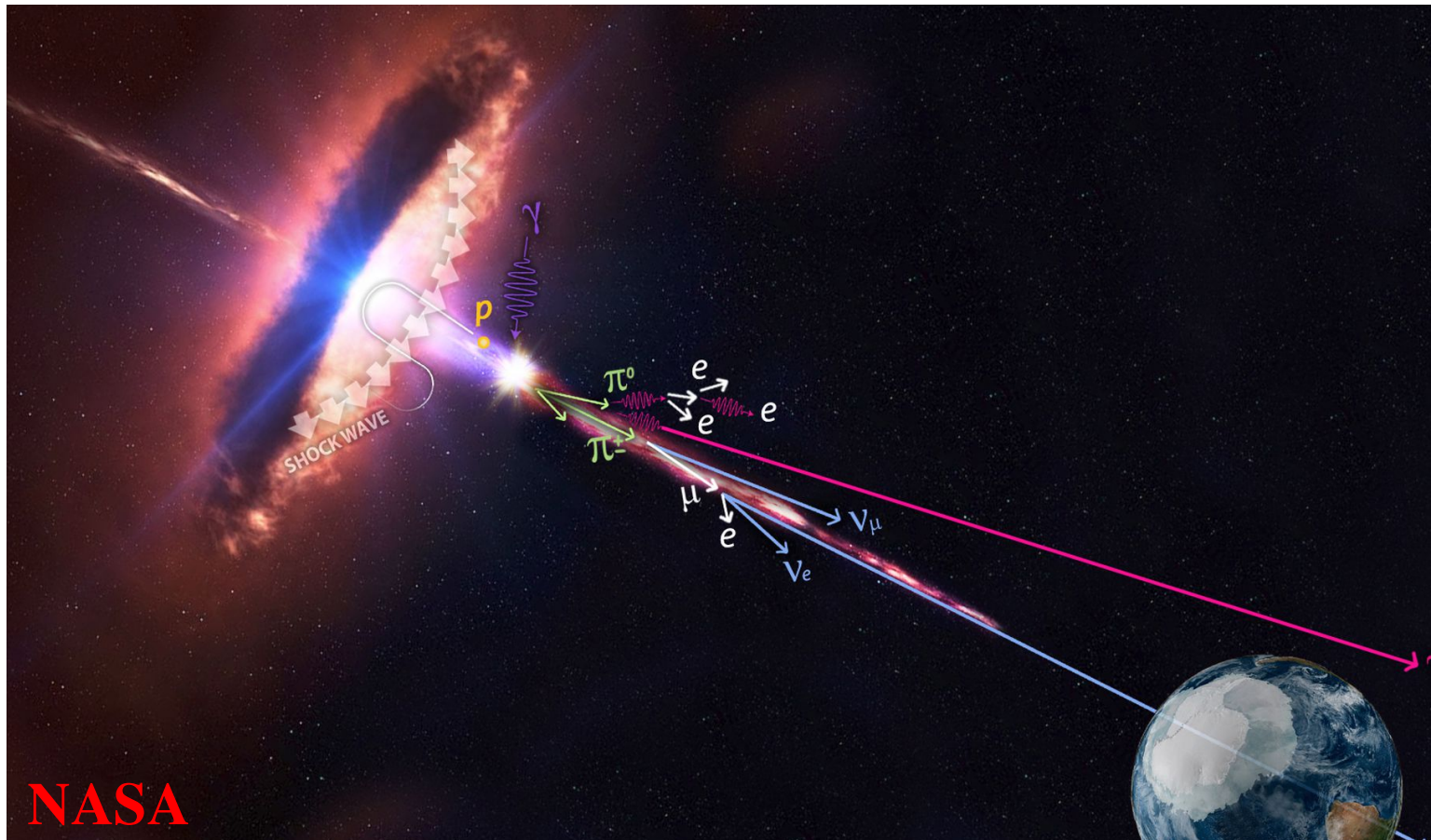


# ブレイザーTXS 0506+056の電磁波・ニュートリノ放射 のジェット内部種光子卓越モデル

Matteo Cerruti (U. Paris), Andreas Zech (Meudon),  
Susumu Inoue (RIKEN), Catherine Boisson (Meudon),  
Gabriel Emery, Jean-Philippe Lenain (U. Paris)

more details in arXiv:1807.04335 (under revision)



