

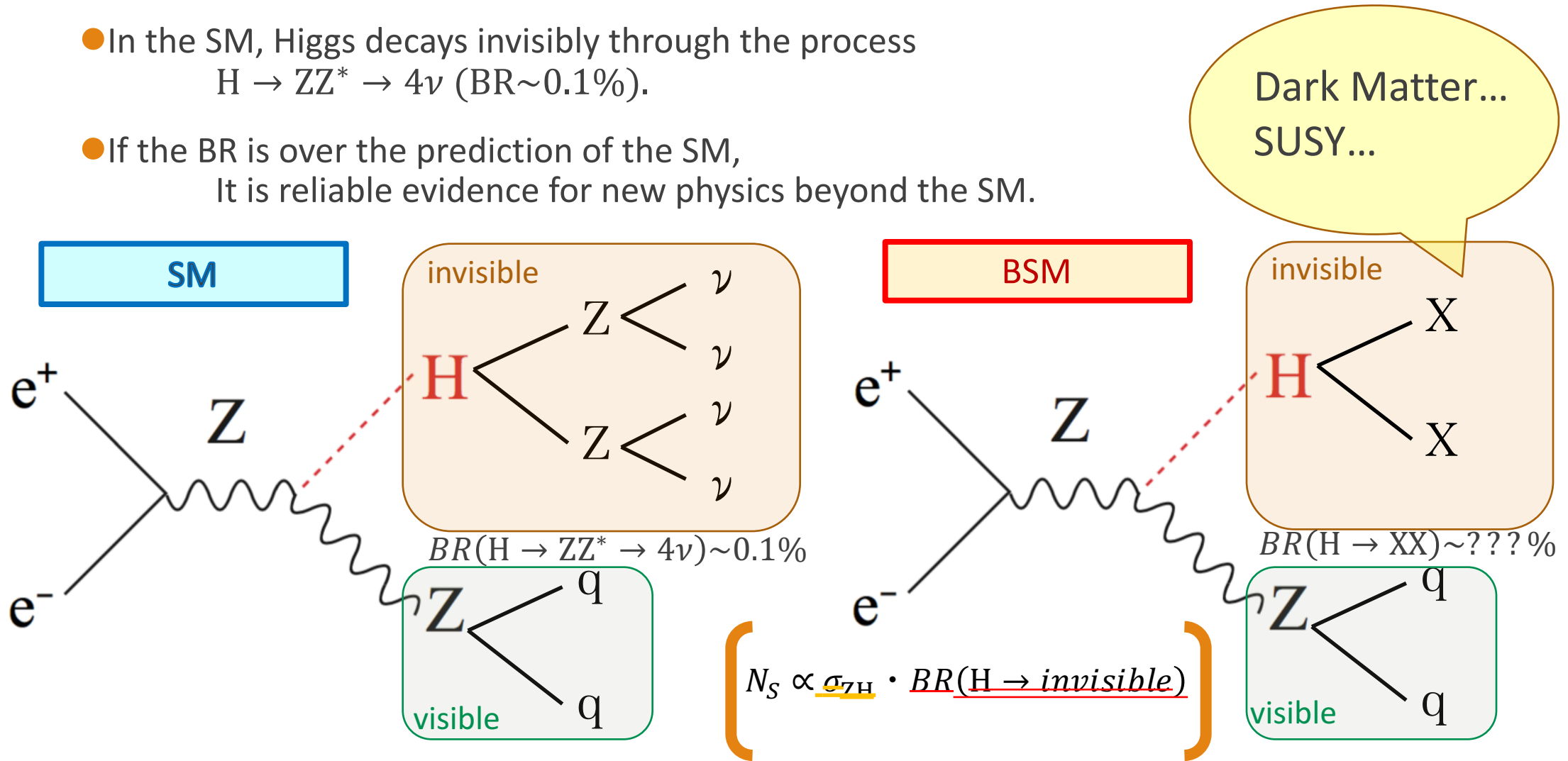
BSM Search using Higgs to Invisible Decay

Yu Kato

the University of Tokyo

Higgs to Invisible Decay

- In the SM, Higgs decays invisibly through the process $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\nu$ (BR~0.1%).
- If the BR is over the prediction of the SM, It is reliable evidence for new physics beyond the SM.



