

ダブルベータ崩壊への期待

浜口幸一 (東大理 & IPMU)

2015. 5. 16

「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」

@神戸大学

ダブルベータ崩壊への期待

ダブルベータ崩壊への期待



0νββ崩壊を発見して欲しい！

ニュートリノの**マヨラナ性**が確定し、さらに・・・

- ・ 右巻きニュートリノの存在と **see-saw 機構**
- ・ **レプトジェネシス**

に対する強力な間接証拠となる。

もくじ

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

2. 右巻きニュートリノ, seesaw, レプトジェネシス

3. $0\nu\beta\beta$ 崩壊が見えたら

NEW! レプトジェネシスについて何が言えるか？

もくじ

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

2. 右巻きニュートリノ, seesaw, レプトジェネシス

3. $0\nu\beta\beta$ 崩壊が見えたら

NEW! レプトジェネシスについて何が言えるか？



ちょっとだけ
こっちを先に・・・

**0νββ崩壊が見えたら
レプトジェネシスについて
何が言えるか？**

**based on a work (in preparation)
with Kengo Shimada**



この科研費(E01班)による博士研究員です！

結論

$m_{\nu ee}$ が分かれば (レプトジェネシスを仮定すると)

右巻きニュートリノの質量の下限が分かる！

M_1 [GeV]

10^{14}

10^{12}

10^{10}

10^{-4}

10^{-3}

10^{-2}

10^{-1}

10^0

$m_{\nu ee}$
[eV]

normal

inverted

K. Hamaguchi, K. Shimada, in preparation

Assumptions: $M_1 \ll M_{2,3}$. Without flavor effects.

結論

$m_{\nu ee}$ が分かれば (レプトジェネシスを仮定すると)

右巻きニュートリノの質量の下限が分かる！

M_1 [GeV]

10^{14}

10^{12}

10^{10}

10^{-4}

10^{-3}

10^{-2}

10^{-1}

10^0

$m_{\nu ee}$
[eV]

normal

inverted

K. Hamaguchi, K. Shimada, in preparation

Assumptions: $M_1 \ll M_{2,3}$. Without flavor effects.

結論

$m_{\nu ee}$ が分かれば (レプトジェネシスを仮定すると)

右巻きニュートリノの質量の下限が分かる！

M_1 [GeV]

10^{14}

10^{12}

10^{10}

10^{-4}

10^{-3}

m

normal

inverted

詳細を聞きたい方は是非
嶋田くんをセミナーに呼んで下さい。

K. Hamaguchi, **K. Shimada** in preparation

Assumptions: $M_1 \ll M_{2,3}$. Without flavor effects.

もくじ

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

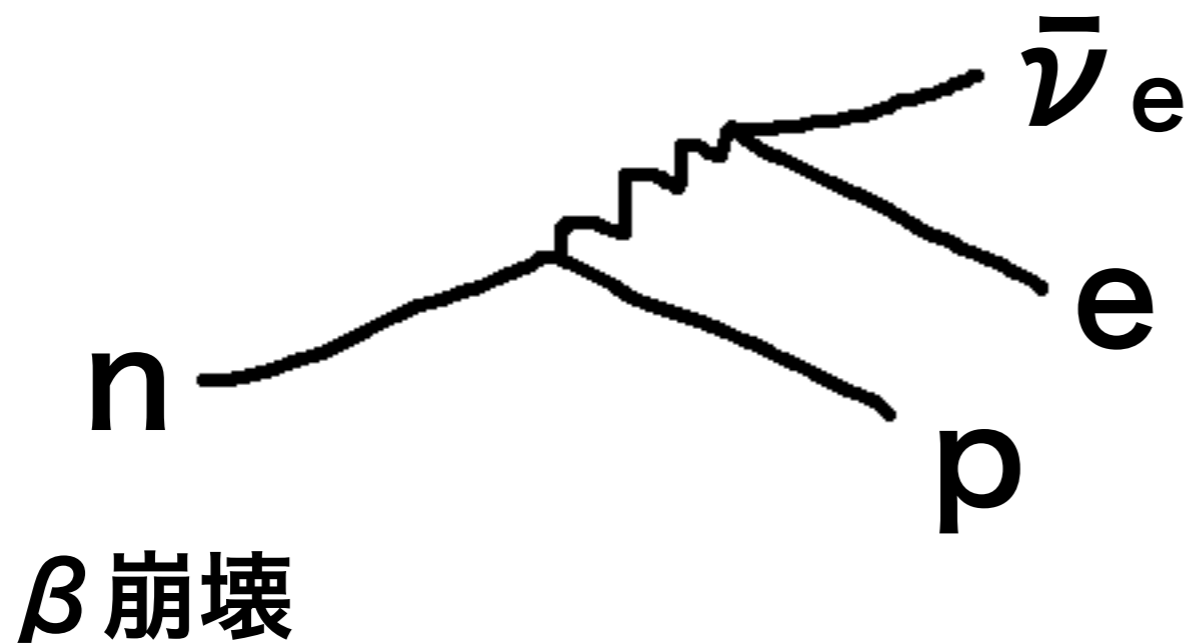
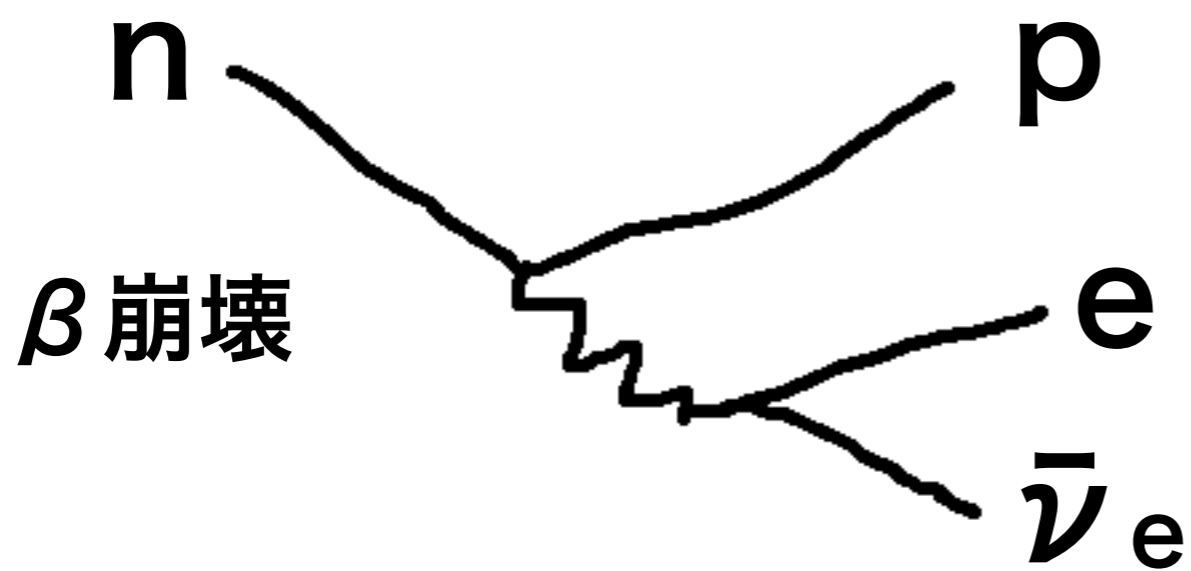
2. 右巻きニュートリノ, seesaw, レプトジェネシス