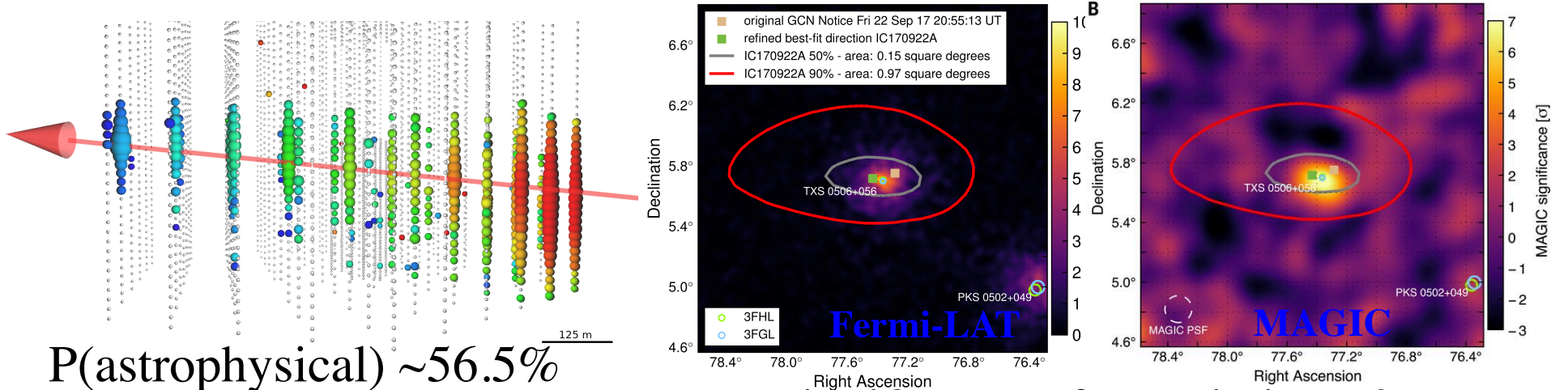
## 要旨

ブレーザーは、有望な高エネルギーニュートリノ放射源として長らく考えられてきた。IceCubeによって検出された $\sim 300$  TeVのニュートリノの対応候補天体として、Kanata、Fermi、MAGICを含む多波長観測によって、明るい活動状態にあるBL Lac天体TXS 0506+056が確認されたことは、高エネルギーニュートリノ源の解明に向けた重要な一歩となる可能性がある。

我々は、これらマルチメッセンジャー観測の統合的な解釈を目指し、ブレーザーで加速された電子・陽子に起因する放射成分を総括的に考慮したone-zoneモデルを構築した。加速陽子による $p\gamma$ ニュートリノ生成過程の種光子として、ジェット内部の加速電子によるシンクロトロン放射に限定して考え、放射領域の磁場・ドップラー因子、電子・陽子のエネルギー分布などのパラメータを広い範囲に振って計算を行った。

その結果、電磁波・ニュートリノ観測双方を再現するには、ガンマ線帯域でシンクロトロン自己コンプトン放射が卓越し、かつ加速陽子の総量が大きく、電子分布に低エネルギーカットオフがある場合に限られることがわかった。一方で、ハドロン放射成分（陽子シンクロトロン、陽子カスケードなど）が卓越するような場合は棄却される。現実的には、 $p\gamma$ 過程の種光子として、ジェット外部に起因する成分が存在した方が好都合と考えられる。

