

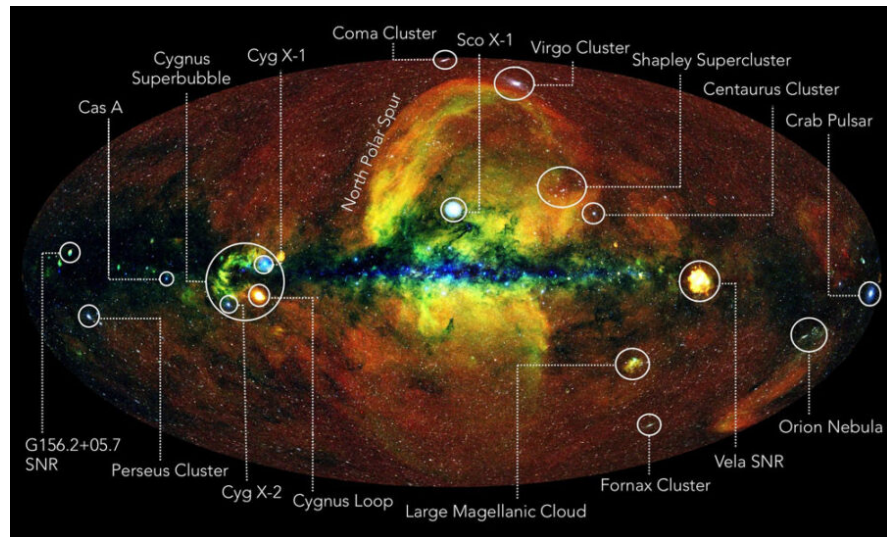
高エネルギー天体グループ

浅野勝晃

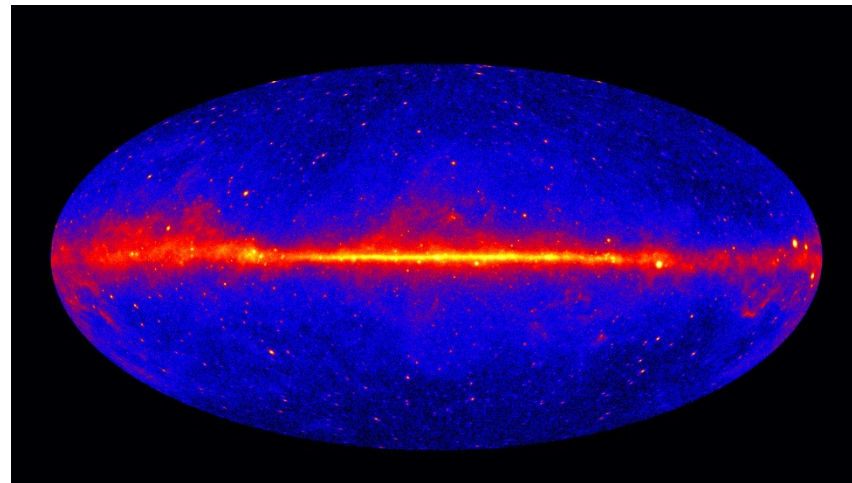
A5 サブコース：宇宙物理学理論

高エネルギーで輝く宇宙

X線 (>0.3keV)