3. $0\nu\beta\beta$ 崩壊が見えたら

NEW! レプトジェネシスについて何が言えるか？

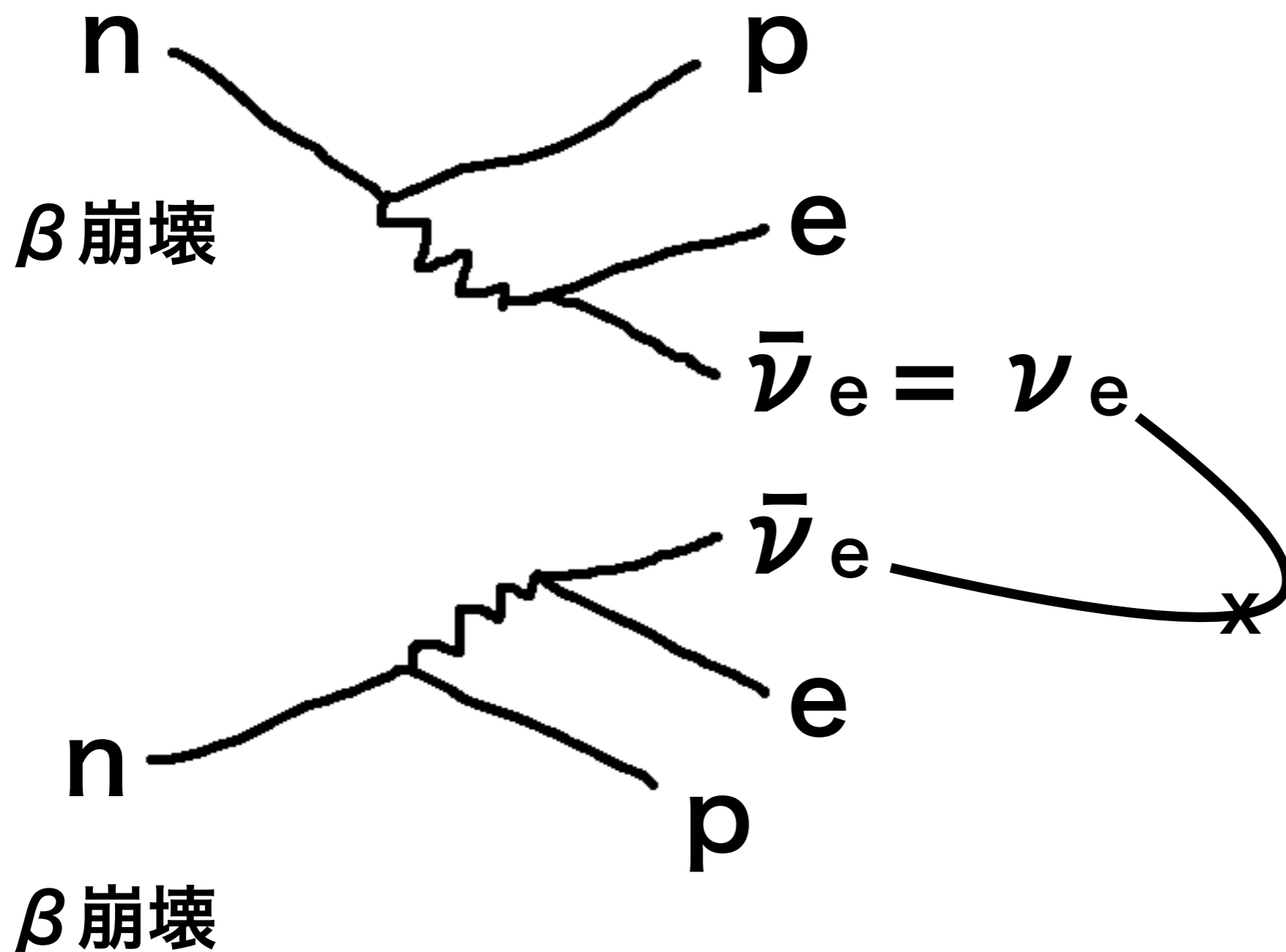
1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壞



