

---

## 3. Plenum zur Quantentheorie II

---

*Wintersemester 2017/2018*

**PLENUM: Donnerstag, 23.11.2017.**

### **Zitterbewegung und Darwin-Term**

Wir betrachten zunächst ein freies Teilchen, das durch die Dirac-Gleichung beschrieben werden kann.

$$H = [c\alpha_i p_i + \beta mc^2] \quad (1)$$

- a) Bestimmen Sie die Zeitentwicklung des Positionsoperators im Heisenberg-Bild.
- b) Betrachten Sie die Lösung für den Positionsoperator und vergleichen Sie mit der klassischen Erwartung.
- c) Schätzen Sie die Veränderung des Potentialterms im Hamiltonoperator ab, wenn ein Teilchen um seine nominale Position oszilliert. Bringen Sie das Ergebnis mit **a)** - **b)** in Beziehung.
- d) Betrachten Sie nun eine stationäre Dirac-Gleichung für ein Teilchen in einem Potential  $V$ . Trennen Sie die Dirac-Gleichung in "obere" und "untere" Komponenten auf. Finden Sie jenen Term, der Ursprung des Darwin-Terms wird, wenn für  $E = mc^2 + \varepsilon$  entwickelt wird. Der Darwin-Term ist gegeben durch

$$H_{Darwin} = \frac{\hbar^2}{8m^2c^2} \Delta V. \quad (2)$$