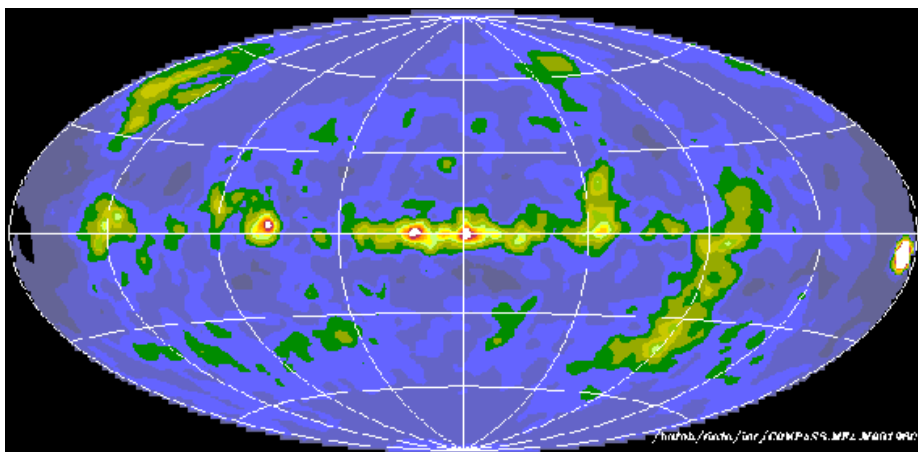


ガンマ線 (>1GeV)



陽子質量 $m_p c^2 \sim 0.9\text{GeV}$

ガンマ線 (>0.8MeV)



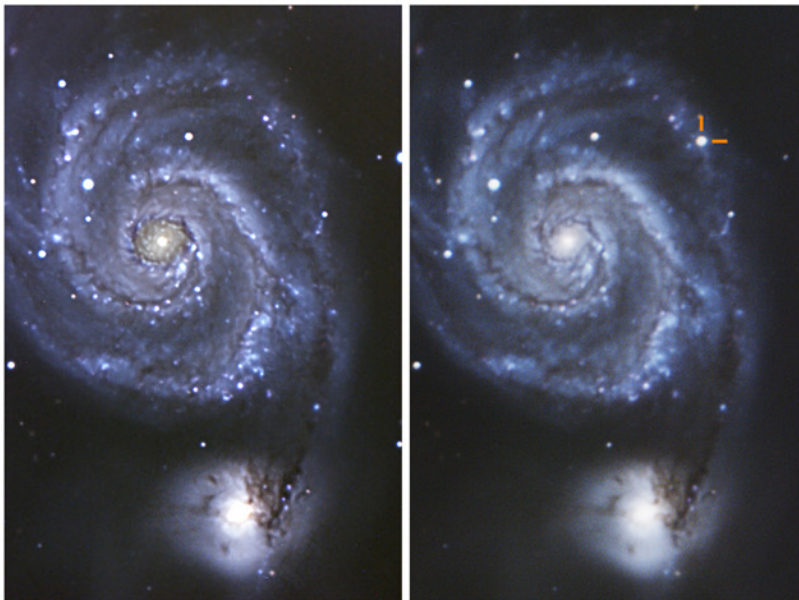
電子質量 $m_e c^2 \sim 0.5\text{MeV}$

ガンマ線 (>0.2TeV)

