

DAFTAR PUSTAKA

- Abazajian, K. N., Acero, M. A., Agarwalla, S. K., Aguilar-Arevalo, A. A., Albright, C. H., Antusch, S., Argüelles, C. A., Balantekin, A. B., Barenboim, G., Barger, V. dan Bernardini, dkk, . (2012), 'Light Sterile Neutrinos: A White Paper'.
- Adhikari, R., Agostini, M., Anh Ky, N., Araki, T., Archidiacono, M., Bahr, M., Baur, J. dan Behrens, J. dkk, . (2017), 'A white paper on keV sterile neutrino dark matter', *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **2017**(1).
- Berezinsky, V., Narayan, M. dan Vissani, F. (2003), 'Mirror model for sterile neutrinos', *Nuclear Physics B* **658**(1-2), 254–280.
- Bilenky, S. M. (2010), 'Neutrinoless double beta-decay', *Physics of Particles and Nuclei* **41**(5), 690–715.
- Bowes, J. P. dan Volkas, R. R. (1998), 'Maximal mixing neutrino models', *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* **24**(7), 1249–1260.
- Cárcamo Hernández, A. E. dan Martinez, R. (2016), 'A predictive 3-3-1 model with A4 flavor symmetry', *Nuclear Physics B* **905**, 337–358.
- Chen, C. S. dan Lin, C. M. (2011), 'Type II seesaw Higgs triplet as the inflaton for chaotic inflation and leptogenesis', *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics* **695**(1-4), 9–12.
- Dodelson, S. dan Widrow, L. M. (1994), 'Sterile neutrinos as dark matter', *Physical Review Letters* **72**(1), 17–20.
- Foot, R., Lew, H. dan Volkas, R. R. (1991), 'A model with fundamental improper spacetime symmetries', *Physics Letters B* **272**(1-2), 67–70.
- Giunti, C. (2015), 'Neutrino oscillations and sterile neutrino', *Physics of Particles and Nuclei* **46**(2), 123–130.
- Goldhaber, M., Grodzins, L. dan Sunyar, A. W. (1958), 'Helicity of Neutrinos', *Phys. Rev.* **109**(3), 1015–1017.
- Gonzalez-Garcia, M. C. dan Maltoni, M. (2008), 'Phenomenology with massive neutrinos', *Physics Reports* **460**(1-3), 1–129.
- Gonzalez-Garcia, M. C., Maltoni, M. dan Schwetz, T. (2014), 'Updated fit to three neutrino mixing: status of leptonic CP violation', *JHEP* **11**, 52.

Gu, P. H. (2012), 'Mirror left-right symmetry', *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics* **713**(4-5), 485–489.

Kopp, J., Machado, P. A., Maltoni, M. dan Schwetz, T. (2013), 'Sterile neutrino oscillations: the global picture', *Journal of High Energy Physics* **2013**(5).

Mohapatra, R. N. (2004), 'Physics of the neutrino mass', *New Journal of Physics* **6**(10), 1–54.

Mohapatra, R. N. dan Pati, J. C. (1975), "'Natural" left-right symmetry', *Physical Review D* **11**(9), 2558–2561.

Pontecorvo, B. (1957), 'Mesonium and anti-mesonium', *Jetp* **33**(549), 429–431.

LAMPIRAN A

A.1 Konjugasi Muatan

Teori yang lebih umum didasarkan pada fungsi gelombang partikel, ψ , merupakan pasangan muatan konjugasi, ψ^c . Ingat bahwa operator konjugasi muatan, C , mengubah keadaan partikel menjadi keadaan anti-partikel, dengan membalik tanda semua bilangan kuantum yang relevan,

$$C|\psi\rangle = |\bar{\psi}\rangle \quad (\text{A.1})$$

dapat ditunjukkan bahwa bentuk untuk operator konjugasi muatan, menggunakan matriks gamma Dirac,

$$C = i\gamma^2\gamma^0 \quad (\text{A.2})$$

dengan sifat-sifat berikut

$$\begin{aligned} C^\dagger &= C^{-1} \\ C^T &= -C \\ C\gamma_\mu^T C^{-1} &= -\gamma_\mu \\ C\gamma^5 C^{-1} &= -\gamma^5 \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Operator konjugasi muatan bekerja pada medan ψ_L dan ψ_R yaitu,

$$(\psi_L)^c = C\bar{\psi}_L^T; \quad (\psi_R)^c = C\bar{\psi}_R^T \quad (\text{A.4})$$