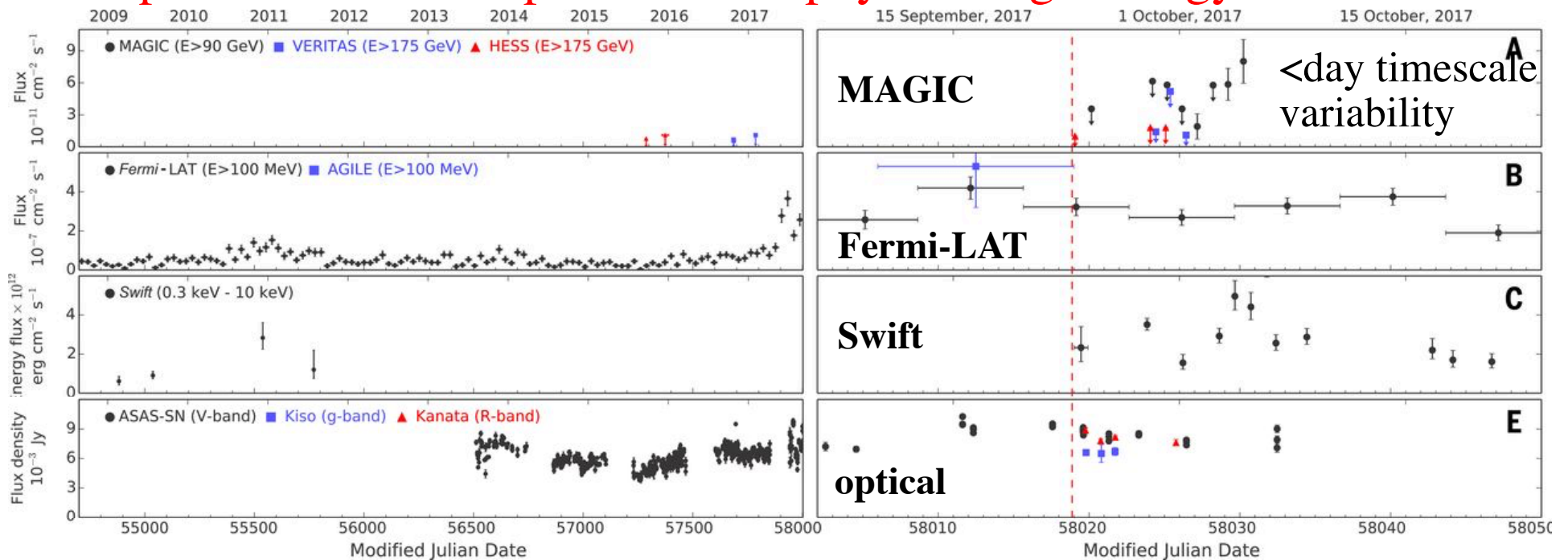
# $\nu$ / EM observations of IC-170922A / TXS 0506+056



$P(\text{astrophysical}) \sim 56.5\%$

$E_\nu \sim 290 \text{ TeV}$  183 TeV - 4.3 PeV 90% CL significance of association  $\sim 3\sigma$

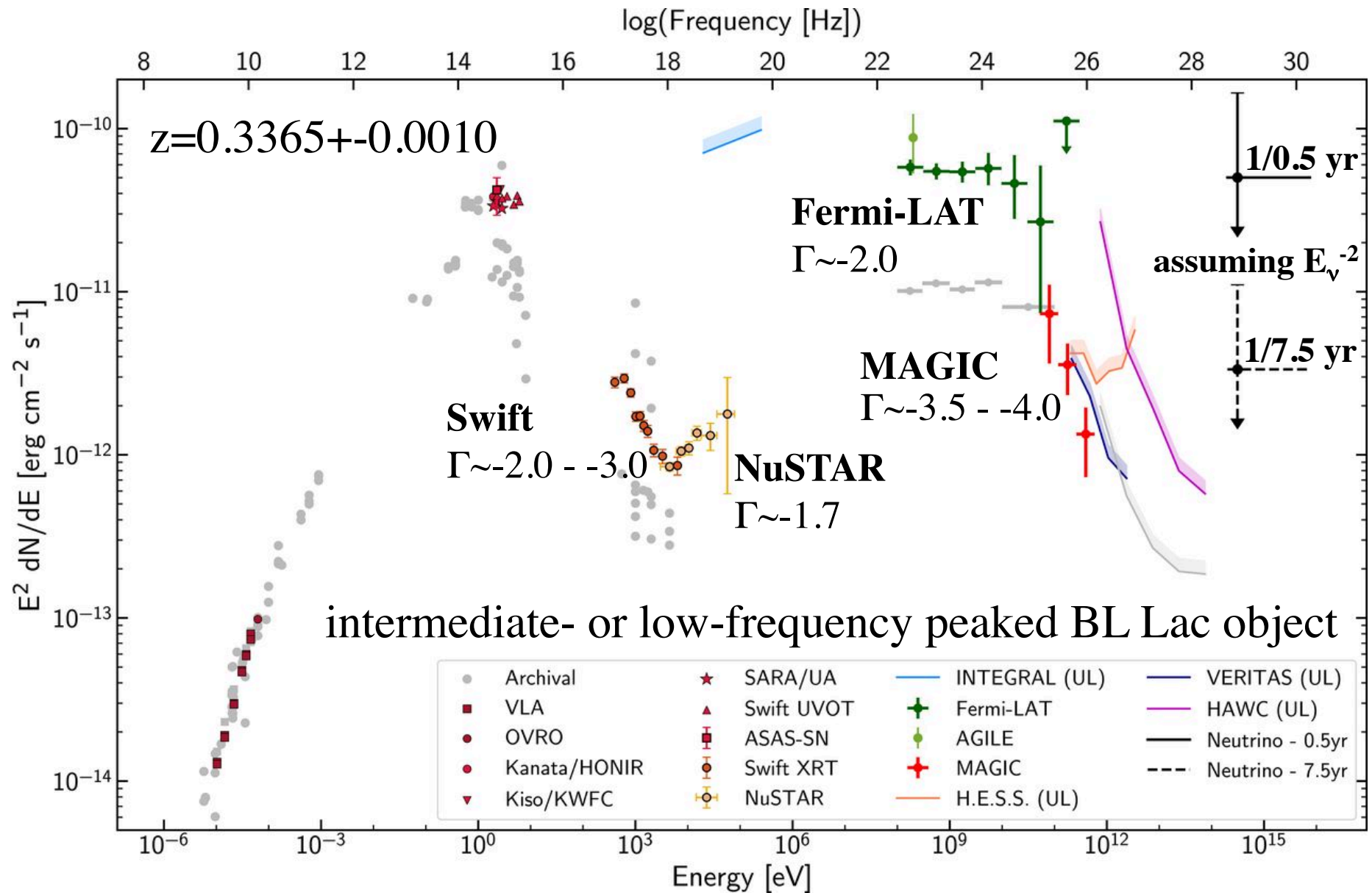
possible source of possible astrophysical high-energy neutrino



