

ILC実験における 余剰次元模型の右巻きニュートリノ に関する測定精度の評価

東北大理 齋藤智之

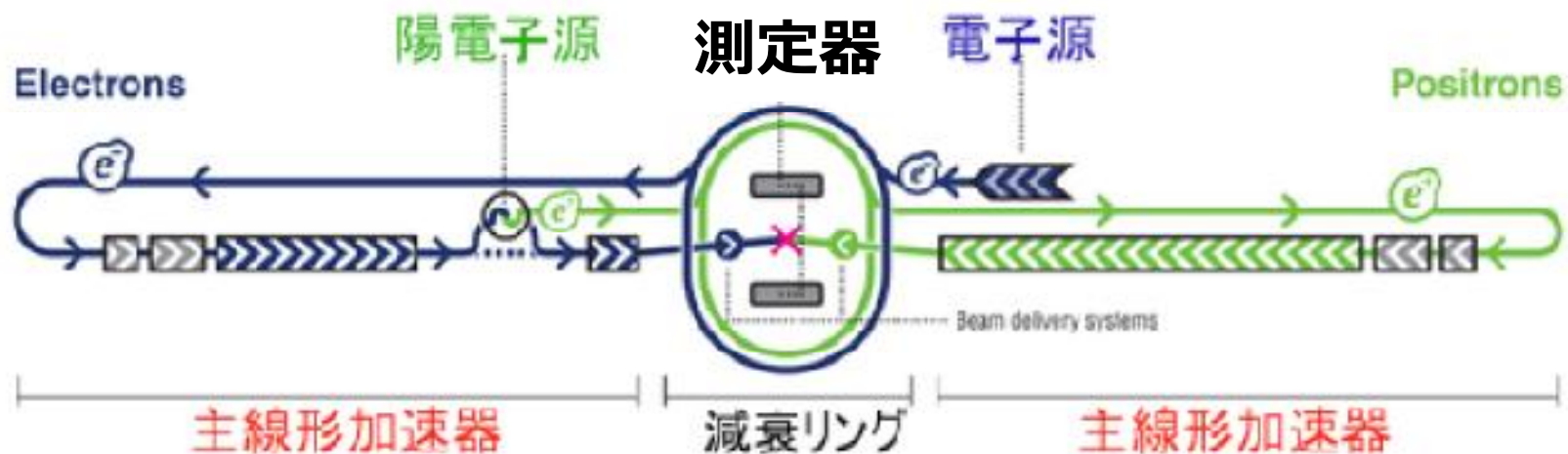
東北大理、阪大理、京大理、KEK
浅野雅樹、田窪洋介、鍋島偉宏、波場直之、
藤井恵介、松本重貴、山本均、吉岡興一

2010/03/20 日本物理学会@岡山大学

ILC計画

電子・陽電子線形加速器

- ☞ 全長 : 約 31 km
- ☞ 重心エネルギー : 500 GeV (→1TeV)
- ☞ 積分ルミノシティ(4年間) : 500 fb⁻¹
- ☞ 測定器案 : ILD, SiD
- ☞ 2012年、工学設計書提出



クリーンな環境で新物理の精密な解析が行える

余剰次元模型におけるのシーソー機構

シーソー機構 \Rightarrow 右巻きニュートリノの質量 $M_N \sim 10^{14}$ GeV

余剰次元を仮定

(arXiv:0901.4596v1[hep-ph])

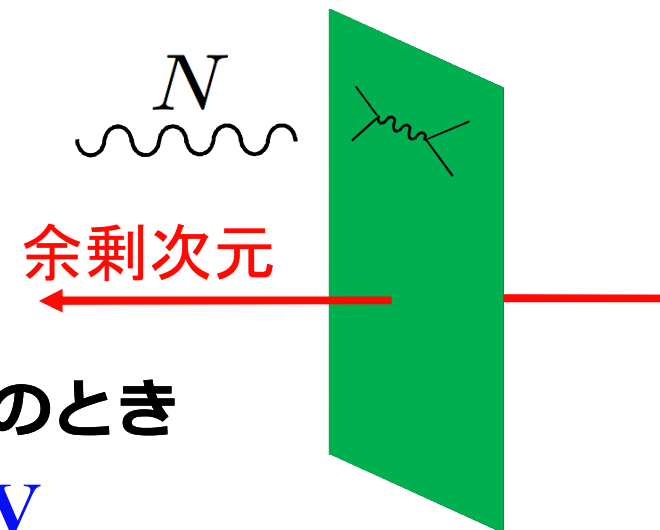
$$M_N = \frac{2n - 1}{2R} (n = 1, 2, \dots)$$

