Majoranan neutriino ja keinulautamekanismi

Sisältö

- Majoranan neutriino?
- Perustelut massalle
- Lagrangen tiheyden massatermit
- Keinulautamekanismi

Auringon neutriinovuo-ongelma

- 1960-luvun lopulla ongelma auringon elektronin neutriinovuon kanssa

Auringon neutriinovuo-ongelma

- 1960-luvun lopulla ongelma auringon elektronin neutriinovuon kanssa
- Teorian ennustama vuo kolme kertaa suurempi kuin havaittu

Auringon neutriinovuo-ongelma

- 1960-luvun lopulla ongelma auringon elektronin neutriinovuon kanssa
- Teorian ennustama vuo kolme kertaa suurempi kuin havaittu
- Ratkaisuksi ehdotettiin neutriino-oskillaatiota

Neutriino-oskillaatio

- Malli, jossa neutriinomakujen välillä tapahtuu oskillaatiota

Neutriino-oskillaatio

- Malli, jossa neutriinomakujen välillä tapahtuu oskillaatiota
- Vaatii neutriinolle massan

Neutriino-oskillaatio

- Malli, jossa neutriinomakujen välillä tapahtuu oskillaatiota
- Vaatii neutriinolle massan
- Vuonna 2001 teorian vahvistava havainto

Kenttäteoriaa

- Neutriinokentän Lagrangen tiheys tunnetaan hyvin

Kenttäteoriaa

- Neutriinokentän Lagrangen tiheys tunnetaan hyvin

- Täydelliseen tiheyteen tarvitaan myös massatermi

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_m + \mathcal{L}_I$$

Kenttäteoriaa

- Neutriinokentän Lagrangen tiheys tunnetaan hyvin

- Täydelliseen tiheyteen tarvitaan myös massatermi

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_m + \mathcal{L}_I$$

- Massatermille kaksi mahdollisuutta: Diracin ja Majoranan massatermi

Massatermit (1/3)

- Diracin massatermi

$$\mathcal{L}_{m_D} = -m_D \overline{\nu_R^0} \nu_L^0 + \mathrm{h.k.}$$

Massatermit (1/3)

- Diracin massatermi

$$\mathcal{L}_{m_D} = -m_D \overline{\nu_R^0} \nu_L^0 + \text{h.k.}$$

- Majoranan massatermi

$$\mathcal{L}_{m_M} = -\frac{m_R}{2} \overline{(\nu_R^0)^c} \nu_R^0 + \text{h.k.}$$

Massatermit (2/3)

- Oletetaan Diracin massatermi sekä oikeakätinen Majoranan massatermi

Massatermit (2/3)

- Oletetaan Diracin massatermi sekä oikeakätinen Majoranan massatermi

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -m_D \overline{\nu_R^0} \nu_L^0 - \frac{m_R}{2} \overline{(\nu_R^0)^c} \nu_R^0 + \text{h.k.}$$

Massatermit (2/3)

- Oletetaan Diracin massatermi sekä oikeakätinen Majoranan massatermi

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -m_D \overline{\nu_R^0} \nu_L^0 - \frac{m_R}{2} \overline{(\nu_R^0)^c} \nu_R^0 + \text{h.k.}$$

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \overline{(\nu_L^0)^c} & \overline{\nu_R^0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & m_D \\ m_D & m_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} + \text{h.k.}$$

Massatermit (3/3)

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \overline{(\nu_L^0)^c} & \overline{\nu_R^0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & m_D \\ m_D & m_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} + \text{h.k.}$$

Massatermit (3/3)

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -\frac{1}{2}\begin{bmatrix} \overline{(\nu_L^0)^c} & \overline{\nu_R^0} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & m_D \\ m_D & m_R \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} + \text{h.k.}$$

- Massamatriisi voidaan diagonalisoida

Massatermit (3/3)

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \overline{(\nu_L^0)^c} & \overline{\nu_R^0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & m_D \\ m_D & m_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} + \text{h.k.}$$

- Massamatriisi voidaan diagonalisoida

$$\nu_L \equiv Z^{-1} \begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} \qquad \nu \equiv \nu_L + (\nu_L)^c = \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{bmatrix}$$

Massatermit (3/3)

$$\mathcal{L}_{m_{M+D}} = -\frac{1}{2}\begin{bmatrix} \overline{(\nu_L^0)^c} & \overline{\nu_R^0} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & m_D \\ m_D & m_R \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} + \text{h.k.}$$

- Massamatriisi voidaan diagonalisoida

$$\nu_L \equiv Z^{-1}\begin{bmatrix} \nu_L^0 \\ (\nu_R^0)^c \end{bmatrix} \qquad \nu \equiv \nu_L + (\nu_L)^c = \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{bmatrix}$$

$$\Longrightarrow \quad \mathcal{L}_{m_{M+D}} = -\sum_{i=1}^{2} \frac{m_i}{2}\overline{\nu_i}\nu_i$$