

模型に依らないヒッグスポータルによるマヨラナフェルミオン暗黒物質の間接的検出

池本順平 (島根大学 大阪公立大学)

1. 動機

- 宇宙観測より『暗黒物質 (DM)』の存在は明らかで、宇宙全体のエネルギー密度の割合も分かっている。
→ DMの生成過程を知りたい
- 素粒子の標準模型の未解決問題を解決するために『標準模型を超える物理 (BSM)』を考える。
→ BSMのエネルギースケールを評価したい

本研究 (目的)

Higgsポータルなdim5相互作用を起源とするFreeze-in機構によって、現在のDM密度が生成される可能性および直接・間接観測による可能性を調査する。

2. 模型

Higgsポータルdim5相互作用

$$\mathcal{L} \supset \bar{\chi}\chi HH^\dagger / \Lambda$$

χ : Majorana Fermionic DM, H: SM Higgs

Freeze-in 機構

仮定

- DM 生成開始時(T_{RH})のDM 残存量: $Y(m/T_{RH}) = 0$
- DM がSM の熱浴から逸脱: $\Lambda \gg T_{RH}$

Boltzmann 方程式:

$$\frac{dY(x)}{dx} = -\frac{\langle\sigma v\rangle s(m)}{x^2 H(m)} (Y(x)^2 - Y(x)_{eq}^2)$$

