Higgs-Mechanismus

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Lagrangedichte:

$$\mathscr{L} = (D_\mu \phi)^*(D^\mu \phi) + \mu^2 \phi^* \phi - \lambda(\phi^* \phi)^2 - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

  - $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1 + i\phi_2)$ komplexes Skalarfeld
  - $D_\mu \phi = (\partial_\mu - igA_\mu)\phi$, A_μ: abelsches Eichfeld, $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$
  - invariant unter $\phi(x) \to e^{i\alpha(x)}\phi(x)$, $A_\mu(x) \to A_\mu(x) + \frac{1}{g}\partial_\mu \alpha(x)$

Higgs-Mechanismus

- Lagrangedichte:

  $$\mathscr{L} = (D_\mu\phi)^*(D^\mu\phi) + \mu^2\phi^*\phi - \lambda(\phi^*\phi)^2 - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

  - $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1 + i\phi_2)$ komplexes Skalarfeld
  - $D_\mu\phi = (\partial_\mu - igA_\mu)\phi$, A_μ: abelsches Eichfeld, $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$
  - invariant unter $\phi(x) \to e^{i\alpha(x)}\phi(x)$, $A_\mu(x) \to A_\mu(x) + \frac{1}{g}\partial_\mu\alpha(x)$
- spontane Symmetriebrechung:
  - $V(\phi) = -\mu^2|\phi|^2 + \lambda|\phi|^4$ hat Minimum bei $|\phi| = \frac{v}{\sqrt{2}}$, $v \equiv \frac{\mu}{\sqrt{\lambda}}$
  - wähle Vakuum $\phi_1 = v$, $\phi_2 = 0$ $\rightarrow$ verschobene Felder: $\phi_1' = \phi_1 - v$, $\phi_2' = \phi_2$
  - ohne Eichfeld: ϕ_2' = Goldstone-Boson

Higgs-Mechanismus

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Lagrangedichte:

$$\mathscr{L} = (D_\mu\phi)^*(D^\mu\phi) + \mu^2\phi^*\phi - \lambda(\phi^*\phi)^2 - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

  - $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1 + i\phi_2)$ komplexes Skalarfeld
  - $D_\mu\phi = (\partial_\mu - igA_\mu)\phi$, A_μ: abelsches Eichfeld, $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$
  - invariant unter $\phi(x) \to e^{i\alpha(x)}\phi(x)$, $A_\mu(x) \to A_\mu(x) + \frac{1}{g}\partial_\mu\alpha(x)$
- spontane Symmetriebrechung:
  - $V(\phi) = -\mu^2|\phi|^2 + \lambda|\phi|^4$ hat Minimum bei $|\phi| = \frac{v}{\sqrt{2}}$, $v \equiv \frac{\mu}{\sqrt{\lambda}}$
  - wähle Vakuum $\phi_1 = v$, $\phi_2 = 0$ ➞ verschobene Felder: $\phi_1' = \phi_1 - v$, $\phi_2' = \phi_2$
  - ohne Eichfeld: ϕ_2' = Goldstone-Boson
- kovariante Ableitung: $(D_\mu\phi)^*(D^\mu\phi) = \cdots - gv\partial^\mu\phi_2' A_\mu + \frac{1}{2}g^2v^2A^\mu A_\mu$
  - Massenterm für das Eichboson: $M = gv$
  - A^μ und ϕ_2' mischen

Higgs-Mechanismus

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- neue relle Felder: $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}[v + \eta(x)]\, e^{i\xi(x)/v}$
- Eichtransformation:

$$\phi(x) \to \tilde{\phi}(x) = e^{-i\xi(x)/v}\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}[v + \eta(x)]$$

$$A_\mu(x) \to B_\mu(x) = A_\mu - \frac{1}{gv}\partial_\mu \xi(x)$$

$$\Rightarrow \quad D_\mu \phi = e^{i\frac{\xi}{v}} \frac{1}{\sqrt{2}}[\partial_\mu \eta - igB_\mu(v + \eta)] \rightarrow (D_\mu\phi)^*(D_\mu\phi) \text{ unabhängig von } \xi$$

