

# Übungen zu Experimentalphysik V WS 2014/2015

Prof. Dr. Karl Jakobs, Dr. Karsten Köneke

## Übungsblatt Nr. 1

**Die Lösungen müssen bis 10 Uhr am Dienstag den 28.10.2014 in den Briefkasten 1 im Erdgeschoss des Gustav-Mie-Hauses eingeworfen werden!**

---

### 1. Relativistische Kinematik

Ein Teilchen der Masse  $m$  bewege sich mit der Geschwindigkeit  $v$  im Laborsystem. Drücken Sie die Größen  $\beta$ ,  $\gamma$  und  $\beta\gamma$  durch den Betrag des Dreierimpulses  $|\vec{p}|$  und der Energie  $E$  aus. [2 Punkte]

### 2. Kosmische Myonen

Myonen der Höhenstrahlung werden beim Einfall kosmischer Strahlung auf die Erdatmosphäre in einer Höhe von  $h = 8000$  m über dem Erdboden produziert, z.B. über den Zerfall  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ . Im Folgenden soll angenommen werden, dass die Myonen eine kinetische Energie von 900 MeV haben. Die Ruhemasse des Myons beträgt 105,7 MeV.

- Berechnen Sie die totale Energie eines Myons der Höhenstrahlung. [1 Punkt]
- Berechnen Sie den Impuls des Myons. [1 Punkt]
- Die erzeugten Myonen zerfallen nach einer mittleren Lebensdauer von  $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6}$  s über die Reaktion  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$ . Berechnen Sie die mittlere Flugstrecke der Myonen in ihrem Ruhesystem und im Laborsystem. [1 Punkt]
- Myonen zerfallen nach einem exponentiellen Zerfallsgesetz. Die Zahl der nach der Zeit  $t$  nicht zerfallenen Myonen ist gegeben durch  $N(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$  mit  $N_0$  als Zahl der zum Zeitpunkt  $t = 0$  vorhandenen Myonen. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Myon eine Flugstrecke von mindestens 1000 m zurücklegt, bevor es zerfällt. [1 Punkt]

### 3. Zweikörperzerfall

Im Ruhesystem eines schweren Teilchens werden als seine einzigen Zerfallsprodukte zwei entgegengesetzt geladene Myonen detektiert. Diese beiden Myonen fliegen in entgegengesetzter Richtung auseinander und der Betrag ihres jeweiligen Dreierimpulses  $|\vec{p}|$  wurde zu jeweils 45,5 GeV/c bestimmt.

- Bestimmen Sie die invariante Masse des Zwei-Myon-Systems. [1 Punkt] (*Hinweis: Da die Ruhemasse des Myons 105,7 MeV/c<sup>2</sup> hier sehr klein gegenüber seinem Impulsbetrag ist können Sie die Ruhemasse der Myonen in der Rechnung vernachlässigen.*)
- Um welches Teilchen handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach, welches hier in die zwei Myonen zerfallen ist? [1 Punkt] (*Hinweis: Die Eigenschaften aller bekannten Teilchen werden von der "Particle Data Group" (<http://pdg.lbl.gov/>) zusammengefasst und publiziert. Sie können unter "Summary Tables" nach den "Gauge Bosons" suchen um diese Frage zu beantworten. Sie können von der "Particle Data Group" auch diese Zusammenfassung der Teilcheneigenschaften als kleines Handbuch ("Particle Physics Booklet") kostenlos bestellen.*)

#### 4. Supernova

Von einer Supernova, die 170000 Lichtjahre entfernt ist, kommen zwei Neutrinos mit den Energien  $E_1 = 20$  MeV und  $E_2 = 5$  MeV auf der Erde an. Wie groß ist die zeitliche Verzögerung der beiden Neutrinos gegeneinander, wenn man annimmt, dass ihre Ruhemasse  $1\text{eV}/c^2$  beträgt? [2 Punkte] (Hinweis: Die Berechnung vereinfacht sich, wenn man ausnutzt, dass die Ruhemasse der Neutrinos klein gegenüber ihrer Energie ist.)

#### 5. Plancksche Einheiten

Max Planck entdeckte gegen Ende des 19. Jahrhunderts bei seinen Arbeiten zur Theorie der Schwarzkörperstrahlung, für welche er 1918 den Nobelpreis in Physik erhielt, eine weitere Naturkonstante, das später nach ihm benannte reduzierte plancksche Wirkungsquantum  $\hbar$ . Er bemerkte, dass sich zusammen mit der newtonschen Gravitationskonstante  $G_N$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  sogenannte "natürliche Einheiten" definieren lassen, welche nur aus Produkten und Quotienten geeigneter Potenzen dieser Naturkonstanten bestehen. Max Planck erwähnte dies in einem Vortrag und legte darauf großen Wert (publiziert in *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, Band 5, S. 479, 1899):

*"...die Möglichkeit gegeben ist, Einheiten für Länge, Masse, Zeit und Temperatur aufzustellen, welche, unabhängig von speziellen Körpern oder Substanzen, ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und aussermenschliche Culturen nothwendig behalten und welche daher als 'natürliche Maasseinheiten' bezeichnet werden können."*

Die genauen Formeln gehen aus einer Betrachtung der Dimensionen, oder Einheiten, der drei Naturkonstanten eindeutig hervor. Bestimmen Sie aus den drei Einheiten

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (1)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054\,571\,726 \times 10^{-34} \text{ J s} \quad (2)$$

$$G_N = 6,673\,84 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \quad (3)$$

die Planck-Masse, die Planck-Länge und die Planck-Zeit, jeweils ausgedrückt als Formel aus den drei gegebenen Naturkonstanten, als Zahlenwert in SI Einheiten und als Zahlenwert in natürlichen Einheiten. Nutzen Sie für den letzten Teil GeV als Basisgröße. [2 Punkte]