Boltzmann 方程式を解き、観測値 $\Omega_{DM} h^2 = 0.12$ を満たすグラフから

『 m_{DM} (DM 質量)、 T_{RH} (再加熱温度)、 Λ の依存性』を調べる。

DM annihilation による γ -ray flux

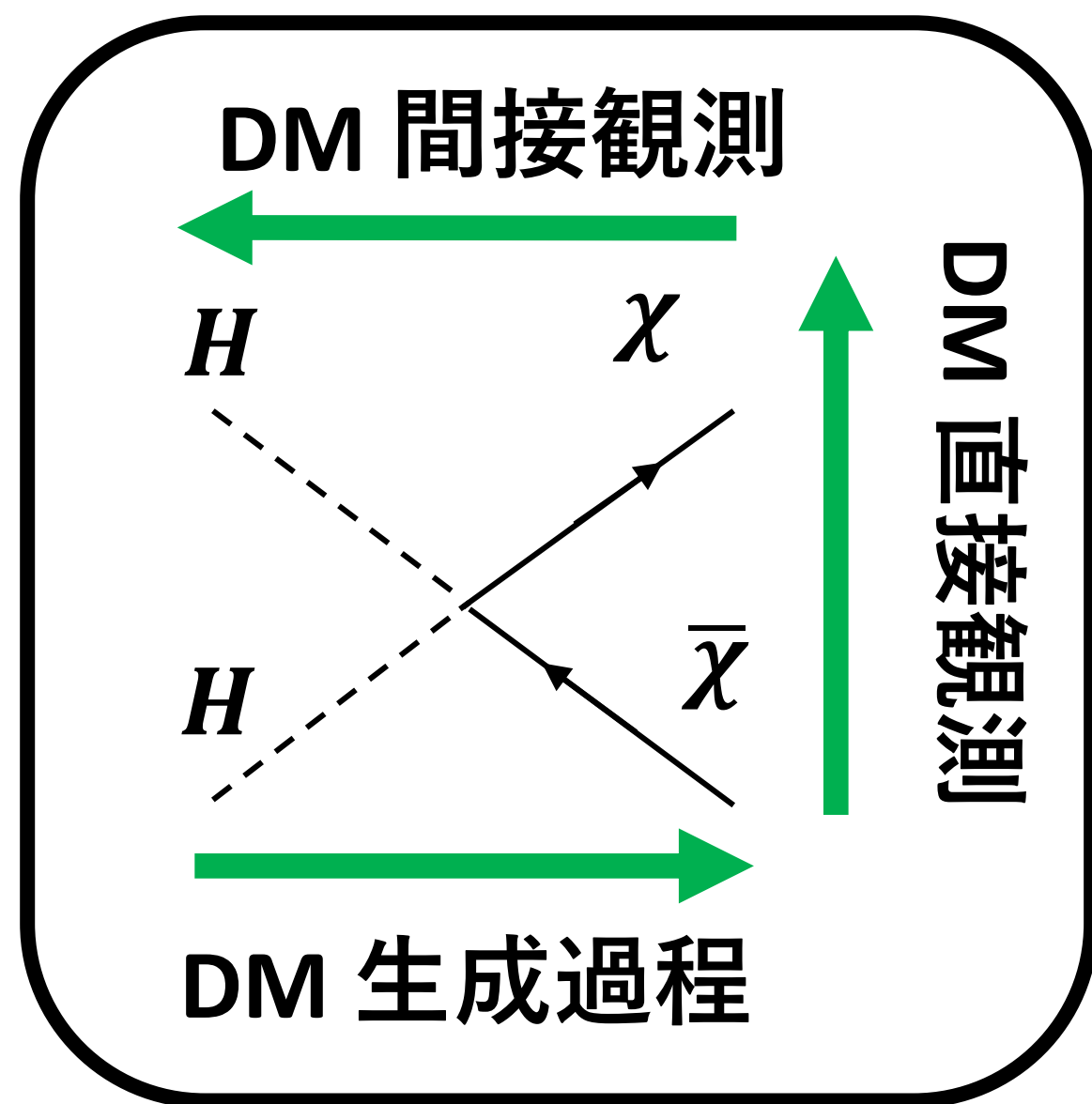
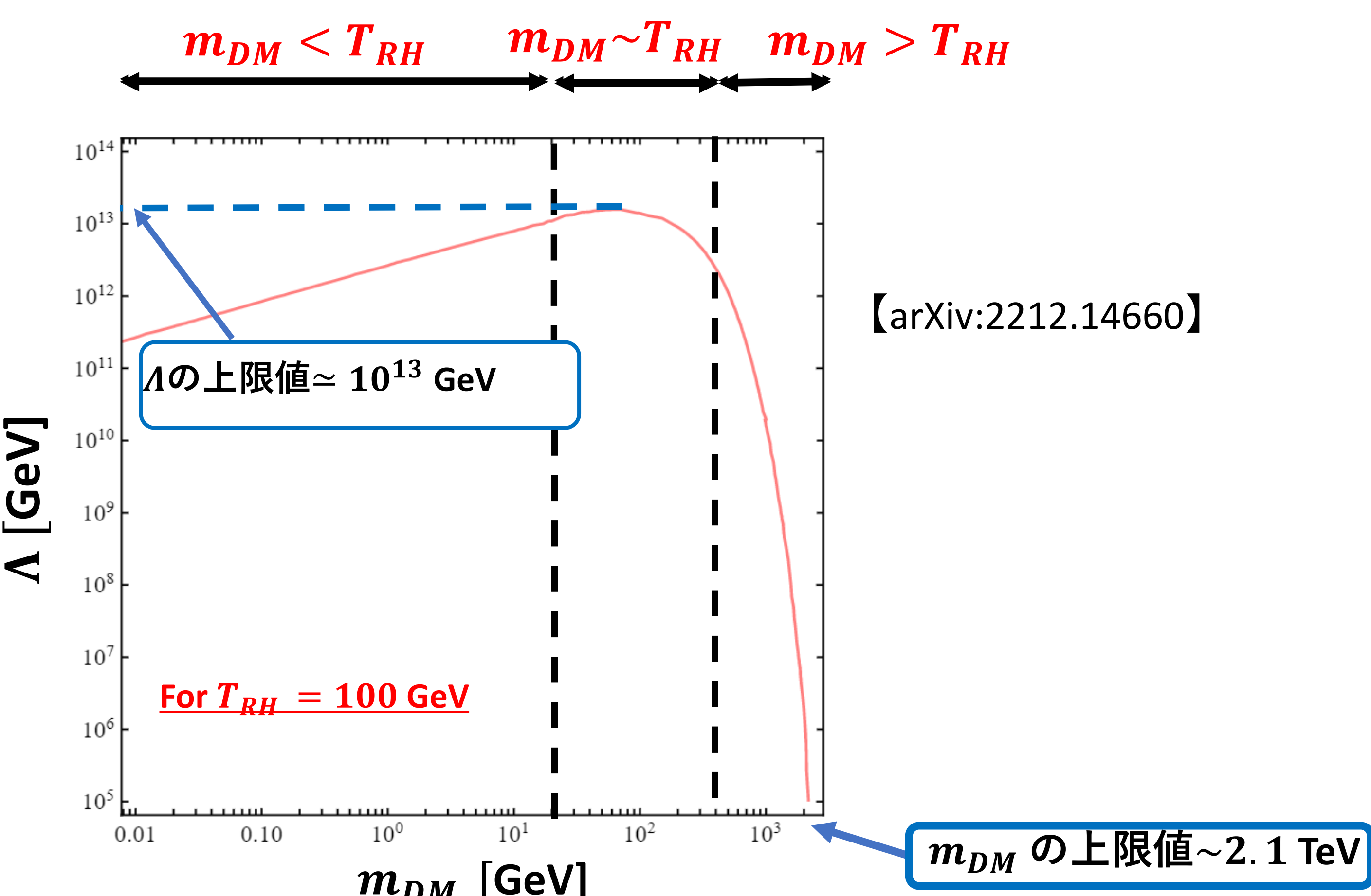
$$\Phi_\gamma \cong \underbrace{\frac{1}{2} \frac{\langle\sigma v\rangle}{4\pi m_{DM}^2} \int \frac{dN_\gamma}{dE_\gamma} dE_\gamma}_{\text{Particle physics}} \underbrace{\int_{\Delta\Omega} \int_{l.o.s} \rho_{DM}^2 dl d\Omega}_{\text{J-factor}}$$

等価定理より、DM annihilation $\rightarrow HH^\dagger$ は DM annihilation $\rightarrow hh, W^+W^-, ZZ$ の振幅と等しい。