IceCube, Fermi, MAGIC+, 2018, Science 361, eaat1378



# $\nu$ / EM observations of IC-170922A / TXS 0506+056



IceCube, Fermi, MAGIC+, 2018, Science 361, eaat1378

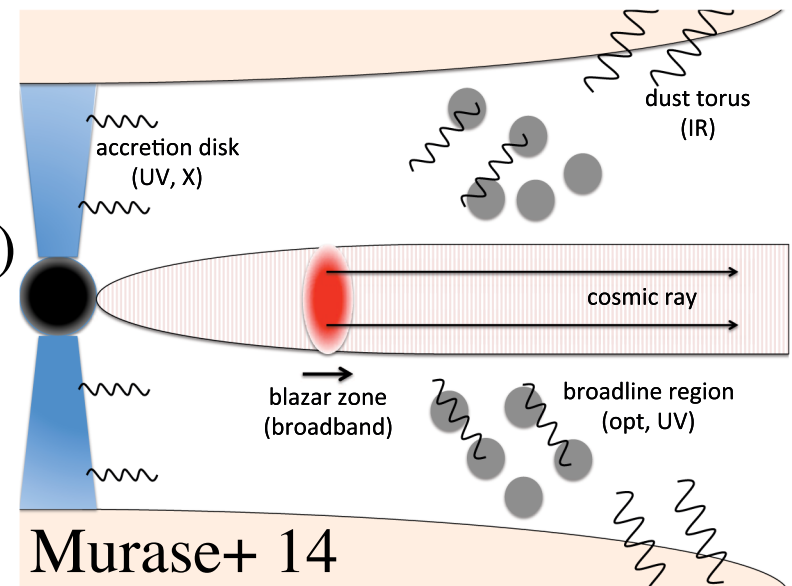
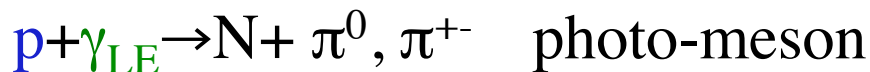
# neutrino emission from blazars

- $p\gamma$  generally favored over  $pp$  in AGN jets
- target  $\gamma \epsilon'_{\gamma} > \sim 20 m_{\pi} m_p c^4 / E_{\nu} \delta^{-1}$   
 $\sim 0.4 \text{ keV} (E_{\nu} / 300 \text{ TeV})^{-1} (\delta / 20)$
- unlike FSRQs, BL Lacs thought to lack bright external  $\gamma$  fields

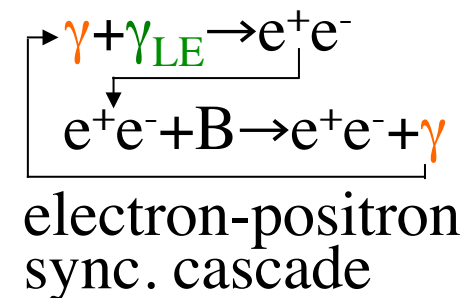
Q: Is consistent explanation possible with only internal synchrotron as  $p\gamma$  targets?

