammlung**

**1**

Erstellen Sie eine Formelsammlung zum Stoff der Vorlesungen der letzten Woche und dieser Übung, damit Sie vor der Klausur am 4.2.19 schon eine Übersicht über den behandelten Stoff haben. Geben Sie die Formelsammlung auf einem separaten Blatt zusammen mit den Lösungen zu den anderen Aufgaben ab. Vergessen Sie bitte auf allen Zetteln nicht, Ihren Namen, die Matrikelnummer und Ihre Übungsgruppe anzugeben.

**Aufgabe 2: Statistik beim radioaktiven Zerfall**

In einem Experiment wird 51 Stunden lang der Zerfall eines  $\alpha$ -Präparats konstanter Intensität beobachtet. Jedes der 19278 Ereignisse wird mit seiner Ankunftszeit gespeichert. (Die Zahl der Ereignisse pro Zeiteinheit folgt einer Poisson-Verteilung.)

- a) Wie groß ist die mittlere Zahl von Ereignissen pro Minute? **1**
- b) Schätzen Sie die Zahl an Ereignissen in der nächsten Stunde ab und geben Sie einen Fehler auf Ihre Schätzung an. **1**
- c) Unterteilen Sie die 51 Stunden in einminütige Intervalle. Wie viele Intervalle erwarten Sie mit 0, 1 oder 6 registrierten  $\alpha$ -Teilchen? **1**
- d) Wie oft haben zwei aufeinander folgende  $\alpha$ -Teilchen einen Abstand von mehr als einer Minute? **1**

**Aufgabe 3: Biologische Strahlenwirkung und  $^{210}\text{Po}$ -Vergiftung**

Als Maß für die Wirkung von Strahlung wird die Energiedosis  $D_E = \Delta E / \Delta m$  verwendet. Dabei ist  $\Delta E$  die im Material der Masse  $\Delta m$  deponierte Energie. Die Einheit ist ein Gray:  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ . Als Dosisleistung  $\dot{D}_E = dD_E/dt$  bezeichnet man die pro Zeiteinheit übertragene Energiedosis, mit der Einheit  $1 \text{ Gy/s}$ . Die biologische Wirkung der Strahlung wird durch die Ionisationsdichte entlang der Spur dominiert. Um die Wirkung verschiedener Strahlungen miteinander vergleichen zu können, multipliziert man die Energiedosis mit einem Qualitätsfaktor  $Q$  und erhält die Äquivalentdosis  $H = Q\dot{D}_E$ . Um den Unterschied zur Energiedosis hervorzuheben, benutzt man für  $H$  die Einheit 1 Sievert:  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ . Für  $\alpha$ -Strahlung ist  $Q = 20$ , für Photonen und Elektronen gilt  $Q \sim 1$ .

- a)  $^{210}\text{Po}$  zerfällt durch  $\alpha$ -Zerfall ( $E_\alpha = 5,41 \text{ MeV}$ ) mit einer Halbwertszeit von 138 Tagen. Berechnen Sie die Ganzkörper-Dosisleistung und die Ganzkörper-Äquivalentdosisleistung von  $1 \text{ g } ^{210}\text{Po}$ . (Nehmen Sie ein Körpergewicht von  $75 \text{ kg}$  an. Die Reichweite von  $5 \text{ MeV } \alpha$ -Teilchen in Wasser ist  $< 100 \mu\text{m}$  ). **2**

- b) Berechnen Sie die Masse von  $^{210}\text{Po}$  die nötig wäre, um eine Person der lethalen Dosis von 10 Sv innerhalb eines Tages auszusetzen. 1
- c) (nur zur Diskussion in der Übung) Warum ist es so schwer, eine  $^{210}\text{Po}$ -Kontamination nachzuweisen? 1

#### Aufgabe 4: Deuteron

Zur Beschreibung eines Deuteron-Kerns wird ein Potentialtopf mit Tiefe  $V = -V_0$  und Radius  $a = 1,5$  fm angenommen. Schreibt man die Wellenfunktion  $\Psi(\vec{r})$  für Drehimpuls  $l = 0$  als  $\Psi(\vec{r}) = u_0 \frac{u(r)}{r}$ , erhält man mit der Schrödingergleichung folgende Differentialgleichung für  $u(r)$ :

$$-(\hbar^2/2m)u'' + V(r)u = Eu$$

mit der reduzierten Masse  $m$ . Die Lösung der Gleichung lautet:

$$u(r) = A \sin(kr) + B \cos(kr) \text{ für } r \leq a \text{ und } u(r) = C \exp(-\alpha r) + D \exp(\alpha r) \text{ für } r \geq a$$

- a) Benutzen Sie die Randbedingungen an  $R(r)$  für  $r = 0$  und  $r = \infty$  und die Stetigkeitsbedingung für  $r = a$ , um  $B$ ,  $C$  und  $D$  zu bestimmen. 2
- b) Benutzen Sie die Stetigkeitsbedingung an  $u'$  für  $r = a$  und die Bindungsenergie  $BE = 2,2$  MeV  $\ll V_0$ , um den Zusammenhang zwischen  $a$  und  $V_0$  zu bestimmen. 2
- c) Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeiten dafür, dass ein Nukleon im Topf ist, und dafür, dass es sich außerhalb aufhält. 2

#### Aufgabe 5: Geiger-Nuttall-Regel 2

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

#### Aufgabe 6: Produktion radioaktiver Isotope durch Bestrahlung

Das radioaktive Isotop  $C$  (Zerfallskonstante  $\lambda_C$ ) 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  $\Phi_b$  und  $\sigma$  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. 2
- 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  $^{11}\text{B}$ -Target von 0.1 mol. 1