

擬-ゴールドスティーノダークマターの探索における γ 線エネルギースペクトルの数値解析

金沢大学 自然科学研究科 数物科学専攻 素粒子・宇宙・理論物理研究室 博士後期課程1年 巾下 裕輝

1.研究目的

自発的超対称性の破れによって現れる、
南部・ゴールドストーン粒子であるゴールドスティーノが
ダークマターとなる可能性を考える。

2.超対称について

フェルミオン(ボソン)に対して、それぞれに対応する
スーパーパートナーであるボソン(フェルミオン)が
存在すると考える理論。

2.1 超対称変換

フェルミオン(ボソン)がそれぞれに対応する
ボソン(フェルミオン)をスーパーパートナーとして持ち、
スピンの入れ替えを行う。

- 超対称代数($N = 1$ の場合)

$$\{Q_\alpha, Q_{\dot{\alpha}}^\dagger\} = -2\sigma_{\alpha\dot{\alpha}}^\mu P_\mu \quad Q_\alpha, Q_{\dot{\alpha}}^\dagger : \text{超対称演算子}$$

2.2 自発的超対称性の破れ

- 成り立ち
→大域的超対称性が自発的に破れるとき、真空状態が
超対称変換の下で不变でなくなり、スカラーポテンシャル
の真空期待値が正となる

破れの仕組み

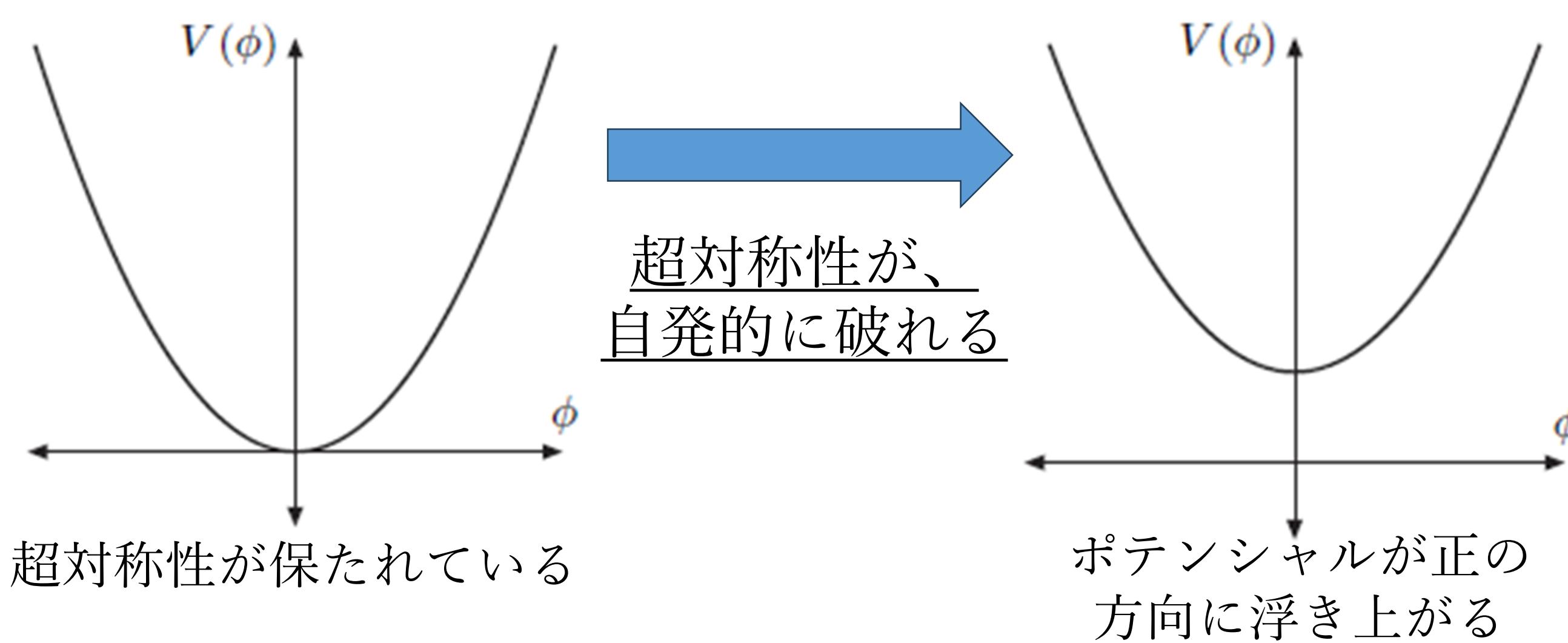
- 真空状態 $|0\rangle$ の超対称変換
 $Q_\alpha|0\rangle \neq 0, \quad Q_{\dot{\alpha}}^\dagger|0\rangle \neq 0$
- ハミルトニアン演算子と超対称演算子の関係