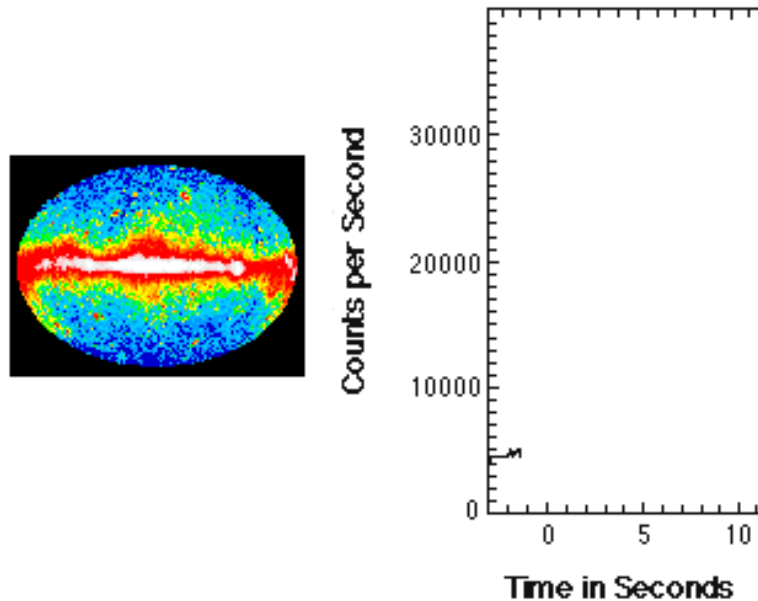


突発現象

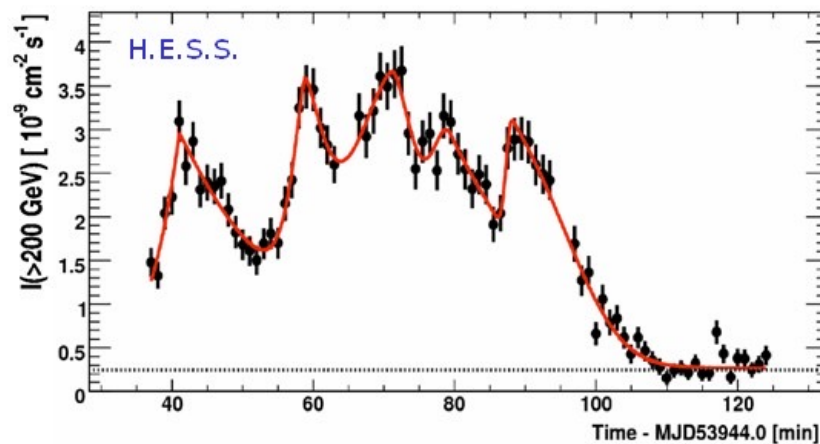
超新星爆発



ガンマ線バースト

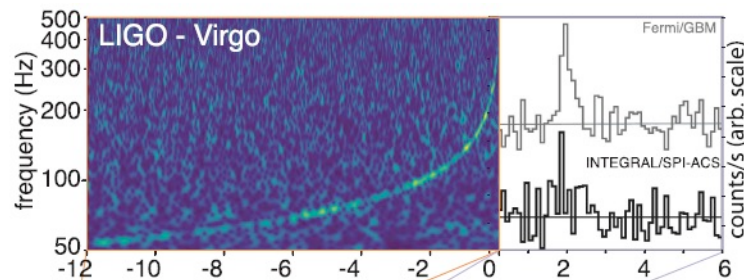
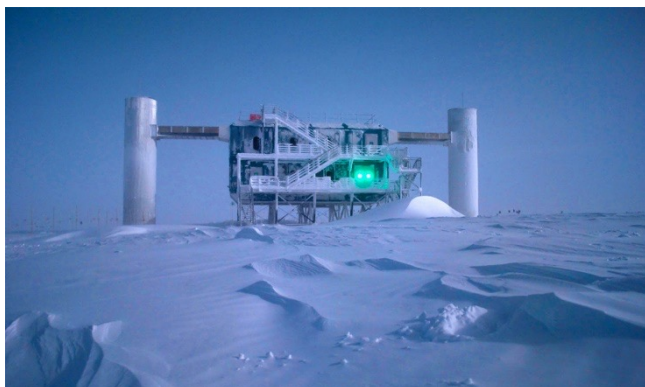


