Dyskretne grupy symetrii zapachowej w Modelu Standardowym i w modelach Nowej Fizyki

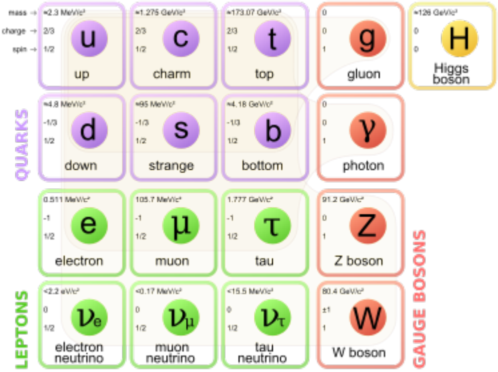
Monika Richter, Sebastian Zając, Bartosz Dziewit
Marek Zralek, Jacek Holeczek

WMP.SNŚ UKSW
IF UŚ

11 marca 2017

Model Standardowy (MS)

MS opisuje znane cząstki elementarne i ich oddziaływania, ale jest teorią efektywną.



Problemy MS

Model Standardowy

- Duża liczba wolnych parametrów (25 lub 27),
- Trzy rodziny cząstek,
- Hierarchia mas fermionów
- ...

Neutrina

- Czy neutrina to cząstki Diraca czy Majorany ?
- Jaki jest mechanizm nabywania masy dla neutrin ?
- Jaka jest masa najlżejszego neutrina ?
- Normalna bądź odwrócona hierarchia mas neutrin ?
- Dlaczego masa neutrin jest tak mała w porównaniu do innych leptonów ?

Masy leptonów

Człony Yukawy

Za generowanie mas fermionów odpowiedzialna jest część Yukawy Lagranżjanu MS. W przypadku neutrin Diraca :

$$\mathcal{L}_Y = - \sum_{\alpha,\beta=e,\mu,\tau} \left[Y'^{l}_{\alpha\beta} \bar{L}'_{\alpha L} \Phi l'_{\beta R} + Y'^{\nu}_{\alpha\beta} \bar{L}'_{\alpha L} \tilde{\Phi} \nu'_{\beta R} \right] + h.c$$

gdzie: Y'^{l}, Y'^{ν} to macierze Yukawy, $L'_{\alpha L} = \binom{\nu_{\alpha L}}{l_{\alpha L}}$ dublet lewoskrętnych leptonów, l'_R, ν'_R to singlety prawoskrętnych leptonów. Pole Higgsa $\tilde{\Phi} = i\sigma_2 \Phi^*$

Po złamaniu symetrii. $\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \binom{0}{v+H}$ oraz po diagonalizacji macierzy Yukawy

$$V_L^l Y^l V_R^l = Y^l = diag(m_e, m_\mu, m_\tau)$$

$$V_L^\nu Y'^{\nu} V_R^\nu = Y^\nu = diag(m_1, m_2, m_3)$$

Masy leptonów

Otrzymujemy człony masowe

$$\mathcal{L}_Y = -\sum_{\alpha=e,\mu,\tau} \frac{y^l_\alpha}{\sqrt{2}} \bar{l}_\alpha l_\alpha - \sum_{k=1,2,3} \frac{y^\nu_k}{\sqrt{2}} \bar{\nu}_k \nu_k$$

gdzie masy leptonów:

$$m_k = \frac{y^\nu_k v}{\sqrt{2}}, \quad m_\alpha = \frac{y^l_\alpha v}{\sqrt{2}}$$

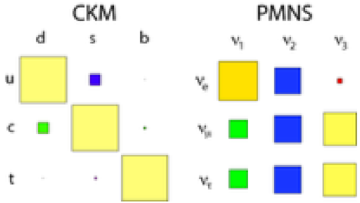
Definicja leptonowej macierzy mieszania

$$j^\mu_{W,L} = 2\bar{\nu}'_L \gamma^\mu l'_L = 2\bar{\nu}_L V^{\nu\dagger}_L V^l_L \gamma^\mu l_L = 2\bar{\nu}_L U^\dagger_{PMNS} \gamma^\mu l_L$$

Macierz U_{PMNS} parametryzowana jest przez 3 kąty i jedną fazę (CP phase)

Macierz mieszania

$$\mathbf{U}_{\mathbf{PMNS}} = \begin{bmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta_{13}} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & c_{23}c_{13} \end{bmatrix}$$



Symetria zapachowa przed i po 2012

CEL:

Wyjaśnić parametry macierzy mieszania !!! poprzez rozszerzenie grupy symetrii gauge o dyskretną grupę symetrii zapachowej

Przed 2012 rokiem kąt $\theta_{13} = 0$.
Grupą symetrii realizującą wartości eksperymentalne była grupa A_4 $(S_4, \Delta(27), \Delta(54), \ldots)$. Generowała ona następującą macierz mieszania:

$$U_{TBM} = \begin{bmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

Symetria zapachowa przed i po 2012

Po 2012 postać U_{TBM} trzeba było odrzucić – $\theta_{13} \neq 0$

Nowe modele wyjaśniające parametry macierzy mieszania bazujące na złamaniu symetrii zapachowej: $\Delta(96)$, $\Delta(384)$, $\Delta(600)$ (zachowanie CP).

A co z masami ?

Podsumowanie modeli w MS

Żaden model nie przewiduje mas leptonów naładowanych oraz neutrin

Lemat Schura

Jeśli T jest nieredukowalną reprezentacją skończonej grupy G oraz

$$T(g)^{\dagger} M T(g) = M, \quad \forall g \in G$$

wtedy macierz $M = \lambda I$.

A może trzeba wyjść poza Model Standardowy ?

Two Higgs Doublet Model (THDM type III)

Motywacja

Jedno z podstawowych rozszerzeń MS to model z dwoma dubletami Higgsa. Dla ułatwienia rozważmy jedną część Lagranżjanu Yukawy:

$$\mathcal{L}_Y = -\bar{L}'_L (Y_j'^{l} \Phi_j) l'_R$$

Wybierzmy pewną nie-abelową, dyskretną grupę $\mathbb{G}_F$

$$L'_L \to A_L L'_L, \quad l'_R \to A_l l'_R, \quad \Phi \to A_\phi \Phi,$$

gdzie A_L, A_l 3-wymiarowe nieredukowalne reprezentacje grupy zapachowej, natomiast A_ϕ 2-wymiarowa nieredukowalna reprezentacja grupy zapachowej.

Zadanie do rozwiązania:

$$A_L(f)^\dagger (Y_j (A_\phi)_{jk}(f)) A_R(f) = Y_k, \quad \forall f \in G$$

- Znajdź rozwiązanie równania własnego: $N(f) Y'^l = Y'^l$ otrzymujemy postać macierzy Yukawy.
- Z macierzy Yukawy stwórz macierz masową $M'^{\nu,l} = \frac{1}{\sqrt{2}} v_i Y_i'^{\nu,l}$
- Zdiagonalizuj macierze M'^l, M'^ν
- Iloczyn macierzy diagonalizujących $= U_{MNPS}$

Podsumowanie

- Analizie poddane zostały, dyskretne, nie-abelowe podgrupy $U(3)$ do rzędu 1025 (biblioteka GAP).
- Zarówno w przypadku MS jak i modeli z rozszerzonym sektorem Higgsa macierz mieszania sprowadza się do macierzy diagonalnej.
- Rozszerzenie sektora Higgsa **NIE** jest wystarczające aby z symetrii dyskretnej wyznaczyć masy leptonów naładowanych i neutrin.
- A może bardziej ogólne oddziaływania ?