[n : KKモード R : 余剰次元の半径]

・ 余剰次元の大きさがTeVスケールするとき

$$1/R \sim 100 \text{ GeV} \Rightarrow M_N \sim 100 \text{ GeV}$$

N は余剰次元を移動



N の観測可能性の検証 \Rightarrow ν の質量の起源、余剰次元

シミュレーション

シミュレーション条件

ファストシュミレータ使用

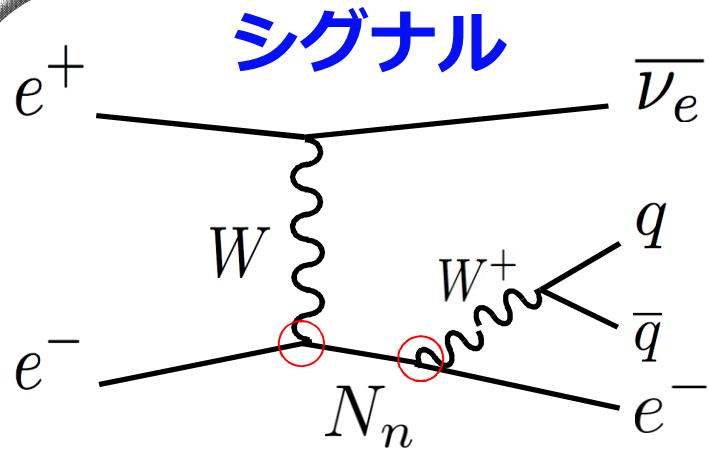
- ➡ 重心エネルギー : **500 GeV , 1 TeV**
- ➡ 積分ルミノシティ : **500 fb⁻¹**
- ➡ ニュートリノ質量 : 順階層、逆階層、縮退質量型
全てについて解析

➡ 右巻きニュートリノ

- ・ 質量 N_1 : **150 GeV**
- N_2 : **450 GeV**
- N_3 : **750 GeV**

LEP実験による
制限を考慮

シグナル



- ☞ フレーバの混合あり
- ☞ 終状態：レプトン
+ 2 ジェット
+ ニュートリノ
⇒ 電子モードで解析

シグナルの反応断面積 (fb)

Ecm=500 GeV			
KKモード	順階層	逆階層	縮退型
1st KK	6.524	297.5	257.1
2nd KK	0.065	2.975	2.571
Ecm=1TeV			
1st KK	7.791	355.4	307.1
2nd KK	0.517	23.60	20.40
3rd KK	0.085	3.864	3.340

ニュートリノが縮退質量型の解析について報告する

バックグラウンド

👉 バックグラウンド

⇒ 1レプトン+2ジェットに見えるイベント

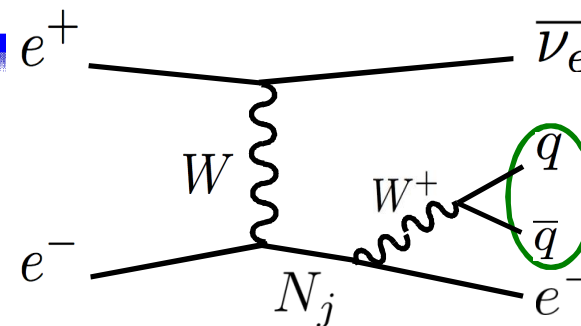
バックグラウンドの反応断面積 (fb)