Ditinjau sifat khiralitas:

$$\gamma^5\psi_L = -\psi_L; \quad \gamma^5\psi_R = \psi_R \quad (\text{A.5})$$

Swanilai γ^5 menunjukkan khiralitas suatu partikel, yaitu bernilai (-1) dan (+1) yang disebut LH dan RH. Jika pers. A.5 dikenakan operasi konjugasi hermite kemudian dikalikan γ^0 dari kanan, maka diperoleh

$$(\gamma^5\psi_L)^\dagger\gamma^0 = -(\psi_L)\gamma^0 \rightarrow (\psi_L)^\dagger\gamma^5\gamma^0 = -\bar{\psi}_L \rightarrow \bar{\psi}_L\gamma^5 = -\bar{\psi}_L \quad (\text{A.6})$$

Lakukan cara serupa, bagi medan ψ_R diperoleh

$$(\gamma^5 \psi_R)^\dagger \gamma^0 = -(\psi_R) \gamma^0 \rightarrow (\psi_R)^\dagger \gamma^5 \gamma^0 = -\bar{\psi}_R \rightarrow \bar{\psi}_R \gamma^5 = -\bar{\psi}_R \quad (\text{A.7})$$

Jika dilakukan operasi transpose pers. A.6 kemudian dikalikan matriks C dari sebelah kiri diperoleh:

$$C(\gamma^5 \bar{\psi}_L)^T = -C((\bar{\psi}_L))^T \rightarrow C(\gamma^5)^T C^{-1} C \bar{\psi}_L^T = -C \bar{\psi}_L^T \rightarrow \gamma^5 (\bar{\psi}_L)^c = -(\bar{\psi}_L)^c \quad (\text{A.8})$$

Dari pers. A.6 dan A.7 terlihat bahwa transformasi konjugasi muatan mengubah swanilai γ^5 dari +1 (-1) menjadi -1 (+1) atau mengubah medan LH(RH) menjadi RH

LAMPIRAN B

B.1 Block Matrix Inverse

Jika sebuah matriks dipartisi menjadi empat blok, itu dapat diinverskan sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} M' & M \\ M & M' \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}^{-1} \quad (\text{B.1})$$

maka,

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} A^{-1} + A^{-1}B(D - CA^{-1}B)^{-1}CA^{-1} & -A^{-1}B(D - CA^{-1}B)^{-1} \\ -(D - CA^{-1}B)^{-1}CA^{-1} & (D - CA^{-1}B)^{-1} \end{pmatrix} \quad (\text{B.2})$$

persamaan B.2 setara dengan,

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} (A - BD^{-1}C)^{-1} & -(A - BD^{-1}C)^{-1}BD^{-1} \\ -D^{-1}C(A - BD^{-1}C)^{-1} & D^{-1} + D^{-1}C(A - BD^{-1}C)^{-1}BD^{-1} \end{pmatrix} \quad (\text{B.3})$$

maka untuk invers matriks D pada persamaan 3.19 menjadi

$$\begin{pmatrix} M' & M \\ M & M' \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} (M' - MM^{-1}M)^{-1} & -(M' - MM'^{-1}M)^{-1}MM'^{-1} \\ -M'^{-1}M(M' - MM'^{-1}M)^{-1} & M'^{-1} + M'^{-1}M(M' - MM'^{-1}M)^{-1}MM'^{-1} \end{pmatrix}$$

diasumsikan $M' > M$, sehingga didapatkan,

$$\begin{pmatrix} M' & M \\ M & M' \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} M'^{-1} & M'^{-1}MM'^{-1} \\ M'^{-1}MM'^{-1} & M'^{-1}MM'^{-1} \end{pmatrix} \quad (\text{B.4})$$