Kern– und Teilchenphysik, Monobachelor Physik

Humboldt–Universität zu Berlin, Wintersemester 2017/18,
Prof. Dr. H. Lacker, Dr. J. Dietrich, Dr. S. Mergelmeyer

Präsenzübung 1

Aufgabe 1: Natürliche Einheiten

Eine Observable $\mathcal{O}$ habe in natürlichen Einheiten die Dimension $[\mathcal{O}] = [E]^l$. Um auf SI-Einheiten umzurechnen, erweitert man mit Potenzen von $\hbar$ und c: $[E]^l_{SI}[\hbar]^m_{SI}[c]^n_{SI} = [\mathcal{O}]_{SI}$. Bei vorgegebenem l ergeben sich die Potenzen m und n. In SI-Einheiten ist: $[E]_{SI} = [M]_{SI}[L]^2_{SI}[T]^{-1}_{SI}$, $[\hbar]_{SI} = [M]_{SI}[L]^2_{SI}[T]^{-1}_{SI}$, $[c]_{SI} = [L]_{SI}[T]^{-1}_{SI}$ bzw. auch $[E]_{SI} = \text{GeV}$, $[p]_{SI} = \text{GeV}/c$, $[M]_{SI} = \text{GeV}/c^2$.

- Wirkungsquerschnitte werden oft in Einheiten einer Fläche angegeben, die in etwa der Querschnittsfläche eines Kernes (Radius eines großen Kerns: $O(10^{-14}\text{ m})$) entsprechen, dem **barn**:
$$1b = 10^{-28}\text{ m}^2 = (10\text{ fm})^2$$
Es sei ein Wirkungsquerschnitt in natürlichen Einheiten der Größe
$$\sigma = 0,129\text{ GeV}^{-2}$$
gegeben. Rechnen Sie dies in SI-Einheiten und in barn um.
- In natürlichen Einheiten ist die Comptonwellenlänge (des Elektrons) $\lambda_C = \frac{1}{m_e}$. Geben Sie die Formel für die Comptonwellenlänge in SI-Einheiten an, indem Sie die Potenzen m und n bestimmen.

Aufgabe 2: Wiederholung der relativistischen Kinematik

In natürlichen Einheiten ist der Viererimpulsvektor $p = (E, \vec{p})$. Viererimpulsskalarprodukte $p_1 \cdot p_2$ und insbesondere das Quadrat eines Viererimpulsvektors sind lorentzinvariant: $p^2 = E^2 - \vec{p}^2 = m^2$, wobei E die Gesamtenergie, $\vec{p}$ der Dreierimpulsvektor und m die (lorentz)invariante Masse ist. Für ein Teilchen ist m die Ruhemasse des Teilchens. Für den relativistischen Dreierimpuls gilt $|\vec{p}| = \gamma\beta m$ mit $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ und β der Geschwindigkeit in Einheiten der Lichtgeschwindigkeit.

1. Zeigen Sie, dass dann gilt: $E = \gamma m$ bzw. $E_{kin} = (\gamma - 1)m$
2. Zeigen Sie, dass m tatsächlich lorentzinvariant und damit eine Teilcheneigenschaft ist, indem Sie von einem System S in ein mit Geschwindigkeit β_f bewegtes System S' transformieren. Die Lorentztransformationen für Energie und Impuls in dieses bewegte System lauten: $E' = \gamma_f E - \gamma_f \beta_f p_{||}$, $p'_{||} = -\gamma_f \beta_f E + \gamma_f p_{||}$, $p'_T = p_T$. Dabei ist E die Energie und $p_{||}$ (p_T) die Impulskomponente des Teilchens parallel (senkrecht) zum Geschwindigkeitsvektor $\vec{\beta}_f$ im System S.
3. In der Kollision zweier Teilchen ist die Gesamtenergie im Schwerpunktsystem gegeben durch: $E_{CM} = \sqrt{s}$ mit der lorentzinvarianten Größe $s = (p_1 + p_2)^2$. Zeigen Sie, dass bei der frontalen Kollision zweier Teilchen der selben Masse und Energie gilt: $E_{CM} = 2E_1$.

Aufgabe 3: Massen der fundamentalen Fermionen und Bosonen

Schauen Sie im Review of Particle Physics der Particle Data Group (http://pdg.lbl.gov/2017/download/rpp2016-Chin.Phys.C.40.100001.pdf) oder in der reduzierten Version als Booklet, das Ihnen ausgegeben wurde, bzw. unter http://pdg.lbl.gov/2017/html/Summary_Tables_Booklet_2016.pdf nach, welche Massen

1. die verschiedenen Quarks
2. die verschiedenen geladenen Leptonen
3. das Photon, $W^{\pm}$, Z und die Gluonen
4. das Higgsboson

in MeV oder GeV haben und vergleichen Sie mit der Masse des Protons.