バックグラウンド	$E_{cm}=500 \text{ GeV}$	$E_{cm}=1\text{TeV}$
$e\nu W$	4462	10320
$WW \rightarrow l\nu qq$	660	280.3
$ZZ \rightarrow llqq + \nu\nu qq$	163	32.79
tt	531	29.43

主なバックグラウンド : $e\nu W, WW$

イベント再構成

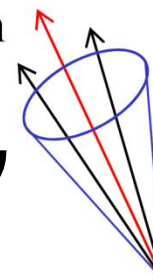
レプトンと 2jet から N を再構成



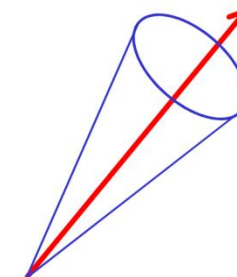
1、終状態のトラックからレプトンを識別

- ① トラックの周り(20°)のエネルギー $< 5 \text{ GeV}$
- ② ①中で最も高いエネルギーのトラック \Rightarrow レプトン候補

Non-isolated lepton



Isolated lepton



2、レプトン候補を除き、強制的に2ジェットで再構成

\Rightarrow W を再構成

3、右巻きニュートリノを再構成

$$P_N = P_W + P_l$$

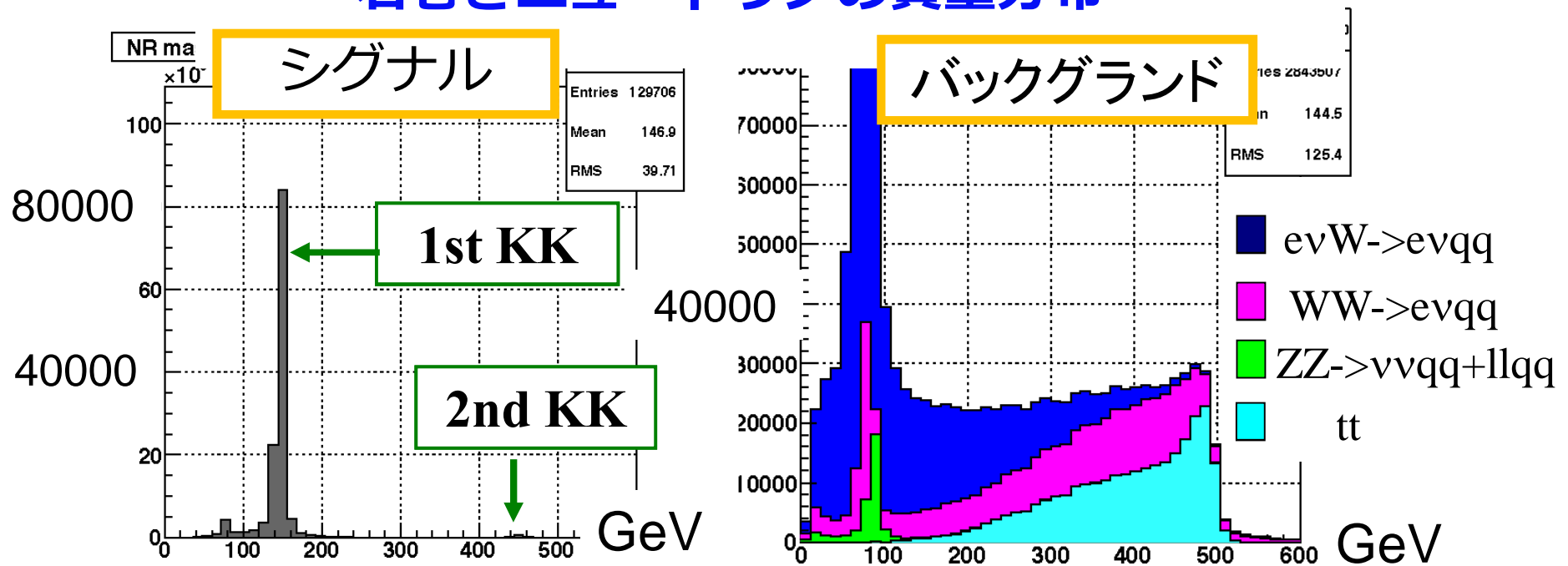
500 GeVの解析

(1st KK N)
(2nd KK N)