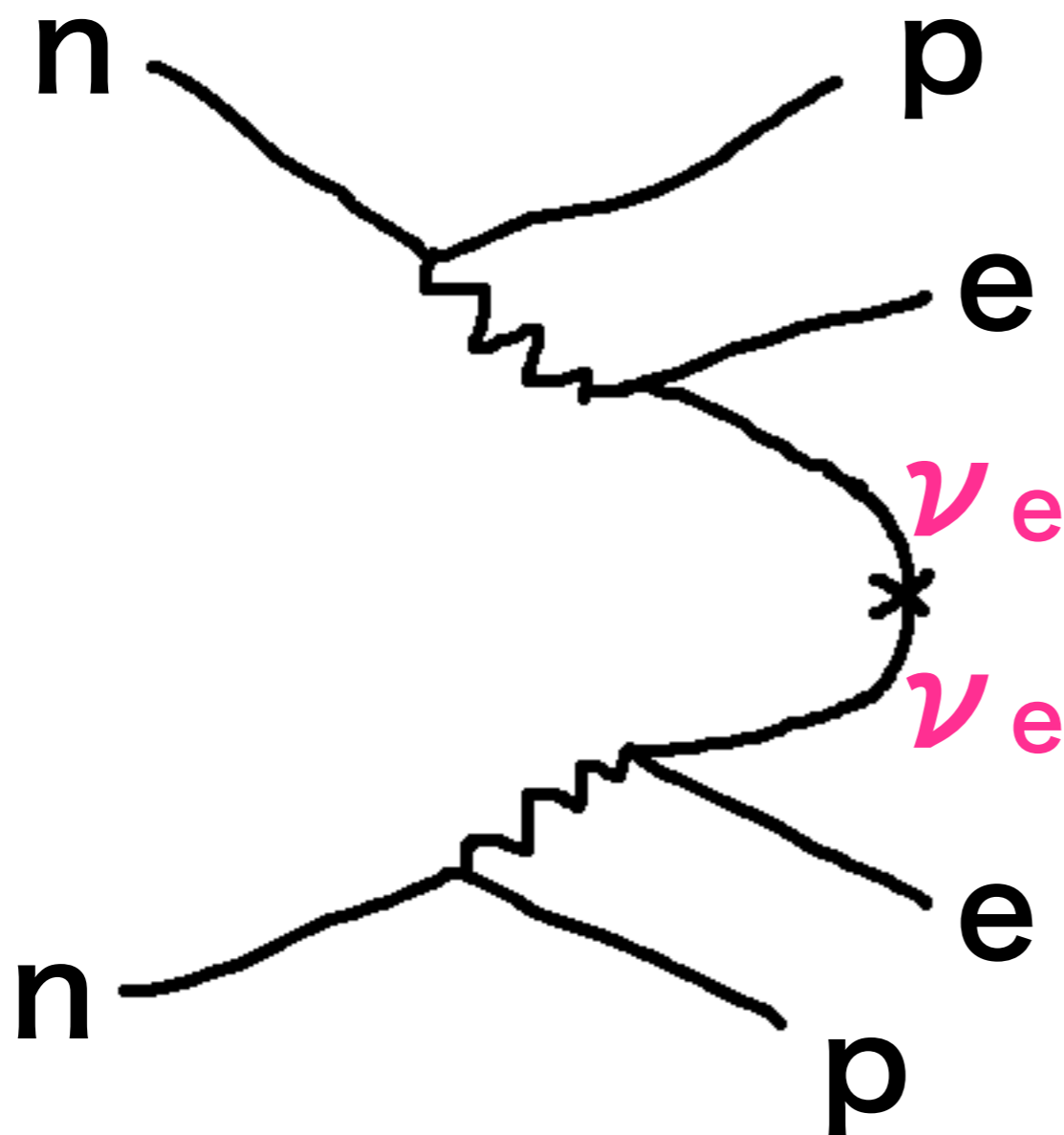
1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