ブレーザーからのTeVガンマ線変動

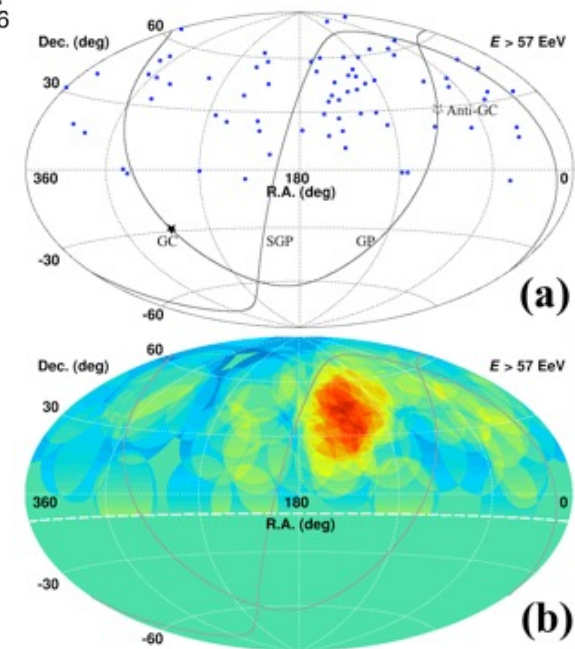
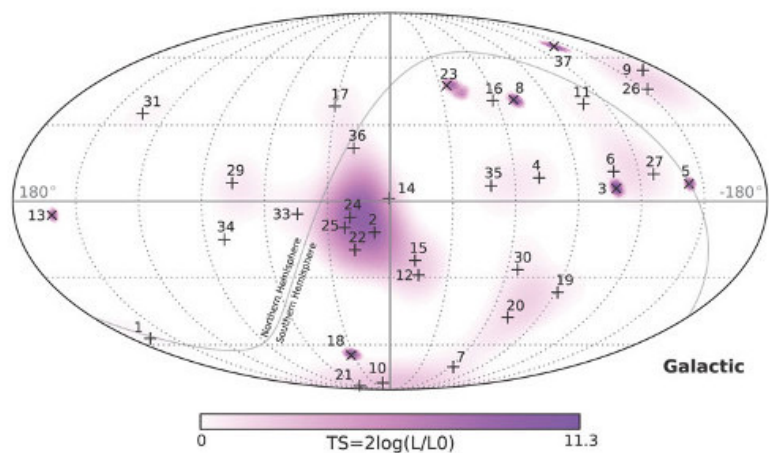


ニュートリノ・重力波・宇宙線

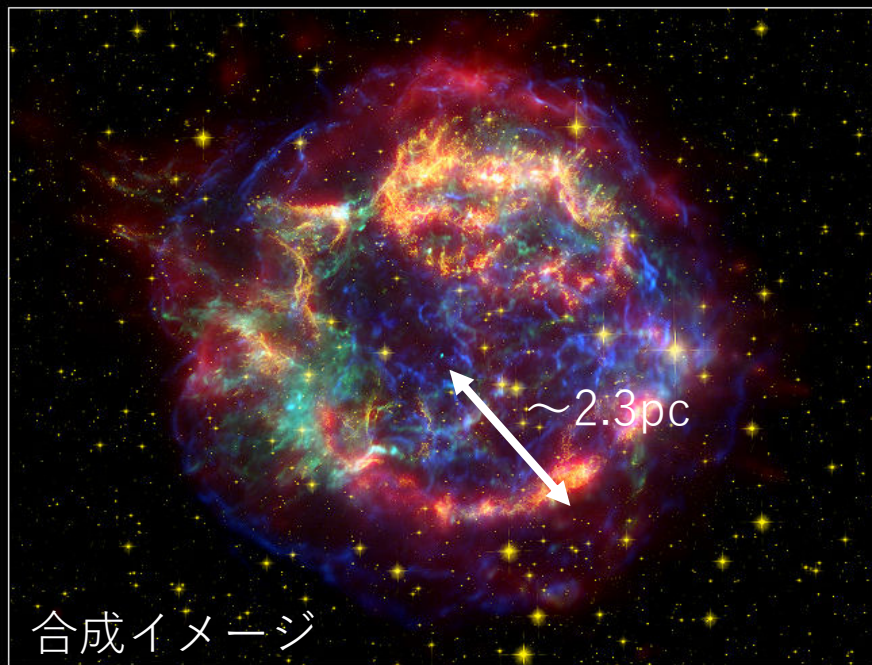
高エネルギー (PeV) ニュートリノ NS+NS 重力波+ガンマ線



最高エネルギー宇宙線
(100 EeV)