N の質量の再構成 @ 500GeV

終状態の粒子の情報から N の質量を再構成

右巻きニュートリノの質量分布



バックグラウンド除去

レプトンエネルギー
2ジェットの質量
2ジェットのエネルギー

反応断面積の精度 @ 500GeV

カット後の質量分布をフィット

フィット

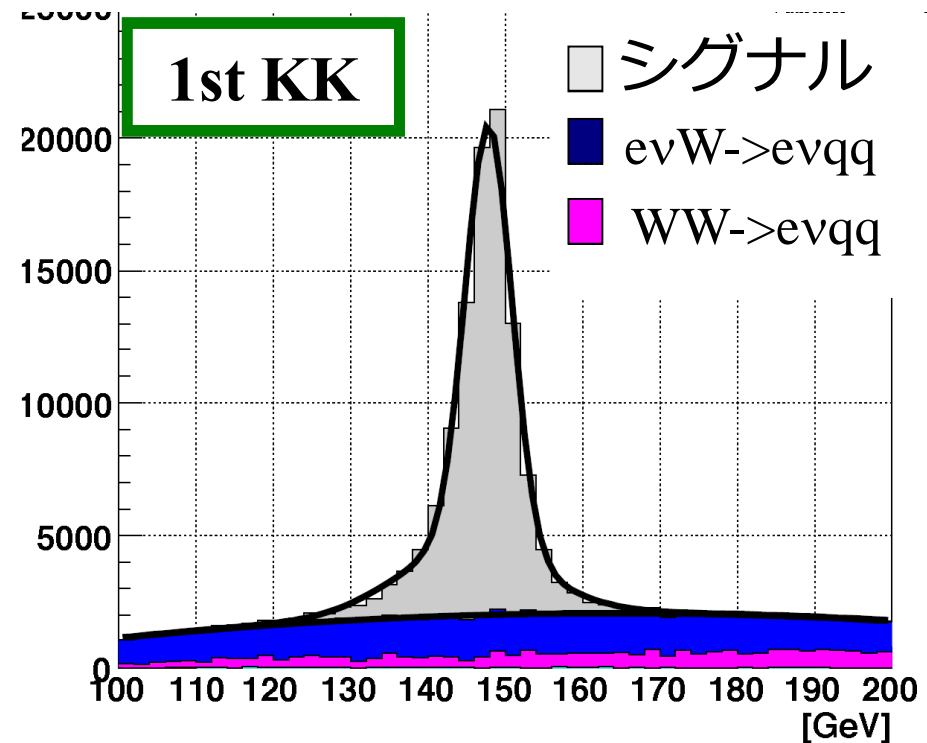
2つのガウシアン
+ 2次の多項式



反応断面積の精度

0.40%

右巻きニュートリノの質量分布



十分精度よく観測可能

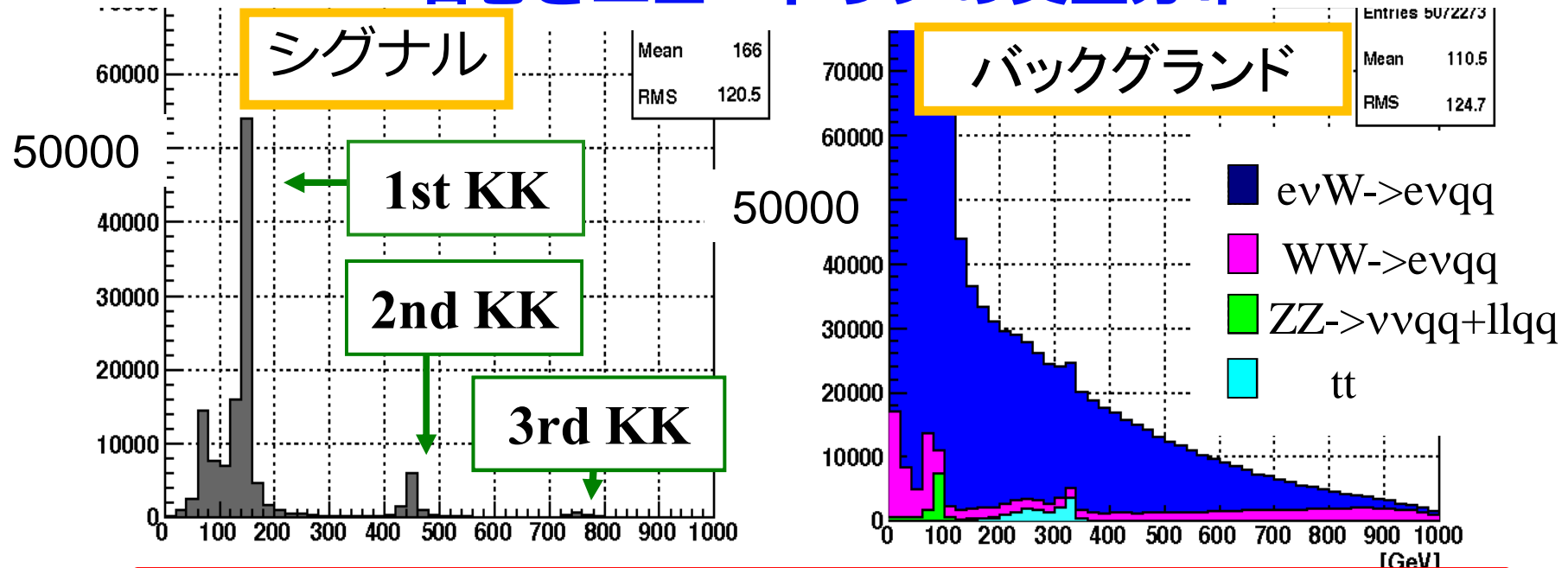
1TeVの解析

〔
1st KK
2nd KK
3rd KK
〕

Nの質量の再構成 @ 1TeV

終状態の粒子の情報からNの質量を再構成

右巻きニュートリノの質量分布



バックグラウンド除去

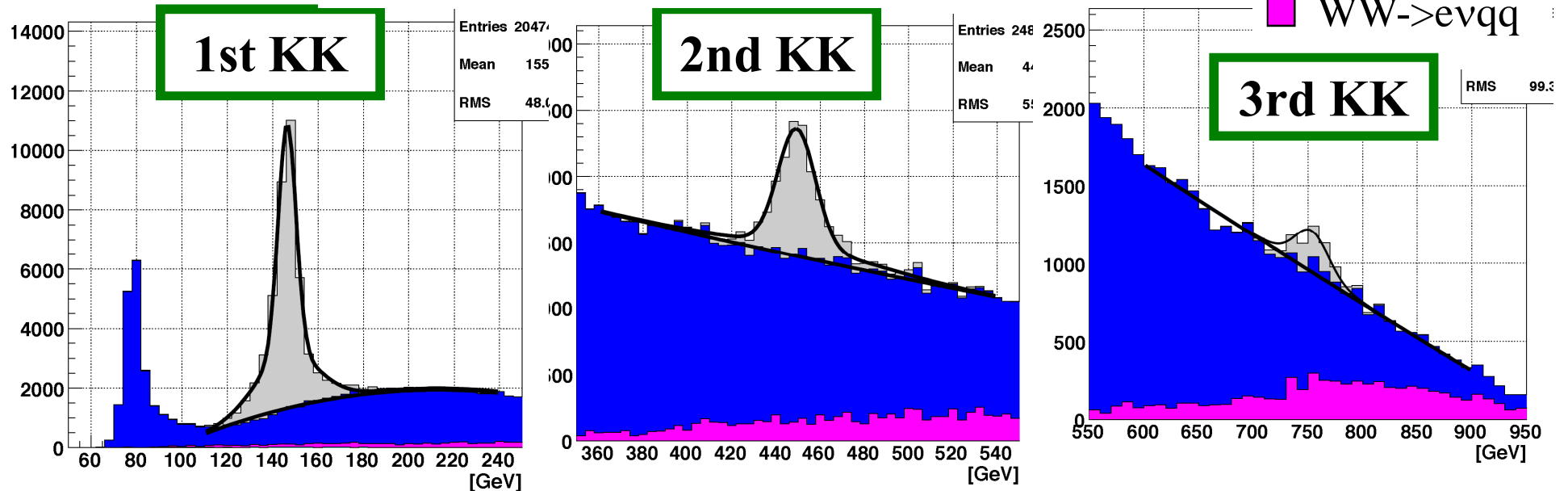
レプトンエネルギー
2ジェットの質量
2ジェットのエネルギー

反応断面積の測定精度

カット後の質量分布をフィット⇒ダブルガウシアン+多項式

右巻きニュートリノの質量分布

signal
 $evW \rightarrow evqq$
 $WW \rightarrow evqq$



反応断面積の精度

0.67%

2.69%

8.38%

まとめ

余剰次元模型の右巻きニュートリノについてILCでの
反応断面積の測定精度を検証