$$H = P_0 = \frac{1}{4}(Q_\alpha Q_{\dot{\alpha}}^\dagger + Q_{\dot{\alpha}}^\dagger Q_\alpha)$$

- スカラーポテンシャルの真空期待値

$$\langle 0 | H | 0 \rangle = \langle 0 | V | 0 \rangle = \frac{1}{4}(|Q_{\dot{\alpha}}^\dagger|0\rangle|^2 + |Q_\alpha|0\rangle|^2) > 0$$

→真空期待値が正となる



- ゴールドスティーノについて
→大域的な連続的対称性が自発的に破れた際に、質量のない
南部・ゴールドストーン粒子が現れ、大域的な超対称性の
場合それが中性のフェルミオンとなり、その粒子を
「ゴールドスティーノ」と呼ぶ。

3.研究モデル

- 擬-ゴールドスティーノをダークマターの候補に
→非最小な超対称模型を考え、2つの超対称セクターが
独立に破れる場合を仮定すると、ゴールドスティーノが
破れたセクターの個数分現れる。
これが物理的な自由度を持ち、ダークマターの候補として
考えられる。

モデルの特徴

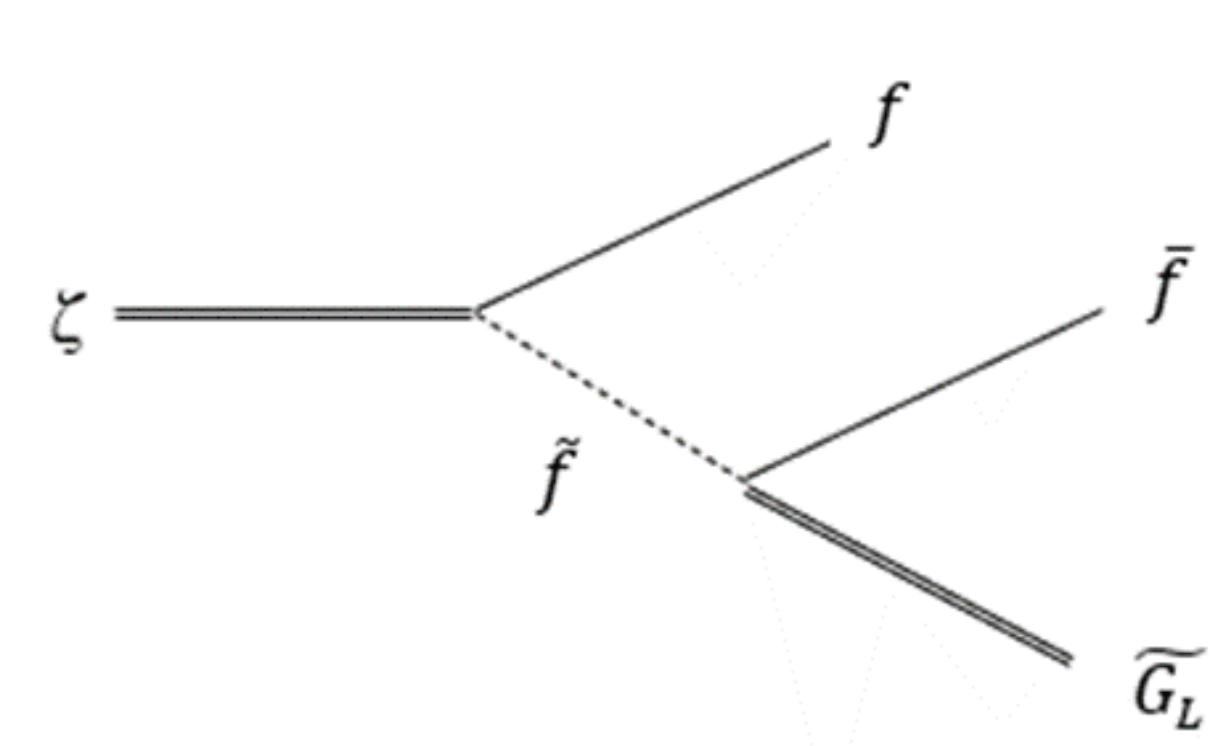
先行研究[2]より、超重力(SUGRA)の影響で、
擬-ゴールドスティーノがツリーレベルで質量を持ち、
これがグラビティの質量の2倍になることが
分かっている。