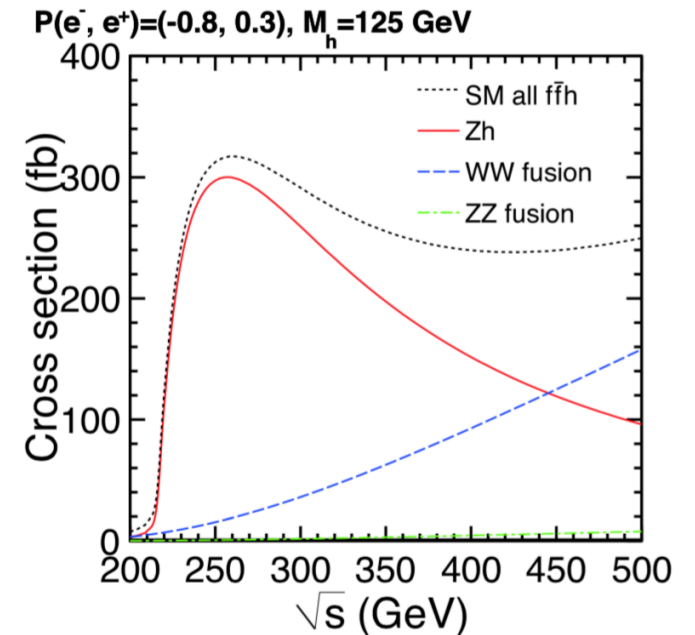
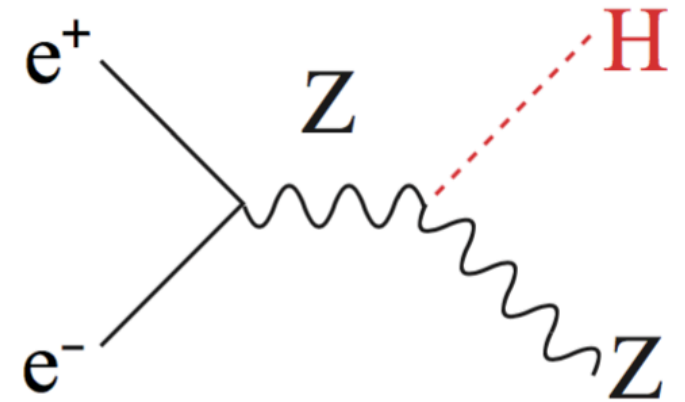
Recoil Mass method

- For my study, I have tried to reproduce the study of Higgs Recoil Mass method.
- It is important for invisible decay of Higgs.
- Model independent way
 - We can measure Higgs without the direct measurement of it.
 - Search for its cross section and Higgs mass precisely.

