

Mecanismo de Higgs e a Descoberta do Bosão de Higgs

Física de Altas Energias

João Carvalho

22 de abril de 2026

- 1 O Problema da Massa
- 2 O Mecanismo de Higgs e SSB
- 3 A Descoberta no LHC
- 4 Conclusão

O Problema da Massa no Modelo Padrão

- O Modelo Padrão (SM) descreve as interações através de **simetrias de gauge locais**.
- As simetrias de *gauge* exigem que os bosões mediadores sejam não massivos (como o fóton e o glúon).
- **Problema Experimental:** Os bosões da força fraca (W^\pm e Z) são muito pesados ($\sim 80\text{--}90$ GeV).
- Introduzir termos de massa "à mão" no Lagrangiano quebra a invariância de *gauge* e destrói a renormalização da teoria.

A Violação da Unitariedade

- Sem o bóson de Higgs, o cálculo da dispersão de bósons vetoriais longitudinais, ex: $W^+W^- \rightarrow W^+W^-$, é problemático.
- A secção eficaz calculada cresce indefinidamente com a energia.
- A energias em torno de **1 TeV**, ocorre a **violação da unitariedade** (probabilidade > 1).
- **Solução:** Precisamos de um novo mecanismo que preserve a invariância de *gauge* e resolva as divergências a altas energias.

Introduzimos um campo escalar complexo, cujo Lagrangiano contém o **Potencial de Higgs**:

$$V(\phi) = \mu^2 \phi^\dagger \phi + \lambda (\phi^\dagger \phi)^2$$

- Para que exista um estado de menor energia limite, exige-se $\lambda > 0$.
- **Quebra Espontânea de Simetria (SSB)**: Ocorre quando $\mu^2 < 0$.
- O estado de menor energia (o vácuo) não está em $\phi = 0$, mas num anel contínuo de mínimos.

O Valor Esperado no Vácuo (VEV)

- O Universo "escolhe" um mínimo específico, quebrando espontaneamente a simetria do vácuo (apesar das equações permanecerem simétricas).
- O campo adquire um Valor Esperado no Vácuo (VEV) não nulo, v :

$$v = \sqrt{\frac{-\mu^2}{\lambda}} \approx 246 \text{ GeV}$$

- Expandimos o campo de Higgs em torno deste novo vácuo físico.

A Magia do Mecanismo de Higgs:

- Ao promover a simetria global a uma simetria de *gauge* local $SU(2)_L \times U(1)_Y$, os campos de *gauge* "absorvem" os graus de liberdade dos bosões de Goldstone (que surgem da SSB).
- Estes graus de liberdade transformam-se na polarização longitudinal necessária para que os **bosões W e Z adquiram massa**.
- **Fermiões:** Adquirem massa através do Acoplamento de Yukawa com o campo de Higgs. A massa é proporcional a este acoplamento e ao VEV (v).

- O *Large Hadron Collider* (LHC) colide prótons a energias de centro de massa de 7 TeV e 8 TeV (Run 1, 2011-2012).
- **Produção:** Ocorre principalmente via **Fusão de Gluões** (*gluon-gluon fusion*), mediada por um *loop* de quarks virtuais (maioritariamente o quark top).
- O Bosão de Higgs tem um tempo de vida ínfimo. Detetamos apenas os seus produtos de decaimento.

Apesar do enorme fundo (background) de QCD, destacam-se dois canais dourados muito "limpos":

- 1 $H \rightarrow \gamma\gamma$ (**Dois fótons**): Ocorre via *loops* de partículas massivas carregadas (W , top). Produz um pico agudo de massa invariante.
- 2 $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ (**Quatro léptões**): Decai em dois bosões Z , resultando em 4 elétrons/muões. Sinal muito limpo.

O Anúncio (Julho 2012): ATLAS e CMS observaram um excesso de eventos claro num valor de massa correspondente a $m_H \approx 125$ **GeV**.

- A descoberta concluiu o espectro de partículas do Modelo Padrão.
- O mecanismo de Brout-Englert-Higgs é responsável por dar massa às partículas fundamentais sem destruir a consistência matemática da teoria.
- **O Futuro:**
 - Medições de precisão das propriedades (spin, paridade, acoplamentos).
 - Procurar desvios que apontem para Nova Física (ex: Supersimetria e os seus múltiplos bosões de Higgs).
 - O bóson de 125 GeV pode não ser fundamental ou pode ser apenas o primeiro de um setor escalar mais complexo.