3.1 解析結果

- このモデルのラグランジアン

$$\mathcal{L} = \tilde{g}_f \bar{f} P_L f \tilde{f} + g_f \tilde{G}_L P_L f \tilde{f} + H.C.$$

- 寿命計算、エネルギースペクトルの解析



$\zeta \rightarrow f\bar{f}\tilde{G}_L$ の3体崩壊の
ファインマンダイアグラム

- 計算結果

微分崩壊幅

$$d\Gamma_{\zeta \rightarrow f\bar{f}\tilde{G}_L} = \frac{1}{(2\pi)^3} \frac{1}{8m_\zeta} |\mathcal{M}|^2 dE_{\tilde{G}_L} dE_f$$

寿命

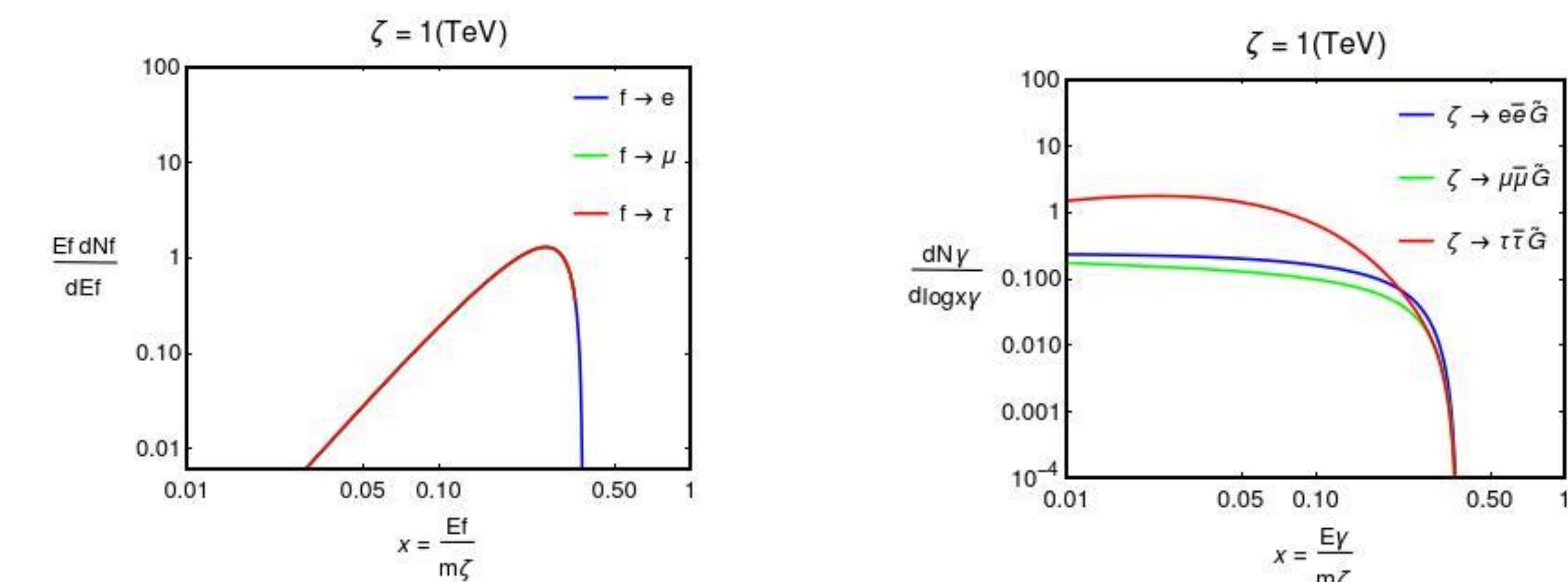
$$\tau_{\zeta \rightarrow f\bar{f}\tilde{G}} = \frac{\hbar}{\Gamma_{\zeta \rightarrow f\bar{f}\tilde{G}_L}} \approx \frac{3072\pi^3\hbar}{g_f^2 \tilde{g}_f^2 m_\zeta F \left[\frac{1}{2}\right]} \times 10^{-5} [s]$$