$$\sigma_{ZH} = \frac{N_S}{BR(Z \rightarrow l^+l^-)\epsilon_S L}$$

$$M_{rec}^2 = (\sqrt{s} - E_{l^+l^-})^2 - |\vec{p}_{l^+l^-}|^2$$

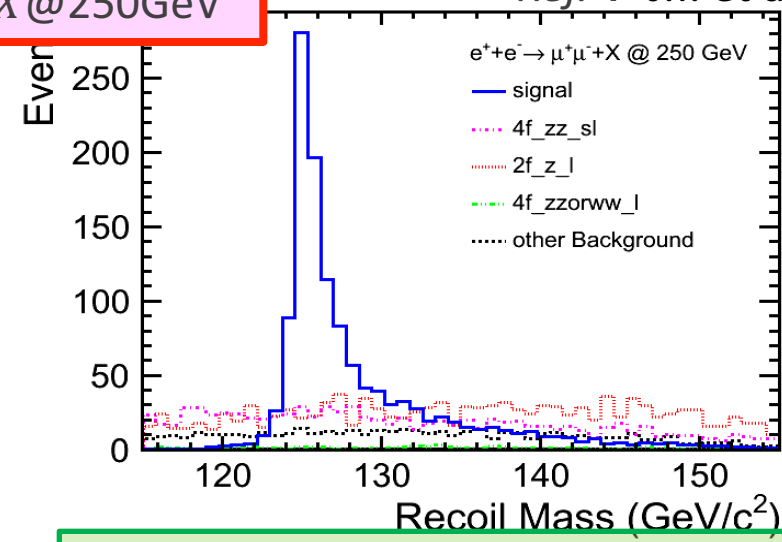
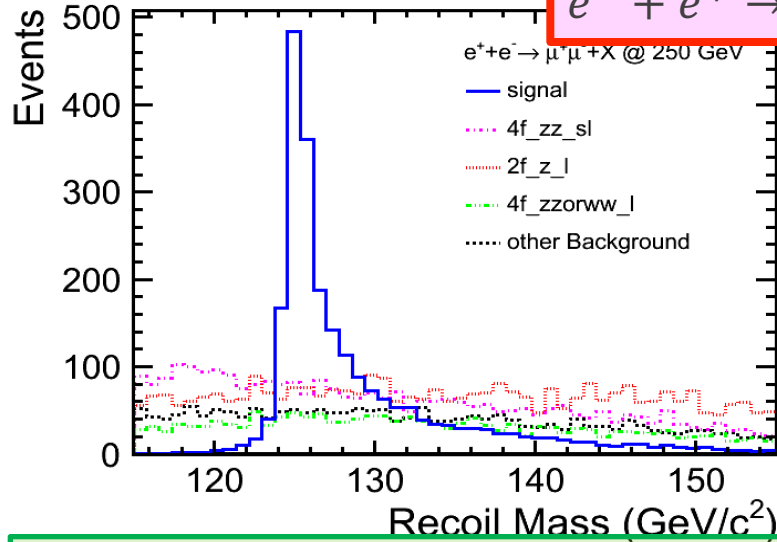
- At this study, I used leptonic channel $Z \rightarrow l^+l^-$.
For the search of BSM, I will also use hadronic channel.



Reproduction the Study of Recoil Mass

Ref. : J.Y. et al, arXiv:1604.07524

$e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+ + X @ 250\text{GeV}$



“Left”: $P(e^-, e^+) = (-0.8, +0.3)$

“Right”: $P(e^-, e^+) = (+0.8, -0.3)$

Isolated lepton selection

	μ ID	e ID
momentum and energy deposit	$p_{\text{track}} > 5 \text{ GeV}$	$p_{\text{track}} > 5 \text{ GeV}$
	$E_{\text{CAL,tot}}/p_{\text{track}} < 0.3$	$0.5 < E_{\text{CAL,tot}}/p_{\text{track}} < 1.3$
	$E_{\text{yoke}} < 1.2 \text{ GeV}$	$E_{\text{ECAL}}/E_{\text{CAL,tot}} > 0.9$
impact parameter	$ d_0/\delta d_0 < 5$	$ d_0/\delta d_0 < 50$
	$ z_0/\delta z_0 < 5$	$ z_0/\delta z_0 < 5$

Best lepton pair

$$\chi^2(M_{1+1-}, M_{\text{rec}}) = \frac{(M_{1+1-} - M_Z)^2}{\sigma_{M_{1+1-}}^2} + \frac{(M_{\text{rec}} - M_H)^2}{\sigma_{M_{\text{rec}}}^2}$$