もしニュートリノ=反ニュートリノ (マヨラナ) なら・・・



1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

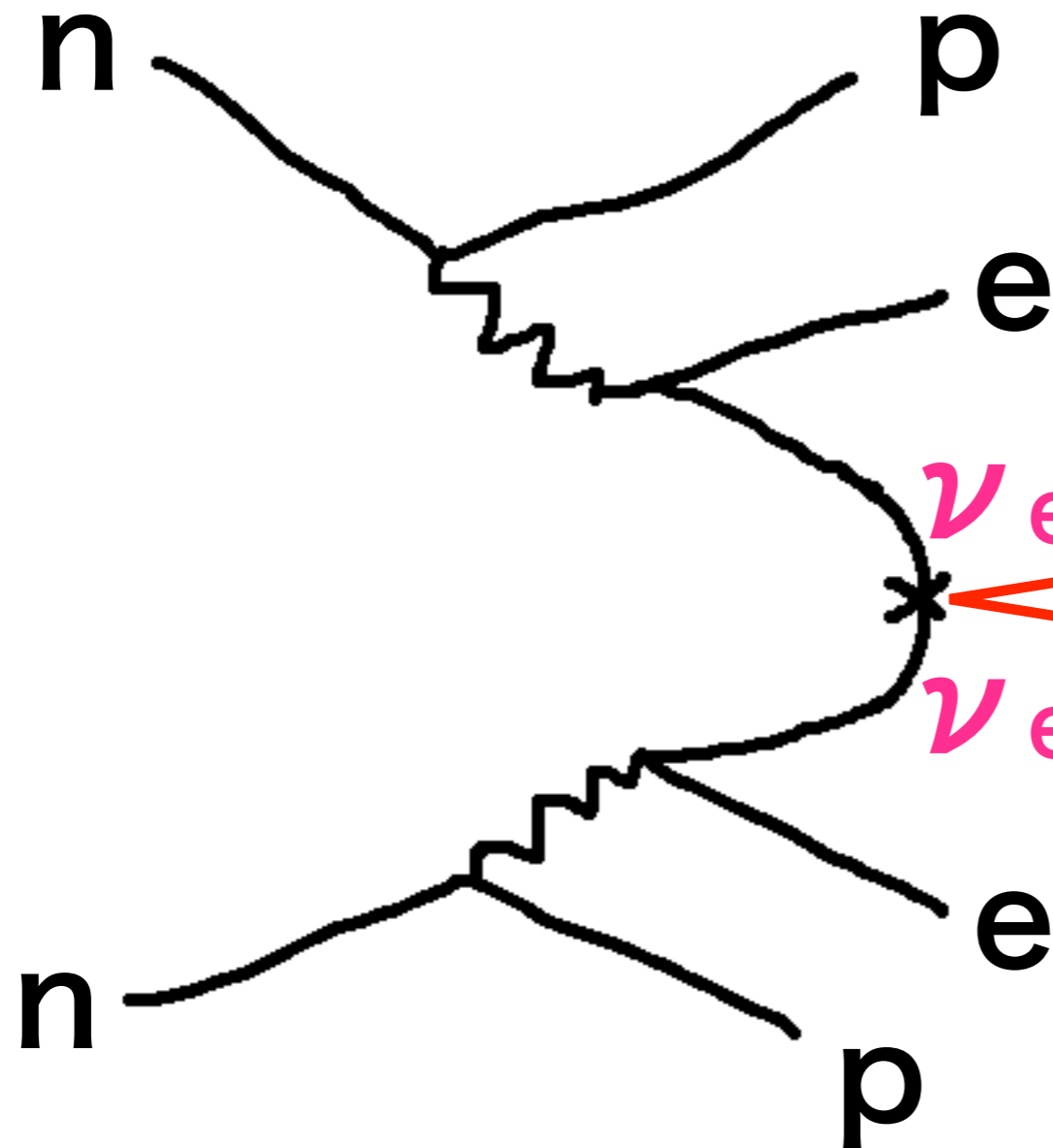
もしニュートリノ=反ニュートリノ (マヨラナ) なら・・・



$0\nu\beta\beta$ 崩壊!

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊

もしニュートリノ=反ニュートリノ (マヨラナ) なら・・・

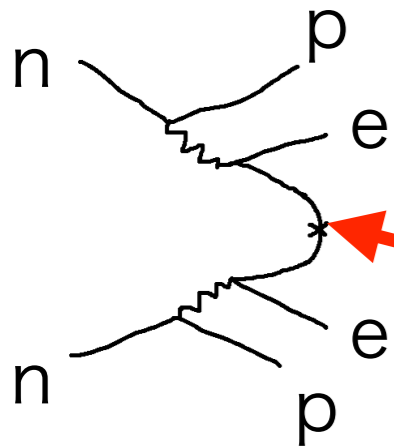


$0\nu\beta\beta$ 崩壊!

$m_{\nu ee}$

$$\begin{pmatrix} m_{\nu ee} & m_{\nu e\mu} & m_{\nu e\tau} \\ m_{\nu\mu e} & m_{\nu\mu\mu} & m_{\nu\mu\tau} \\ m_{\nu\tau e} & m_{\nu\tau\mu} & m_{\nu\tau\tau} \end{pmatrix}$$

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊



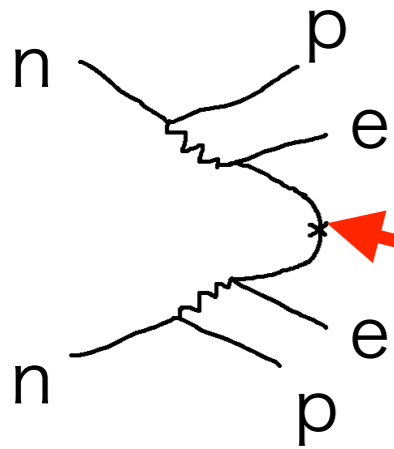
$$m_{\nu ee} = \left| m_{\nu 1} |U_{e1}|^2 + m_{\nu 2} |U_{e2}|^2 e^{i\alpha_2} + m_{\nu 3} |U_{e3}|^2 e^{i(\alpha_3 - 2\delta)} \right|$$
$$\simeq \left| 0.68 m_{\nu 1} + 0.30 m_{\nu 2} e^{i\alpha_2} + 0.023 m_{\nu 3} e^{i(\alpha_3 - 2\delta)} \right|$$

$$\begin{cases} \text{mixing} & : |U_{ei}| \\ \Delta(\text{mass})^2 & : m_{\nu i}^2 - m_{\nu j}^2 \end{cases}$$

ν 振動で測られている。

Majorana CP phases
(ν 振動では見えない)