反応断面積の測定精度 (%)

Ecm	KK mode	順階層	逆階層	縮退型
500 GeV	1st KK	7.0	0.36	0.40
1TeV	1st KK	13.0	0.53	0.67
	2nd KK	-	2.4	2.7
	3rd KK	-	7.0	8.4

Ecm=1TeVでNのKKタワーを観測 → 余剰次元の存在を示唆

今後の予定

N τ Wモードの解析を行い分岐比の比を調べる

Back up

ラグランジアン

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{\text{int}} = & -\frac{g}{\sqrt{2}} \bar{e} \not{W} U_{MNS} P_L \nu + h.c. \\
 & -\frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi R m_n} \bar{e} \not{W} X P_L N^{(n)} + h.c. \\
 & -\frac{g_Z}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi R m_n} \bar{\nu} \not{Z} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right)^{1/2} \mathcal{O} P_L N^{(n)} + h.c. \\
 & -\frac{g_Z}{2} \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{1}{\pi^2 R^2 m_n m_m} \bar{N}^{(n)} \not{Z} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right) P_L N^{(m)} \\
 & -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi R v} h \bar{\nu} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right)^{1/2} \mathcal{O} P_R N^{(n)} + h.c. \\
 & -\sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{1}{\pi^2 R^2 v m_m} h \bar{N}^{(n)} \left(\frac{2m_\nu}{\mathcal{M}} \right) P_L N^{(m)} + h.c.
 \end{aligned}$$

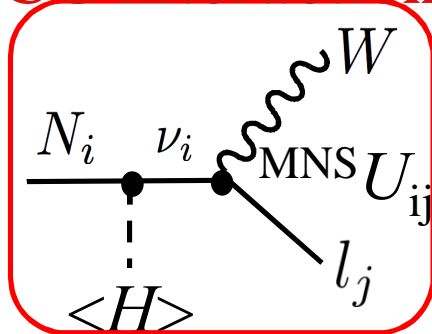
Nの相互作用

Nはどのように観測されるのか

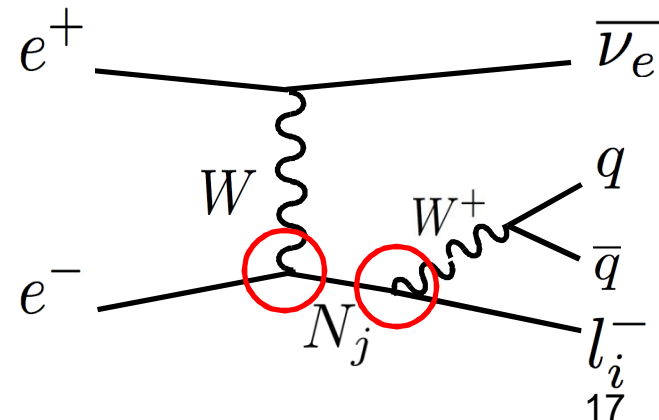
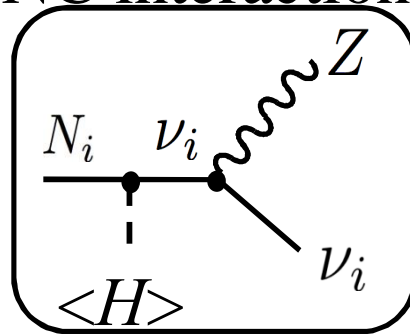
Nの相互作用

