

# Examen elektrozwakke en sterke interacties

Master Fysica, KULeuven, 11 juni 2012

We gebruiken natuurlijke eenheden en stellen ter vereenvoudiging  $c = 1$  and  $\hbar = 1$ . Nummer elke bladzijde van uw schriftelijke voorbereiding en schrijf uw naam op elk blad.

## I. Het Standaard Model met twee Higgs doubletten

Beschouw het Standaard Model voor elektrozwakke interacties zoals we die in de cursus ontwikkeld hebben. Voor de eenvoud beperken we ons tot één generatie van quarks en we voeren geen leptonen in. Verder wijzigen we de scalaire sector: in plaats van één Higgs (of scalair) doublet introduceren we er nu twee,  $\Phi_1$  and  $\Phi_2$ , beiden met zwakke hyperlading  $Y = 1/2$ . Beide transformeren dus in de twee-dimensionale voorstelling van  $SU(2)_L$ . De Lagrange dichtheid voor de scalaires is,

$$\mathcal{L}_{\text{Scalair}} = D_\mu \Phi_1^\dagger D^\mu \Phi_1 + D_\mu \Phi_2^\dagger D^\mu \Phi_2 - V(\Phi_1^\dagger \Phi_1, \Phi_2^\dagger \Phi_2, \Phi_1^\dagger \Phi_2, \Phi_2^\dagger \Phi_1), \quad (1)$$

waar de potentiaal  $V$  een reële functie van haar argumenten is. De covariante afgeleiden  $D$  garanderen dat de Lagrange dichtheid invariant is onder de  $SU(2)_L \times U(1)_Y$  ijktransformaties. De potentiaal  $V$  is zodanig dat we de vacuumsverwachtingswaarden voor  $\Phi_1$  en  $\Phi_2$  als,

$$\langle 0 | \Phi_1 | 0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v_1 \end{pmatrix}, \quad \langle 0 | \Phi_2 | 0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v_2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

kunnen kiezen met  $v_1, v_2 \in \mathbb{R}$  en  $v_1, v_2 > 0$ . De Yukawa koppeling aan de quarks is gegeven door,

$$\mathcal{L}_{\text{Yukawa}} = -\gamma (\bar{Q}^L d^R \Phi_1 + \Phi_1^\dagger \bar{d}^R Q^L) - \tilde{\gamma} (\bar{Q}^L u^R \tilde{\Phi}_2 + \tilde{\Phi}_2^\dagger \bar{u}^R Q^L), \quad (3)$$

met  $\gamma$  en  $\tilde{\gamma}$  twee reële koppelingsconstanten,  $\tilde{\Phi}_2 = i\sigma_2 \Phi_2^*$  en,

$$Q^L = \begin{pmatrix} u^L \\ d^L \end{pmatrix}. \quad (4)$$

1. Voer (voor de eenvoud!) een nieuwe basis in voor de scalaires:  $\Phi_a = \cos \beta \Phi_1 + \sin \beta \Phi_2$  en  $\Phi_b = -\sin \beta \Phi_1 + \cos \beta \Phi_2$  met  $\tan \beta = v_2/v_1$ , en bespreek de fysische vrijheidsgraden in de scalaire sector.
2. Wat is nu de massa van de  $Z$  en de  $W$  vector bosonen?
3. Bespreek de Yukawa koppelingen in de unitaire ijk.

II. Op zoek naar de Higgs...

We keren nu terug naar het Standaard Model zoals we die in de cursus ontwikkelden (maw slechts één Higgs doublet). De koppeling van het Higgs veld ( $\sigma$ ) aan leptonen en quarks is gegeven door,

$$\mathcal{L}_{HF} = -\frac{1}{v} m_\psi \sigma \bar{\psi} \psi, \quad (5)$$

en de koppeling van het Higgs veld aan de  $W$  en  $Z$  is,

$$\mathcal{L}_{HVB} = \frac{vg^2}{2} \sigma W_\mu^\dagger W^\mu + \frac{g^2}{4} \sigma^2 W_\mu^\dagger W^\mu + \frac{vg^2}{4 \cos^2 \theta_W} \sigma Z_\mu Z^\mu + \frac{g^2}{8 \cos^2 \theta_W} \sigma^2 Z_\mu Z^\mu. \quad (6)$$

Enkele massa's (in eenheden  $GeV/c^2$ ):

$$\begin{aligned} m_W &= \frac{vg}{2} \simeq 80, \\ m_Z &= \frac{m_W}{\cos \theta_W} \simeq 91, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} m_e &\simeq 0,51 \times 10^{-3}, & m_\mu &\simeq 0,11, & m_\tau &\simeq 1,8, & m_u &\simeq 1 - 5 \times 10^{-3}, & m_d &\simeq 3 - 9 \times 10^{-3}, \\ m_c &\simeq 1,15 - 1,35, & m_s &\simeq 0,075 - 0,17, & m_t &\simeq 170, & m_b &\simeq 4,0 - 4,4. \end{aligned} \quad (8)$$

1. Vergelijk de sterkte van de Higgs-lepton (en de Higgs-quark) interacties met de corresponderende elektromagnetische interactie sterkte. Gebruik  $g \sin \theta_W = e$ .
2. Op de volgende bladzijde vind je de *branching ratios* voor het Higgs verval als functie van de Higgs massa ( $m_H = v\sqrt{2\lambda}$ ). Geef een kwalitatieve bespreking van de  $bb$ ,  $\tau\tau$ ,  $\gamma\gamma$ ,  $gg$ ,  $WW$  en  $ZZ$  kanalen.

**SM Higgs  
Branching ratios and total decay width**