1. $0\nu\beta\beta$ 崩壊



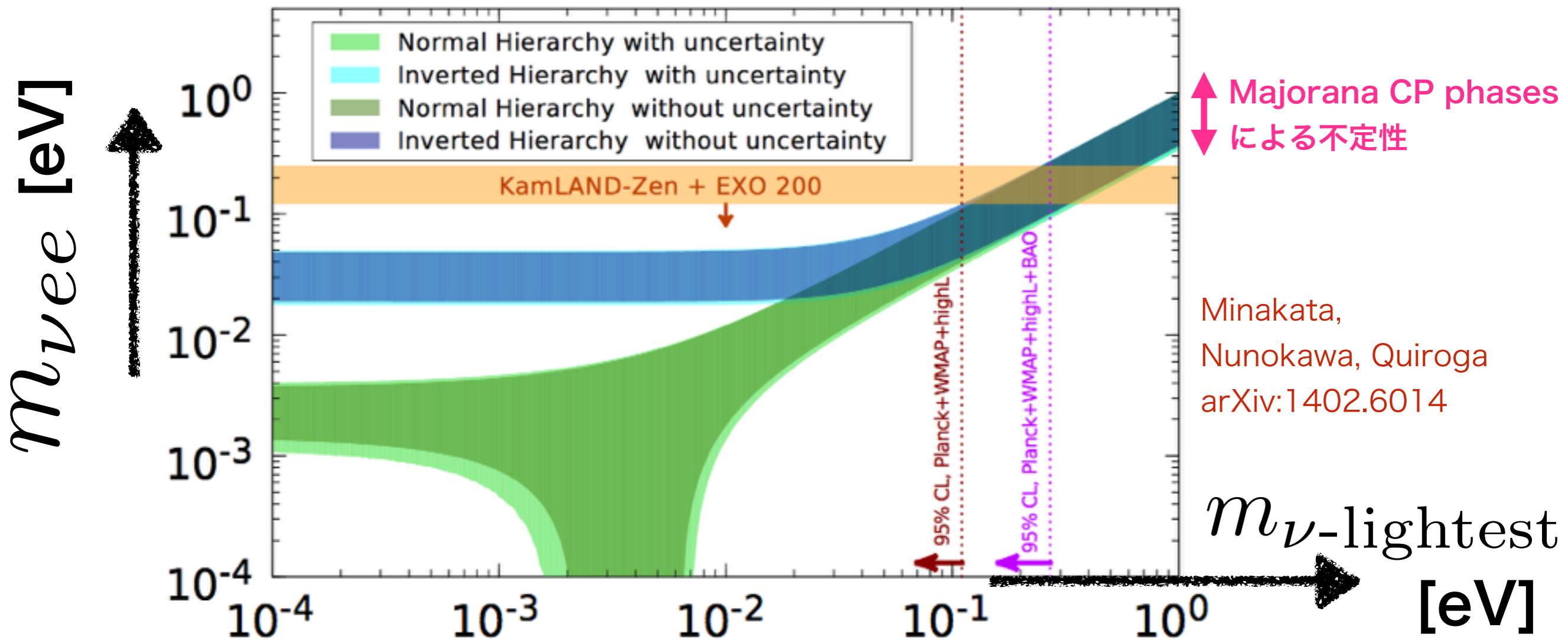
$$m_{\nu ee} = \left| m_{\nu 1} |U_{e1}|^2 + m_{\nu 2} |U_{e2}|^2 e^{i\alpha_2} + m_{\nu 3} |U_{e3}|^2 e^{i(\alpha_3 - 2\delta)} \right|$$

$$\simeq \left| 0.68 m_{\nu 1} + 0.30 m_{\nu 2} e^{i\alpha_2} + 0.023 m_{\nu 3} e^{i(\alpha_3 - 2\delta)} \right|$$

{ mixing : $|U_{ei}|$
 $\Delta(\text{mass})^2$: $m_{\nu i}^2 - m_{\nu j}^2$

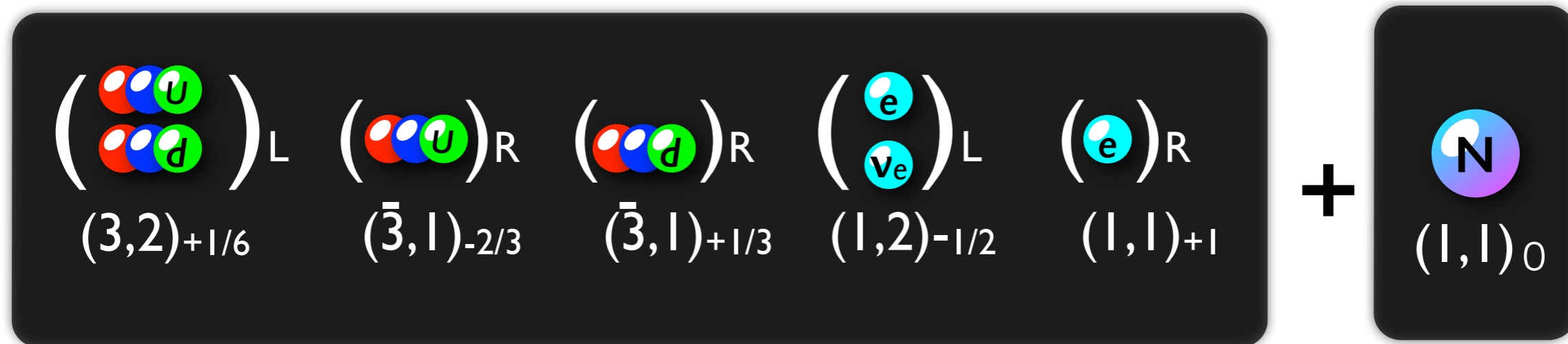
Majorana CP phases
 (ν 振動では見えない)

ν 振動で測られている。



2. 右巻きニュートリノ, seesaw, レプトジェネシス

標準模型に右巻きニュートリノを足して・・・



ラグランジアンに右巻きのマヨラナ質量項と湯川相互作用項を足す。

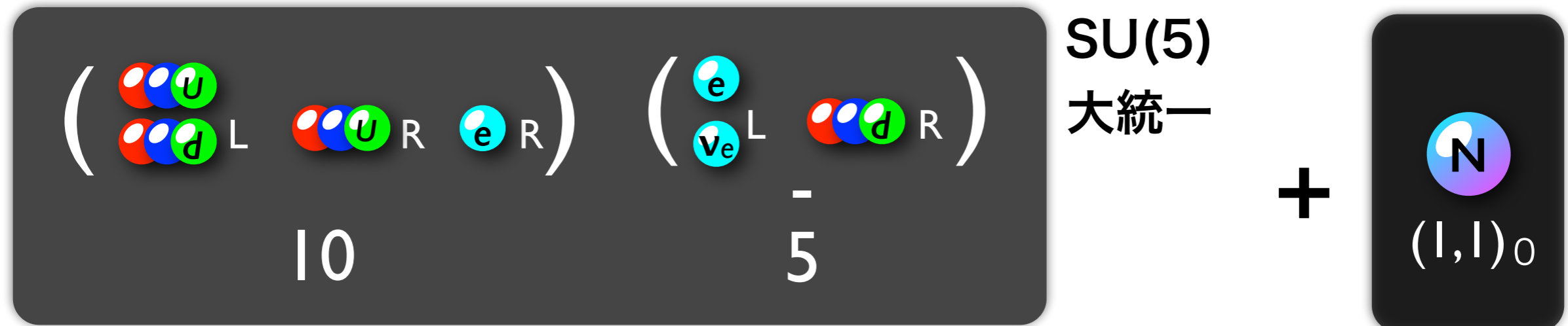
$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2} \overline{N_R} (i\not{\partial} + M_R) N_R + y_\nu \overline{N_R} \ell_L H + h.c.$$

