# Kern– und Teilchenphysik, Monobachelor Physik

**Humboldt–Universität zu Berlin, Wintersemester 2018/2019,**
**Prof. Dr. H. Lacker, Dr. C. Scharf, J. Krieg**

# Hausaufgabenblatt 1 (Bonus)

**Abgabe: 22.10.2017 bis 13:00 vor Raum NEW 15 1'413/414**

## Aufgabe 1: Natürliche Einheiten, $\hbar c = 197$ MeV $\cdot$ fm

1. Instabile Zustände mit mittlerer Lebensdauer $\tau$ besitzen eine Energieunschärfe $\Gamma$ ("Breite"). In natürlichen Einheiten ist die Energie-Zeit-Unschärfe gegeben durch: $\Gamma \cdot \tau \geq 1$. Sie wissen: $\hbar c = 197$ MeV $\cdot$ fm und $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

    (a) Welche Lebensdauer hat ein $W$-Boson in Sekunden? (1 Punkt) (Schlagen Sie dazu die Eigenschaften des $W$-Bosons z. B. im Particle Data Booklet nach.)

    (b) Welche Breite hat ein $\mu$-Lepton in MeV? (1 Punkt) (Schlagen Sie dazu die Eigenschaften des $\mu$-Leptons z. B. im Particle Data Booklet nach.)

2. Welche Impulsunschärfe (in MeV/c) hat ein Quark, das sich in einem Hadron der Ausdehnung $10^{-15}$ m bewegt? (1 Punkt)

3. Schreiben Sie das potientelle Energie für die elektrostatische Wechselwirkung zweier Protonen mit Hilfe von $\alpha$ und $\hbar c$. Berechnen Sie damit die potentielle Energie eines Protons in MeV, das 1 fm von einem anderen Proton entfernt ist. (1 Punkt)

4. Sie wissen, dass $\hbar c = 197$ MeV $\cdot$ fm, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s und $m_p = 938$ MeV$c^{-2}$ $= 1,67 \cdot 10^{-27}$kg. Zeigen Sie, dass die Newton'sche Gravitationskonstante $G_N = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ geschrieben werden kann als $G_N = 6,7 \cdot 10^{-39} \hbar c (\text{GeV}/c^2)^{-2}$. (1 Punkt)

5. Durch Vergleich des Gravitationsgesetzes in natürlichen Einheiten und der Coulombkraft in Heaviside-Lorentz-Einheiten, berechnen Sie, um welchen Faktor die Gravitationskraft zwischen zwei Protonen kleiner ist als die Coulombkraft zwischen beiden Protonen. (1 Punkt)

Bitte wenden!

## 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 $\beta$ der Geschwindigkeit in Einheiten der Lichtgeschwindigkeit.

1. Zeigen Sie, dass dann gilt $E = \gamma m$ gilt und damit $E_{kin} = (\gamma - 1)m$. (1 Punkt)

2. Zeigen Sie, dass $m$ tatsächlich lorentzinvariant und damit eine Teilcheneigenschaft ist, indem Sie von einem System $S$ in ein mit Geschwindigkeit $\beta_f$ 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 $S$. (1 Punkt)

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 Masse $m$ im Schwerpunktsystem ($\vec{p}_1^* = -\vec{p}_2^*$) gilt: $E_{CM} = 2E_1^*$, wobei $E_1^*$ die Energie von Teilchen 1 im Schwerpunktsystem ist. (1 Punkt)