## model description

- emission region: radius  $R$ , magnetic field  $B$ , Doppler factor  $\delta$
- electron distribution: broken power-law  $\gamma_{e,\min}, \gamma_{e,\max}, \alpha_{e1}, \alpha_{e2} \gamma_{e,\max}, (\gamma_{e,br})$
- proton distribution: power-law  $\gamma_{p,\min}=1, \gamma_{p,\max}$  (or  $\eta$ ),  $\alpha_{p1}=\alpha_{e1}$
- leptonic emission: synchrotron, SSC
- hadronic emission

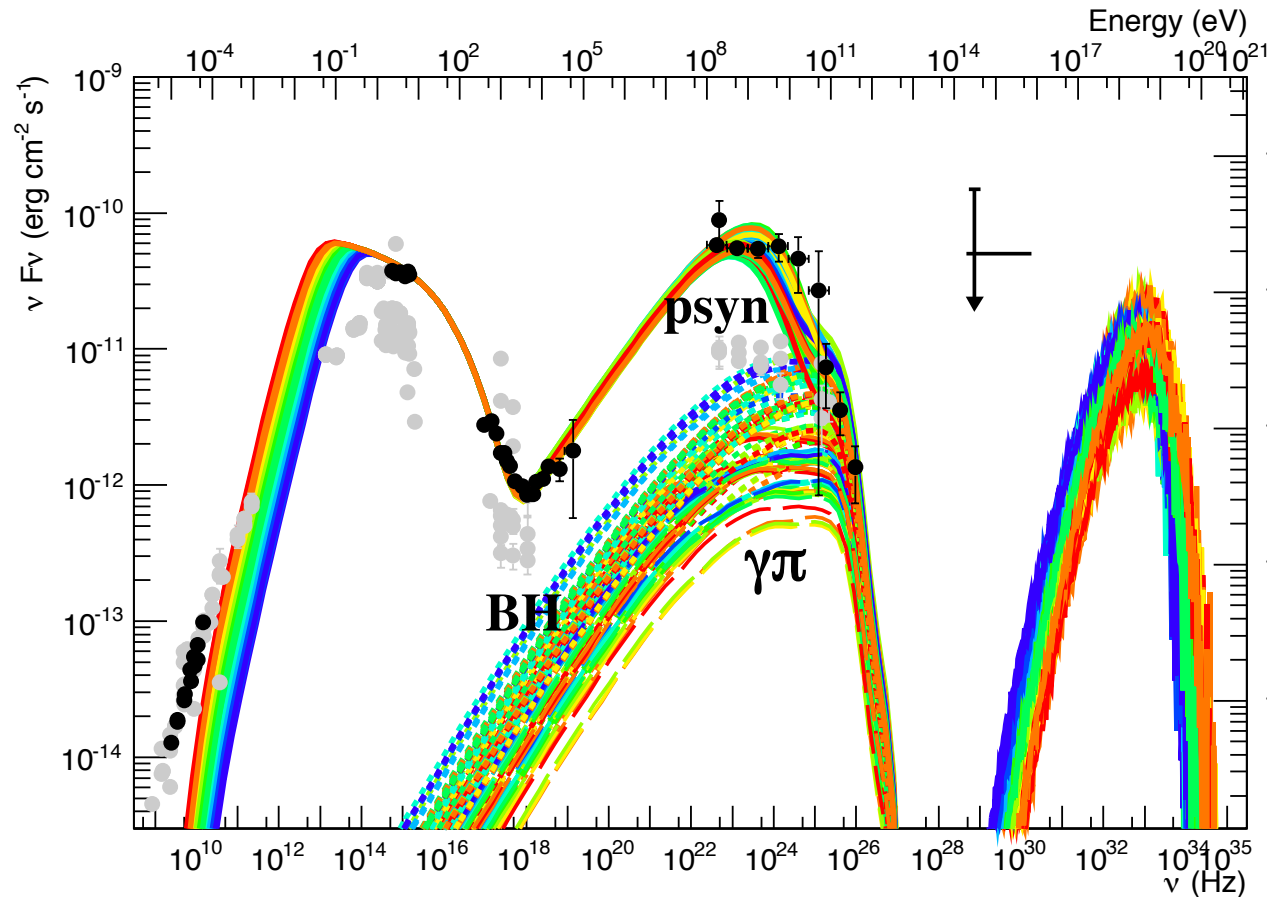


follow Cerruti+ 15, Zech+ 17



# proton sync.-dominant case (+ $\gamma$ cascade)

Cerruti, Zech, Boisson, Emery, SI, Lenain 1807.04335

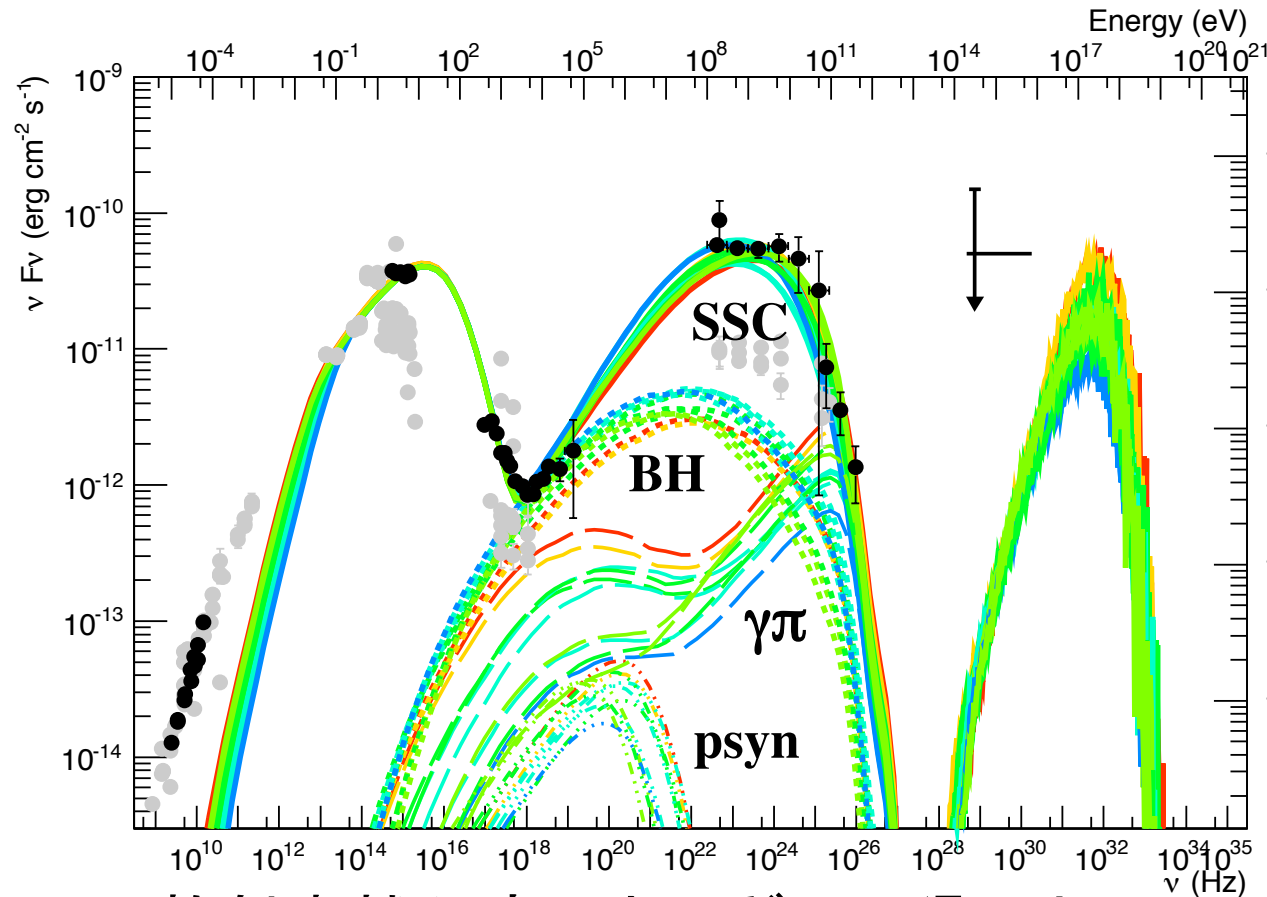


Proton-synchrotron	
$z$	0.337
$\delta$	35 – 50
$R$ [ $10^{16}$ cm]	0.1 – 9.7
$\ast \tau_{\text{obs}}$ [days]	0.01 – 1.0
$B$	0.8 – 32
$\ast u_B$ [erg cm $^{-3}$ ]	0.02 – 0.16
$\gamma_{e,\text{min}}$	500
$\gamma_{e,\text{break}}$	= $\gamma_{e,\text{min}}$
$\gamma_{e,\text{max}}$ [ $10^4$ ]	0.6 – 1.0
$\alpha_{e,1} = \alpha_{p,1}$	2.0
$\alpha_{e,2} = \alpha_{p,2}$	3.0