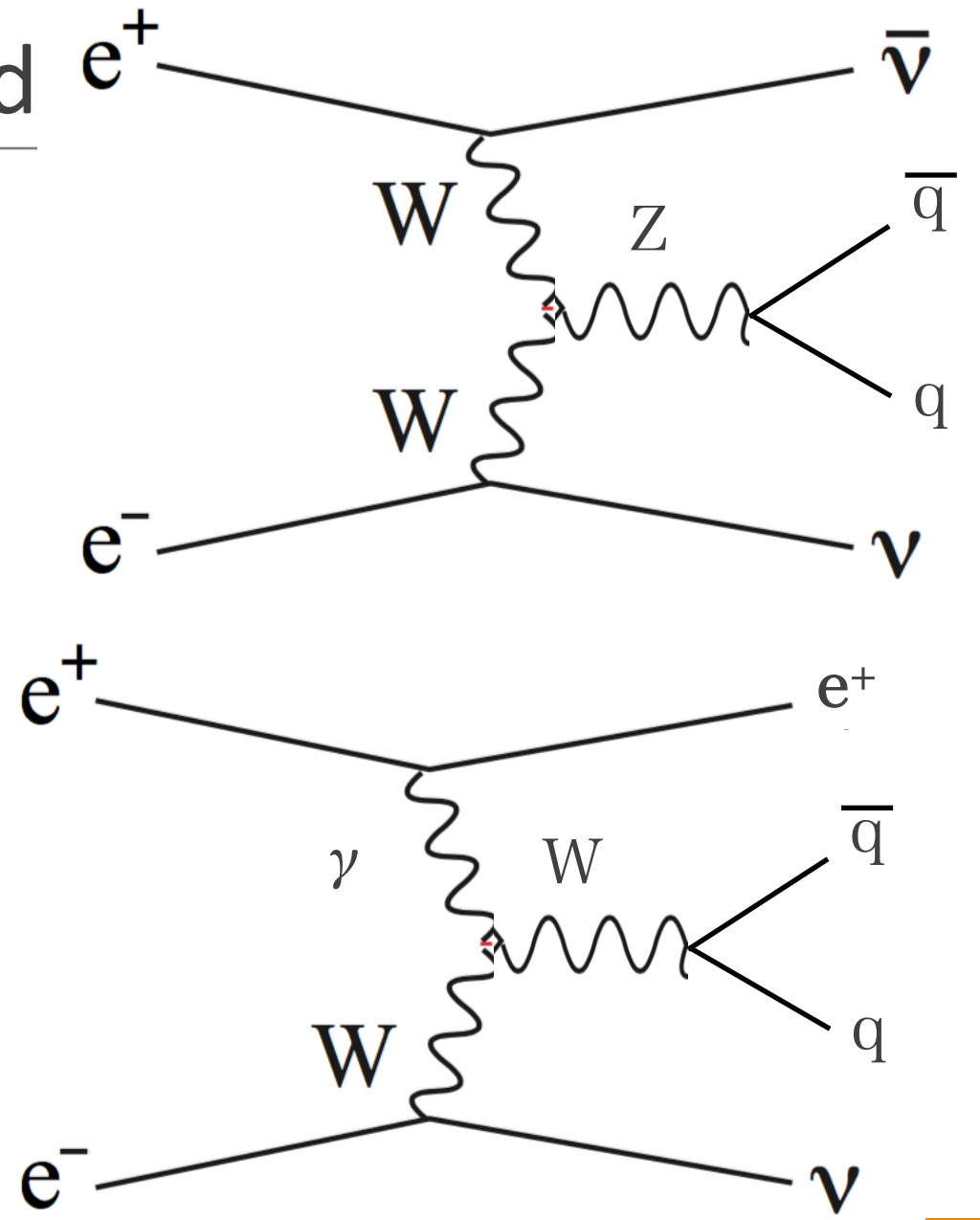
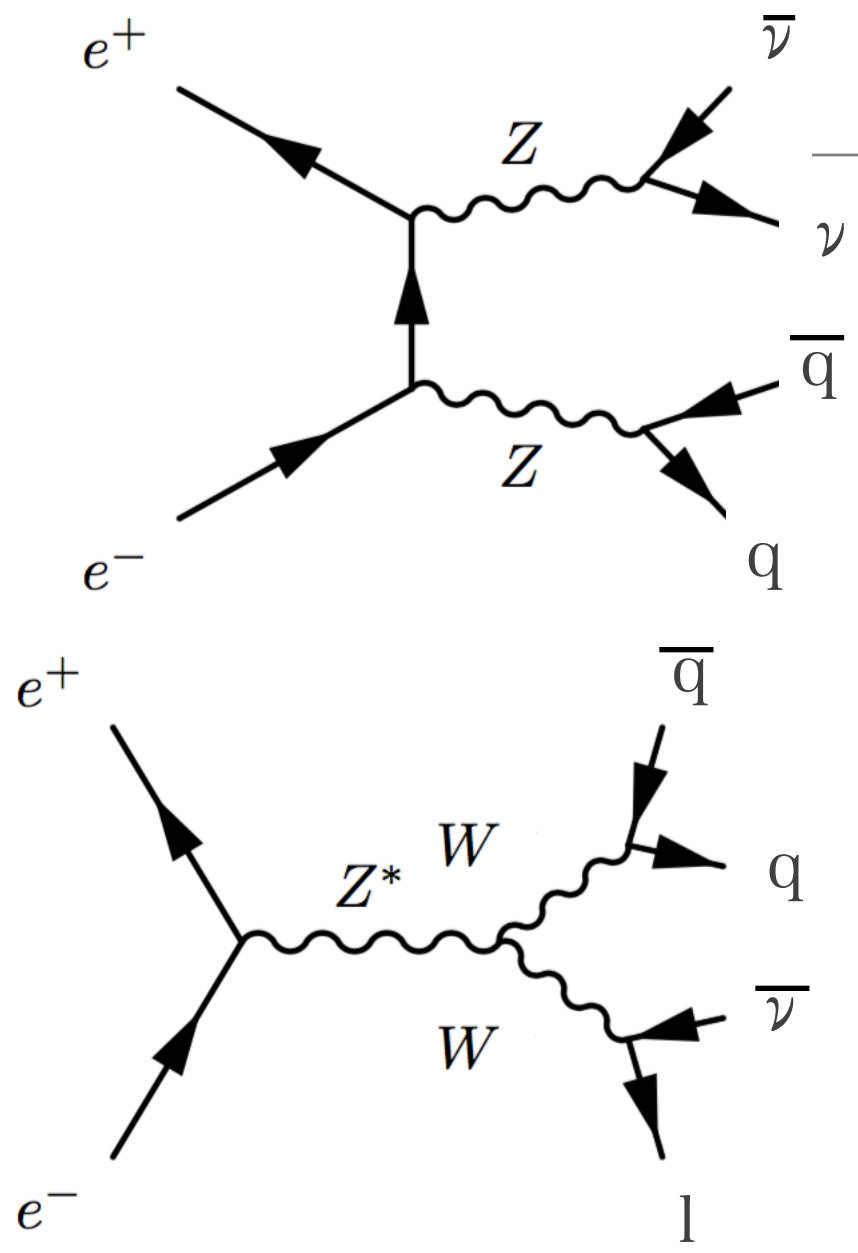
Cut	signal	2f_l	4f_l	4f_sl	total BG	Significance
0.Pre-Cut	2440	2638950	226080	77046	2942620	1.42
1.Lepton ID(muon)	2439	637356	61474	24060	722890	2.86
2.M_ll ∈ [73,120]GeV	2382	430593	40072	22265	492929	3.39
3.p_T ∈ [10,70]GeV	2335	82272	30227	15666	128164	6.46
4. cos θ mis < 0.98	2335	42828	29955	15664	88447	7.74
5.BDT > -0.25(MVA)	2333	12822	19906	9058	41785	11.1
6.Evis > 10GeV	2330	12422	5470	9058	26950	13.6
7.window	2314	3600	3688	3672	10959	20.1

