

Übung Nr. 1

Diskussionsthema: Was nennt man „(relativistische) Kovarianz einer Theorie“?

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 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 ν_e sich in ein ν_μ 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 Δm^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 (μ)? In welche Teilchen zerfällt es hauptsächlich? Nach wieviel Zeit (in dessen Ruhesystem)?
- iii. Gleiche Fragen für die geladenen Pionen (π^\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 GeV?

Aufgabe 4. Relative Geschwindigkeit

Seien zwei Teilchen mit den Impulsen p_1^μ und p_2^μ . 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.