超新星残骸、宇宙線生成、パルサー



合成イメージ

Cassiopeia A Supernova Remnant
NASA / JPL-Caltech / D. Krause (Steward Observatory)
ssc2005-14c

Spitzer Space Telescope • MIPS
Hubble Space Telescope • ACS
Chandra X-Ray Observatory

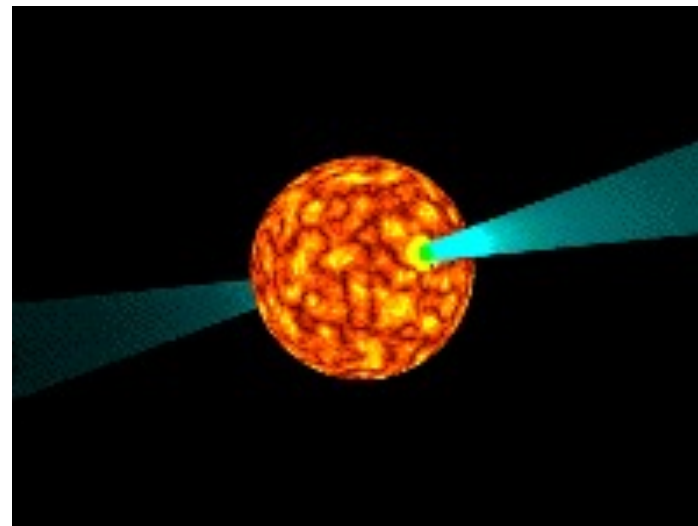
爆発による衝撃波が星間空間を伝播



衝撃波による粒子加速
高エネルギー粒子の生成

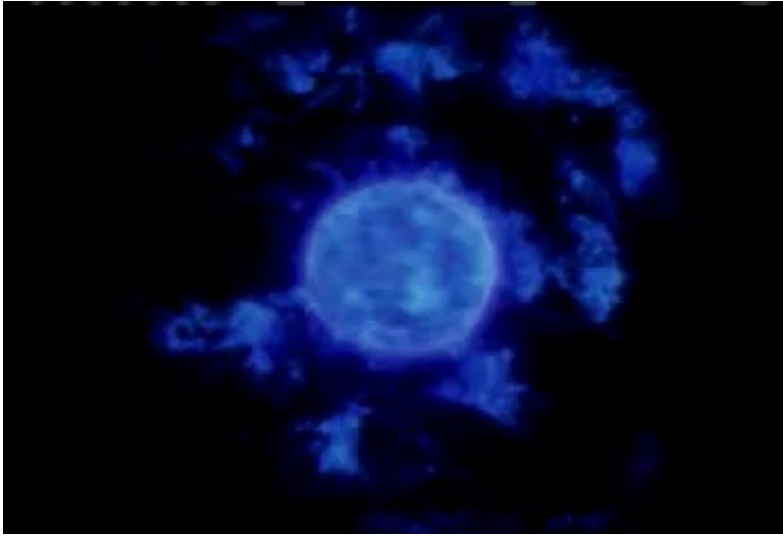
$$\varepsilon \gg m_e c^2, m_p c^2$$

パルサー



強磁場中性子星。周期1ms-1sで自転する
半径10kmの高密度天体 ($\sim 10^{15}\text{g/cm}^3$)。
規則正しいパルス放射。
典型的には 10^{12}G 。中には 10^{15}G までにも達
するものもあり、マグネターと呼ばれる。
QEDの効果が無視できない。

ガンマ線バースト、活動銀河核ジェット



宇宙最大の爆発現象

巨星の核がブラックホールに崩壊。

$\Gamma > 100$ の光速ジェットからガンマ線を放出。からのジェット噴出

最も明るいものの解放エネルギーは
 $\sim M_{\odot} c^2$ に達する。

相対論的ジェットの運動エネルギーを如何に
ガンマ線へと転換するか？

衝撃波？磁場散逸？



宇宙最大のブラックホール ($10^7 - 10^9$ 太陽質量)

