

**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: Viererimpuls**

a) Ein Elektron habe die Geschwindigkeit  $\vec{\beta} = (0.9, 0.1, 0.001)$ . Wie lautet der Viererimpuls des Elektrons?

**1**

b) Ein Pion habe die Energie  $E$  und den Dreierimpuls  $\vec{P} = (0, P, 0)$ . Wie lautet die 4x4-Matrix der Lorentz-Transformation, die in das Ruhesystem dieses Pions führt?

**1**

**Aufgabe 3: Skalarprodukt von Vierervektoren**

**2**

Zeigen Sie am Beispiel einer Lorentz-Transformation in  $z$ -Richtung, dass Skalarprodukte von zwei Vierervektoren  $(a, b)$  lorentzinvariant sind:

$$a' b' = a b$$

**Aufgabe 4: Schwerpunktsenergie**

a) Am HERA-Beschleuniger in Hamburg wurden von 1992 bis 2007 Elektronen mit einer Energie von 27,5 GeV mit 920 GeV Protonen zur Kollision gebracht. Berechnen Sie die Schwerpunktsenergie.

**1**

b) Der am CERN in Genf gelegene Large Hadron Collider (LHC) erlaubt es, zwei Protonenstrahlen mit gleicher Energie zur Kollision bringen. Der LHC wurde bei verschiedenen Schwerpunktsenergien von 900 GeV (2009), 7 TeV (2010), 8 TeV (2012), 13 TeV (2015-letzte Woche) betrieben. Geben Sie die Energie der Protonen für Kollisionen bei einer Schwerpunktsenergie von 8 und 13 TeV an.

**1**

- c) Der LHC wurde auch dafür gebaut,  $^{208}\text{Pb}$  Ionen mit einer Energie von 2,76 TeV pro Nukleon zur Kollision zu bringen. Wie hoch müsste die Energie eines Bleikerns sein, wenn in einer Reaktion mit einem ruhenden Bleikern die selbe Schwerpunktsenergie erreicht werden soll? **2**

**Aufgabe 5: Zerfall eines Top-Quarks** **3**

Das Top-Quark zerfällt fast ausschließlich in ein Bottom-Quark und ein W-Boson. Das W-Boson kann hadronisch (in Quarks) oder leptonisch (in ein Lepton und ein Neutrino) zerfallen. Wir betrachten nur den leptonischen Zerfall und nehmen  $m_\nu = 0$  an.

Bei einer Messung wird im Ruhesystem des Top-Quarks die Lepton-Energie  $E_l = 50 \text{ GeV}$  und die Neutrino-Energie  $E_\nu = 55 \text{ GeV}$  festgestellt. Welche Größe hat die rekonstruierte Top-Quark-Masse?

**Aufgabe 6: Mesonen: Teilchenzerfall und Zeitdilatation**

Durch die kosmische Strahlung wird in 20 km Höhe in der Atmosphäre ein Pion mit einer Energie von 2 GeV erzeugt. Die Masse des Pions ist  $m_\pi = 138,57 \text{ MeV}$ , die Myon-Masse ist  $m_\mu = 105,68 \text{ MeV}$  und die Lebensdauer des Pions ist  $\tau_\pi = 2.603 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ .

- a) Berechnen Sie Geschwindigkeit, Impuls und kinetische Energie des Pions sowie den relativistischen  $\gamma$ -Faktor. **3**
- b) Welche Strecke legt das Pion im Mittel zurück, bevor es zerfällt? **1**
- c) Das Pion zerfällt im Flug durch den Prozess  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ . Wie groß sind Energie, Impuls und Geschwindigkeit des Myons im Schwerpunktsystem des Pions ( $m_\nu \approx 0$ )? **2**
- d) Wie groß ist die maximale und minimale Energie des Myons im System der Erde? **2**