

# Experimentelle Elementarteilchenphysik 2: Hausaufgaben

Humboldt–Universität zu Berlin, Sommersemester 2019  
Prof. Dr. H. Lacker

## Übungsblatt 1 (Besprechung: 12.06.2019)

---

### Aufgabe 1: Yukawa-Kopplungen

- Bestimmen Sie den Wert des Higgsfeld-Vakuumerwartungswertes im Standardmodell ( $v \approx 246$  GeV) mit Hilfe der gemessenen Myonlebensdauer.
- Welche Yukawa-Kopplung hätte dann ein Topquark, ein Elektron und ein Neutrino der Masse 50 meV?

### Aufgabe 2: Eichbosonmassen und Mischungswinkel

- Zeigen Sie, dass man ausgehend von  $(\partial_\mu \vec{\phi})^\dagger (\partial_\mu \vec{\phi})$  mit der kovarianten Ableitung für den Grundzustand der spontanen Symmetriebrechung im Standardmodell zu der in der Vorlesung angegebenen Massenmatrix für die Felder  $W_3^\mu$  und  $B^\mu$  kommt.
- Zeigen Sie, dass die in der Vorlesung im Raum von  $W_3^\mu$  und  $B^\mu$  angegebene Massenmatrix nach Diagonalisierung folgende Masseneigenwerte besitzt:  $\frac{1}{2}v\sqrt{g'^2 + g^2}$  und 0.
- Zeigen Sie, dass die zugehörigen Masseneigenzustände gegeben werden durch  $-B^\mu \sin \theta_W + W_3^\mu \cos \theta_W$  bzw.  $B^\mu \cos \theta_W + W_3^\mu \sin \theta_W$  mit  $\cos \theta_W = \frac{g}{\sqrt{g'^2 + g^2}}$  und  $\sin \theta_W = \frac{g'}{\sqrt{g'^2 + g^2}}$ .

### Aufgabe 3: Masse und Selbstkopplung von Higgsbosonen

Betrachten Sie das Potential für den Higgsfeld-Sektor und berechnen Sie es nach der spontanen Symmetriebrechung durch Einsetzen der Feldentwicklung um den Grundzustand.

- Zeigen Sie damit, dass im Standardmodell die Higgsmasse gegeben wird durch  $m_h^2 = 2v^2\lambda$  und damit a-priori nicht festgelegt ist.
- Berechnen Sie damit die Stärke der Kopplung von drei bzw. vier Higgsbosonen aneinander. Welche numerischen Werte erhält man, nachdem nun bekannt ist, dass die Higgsbosonmasse 125 GeV beträgt?

### Aufgabe 4: Landau-Yang-Theorem

Zeigen Sie mit Hilfe der Bose-Symmetrie für identische Bosonen, dass ein Boson, das in zwei reelle Photonen zerfällt, nicht Spin  $J = 1$  tragen kann. Wichtig ist dabei, dass wegen seiner Massenlosigkeit ein Photon nur die Spinkomponenten  $S_z = \pm 1$  bezüglich seiner Flugrichtung haben kann (Transversalität der elektromagnetischen Felder). Der Nachweis des Higgsbosonzerfalls in zwei Photonen schliesst damit  $J = 1$  für das Higgsboson aus. (Tipp: Betrachten Sie dazu auch den relativen Bahndrehimpuls beider Photonen für die Werte  $L = 0$  und  $L = 1$ , der relevant ist für die Symmetrieeigenschaft der Ortswellenfunktion unter Vertauschung der beiden Photonen. Machen Sie sich klar, dass nur  $|L, L_3 \rangle = |L, 0 \rangle$  bezüglich der Photonflugrichtung möglich ist.)

Abgabe: 10.06.2017 up to 10:45 in box in front of room 1'415