$\Gamma > 10$ の光速ジェットから電波、X線、ガンマ線を放出。

物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る

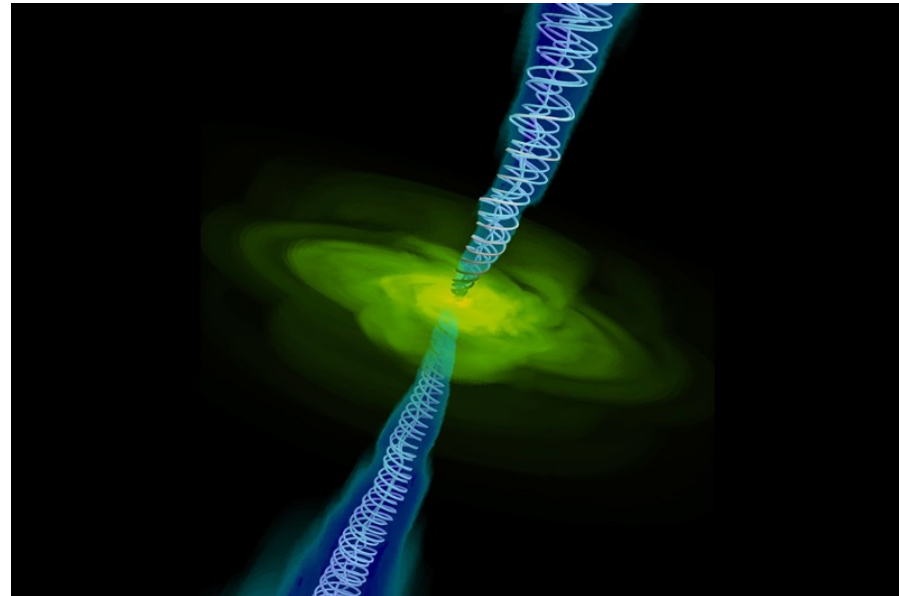
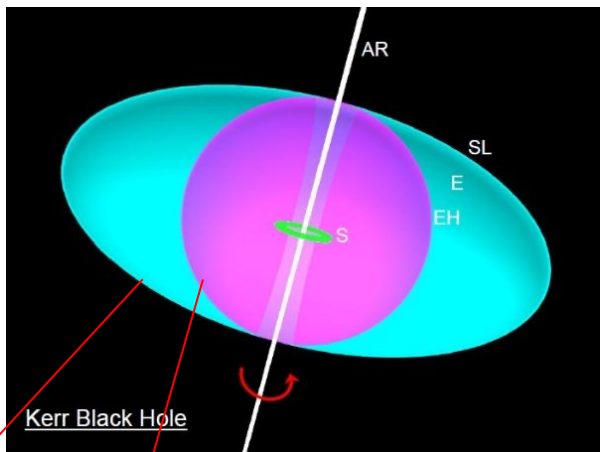


激しくジェットを噴き出しているのは…？

一般相対論的な効果か？

磁気流体力学的な現象か？

BHの回転エネルギーを磁場を介して引抜く
“負のエネルギー”



$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g r}{\Sigma}\right) c^2 dt^2 - \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 - \left(\frac{r_g r}{\Sigma} a^2 \sin^2 \theta + r^2 + a^2\right) \sin^2 \theta d\varphi^2 - \Sigma d\theta^2 + 2 \frac{r_g r}{\Sigma} a \sin^2 \theta c dt d\varphi,$$
$$\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta, \Delta = r^2 + a^2 - r_g r, r_g = 2GM/c^2$$

