MEASURING THE MASS OF MISSING BARYONS IN THE HALO OF ANDROMEDA GALAXY WITH GAMMA-RAY OBSERVATIONS (Y. Zhang, R. Liu, H. Li, et al. arXiv: 2010.15477)

GAゼミ 2020/11/12
梨本　真志

[Abst.] CMB観測によれば宇宙質量の16%はバリオンが占めるが、その半分以上は未検出。銀河形成論は$10^6 - 10^7$ Kの拡散高温ガスがビリアル半径まで広がっていることを予測するが、missing baryonへのCGMの寄与に関するコンセンサスを観測から得られていない。この研究はアンドロメダ銀河のCGMのバリオン質量をγ線で測定した。その結果、ビリアル半径内のハローガスの総質量は$(1.4-5)\times10^{10}M_\odot$であり、missing baryonのうち30%を説明し得る。

[Goal] missing baryon problemの解決（小目標：ガス分布の制限）

[Originality] γ線を用いたCGM質量測定手法の適用（UV/X-rayを用いた手法とは独立）

[Logic] 宇宙線が銀河内部からハローへ逃げる→宇宙線とCGMで陽子-陽子衝突→γ線放出

- 宇宙線分布：移流拡散方程式[Eq. (1)] … $D(E)=D_0(E/350\,\mathrm{GeV})^{1/3}$ (D_0はフリーパラメータ)
- ガス分布：冪乗則[Eq. (5)] … $\beta_{\rm in}=0.4-0.6$ ($\beta_{\rm in}=0.5$ @MW)、$\beta_{\rm out}$はフリーパラメータ
- pp散乱断面積・γ線スペクトル：シミュレーション（素核物理の知見からある程度robustに決まる）

} γ線放射率を推定 [Eq. (4)]

- 観測との比較：Fig.4 … 観測データにはハロー内宇宙線以外の寄与も含む→観測は上限のみを与える
  ex.) $D_0=6\times10^{30}\,\mathrm{cm^2/s}$、$M_{<50\,\mathrm{kpc}}=5\times10^9M_\odot$の場合、35GeVでの$\gamma$線強度が許容するのは$\beta_{\rm out}\gtrsim0.6$
- 物理量への制限：Fig. 5 & Tab. 1 …
  ex.) $M_h=(1-2)\times10^{12}M_\odot$、$M_*=(1-1.5)\times10^{11}M_\odot$だとすると、CGM質量はmissing baryonの3割程度
  ＊＊＊モデルや観測の不定性から、missing baryon質量の6-100%がCGMの許容範囲＊＊＊

Eq. (1) 宇宙線の拡散方程式

$$\frac{\partial n}{\partial t}=D(E)\nabla^2_{\mathbf{r}}n-\mathbf{v}_w\cdot\nabla_{\mathbf{r}}n+\frac{\partial\left[b(\mathbf{r},E,t)n\right]}{\partial E}+Q(E,t)\delta^3(\mathbf{r}-\mathbf{r}_s)$$

拡散項（磁気乱流）　移流項（銀河風）　エネルギー損失（pp衝突）　宇宙線注入（点源起源）

Eq. (5) ガス密度分布

$$n_{\rm g}(r)=n_0\begin{cases}\left(\frac{r}{50\,\mathrm{kpc}}\right)^{-3\beta_{\rm in}} & ;r<50\,\mathrm{kpc}\\ \left(\frac{r}{50\,\mathrm{kpc}}\right)^{-3\beta_{\rm out}} & ;r\geq50\,\mathrm{kpc}\end{cases}$$

Eq. (4) γ線放射率

$$J_\gamma(E_\gamma,\mathbf{r})=c\,n_{\rm g}(\mathbf{r})\int_{E_\gamma}^{\infty}\sigma_{pp}N(\mathbf{r},E)F_\gamma\left(\frac{E_\gamma}{E},E\right)\frac{dE}{E}$$

[Comments] CTAの恩恵は？質量測定の精度は限界？FG/BGのコンタミ具合は？乱流わからん…。

Fig.4 M31ハローのγ線スペクトル

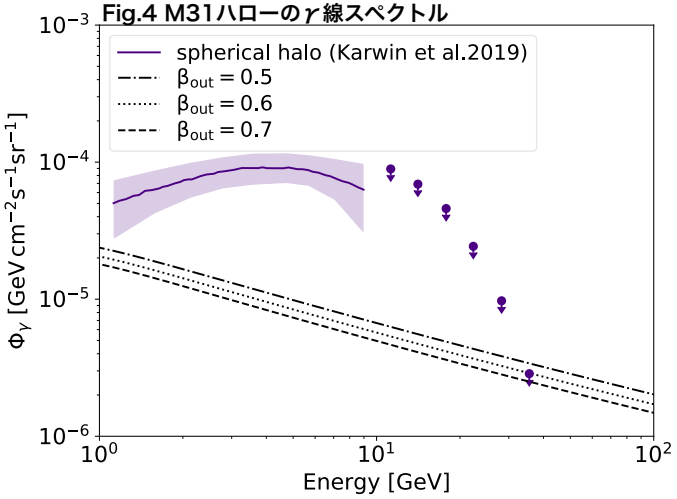
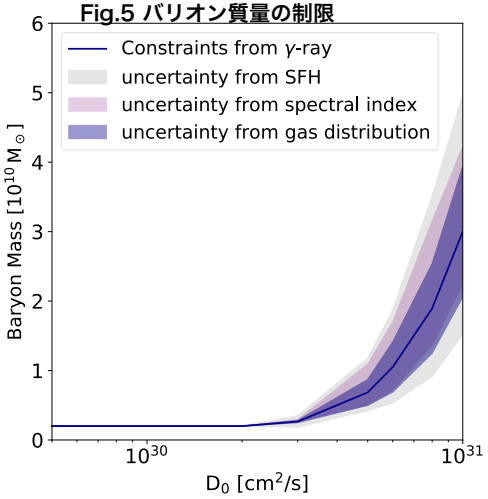


Fig.5 バリオン質量の制限



Tab. 1 ガス密度分布とバリオン質量の制限

D_0 (cm^2/s)	$\beta_{\rm out}$		$M_{<250\,\mathrm{kpc}}$ ($M_\odot$)	
	a	b	a	b
2×10^{30}	∞	∞	$<2\times10^9$	$<2\times10^9$
3×10^{30}	∞	2	2.5×10^9	2.8×10^9
6×10^{30}	2	0.6	6.9×10^9	1.4×10^{10}
10^{31}	0.8	0.27	2.1×10^{10}	3.9×10^{10}

Fig.4：Fermi LATの観測データと理論曲線
Fig.5：灰…SFHの不定性、桃…宇宙線注入スペクトルの不定性、青…内側のガス分布の不定性、実線…median値
Tab.1：モデルa…$M_{<50\,\mathrm{kpc}}=5\times10^9M_\odot$
モデルb…$M_{<50\,\mathrm{kpc}}=2\times10^9M_\odot$