Plans

- Study the precedence research
 - I will get the program code from Ishikawa san.
 - Reproduce Ishikawa san's study.
- Understand the method of analysis
 - Jet clustering algorithm
 - Kinematic Fitting

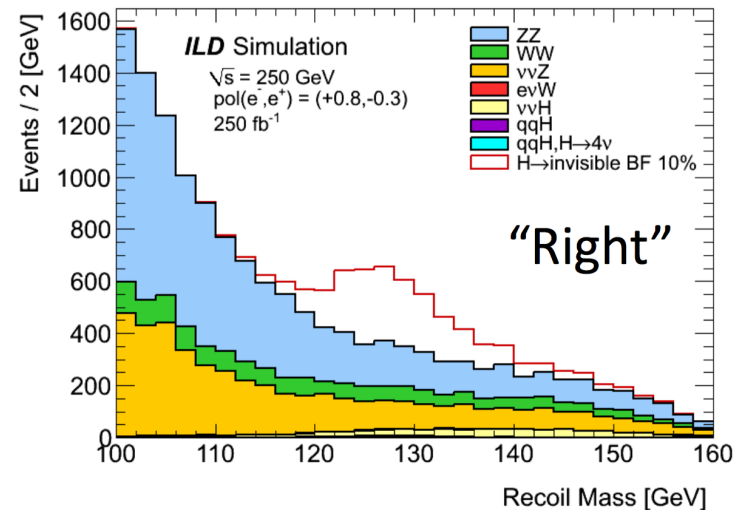
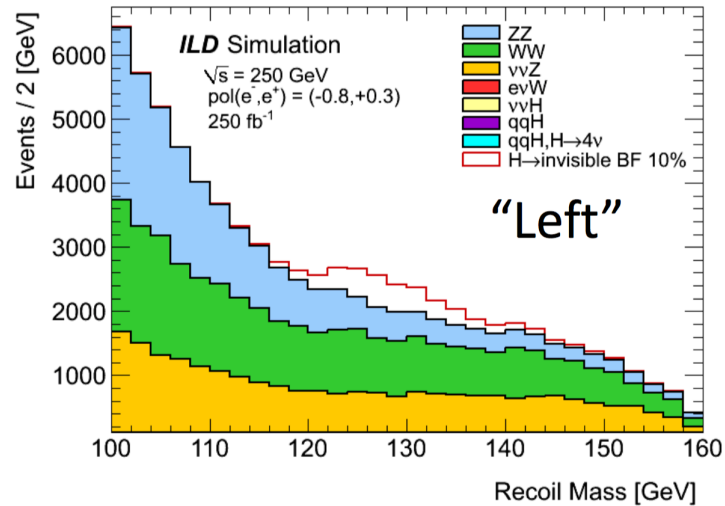
Back Up

Background



[先行研究]

引用:LCWS14 石川さんのスライドより



Signal

- Z由来のジェット対
- エネルギー損失がヒッグス質量に相当

Event Selection

1. jetの再構成[Durhamアルゴリズム]
2. 孤立レプトン除去
3. PFOの数、荷電粒子の飛跡数
4. jetからZ質量の再構成
5. Zの極角: $\cos\theta_Z$
6. 反跳質量
7. 最尤法

by Toy MC

UL on BF [%]	“Left”	“Right”
250GeV	0.95	0.69
350GeV	1.49	1.37
500GeV	3.16	2.30

Recoil Mass method

- 着目するヒッグス生成過程 → 図1
- ヒッグスを直接見ないで、ヒッグスを測定できる！
 - ヒッグスがBSM(暗黒物質)に崩壊しても問題ない！
- ヒッグス崩壊モードに依存しない反応断面積 σ_{ZH} 、ヒッグス粒子質量 M_H の精密測定

$$\sigma_{ZH} = \frac{N_S}{BR(Z \rightarrow l^+l^-)\epsilon_S L}$$

$$M_{rec}^2 = (\sqrt{s} - E_{l^+l^-})^2 - |\vec{p}_{l^+l^-}|^2$$

- 重心エネルギーは250GeVが最も精度が良い
 - 当反応の断面積は $\sqrt{s} \approx 250\text{GeV}$ 付近で最大となる(図2)
 - レプトンの軌道運動量分解能は、運動量の二乗に比例する

