

# 10. Symmetrien und Erhaltungssätze

Symmetrien haben eine große Bedeutung

Noether-Theorem:  $\text{Symmetrie} \leftrightarrow \text{Erhaltungsgröße}$

Translationsinvarianz  $\leftrightarrow$  Impulserhaltung

Zeit  $\leftrightarrow$  Energie

Rotationen  $\leftrightarrow$  Drehimpuls

Eichtransformation  $\leftrightarrow$  Ladung

(E-Dynamik:  $\vec{A} \rightarrow \vec{A} - \vec{\nabla} \chi$ ,  $\phi \rightarrow \phi + \frac{\partial}{\partial t} \chi$ ,  
 $\chi = \chi(\vec{r}, t)$  keinen Einfluss auf Lösung der Maxwell-Gl.)

Sind Beispiele für kontinuierliche Symmetrien:

Erhaltungsgröße additiv

Diskrete Symmetrien: nur eine endliche Anzahl von Werten

$\hat{P}$  Parität (Raumspiegelung) Eigenwerte:  $P = +1, -1$

- $\hat{P}: (\vec{x}, t) \rightarrow (-\vec{x}, t)$
- $\hat{P} |E, \vec{p}, \vec{L}, \vec{S}, \dots\rangle \rightarrow |E, -\vec{p}, +\vec{L}, +\vec{S}, \dots\rangle$
- $\hat{P} |Y_\ell^m(\theta, \phi)\rangle = (-1)^l |Y_\ell^m(\theta, \phi)\rangle$

Elementarteilchen haben intrinsische (innere) Parität

- Photonen:  $P_\gamma = -1$
  - Fermionen (Quarks, Leptonen):  $P := +1$  (festgelegt)
  - Antifermionen:  $P := -1$
- Baryonen (mit  $l=0$ ):  $\hat{P} |q_1 q_2 q_3\rangle = (+1)^3 |q_1 q_2 q_3\rangle = + |q_1 q_2 q_3\rangle$   
 Antibaryonen ( $l=0$ ):  $\hat{P} |\bar{q}_1 \bar{q}_2 \bar{q}_3\rangle = (-1)^3 |\bar{q}_1 \bar{q}_2 \bar{q}_3\rangle = - |\bar{q}_1 \bar{q}_2 \bar{q}_3\rangle$   
 Mesonen ( $l=1$ ):  $\hat{P} |q_1 \bar{q}_2\rangle = (+1)(-1)(-1)^l |q_1 \bar{q}_2\rangle = + |q_1 \bar{q}_2\rangle$
- In elektromagn. und starken WW ist  $P$  erhalten

- Bezeichnungen:
  - skalare Teilchen  $J = (\vec{L} + \vec{S}) = 0$  und  $P = +1$
  - pseudoskalare "  $J = 0$   $P = -1$
  - Vektor "  $J = 1$   $P = -1$
  - Axialvektor "  $J = 1$   $P = +1$

$\hat{C}$  Ladungskonjugation Eigenwerte:  $C = +1, -1$

$\hat{C}$   $\hat{=}$  Vorzeichenänderung aller ladungsartigen Quantenzahlen  
(el. Ladung, Baryonenzahl, starker Isospin, Strungen etc., ...)

$$\hat{C} | \text{proton} \rangle = \hat{C} | p \rangle \rightarrow | \bar{p} \rangle = | \text{Antiproton} \rangle$$

$$\hat{C} | u_r, u_g, d_b \rangle \rightarrow | \bar{u}_r, \bar{u}_g, \bar{d}_b \rangle$$

Eigenzustände von  $\hat{C}$  können nur Teilchen sein mit  
Ladungsartigen Quantenzahlen = 0

z.B.  $\gamma, \pi^0, \eta, \dots$

aber nicht Neutron:  $\hat{C} | n \rangle = | \bar{n} \rangle$

Photon:  $\hat{C}|\gamma\rangle = -1|\gamma\rangle$

$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ :  $\hat{C}|\gamma\gamma\rangle = (-1)^2|\gamma\gamma\rangle = +1|\gamma\gamma\rangle \Rightarrow C_{\pi^0} = +1$

Konnotation:  $J^{PC}$ , z.B. Photon:  $J^{PC} = 1^{--}$ ,  $\pi^0$ :  $J^{PC} = 0^{++}$

In elektromagn. und starken WW ist C erhalten

T Zeitumkehr: dreht Zeitteil um, Eigenwerte  $T = +1, -1$

$$\hat{T}: (x^i, t) \rightarrow (x^i, -t)$$

Zeitumkehrinvarianz  $\Leftrightarrow$  reversible Prozesse

In elektromagn. und starken WW ist T erhalten

# CPT-Theorem

Alle Wechselwirkungen sind invariant unter gemeinsamer Anwendung von  $\hat{C}$ ,  $\hat{P}$  und  $\hat{T}$

## Wechselwirkungen und $\hat{C}$ , $\hat{P}$ , $\hat{T}$ -Invarianz

	$\hat{P}$	$\hat{C}$	$\hat{C}\hat{P}$	$\hat{T}$	$\hat{C}\hat{P}\hat{T}$
elektromagn.	✓	✓	✓	✓	✓
starke	✓	✓	✓	✓	✓
schwache ( $\mu^-$ -Zerfall)	✗	✗	fast	fest	✓