

Übungsblatt Nr. 1

Besprechung in der Woche ab 18.10.

Aufgabe 1.1: Natürliche Einheiten der Teilchenphysik

- a) Ergänzen Sie die Tabelle aus Kapitel 2.1 der Vorlesung um die fehlenden Einträge für Impuls und Fläche. (1 Punkt)

Quantity	[kg, m, s]	[$\hbar$, c, GeV]	$\hbar = c = 1$
Energy	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	GeV	GeV
Momentum	kg m s^{-1}		GeV
Mass	kg	GeV/c^2	GeV
Time	s	$(\text{GeV}/\hbar)^{-1}$	GeV^{-1}
Length	m	$(\text{GeV}/\hbar c)^{-1}$	GeV^{-1}
Area	m^2		GeV^{-2}

- b) Wandeln Sie folgende Größen in natürliche Einheiten bzw. SI-Einheiten um: (2 Punkte)

- Die Lebensdauer des Higgs-Bosons wird mit $\tau \approx \frac{1}{5 \text{ MeV}}$ vorhergesagt.
- Bei LEP beträgt der Wirkungsquerschnitt $\sigma(e^+e^- \rightarrow Z) \approx 40 \text{ nb}$.
(Wirkungsquerschnitte werden üblicherweise in Barn ($1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$) angegeben.)
- Der Bohrsche Radius $a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}$ lässt sich am einfachsten in natürlichen Einheiten mit der Feinstrukturkonstante α ausdrücken.

Aufgabe 1.2: Hochenergie-Beschleuniger

- a) Welche Energie wäre in einem pp -Kollisionsexperiment mit ruhendem Proton-Target für das beschleunigte Proton aufzubringen, um die gleiche Energie im Schwerpunktssystem der Kollision zu erreichen, die momentan bei LHC-Kollisionen ($\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$) erreicht wird? Vergleichen Sie diese mit den Energien von kosmischen Strahlen. (2 Punkte)
- b) Stellen Sie sich vor, Sie möchten durch Streuung eines Protonenstrahls an einem ruhenden Protonentarget *Anti-Protonen* erzeugen. Aufgrund von Baryonenzahlerhaltung ist dies im einfachsten Fall nur durch die Erzeugung eines zusätzlichen $p\bar{p}$ -Paares möglich: (2 Punkte)

$$p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$$

Finden Sie die minimale Strahlenergie E (im Laborsystem), mit der dieser Prozess kinematisch gerade noch möglich ist.

- c) In der Vorlesung haben Sie die Entwicklung der integrierten Luminosität am LHC in den Jahren 2012 bei $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ und 2015-2018 bei $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ kennengelernt. Anfang Juli 2012 wurde die Entdeckung des Higgs-Bosons mit den bis dahin gesammelten Daten bekannt gegeben. Schätzen Sie ab, wieviel mehr Higgs-Bosonen im zweiten Run von 2015-2018 bereits produziert worden sind. Der Wirkungsquerschnitt für die Produktion von Higgs-Bosonen mit $m_H = 125 \text{ GeV}$ beträgt (2 Punkte)

$$\sigma(pp \rightarrow H, \sqrt{s} = 8 \text{ TeV}) = 24.5 \text{ pb} \quad \text{bzw.}$$

$$\sigma(pp \rightarrow H, \sqrt{s} = 13 \text{ TeV}) = 55.69 \text{ pb}.$$

Aufgabe 1.3: Relativistische Kinematik

- a) Betrachten Sie eine Zerfallsreaktion eines Teilchens der Masse M in zwei Teilchen jeweils mit Masse m . Bestimmen Sie den Impulsbetrag $|\vec{p}|$ der Zerfallsprodukte im Schwerpunktssystem des Zerfalls. (2 Punkte)
- b) Zeigen Sie anhand der Prozesskinematik, dass der Prozess $\gamma \rightarrow e^+e^-$ nicht im Vakuum stattfinden kann. (1 Punkt)
- c) Die Mandelstam-Variablen im Streuprozess $1+2 \rightarrow 3+4$ sind durch die Impulse der jeweiligen Teilchen folgendermaßen definiert: (1 Punkt)

- $s = (p_1 + p_2)^2 = (p_3 + p_4)^2$
- $t = (p_1 - p_3)^2 = (p_2 - p_4)^2$
- $u = (p_1 - p_4)^2 = (p_2 - p_3)^2$

Zeigen Sie, dass damit gilt:

$$s + t + u = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2$$

- d) Zeigen Sie, dass die Rapidität $y = \frac{1}{2} \ln \frac{E+p_z}{E-p_z}$ unter Boosts entlang der z -Achse nur eine zusätzliche additive Konstante erhält, und demzufolge Rapiditätsdifferenzen invariant unter diesem Boost sind. (2 Punkte)
- e) Zeigen Sie, dass die Rapidität y für ein masseloses Teilchen identisch zur Pseudorapidität

$$\eta = -\ln \tan \frac{\theta}{2}$$

ist.

(1 Punkt)