$K_e$ [cm $^{-3}$ ]	$6.3 - 9.1 \times 10^3$
$\ast u_e$ [ $10^{-5}$ erg cm $^{-3}$ ]	0.4 – 15.1
$\gamma_{p,\text{min}}$	1
$\gamma_{p,\text{break}}$ [ $10^9$ ]	= $\gamma_{p,\text{max}}$
$\gamma_{p,\text{max}}$ [ $10^9$ ]	0.4 – 2.5
$\eta$	20 – 50
$K_p$ [cm $^{-3}$ ]	$10.4 - 2.0 \times 10^4$
$\ast u_p$ [erg cm $^{-3}$ ]	0.7 – 45
$\ast u_p / u_B$	1.0 – 89
$\ast L$ [ $10^{46}$ erg s $^{-1}$ ]	0.8 – 170
$\ast \nu$ [year $^{-1}$ ]	$5.7 \times 10^{-3} - 0.2$
$\ast \nu_{183-4300 \text{ TeV}}$ [year $^{-1}$ ]	$2.4 \times 10^{-5} - 1.7 \times 10^{-3}$

- 陽子シンクロトン放射卓越(+高エネルギーで陽子カスケード寄与)の場合、電磁波スペクトルは説明可能
- が、 $\nu_{\mu}$  検出率が低すぎて棄却される

# SSC-dominant case (+ $\gamma\pi$ cascade)

Cerruti, Zech, Boisson, Emery, SI, Lenain 1807.04335



Lepto-hadronic	
$z$	0.337
$\delta$	30 – 50
$R$ [ $10^{16}$ cm]	0.2 – 1.5
$\ast\tau_{\text{obs}}$ [days]	0.02 – 0.3
$B$	0.13 – 0.65
$\ast u_B$ [erg $\text{cm}^{-3}$ ]	$6.5 \times 10^{-4}$ – 0.017
$\gamma_{e,\text{min}}$	500
$\gamma_{e,\text{break}}$	$= \gamma_{e,\text{max}}$