- 📄 Nは弱い相互作用によりHiggsを介してSMの粒子と反応
- 📄 Nは**CC interaction**による崩壊を用いて再構成される
⇒ MNS行列によりフレーバーの混合が生じる

CC interaction



NC interaction



シーソー機構

なぜSMの ν は軽いのか？

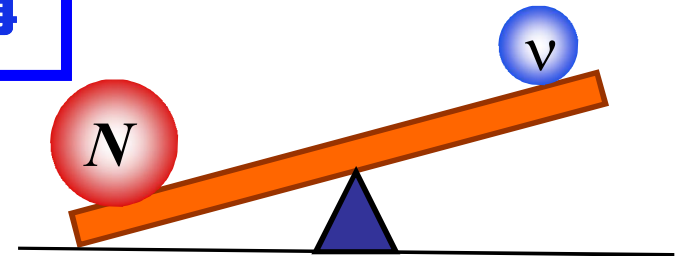
シーソー機構

Answer.

右巻きニュートリノが重いから

$$M_\nu = \frac{v^2 y^2}{2M_N} \simeq 0.1 eV$$

$\left[\begin{array}{l} y : \text{湯川カップリング} \\ v : \text{真空期待値} \end{array} \right]$



重すぎる！

$$y = 1 \rightarrow M_N = 10^{14} \text{ GeV}$$

$$M_N = 10^2 \text{ GeV} \rightarrow y = 10^{-6}$$

弱すぎる！

N は観測できない！

バックグラウンドの除去

👉 **レプトンエネルギー** $10 \text{ GeV} < 1\text{st KK} < 200 \text{ GeV}$
 $10 \text{ GeV} < 2\text{nd KK} < 300 \text{ GeV}$

👉 **2jet 質量** $60 \text{ GeV} < 1\text{st, 2nd KK} < 100 \text{ GeV}$

👉 **2jet エネルギー** 1st KK: No cut
 $160 \text{ GeV} < 2\text{nd KK} < 250 \text{ GeV}$

👉 **Signal r** $90 \text{ GeV} < 1\text{st KK} < 110 \text{ GeV}$
 $430 \text{ GeV} < 2\text{nd KK} < 470 \text{ GeV}$

バックグラウンドの除去

- レプトンエネルギーカット
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 1\text{st} < 100 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 2\text{nd} < 500 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 3\text{rd} < 700 \text{ GeV}$
 - ▶ $10 \text{ GeV} < 4\text{th} < 540 \text{ GeV}$

- 2jetの質量カット
 - ▶ $60 \text{ GeV} < W \text{ mass} < 100 \text{ GeV}$

- 2jetのエネルギーカット
 - ▶ $80 \text{ GeV} < 1\text{st} < 290 \text{ GeV}$
 - ▶ $180 \text{ GeV} < 2\text{nd} < 560 \text{ GeV}$
 - ▶ $220 \text{ GeV} < 3\text{rd} < 470 \text{ GeV}$
 - ▶ $280 \text{ GeV} < 4\text{th} < 440 \text{ GeV}$

- シグナル領域選択
 - ▶ $90 \text{ GeV} < 1\text{st} < 110 \text{ GeV}$
 - ▶ $280 \text{ GeV} < 2\text{nd} < 320 \text{ GeV}$
 - ▶ $480 \text{ GeV} < 3\text{rd} < 520 \text{ GeV}$
 - ▶ $670 \text{ GeV} < 4\text{th} < 730 \text{ GeV}$

ニュートリノの質量の階層性

	Normal	Inverted	Degenerated
ν_e (eV)	0	0.041	0.20
ν_μ (eV)	0.009	0.05	0.21
ν_τ (eV)	0.059	0	0.26