・・・これだけの模型。シンプル！

右巻きニュートリノ
マヨラナ質量
ヒッグス
荷電レプトン

右巻きニュートリノは1人3役

① 全てのクォーク・レプトンが統一



右巻きニュートリノは1人3役

① 全てのクォーク・レプトンが統一

$$\left(\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{L} & \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{R} & \text{e} \text{R} \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{c} \text{e} \\ \text{v}_e \end{array} \text{L} & \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{R} \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} \text{SU}(5) \\ \text{大統一} \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} \text{N} \\ (1,1)_0 \end{array}$$

10 5

$$= \left(\begin{array}{cccccc} \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{L} & \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{R} & \text{e} \text{R} & \text{e} \\ \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{L} & \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{R} & \text{e} \text{R} & \text{v}_e \text{L} & \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{d} \end{array} \text{R} & \text{N}_i \text{R} \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} \text{SO}(10) \\ \text{大統一} \end{array}$$

16

全てのクォーク
レプトンが統一！

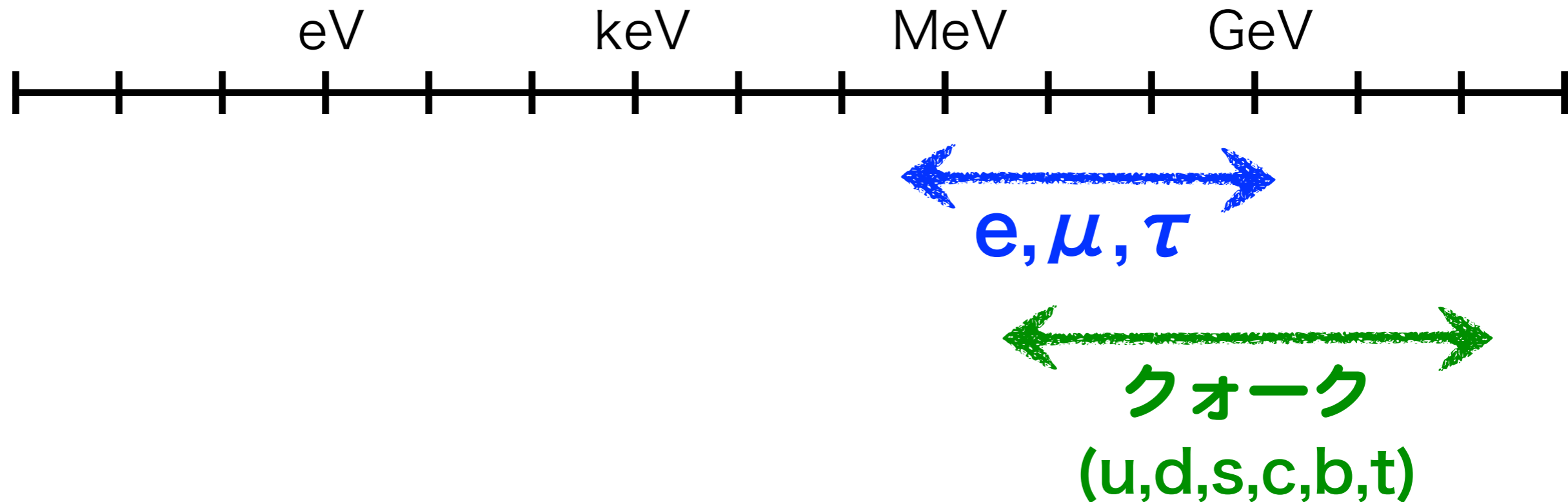
右巻きニュートリノは1人3役

- ① 全てのクォーク・レプトンが統一
- ② 小さなニュートリノ質量を説明

右巻きニュートリノは1人3役

- ① 全てのクォーク・レプトンが統一
- ② 小さなニュートリノ質量を説明

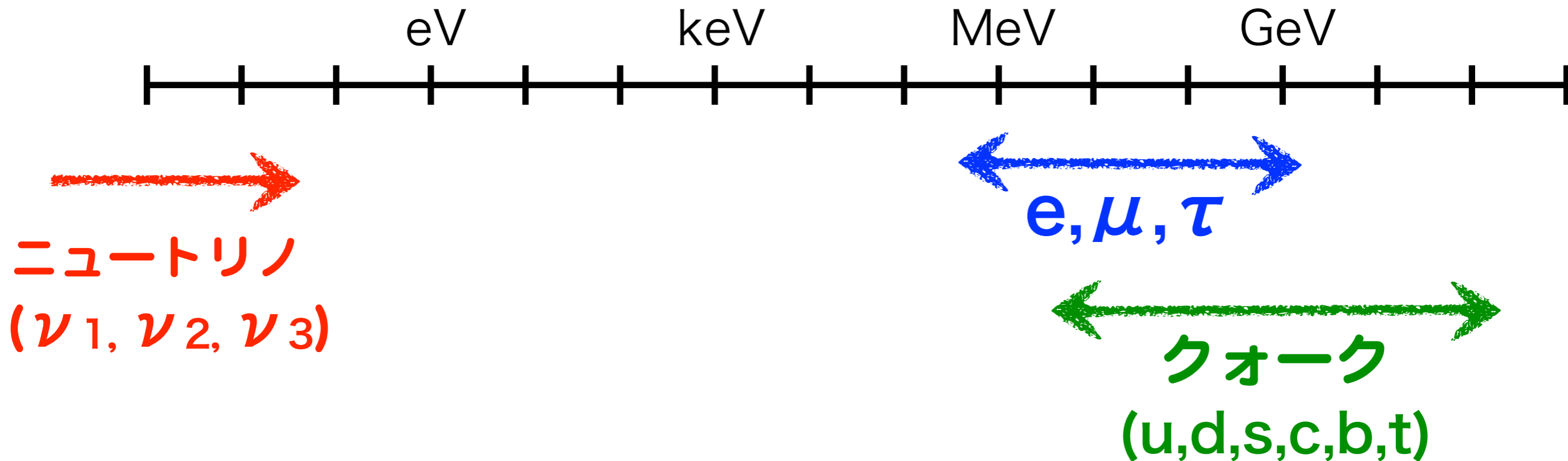
クォーク、レプトンの質量



右巻きニュートリノは1人3役

- ① 全てのクォーク・レプトンが統一
- ② 小さなニュートリノ質量を説明

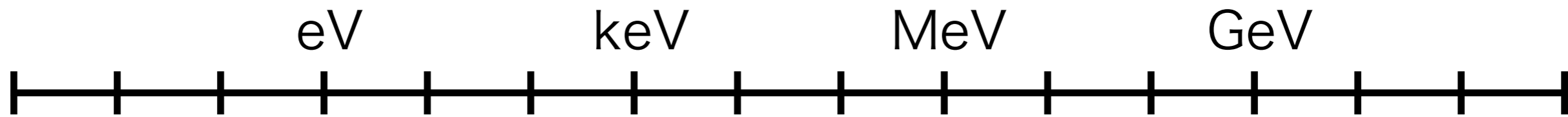
クォーク、レプトンの質量



右巻きニュートリノは1人3役

- ① 全てのクォーク・レプトンが統一
- ② 小さなニュートリノ質量を説明

クォーク、レプトンの質量



ニュートリノ
(ν_1, ν_2, ν_3)



e, μ, τ



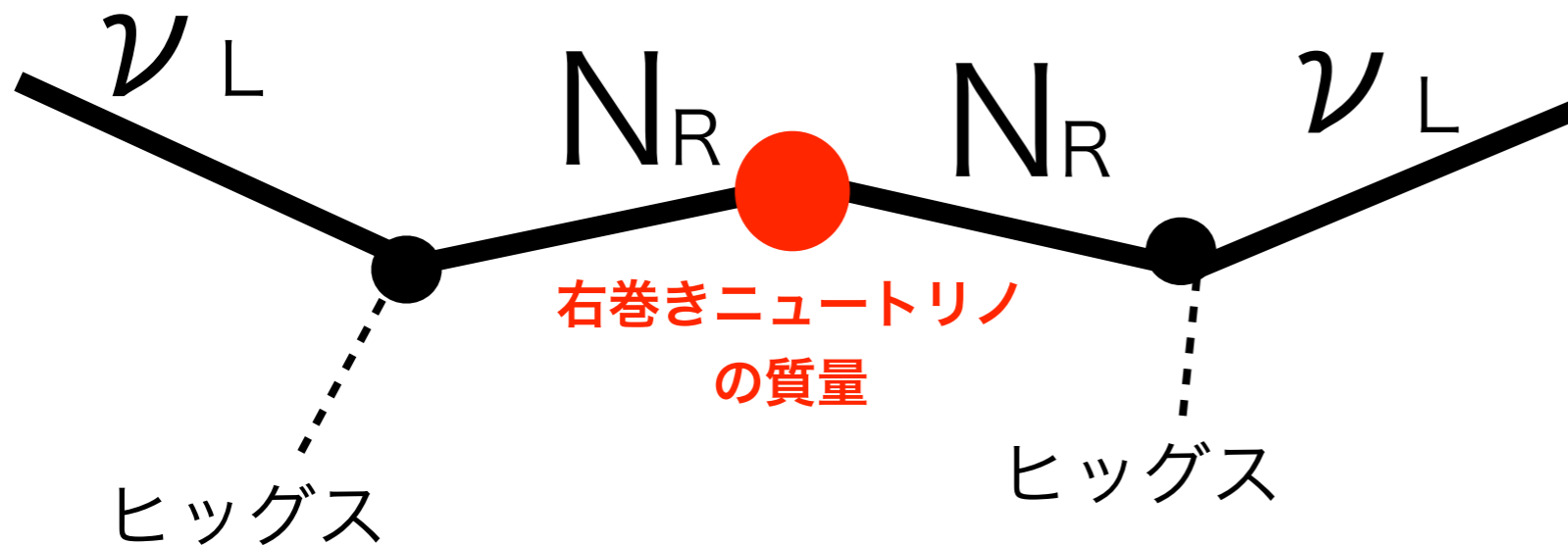
クォーク
(u, d, s, c, b, t)

・・・何でニュートリノだけこんなに軽いのか？

右巻きニュートリノは1人3役

① 全てのクォーク・レプトンが統一

② 小さなニュートリノ質量を説明



“シーソー機構”