$$\frac{\delta p_t}{p_t^2} = 2 \times 10^{-5} \text{GeV}^{-1}$$

- 重心エネルギーは小さいほうが精度が良い

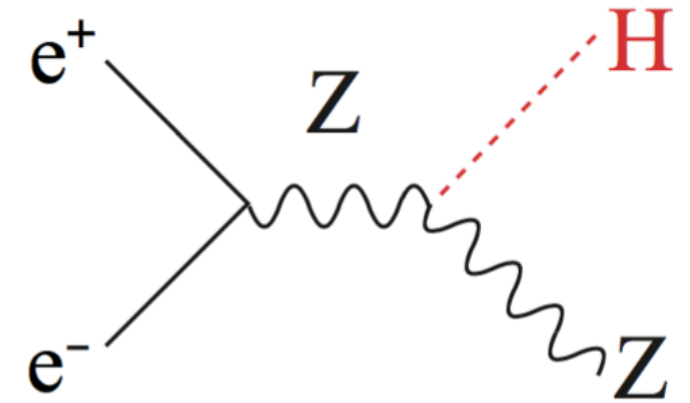


図1: Higgs Recoil 最低次の Feynman Diagram

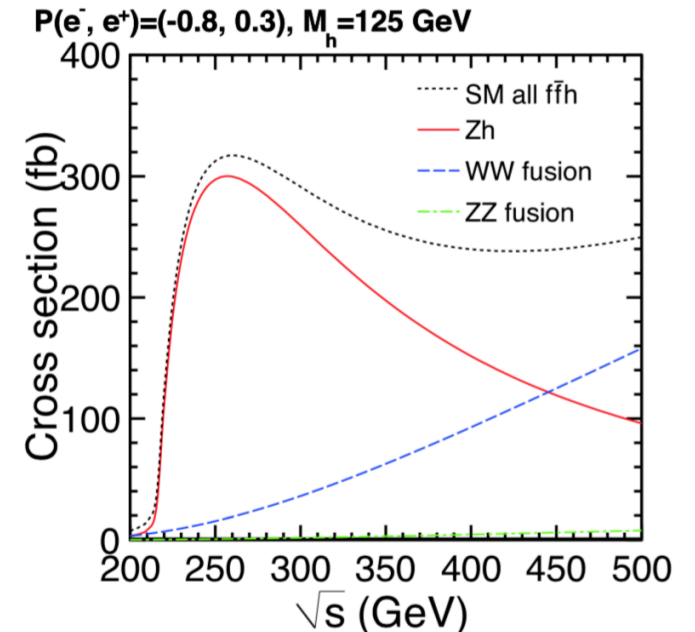


図2: Higgs生成断面積

Higgs Recoil [目標]

- Higgs崩壊モードに依存しない反応断面積 σ_{ZH} 、Higgs粒子質量 M_H の精密測定

$$\sigma_{ZH} = \frac{N_S}{BR(Z \rightarrow l^+l^-)\epsilon_S L}$$

$$M_{rec}^2 = (\sqrt{s} - E_{l^+l^-})^2 - |\vec{p}_{l^+l^-}|^2$$

- Higgs結合定数の精密測定→新物理へのステップ

- 反応率(断面積×分岐比)の測定から,分岐比,崩壊全幅,結合定数を導出→ σ_{ZH} がカギ

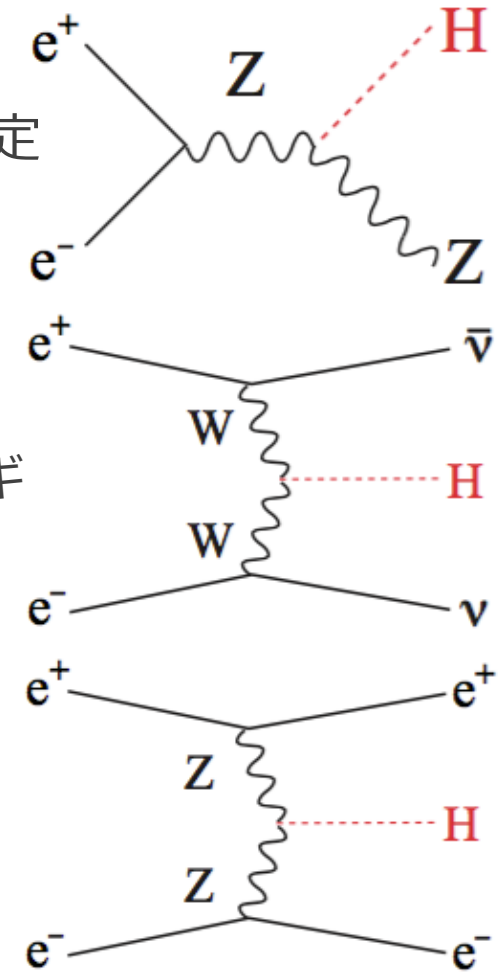
$$R_{HXX} \propto \sigma_{ZH} \cdot BR(H \rightarrow XX)$$