Higgs-Mechanismus

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- neue relle Felder: $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}[v + \eta(x)]\, e^{i\xi(x)/v}$
- Eichtransformation:

$$\phi(x) \to \tilde{\phi}(x) = e^{-i\xi(x)/v}\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}[v + \eta(x)]$$

$$A_\mu(x) \to B_\mu(x) = A_\mu - \frac{1}{gv}\partial_\mu \xi(x)$$

$$\Rightarrow \quad D_\mu \phi = e^{i\frac{\xi}{v}} \frac{1}{\sqrt{2}}[\partial_\mu \eta - igB_\mu(v + \eta)] \rightarrow (D_\mu\phi)^*(D_\mu\phi) \text{ unabhängig von } \xi$$

- Endergebnis:

$$\mathscr{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \eta)^2 - \mu^2\eta^2 - \frac{1}{4}(\partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu)^2 + \frac{1}{2}g^2v^2B_\mu B^\mu + \mathscr{L}_{\mathrm{WW}}$$

  - Vektorboson mit Masse $M = gv$ Higgs-Mechanismus
  - kein Goldstone-Boson

Higgs-Mechanismus

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- neue relle Felder: $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}[v + \eta(x)]\, e^{i\xi(x)/v}$
- Eichtransformation:

$$\phi(x) \to \tilde{\phi}(x) = e^{-i\xi(x)/v}\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}[v + \eta(x)]$$

$$A_\mu(x) \to B_\mu(x) = A_\mu - \frac{1}{gv}\partial_\mu \xi(x)$$

$\Rightarrow \quad D_\mu\phi = e^{i\frac{\xi}{v}} \frac{1}{\sqrt{2}}[\partial_\mu\eta - igB_\mu(v + \eta)]$ ➞ $(D_\mu\phi)^*(D_\mu\phi)$ unabhängig von ξ

- Endergebnis:

$$\mathscr{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu\eta)^2 - \mu^2\eta^2 - \frac{1}{4}(\partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu)^2 + \frac{1}{2}g^2v^2B_\mu B^\mu + \mathscr{L}_{\mathrm{WW}}$$

  - Vektorboson mit Masse $M = gv$ Higgs-Mechanismus
  - kein Goldstone-Boson

Freiheitsgrade: 1 reelles Skalarfeld + 3 Polarisationen des Vektorbosons

➞ „would-be-Goldstone-Boson” wurde von den Vektorbosonen „gegessen”

Higgs-Mechanismus

- Systematischere Vorgehensweise:

  Eliminiere Mischterm mittels Eichfixierung

$$\mathscr{L}_{gf} = -\frac{1}{2\xi}(\partial_\mu A^\mu + \xi M \phi_2')^2, \quad \text{'t Hooft-Eichung}, \quad M = gv,$$

$$= -\frac{1}{2\xi}(\partial_\mu A^\mu)^2 \underbrace{-M\phi_2'\,\partial_\mu A^\mu}_{\text{hebt Mischterm weg}} -\frac{1}{2}\xi M^2 {\phi_2'}^2$$

Higgs-Mechanismus

- Systematischere Vorgehensweise:

  Eliminiere Mischterm mittels Eichfixierung

  $$\mathscr{L}_{gf} = -\frac{1}{2\xi}(\partial_\mu A^\mu + \xi M \phi_2')^2, \quad \text{'t Hooft-Eichung}, \quad M = gv,$$

  $$= -\frac{1}{2\xi}(\partial_\mu A^\mu)^2 \underbrace{-M\phi_2' \, \partial_\mu A^\mu}_{\text{hebt Mischterm weg}} -\frac{1}{2}\xi M^2 \phi_2'^{\,2}$$

- Eichabhängige Goldstone-Boson-Masse: $m_2' = \sqrt{\xi} M$
  - Landau-Eichung: $\xi = 0 \quad \Rightarrow \quad m_2' = 0$
  - Feynman-Eichung: $\xi = 1 \quad \Rightarrow \quad m_2' = M$
  - unitäre Eichung: $\xi \to \infty \quad \Rightarrow \quad m_2' \to \infty$ ➞ ϕ_2' entkoppelt