

**Übungen zu
Moderne Experimentalphysik III
(Kerne und Teilchen)
Sommersemester 2017**

Übungsblatt Nr. 7

Ausgabe: Di, 20.06.2017

Abgabe: Di, 27.06.2017 (13:30) Briefkasten Geb. 30.23

Name des Übungsgruppenleiters und Gruppenbuchstabe:

Namen der bearbeitenden Gruppe:

Aufgabe 1: Deuteriumfusion

(4 Punkte)

Die Reaktionsrate $\frac{dN}{dt}$ zwischen zwei Atomkernen in einem Plasma der Temperatur T sei gegeben durch

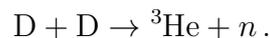
$$\frac{dN(E)}{dt} = n \cdot \langle \sigma v \rangle \propto \exp \left[-\frac{E}{k_B T} \right] \cdot \exp \left[-\frac{b}{\sqrt{E}} \right]$$

mit E der Energie des Anfangszustands und mit

$$b = 30 \cdot Z_1 Z_2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right)^{1/2} \text{ keV}^{1/2}$$

wobei Z_i und A_i die Kernladungs- bzw. Massenzahlen des i -ten Kerns seien.

- Zeigen Sie, dass die Reaktionsrate bei einer Energie von $E_{\max} = \left(\frac{1}{2} b k_B T\right)^{2/3}$ am größten ist.
- Betrachten Sie die Reaktion



Berechnen Sie E_{\max} für diese Reaktion im Innern der Sonne ($T = 15 \cdot 10^6 \text{K}$) und für das frühe Universum zu Beginn der primordialen Nukleosynthese.

- Welche Energie wird benötigt, damit sich die Deuteronen über die Coulomb-Barriere hinweg bis auf $2R_{\text{D}} = 4 \text{ fm}$ annähern können? (Vernachlässigen Sie hierbei den Tunneleffekt.)

Geben Sie Energien in keV an.

Hinweise: $k_B = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ keV/K}$, $1 \text{ fm} = 1/(197 \text{ MeV})$

Aufgabe 2: Erhaltungssätze und Wechselwirkungen

(2 Punkte)

Betrachten Sie die folgenden Erhaltungssätze

- a) Leptonenzahlerhaltung
- b) Erhaltung des starken Isospins T_3
- c) Erhaltung der Strangeness S
- d) Paritätserhaltung
- e) CP-Erhaltung

Geben Sie jeweils an, für welche Wechselwirkung (WW) die Erhaltungssätze gelten. Betrachten Sie den elektromagnetischen Teil (oder Photonenaustausch) der elektroschwachen WW, den schwachen Teil (oder W/Z-Austausch) der elektroschwachen WW und die starke WW.

Aufgabe 3: Erhaltungssätze und Prozesse im Standardmodell (5 Punkte)

- a) Welche der folgenden Prozesse sind im Standardmodell der Teilchenphysik erlaubt, sofern die Energie im Anfangszustand ausreicht?

- (1) $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
- (2) $p + p \rightarrow K^+ + \Sigma^+$
- (3) $p + n \rightarrow \Lambda^0 + \Sigma^+$
- (4) $e^+ + e^- \rightarrow u + \bar{t}$

- b) Welche der folgenden Zerfälle sind im Standardmodell erlaubt?

- (1) $\mu^- \rightarrow e^- \gamma$
- (2) $\tau^- \rightarrow e^- + \nu_\tau + \bar{\nu}_e$
- (3) $\Sigma^+ \rightarrow K^+ + \Lambda^0$
- (4) $\Xi^- \rightarrow n + \pi^-$
- (5) $p \rightarrow e^+ \pi^0$
- (6) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$

Verwenden Sie die Webseite <http://pdg.lbl.gov> der Particle Data Group, um die relevanten Eigenschaften der Teilchen nachzuschlagen.

Falls ein Prozess nicht erlaubt ist, begründen Sie kurz, warum dies der Fall ist.

Hinweis: Die Flavourquantenzahlen der Quarks können durch geladene Ströme der elektroschwachen Wechselwirkung geändert werden, dabei ändern sich der starke Isospin T_3 um $|\Delta T_3| = 1/2$ und die Strangeness S um $|\Delta S| = 1$. Diese Prozesse treten allerdings mit deutlich geringerer Rate auf als die der starken und elektromagnetischen Wechselwirkung (deswegen der Name „schwache Wechselwirkung“).

Aufgabe 4: Teilchenentdeckung (6 Punkte)

Ein Fixed-Target-Experiment sucht nach Hinweisen auf die Reaktion $pp \rightarrow HK^+K^+$, wobei H ein hypothetisches Hadron ist.

- Welche elektrische Ladung, starken Isospin, Strangeness und Baryonenzahl muss H besitzen?
- Begründen Sie mit dem Ergebnis aus a), aus wie vielen Quarks und Antiquarks H mindestens aufgebaut sein muss und geben Sie ein Beispiel an.
- Eine theoretische Berechnung der Teilchenmasse von H ergebe eine Vorhersage von $m_H = 2150 \text{ MeV}$. Welchen minimalen Impuls muss der einfallende Protonenstrahl besitzen, damit H im Experiment produziert werden kann? Geben Sie das Ergebnis in GeV an.
- Argumentieren Sie, ob der Zerfall $H \rightarrow \Lambda^0 \Lambda^0$ möglich ist.

Betrachten Sie nur die starke Wechselwirkung.

Verwenden Sie auch hier wieder die Veröffentlichungen der Particle Data Group, um die relevanten Eigenschaften der K^+ - und Λ^0 -Hadronen nachzuschlagen.

Aufgabe 5: Diskrete Symmetrien (3 Punkte)

Geben Sie an, wie sich die folgenden physikalischen Größen unter der Paritätsoperation \hat{P} (Punktspiegelung am Ursprung) und der Zeitumkehroperation \hat{T} verhalten:

- Ortskoordinate \vec{r}
- Impulsvektor \vec{p}
- Spin- oder Drehimpulsvektor $\vec{\sigma} = \vec{r} \times \vec{p}$
- Statisches elektrisches Feld $\vec{E} = \vec{\nabla} \phi$
- Statisches Magnetfeld $\vec{B} = \vec{j} \times \vec{r}$

- f) Potenzielle Energie eines elektrischen Dipols aufgrund von Teilchenspin $\vec{s} \cdot \vec{E}$
- g) Potenzielle Energie eines magnetischen Dipols aufgrund von Teilchenspin $\vec{s} \cdot \vec{B}$

Bonusaufgabe 6: Fußballtor

(1 Punkt)

Wie groß ist die Fläche eines Fußballtores in natürlichen Einheiten?