- Higgs崩壊幅($\sim 4\text{MeV}$)の直接測定は困難 ← HWW*から

$$\Gamma_H = \frac{\Gamma(H \rightarrow WW^*)}{BR(H \rightarrow WW^*)}$$

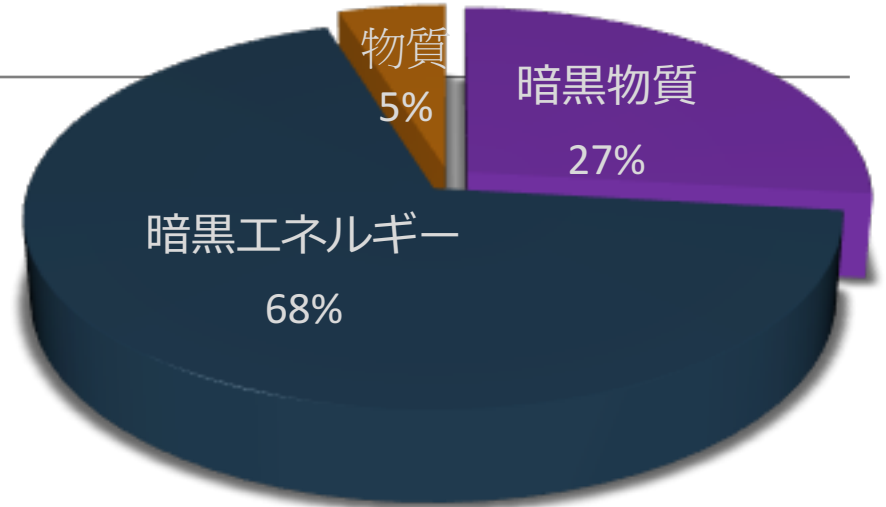
- モデル非依存性の評価

- 解析手法によるバイアスをどれだけ小さくできるか
- バイアス：Higgs崩壊モードの各シグナル効率の偏り



暗黒物質の探索

- 物質とほとんど相互作用しない
 - 検出が極めて困難
- 質量をもつ
 - ヒッグスと相互作用する！



ILCでヒッグスと暗黒物質との相互作用を通して
暗黒物質にアプローチ！

候補は一番軽い中性の**超対称性粒子**

柿崎さんの講義
ジャクリンさんの講義



ビーム偏極

$$\text{偏極の定義 : } P = \frac{N_{eR} - N_{eL}}{N_{eR} + N_{eL}}$$

● 偏極の利点

- 電子と陽電子を逆向きに偏極させることでルミノシティを向上させる
- 特定の信号の反応率を向上できる。例：左巻き偏極によるWW融合ヒックス生成など
- 新物理の検証において右巻き偏極を用いることで、標準模型由来の背景事象を抑制することもできる。

● 例) $(P_{e-}, P_{e+}) = (-0.8, +0.3)$ の計算

$$\text{電子 : } \begin{cases} N_{e-L} = 0.9 \\ N_{e-R} = 0.1 \end{cases} \rightarrow \frac{0.1 - 0.9}{0.1 + 0.9} = -0.8 \quad \text{陽電子 : } \begin{cases} N_{e+L} = 0.35 \\ N_{e+R} = 0.65 \end{cases} \rightarrow \frac{0.65 - 0.35}{0.65 + 0.35} = +0.3$$

$$\begin{aligned} \sigma_{-0.8, +0.3} &= (N_{e-L} \times N_{e+R}) \times \sigma_{-1, +1} + (N_{e-R} \times N_{e+L}) \times \sigma_{+1, -1} \\ &\quad + (N_{e-L} \times N_{e+L}) \times \sigma_{-1, -1} + (N_{e-R} \times N_{e+R}) \times \sigma_{+1, +1} \end{aligned}$$