→ $h: W^\pm: Z = 1: 2: 1$

3. 結果

DM 生成過程



● $m_{DM} < T_{RH}$ 領域:

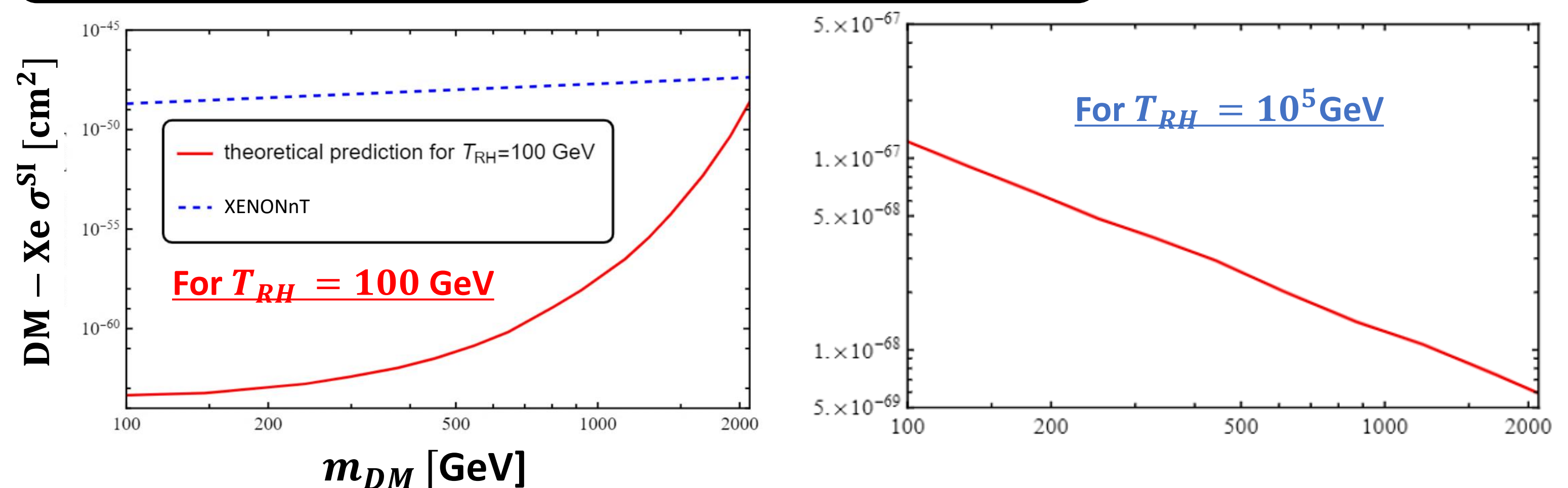
$\Omega_{DM} h^2 = \frac{m_{DM} s_0 Y(x)}{\rho_c / h^2}$ より m_{DM} の増加を打ち消すように $1/\Lambda$ が小さく (Λ を大きく) なる
→ 右肩上がり

● $m_{DM} \sim T_{RH}, m_{DM} > T_{RH}$ 領域:

Higgs の運動量は $p \sim T_{RH}$ 程度なので m_{DM} の増加に伴い $1/\Lambda$ を大きく (Λ を小さく) する必要がある
→ ある m_{DM} (上限値) に漸近

DM-原子(Xe)散乱によるDM直接探索

[arXiv:2212.14660]



$T_{RH} = 100$ GeV の場合

$m_{DM} = 2.1$ TeV においても将来観測XENONnTでも観測が難しいか。

$T_{RH} = 10^5$ GeV の場合

→ $T_{RH} = 100$ GeV 以上の場合 $1/\Lambda$ の寄与により将来観測は難しい。

DM 間接観測

$m_{DM} = 2$ TeV, $\Lambda = 10^5$ GeV の場合

$\langle\sigma v\rangle \cong 3 \times 10^{-30} \text{ cm}^3/\text{s}$

理論的値【TASI Lecture 2018】:

Target: りゅう座矮小銀河,

Detector: Fermi Gamma-Ray Space Telescope

⇒ 0.3 個/年の光子が観測され得る

4. 結果

• Freeze-in機構によるDM 生成:

→ $T_{RH} = 100$ GeV の場合, DM 質量の上限値は $m_{DM} = 2.1$ TeV Λ の上限値は $\Lambda \sim 10^{13}$ GeV であることがわかった。

• 直接観測:

1) $T_{RH} > 100$ GeV の場合は $1/\Lambda$ の寄与により観測は困難であることが分かった。

2) $T_{RH} = 100$ GeV の場合, $m_{DM} = 2.1$ TeV のときに DM 直接探索の断面積は最大となるが、それでも将来実験 XENONnT での観測が難しいことが分かった。

• 間接観測:

$m_{DM} = 2$ TeV, $\Lambda = 10^5$ GeV の場合

$\langle\sigma v\rangle \cong 3 \times 10^{-30} \text{ cm}^3/\text{s}$

0.3 個/年の光子が観測され得る