$\gamma_{e,\text{max}}$ [ $10^4$ ]	0.8 – 1.7
$\alpha_{e,1} = \alpha_{p,1}$	2.0
$\alpha_{e,2} = \alpha_{p,2}$	3.0
$K_e$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$9.5 \times 10^3$ – $2.6 \times 10^5$
$\ast u_e$ [ $10^{-5}$ erg $\text{cm}^{-3}$ ]	$2.2 \times 10^3$ – $43 \times 10^3$
$\gamma_{p,\text{min}}$	1
$\gamma_{p,\text{break}}$ [ $10^9$ ]	$= \gamma_{p,\text{max}}$
$\gamma_{p,\text{max}}$ [ $10^9$ ]	0.06 – 0.2
$\eta$	10
$K_p$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$3.5 \times 10^3$ – $6.6 \times 10^4$
$\ast u_p$ [erg $\text{cm}^{-3}$ ]	100 – 1400
$\ast u_p / u_B$	$3.9 \times 10^4$ – $79 \times 10^4$
$\ast L$ [ $10^{46}$ erg $\text{s}^{-1}$ ]	35 – 350
$\ast \nu$ [ $\text{year}^{-1}$ ]	0.11 – 3.0
$\ast \nu_{183-4300 \text{ TeV}}$ [ $\text{year}^{-1}$ ]	0.008 – 0.11

- SSC放射卓越 (+高エネルギーで陽子カスケード寄与) の場合、電磁波 + ニュートリノの説明可能だが、 $L_p \sim 10^{48}$  erg/s,  $\gamma_{e,\text{min}} \sim 500$  など、比較的極端なパラメータが必要
- ジェット外部種光子 (jet-sheath構造、RIAFなど) を考慮した方が好都合
- IceCube点源探査上限の考慮も必要 (調査中)