ここで、

$$\xi \equiv m_{\tilde{G}_L}/m_\zeta,$$

$$F[\xi] \equiv 1 + 2\xi - 8\xi^2 + 18\xi^3 - 18\xi^5 + 8\xi^6 - 2\xi^7 - \xi^8 + 24\xi^3(1 - \xi + \xi^2)\log\xi$$

- レプトン、 γ 線のエネルギースペクトル

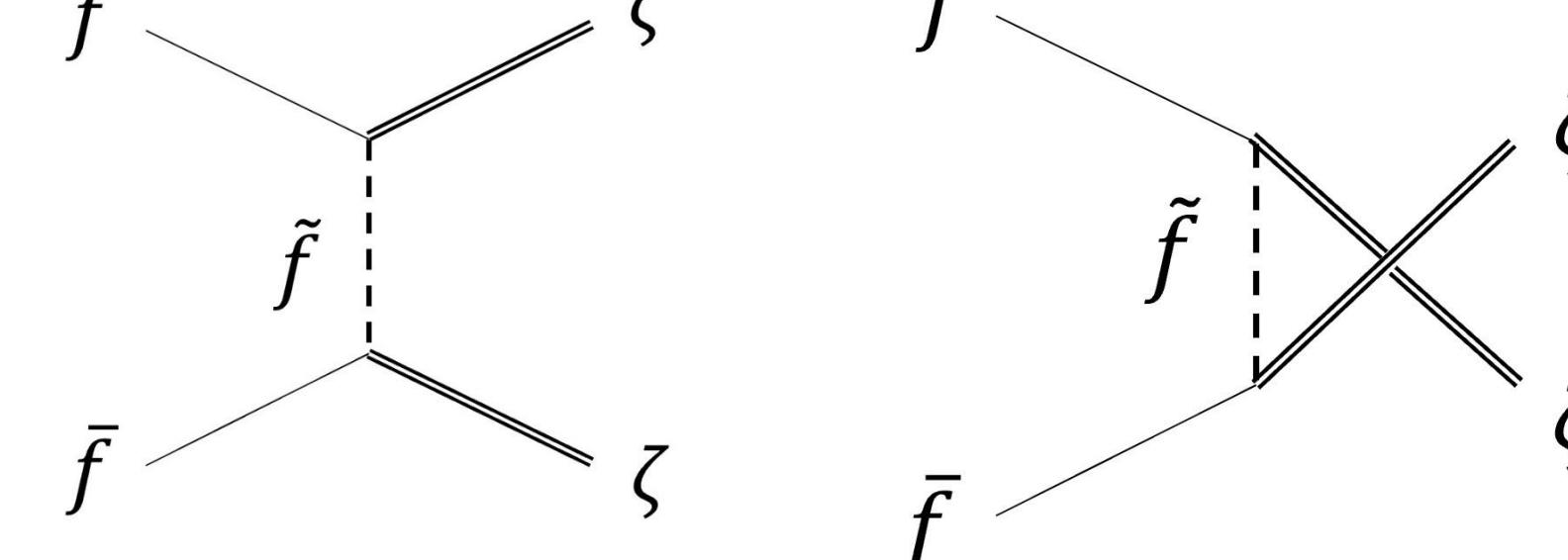


レプトン e, μ, τ とそれに対応する γ 線のエネルギースペクトル

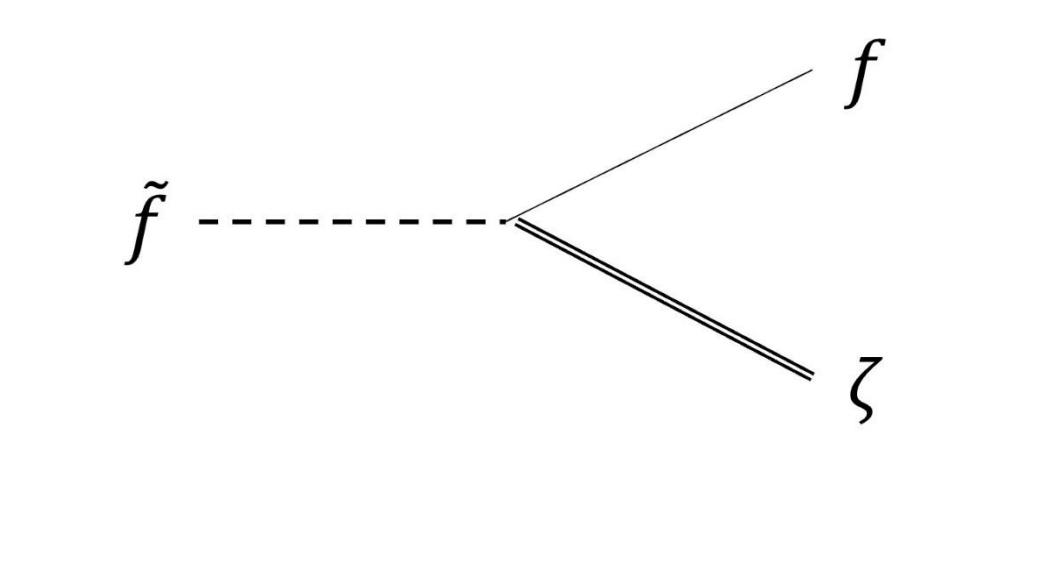
→MAGIC、Fermi-LATや、将来実験であるCTAなどの
 γ 線観測の結果と比較し、考察する

4.今後の研究について

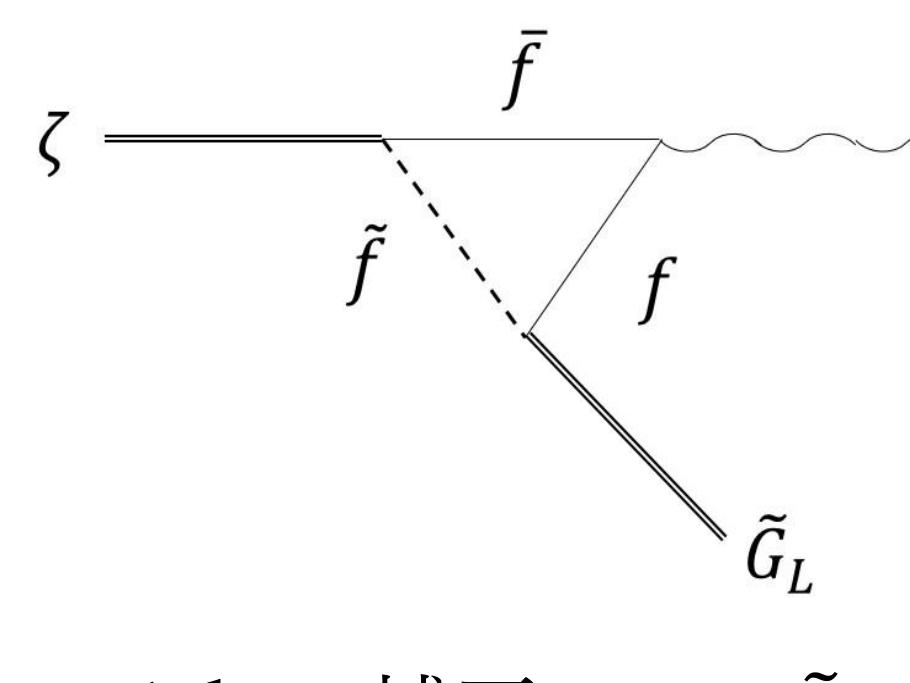
- 1-loop補正と生成過程



2体散乱での生成($f\bar{f} \rightarrow \zeta\zeta$)



2体崩壊での生成($\tilde{f} \rightarrow f\zeta$)



1-loop補正($\zeta \rightarrow \gamma \tilde{G}_L$)

→擬-ゴールドスティーノの
生成シナリオ、loop補正を
考慮するために、上図、左図の
ダイアグラムから崩壊幅、断面積
などを計算する

5.参考文献

- [1] S. P. Martin, A Supersymmetry Primer, arXiv:hep-ph/9709356
- [2] Clifford Cheung, 野村泰紀, Jesse Thaler, Goldstini, arXiv:hep-ph/1002.1967
- [3] S. Navas et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 110, 030001 (2024)