Yanagida,'79

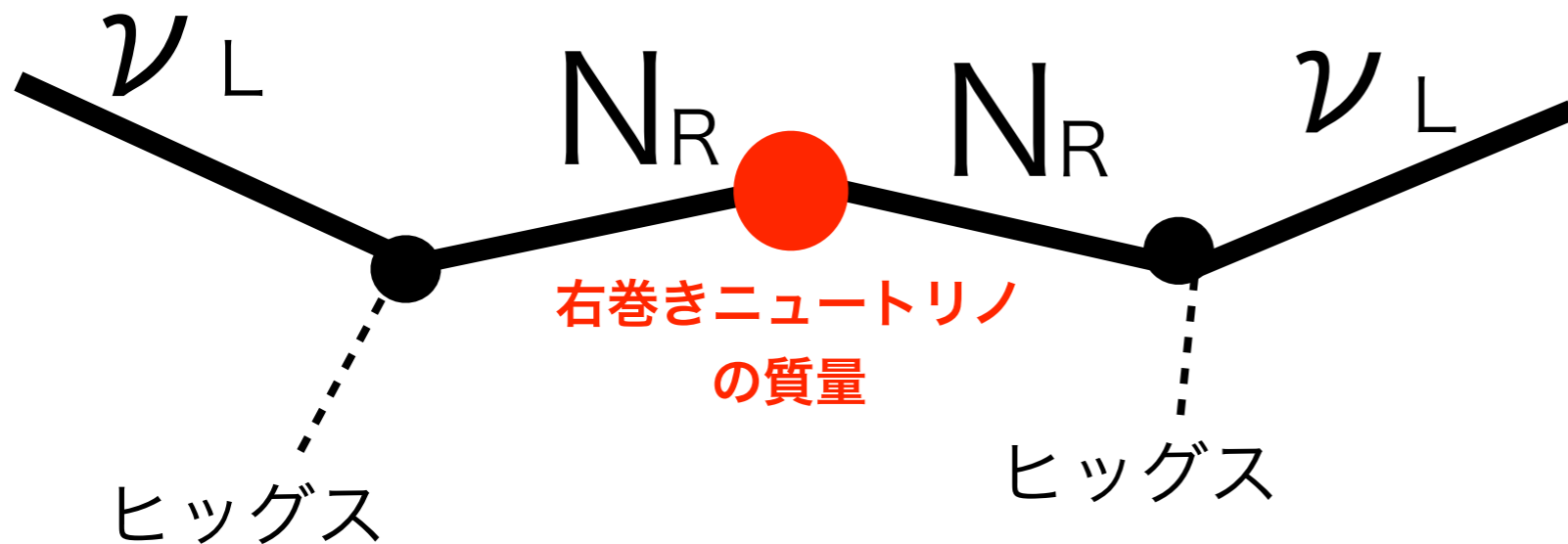
Gell-Mann, Ramond, Slansky,'79

Minkowski,'77

右巻きニュートリノは1人3役

① 全てのクォーク・レプトンが統一

② 小さなニュートリノ質量を説明



“シーソー機構”

Yanagida, '79

Gell-Mann, Ramond, Slansky, '79

Minkowski, '77

マヨラナになる

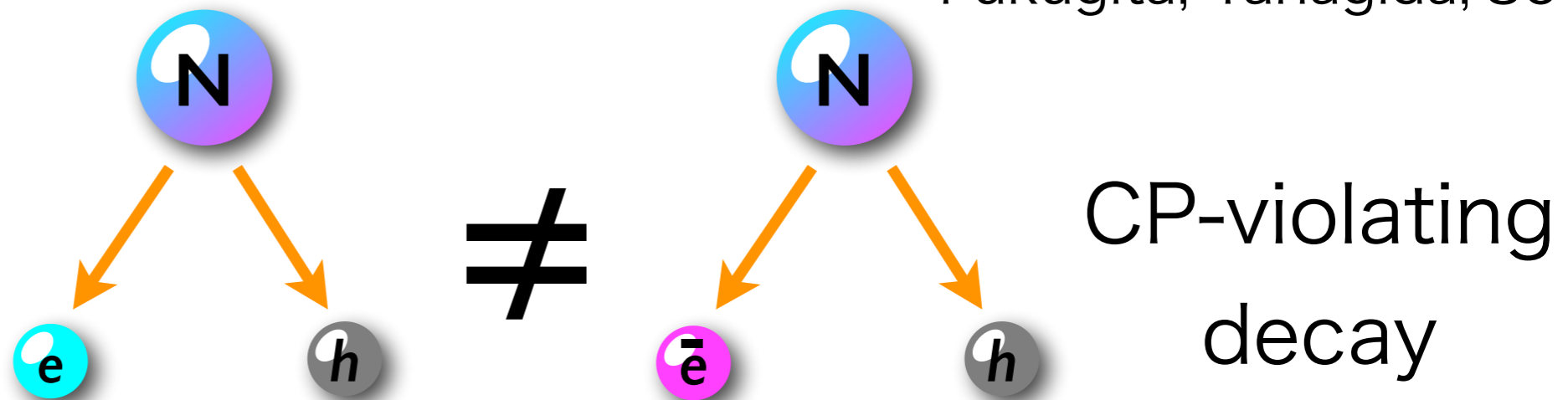
⇒ $0\nu\beta\beta$ 崩壊!

右巻きニュートリノは1人3役

- ① 全てのクォーク・レプトンが統一
- ② 小さなニュートリノ質量を説明
- ③ 宇宙の物質 > 反物質を説明出来る。

レプトジェネシス

Fukugita, Yanagida, '86



(sphaleron) $\rightarrow \frac{n_B}{s}$ (observed) = $(0.88 \pm 0.02) \times 10^{-10}$

3. $0\nu\beta\beta$ 崩壊が見えたら

レプトジェネシスについて何が言えるか？

based on a work (in preparation)

with Kengo Shimada

3. $0\nu\beta\beta$ 崩壊が見えたら

レプトジェネシスについて何が言えるか？

based on a work (in preparation)
with Kengo Shimada

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2}\overline{N_R}(i\partial + M_R)N_R + y_\nu\overline{N_R}\ell_L H + h.c.$$

レプトジェネシス

$m_{\nu ee}$

3. $0\nu\beta\beta$ 崩壊が見えたら

レプトジェネシスについて何が言えるか？

based on a work (in preparation)
with Kengo Shimada

元は同じラグランジアン

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2}\overline{N}_R(i\not{\partial} + M_R)N_R + y_\nu\overline{N}_R\ell_L H + h.c.$$

レプトジェネシス

何か情報を

引き出せないか？

$m_{\nu ee}$

結論

$m_{\nu ee}$ が分かれば (レプトジェネシスを仮定すると)

右巻きニュートリノの質量の下限が分かる！

M_1 [GeV]

10^{14}

10^{12}

10^{10}

10^{-4}

10^{-3}

10^{-2}

10^{-1}

10^0

$m_{\nu ee}$
[eV]

normal

inverted

K. Hamaguchi, K. Shimada, in preparation

Assumptions: $M_1 \ll M_{2,3}$. Without flavor effects.