

## Übung Nr. 1

### Aufgabe 1. Natürliche Einheiten

- i. Drücken Sie die Gravitationskonstante  $G_N = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  in Einheiten von GeV aus. Wie groß ist die Planck-Masse  $m_{\text{Pl}} = G_N^{-1/2}$ ?
- ii. Welcher Länge, Zeit, Energie und Masse (in SI-Einheiten) entspricht 1 GeV (in natürlichen Einheiten)?
- iii. Wirkungsquerschnitte werden oft in Millibarn angegeben, wobei  $1 \text{ mb} = 10^{-3} \text{ b} = 10^{-27} \text{ cm}^2$  sind. Wieviel Millibarn entsprechen einem Querschnitt von  $1 \text{ GeV}^{-2}$ ?
- iv. Ein Neutrino ändert seinen Flavor auf dem Weg von seinem Erzeugungspunkt bis zu einem Messapparat, was als *Neutrinooszillation* bezeichnet wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein  $\nu_e$  sich in ein  $\nu_\mu$  umwandelt, ist

$$\mathcal{P}(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) \propto \sin^2 \frac{\Delta m^2 L}{4E}$$

mit  $L$  der zurückgelegten Strecke des Neutrinos,  $E$  dessen Energie, und  $\Delta m^2$  der Differenz der Massenquadrate der entsprechenden Masseneigenzustände. Zeigen Sie, dass die Wellenlänge der Schwingung gegeben ist durch

$$\lambda [\text{km}] = 2,48 \frac{E [\text{GeV}]}{\Delta m^2 [\text{eV}^2]}.$$

### Aufgabe 2. Review of Particle Physics

Suchen Sie auf <http://pdg.lbl.gov> (oder in der Papier-Version der Review) nach den folgenden Daten:

- i. Was ist die Masse des Protons? die Masse des Elektrons?
- ii. Was ist die Masse des Myons ( $\mu$ )? In welche Teilchen zerfällt es hauptsächlich? Nach wieviel Zeit (in dessen Ruhesystem)?
- iii. Gleiche Fragen für die geladenen Pionen ( $\pi^\pm$ ).

### Aufgabe 3. Energie, Masse, Impuls

- i. Wie schnell (in natürlichen Einheiten) ist ein Proton (die Masse kennen Sie aus Aufgabe 2), dessen im Labor gemessener Impuls  $|\vec{p}| = 0,1 \text{ GeV}$  ist? Und mit  $|\vec{p}| = 10 \text{ GeV}$ ?
- ii. Welchen Impuls hat ein Elektron der Energie  $1 \text{ GeV}$ ?

### Aufgabe 4. Relative Geschwindigkeit

Seien zwei Teilchen mit den Impulsen  $p_1^\mu$  und  $p_2^\mu$ . Finden Sie einen kovarianten Ausdruck für deren relative Geschwindigkeit, entsprechend der Geschwindigkeit des einen Teilchens im Ruhesystem des anderen.

*Hinweis:* Sie können das Skalarprodukt  $\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$  im Ruhesystem eines der Teilchen bilden.