

Übungsblatt 1

Dr. Markus Roth, Max Stadelmaier
Institut für Astroteilchenphysik

05.11.2020 - 19.11.2020
Gesamtpunktzahl: 20

1 Natürliche Einheiten

1 + 2 + 2 = 5

In der Hochenergiepartikelphysik und Astroteilchenphysik wird häufig die Einheitenkonvention

$$c = \hbar = G = k_B \equiv 1$$

genutzt. Dadurch ergeben sich die sog. natürlichen Einheiten, in denen Werte von u.a. Masse und Energie in Elektronenvolt angegeben werden.

- (a) Eine Tafel Hypernova-Schokolade wiege 100 g. Welcher Einheit und welchem Zahlenwert entspricht dies in natürlichen Einheiten?
- (b) Eine Vorlesung dauert ca. 90 Minuten (t_V). Während dieser Zeit legt der Dozent (wenn dieser nicht gerade eine Online-Vorlesung hält) ca. 150 m (d_V) Wegstrecke vor der Tafel zurück. Bestimmen Sie Einheit und Zahlenwert von t_V und d_V in natürlichen Einheiten.
- (c) Bei einer Schwerpunktsenergie von 10^4 GeV beträgt der totale Wirkungsquerschnitt für Proton-Proton-Reaktionen ca. $2.6 \cdot 10^{-4} \text{ MeV}^{-2}$. Welchem Wirkungsquerschnitt in barn entspricht dies? (Hinweis: $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$)

2 Reichweite des Myon

5

Ein Myon verliert im Schnitt $\Delta E = 1.8 \text{ MeV}$ pro 1 g/cm^2 durchquerte Massensäule. Die Dichte der Luft und des Gesteins sei $\rho_{\text{Luft}} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ und $\rho_{\text{Gestein}} = 2.6 \text{ g/cm}^3$. Berechnen Sie die Reichweite von Myonen mit der Energie 1 GeV und 10 GeV in der Erdatmosphäre und in Felsgestein.

3 Atmosphärische Tiefe

1 + 3 + 1 = 5

Betrachten Sie ein Teilchen der kosmischen Strahlung, welches beim Eintritt in die Erdatmosphäre mit einem Kern der Luft wechselwirkt und Sekundärteilchen erzeugt. Führen Sie die folgenden Berechnungen jeweils für Wasserstoff- und Eisenkerne durch, die mit einem Zenitwinkel von 45° in die Atmosphäre eintreten. Die Strahlungslänge von Protonen und Eisenkernen in Luft sei $\lambda_p = 80 \text{ g/cm}^{-2}$ und $\lambda_{\text{Fe}} = 12 \text{ g/cm}^{-2}$.

- (a) In welcher atmosphärischen Tiefe (gemessen in g/cm^{-2}) findet im Mittel die erste Wechselwirkung der Teilchen statt?

- (b) Ein Detektor an einem Ballon fliegt in großer Höhe, so dass die Restatmosphäre oberhalb des Detektors eine vertikale Säulentiefe von nur 5.5 g/cm^{-2} hat. Berechnen Sie den Anteil der Proton- und Eisenteilchen, welche vor dem Erreichen des Detektors schon mindestens eine Wechselwirkung hatten.
- (c) In welcher Höhe findet im Mittel die erste Wechselwirkung statt, wenn Sie eine isotherme Atmosphäre mit einer Skalenhöhe von 8.4 km annehmen?

4 Wirkungsquerschnitt

5

Der totale Wirkungsquerschnitt bei Streuung von ${}^{12}_6\text{C}$ an interstellaren Protonen betrage $205 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$. Angenommen 99% der ${}^{12}_6\text{C}$ -Kerne, die von einem Supernova-Rest stammen, erreichten die Erde. Bestimmen Sie den Abstand zwischen Erde und Supernova-Rest. Wie realistisch ist der erhaltene Wert? Nehmen sie eine mittlere Protonendichte von $\bar{n}_{\text{ISM}} = 1 \text{ cm}^{-3}$ an.

LÖSUNGEN

Aufgabe 1

a)

$$1 \frac{\text{eV}}{c^2} = 1.783 \times 10^{-33} \text{ g} \iff 100 \text{ g} = 5.61 \times 10^{34} \text{ eV}$$

b)

$$\hbar = 6.582 \times 10^{-16} \text{ eV s} \Rightarrow 1 \text{ s} = 1.519 \times 10^{15} \frac{1}{\text{eV}}$$

$$c\hbar = 197.3 \times 10^{-9} \text{ eV m} \Rightarrow 1 \text{ m} = 5.068 \times 10^9 \frac{1}{\text{eV}}$$

Damit ergibt sich wie folgt:

$$t_V = 90 \cdot 60 \cdot 1.519 \times 10^{15} \frac{1}{\text{eV}} = 8.204 \times 10^{18} \frac{1}{\text{eV}}$$

$$d_V = 150 \cdot 5.068 \times 10^9 \frac{1}{\text{eV}} = 7.602 \times 10^8 \frac{1}{\text{eV}}$$

c)

$$1 \text{ m} = 5.068 \times 10^9 \frac{1}{\text{eV}} \Rightarrow 1 \frac{1}{\text{MeV}^2} = 3.893 \times 10^{-32} \text{ m}^2$$

$$s_{pp \rightarrow X} = 2.6 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{MeV}^2} \cdot 3.893 \times 10^{-32} \text{ MeV}^2 \text{ m}^2 = 1.012 \times 10^{-26} \text{ m}^2$$