

# Übungen zu Moderne Experimentalphysik II, Teil 2 (Kern- und Teilchenphysik)

Wintersemester 2023/24

Präsenzübungen Nr. 4

Bearbeitung am 25.01.2024

Vervielfältigung und Veröffentlichung nicht gestattet!

---

Link zur ILIAS-Hauptseite:

[https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs\\_2198626&client\\_id=produktiv](https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2198626&client_id=produktiv)

## Quiz:

a) Welche kontinuierlichen Symmetrien kennen Sie? Was sind die zugehörigen Erhaltungsgrößen?

- Translation im Raum  $\Rightarrow$  Impulserhaltung
- Drehung im Raum  $\Rightarrow$  Drehimpulserhaltung
- Lorentz-Boosts  $\Rightarrow$  Erhaltung von  $t\vec{p} - E\vec{r}$
- Zeittranslation:  $t \rightarrow t + \Delta t \Rightarrow$  Energieerhaltung
- globale Phasenverschiebung:  $\psi(x) \rightarrow e^{i\alpha}\psi(x) \Rightarrow$  Ladungserhaltung
- ...

b) Welche diskreten Symmetrieoperationen kennen Sie?

- Paritätsoperation: Punktspiegelung am Ursprung ( $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ )
- Ladungskonjugation: Umwandlung Teilchen  $\leftrightarrow$  Antiteilchen
- Zeitumkehr: Spiegelung der Zeitachse  $t \rightarrow -t$

c) Was ist der Unterschied zwischen einer globalen und lokalen Symmetrietransformation?

Im Folgenden bezeichnet  $x = (t, \vec{r})$  ein Punkt in der Raumzeit.

- Global: Symmetrieoperation ist unabhängig vom Raumzeitpunkt.  
 $\psi(x) \rightarrow e^{i\alpha}\psi(x)$

- Lokal: Symmetrioperation is abhängig (Funktion) vom Raumzeitpunkt.

$$\psi(x) \rightarrow e^{i\alpha(x)}\psi(x)$$

d) Auf welchen Eichgruppen (lokalen Eichsymmetrien) beruht das Standardmodell der Teilchenphysik?

- elektroschwacher Bereich:  $SU(2)_I \times U(1)_Y$  ( $I$  : schwacher Isospin,  $Y$  : Hyperladung)
- starker Bereich:  $SU(3)_C$  ( $C$  : Color)

### Präsenzaufgabe 1: Parität und Drehimpuls

Die Reaktion  $\pi^+p \rightarrow \pi^+p$  verläuft bei einer Schwerpunktsenergie von 1232 MeV praktisch vollständig über die Bildung eines resonanten Zwischenzustandes, der Deltaresonanz  $\Delta^{++}$  (1232) (Spin 3/2, Parität +1, Zerfallsbreite 120 MeV).

a) Bei welchem Impuls des einlaufenden Pions liegt das Maximum der Resonanz, wenn das Proton im Laborsystem ruht? Welche Lebensdauer hat die Deltaresonanz?

Es gilt für das Quadrat der Schwerpunktsenergie s:

$$s = (p_p + p_\pi)^2 = m_p^2 + m_\pi^2 + 2p_p p_\pi = (1232 \text{ MeV})^2.$$

Es gilt weiterhin

$$p_p p_\pi = E_p E_\pi - \vec{p}_p \vec{p}_\pi = m_p E_\pi,$$

da die Situation aus dem Ruhesystem des Protons betrachtet wird. Unter Verwendung von  $E_\pi^2 = m_\pi^2 + \vec{p}_\pi^2$  erhält man

$$\vec{p}_\pi^2 = \left( \frac{s - m_p^2 - m_\pi^2}{2m_p} \right)^2 - m_\pi^2.$$

Hieraus kann  $|\vec{p}_\pi| \approx 298 \text{ MeV}$  berechnet werden.

Für die Lebensdauer ergibt sich

$$\tau = \frac{\hbar}{\Gamma} \approx 5.5 \times 10^{-24} \text{ s}.$$

Aus der kurzen Lebensdauer kann geschlussfolgert werden, dass der Prozess durch die starke Wechselwirkung stattfindet.

b) Bei welchem Bahndrehimpuls des  $\pi^+p$ -Systems tritt die Resonanz auf?

Der Drehimpuls im Zustand der Deltaresonanz ist nur durch dessen Spin gegeben, also gilt für den Gesamtdrehimpuls  $J_\Delta = 3/2$ . Da der Spin erhalten ist, muss im Anfangszustand ebenfalls Drehimpuls 3/2 gelten. Der Drehimpuls im Anfangszustand ist durch Bahndrehimpuls  $L$  und Spin  $S$  gegeben. Für den Spin im Anfangszustand gilt  $S = 1/2$ , da das Pion spinlos ist. Hieraus folgt, dass  $L = 1$  oder  $L = 2$ .

Mithilfe der Parität kann zwischen den beiden Bahndrehimpulsen entschieden werden. Da die Parität eine multiplikative Quantenzahl ist, gilt für das System aus Proton und Pion

$$P_{p\pi} = P_p \cdot P_\pi \cdot (-1)^L = (-1)^{L+1},$$

da für die Parität des Protons  $P_p = 1$  und des Pions  $P_\pi = -1$  gilt. Aus der gegebenen Information  $P_\Delta = +1$  und dem Erhalt der Parität innerhalb der starken Wechselwirkung, folgt  $L = 1$ .

## Präsenzaufgabe 2: Diskrete Symmetrien

Geben Sie an, wie sich die folgenden physikalischen Größen unter der Paritätsoperation  $\hat{P}$  (Punktspiegelung am Ursprung) und der Zeitumkehroperation  $\hat{T}$  verhalten:

- Ortsvektor  $\vec{r}$

$$\hat{P}: \vec{r} \rightarrow -\vec{r}$$

$$\hat{T}: \vec{r} \rightarrow \vec{r}$$

- Impulsvektor  $\vec{p}$

$$\hat{P}: \vec{p} \rightarrow -\vec{p}$$

$$\hat{T}: \vec{p} \rightarrow -\vec{p}$$

- Spin- oder Drehimpulsvektor  $\vec{\sigma} = \vec{r} \times \vec{p}$

$\hat{P}: \vec{r} \times \vec{p} \rightarrow \vec{r} \times \vec{p}$ , da  $\vec{r}$  und  $\vec{p}$  ihr Vorzeichen ändern ( $\vec{\sigma}$  ist ein Axialvektor). Da aber  $\vec{r}$  nicht das Vorzeichen unter  $\hat{T}$ , ändert  $\vec{\sigma}$  das Vorzeichen unter  $\hat{T}$ .

- Statisches elektrisches Feld  $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$

$E = -\partial\phi/\partial\vec{r}$  ändert das Vorzeichen unter  $\hat{P}$  aber nicht  $\hat{T}$ , aufgrund der Transformationseigenschaften von  $\vec{r}$ .

- Statisches Magnetfeld  $\vec{B} = \vec{j} \times \vec{r}$

Wie auch der Spin ist das magnetische Feld ein Axialvektor  $\vec{B} = \vec{j} \times \vec{r}$ . Unter  $\hat{P}$  gilt  $\vec{B} \rightarrow \vec{B}$ , da  $\vec{j} \rightarrow -\vec{j}$  und  $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ . Unter  $\hat{T}$  gilt  $\vec{B} \rightarrow -\vec{B}$ , da  $\vec{j} \rightarrow -\vec{j}$  und  $\vec{r} \rightarrow \vec{r}$ .