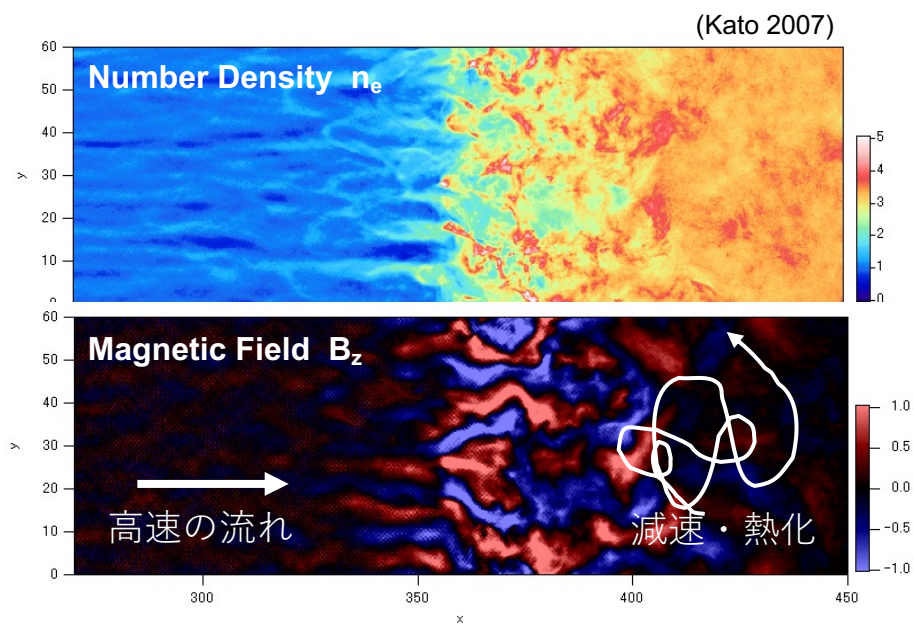
物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る



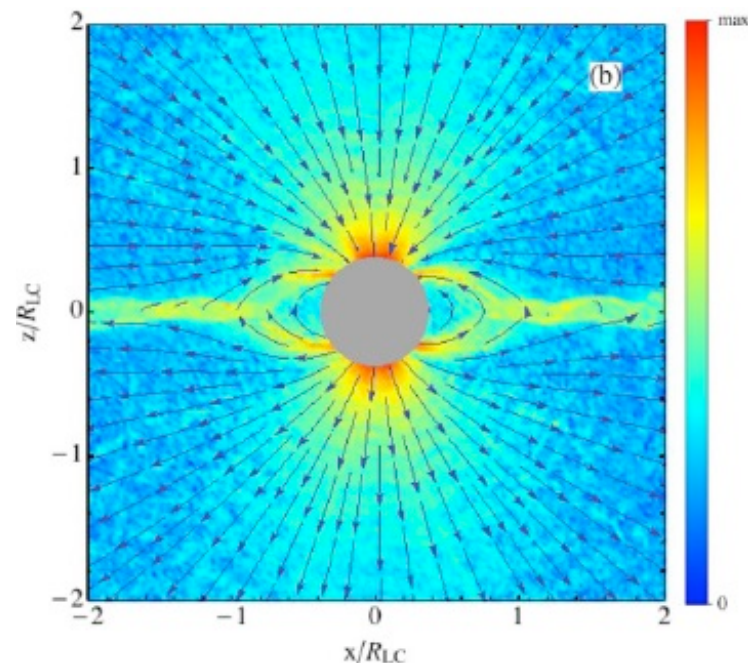
高エネルギー粒子が加速されているのは…？

プラズマ運動論的な効果か？

古典電磁気学で説明可能か？



衝撃波粒子加速 (プラズマ波動)



