

# Einführung in die Quantentheorie

Präsenzübung, Blatt 13

SoSe 2018

10./11.07.2018

## [P31] Aufsummieren der Störungsreihe

Betrachten Sie den Hamilton-Operator  $H = H_0 + \lambda V$  eines Zwei-Niveau-Systems. In einer  $H_0$ -Eigenbasis  $\{|1^0\rangle, |2^0\rangle\}$  sei  $H$  gegeben durch

$$H = E_1^0 |1^0\rangle\langle 1^0| + E_2^0 |2^0\rangle\langle 2^0| + \lambda \Gamma |1^0\rangle\langle 2^0| + \lambda \Gamma^* |2^0\rangle\langle 1^0|,$$

wobei  $E_1^0 > E_2^0$ . Wir definieren noch die Projektoren  $P_1 = |1^0\rangle\langle 1^0|$  und  $P_2 = |2^0\rangle\langle 2^0|$ . Das gestörte Eigenwert-Problem lautet  $H|m\rangle = E_m|m\rangle$  für  $m = 1, 2$ .

- (a) Verwenden Sie für  $|1\rangle = |1^0\rangle + O(\lambda)$  und  $E_1 = E_1^0 + O(\lambda)$  die ganze Störungsreihe

$$|1\rangle = \sum_{k=0}^{\infty} \left( \frac{1}{E_1^0 - H_0} P_2 (\lambda V - \Delta_1) \right)^k |1^0\rangle \quad \text{und} \\ E_1 = E_1^0 + \Delta_1 = E_1^0 + \langle 1^0 | \lambda V | 1 \rangle,$$

um den gestörten Eigenzustand und seine Energie zu allen Ordnungen zu bestimmen. Dazu benötigen Sie auch die entsprechenden Gleichungen für

$$|2\rangle = |2^0\rangle + O(\lambda) \quad \text{und} \quad E_2 = E_2^0 + O(\lambda).$$

Unter welcher Voraussetzung kann man die Störungsreihe aufsummieren?

- (b) Berechnen Sie die Energien  $E_m(\lambda)$  und Eigenzustände exakt, indem Sie  $H$  diagonalisieren. Vergleichen Sie mit (a).

## [P32] Entartete Störungstheorie im Drei-Zustands-System

Betrachten Sie ein Drei-Zustands-System mit

$$H \doteq \begin{pmatrix} E_1^0 & 0 & a \\ 0 & E_2^0 & b \\ a^* & b^* & E_3^0 \end{pmatrix} \quad \text{mit Entartung} \quad E_2^0 = E_1^0,$$

wobei  $E_1^0 > E_3^0$  und die Störungen  $|a|, |b| \ll E_1^0 - E_3^0$ . Berechnen Sie die gestörten Eigenwerte  $E_1, E_2, E_3$  in zweiter Ordnung Störungstheorie, also

$$E_i \approx E_i^0 + \langle i^0 | V | i^0 \rangle + \sum_{n(\neq i)} \frac{|\langle i^0 | V | n^0 \rangle|^2}{E_i^0 - E_n^0} \quad \text{für } i = 1, 2, 3,$$

wobei  $|i^0\rangle$  die ungestörten Eigenzustände und  $V$  den nicht-diagonalen Teil von  $H$  bezeichnen. Vier Möglichkeiten bieten sich an:

- Benutzen Sie nicht-entartete Störungstheorie. Ist dies gerechtfertigt?
- Benutzen Sie entartete Störungstheorie (wählen Sie eine Diagonalebasis für  $V$  im Entartungsraum).
- Gehen Sie in eine Diagonalebasis  $\{|1'\rangle, |2'\rangle\}$  von  $V^2$  (!) im Entartungsraum und wiederholen Sie (b).
- Finden Sie die exakten Eigenwerte durch Diagonalisieren von  $H$ . Welche Vorschrift für die Störungsrechnung war korrekt?