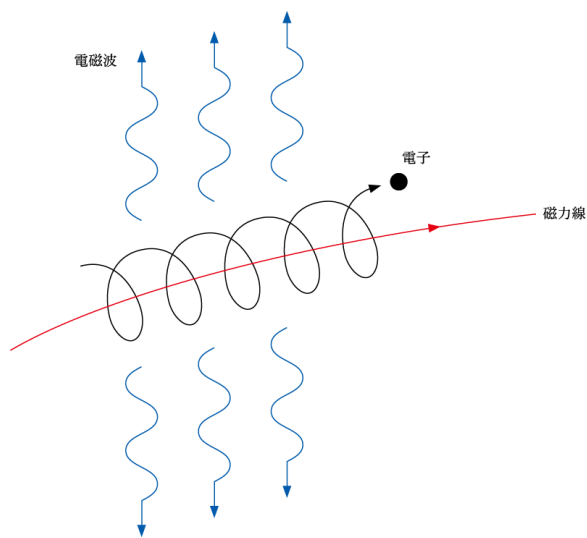
パルサー磁気圏での電場加速

物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る



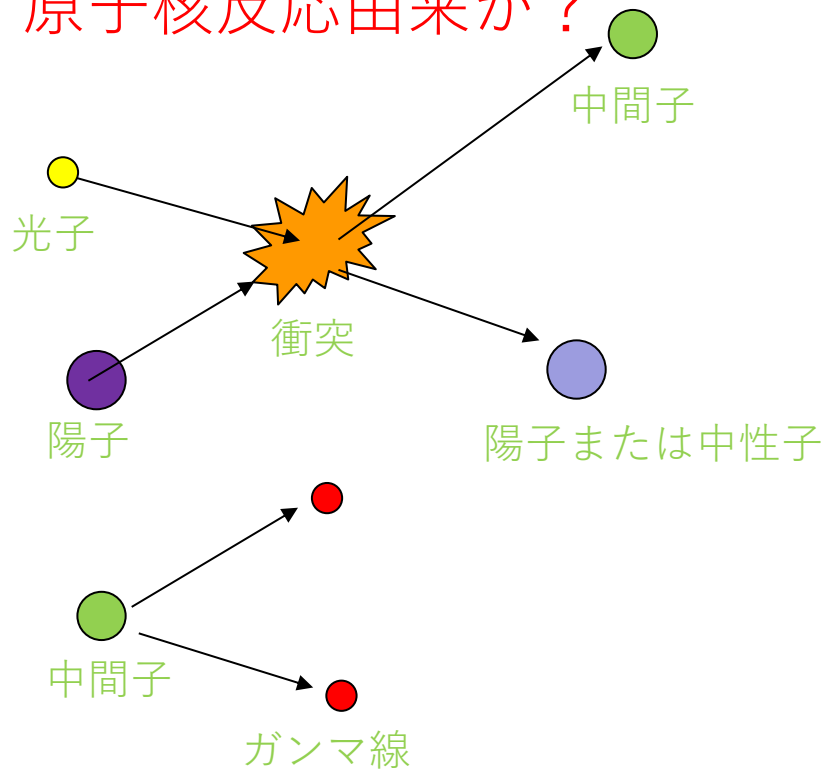
高エネルギーガンマ線は…？

相対論的放射過程か？



シンクロトロン放射
逆コンプトン放射

原子核反応由来か？



物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る

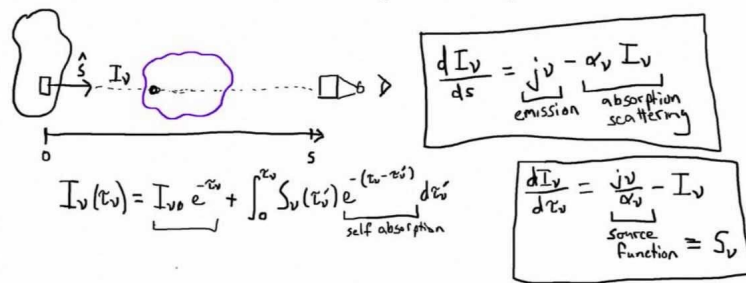


放射スペクトルは…？

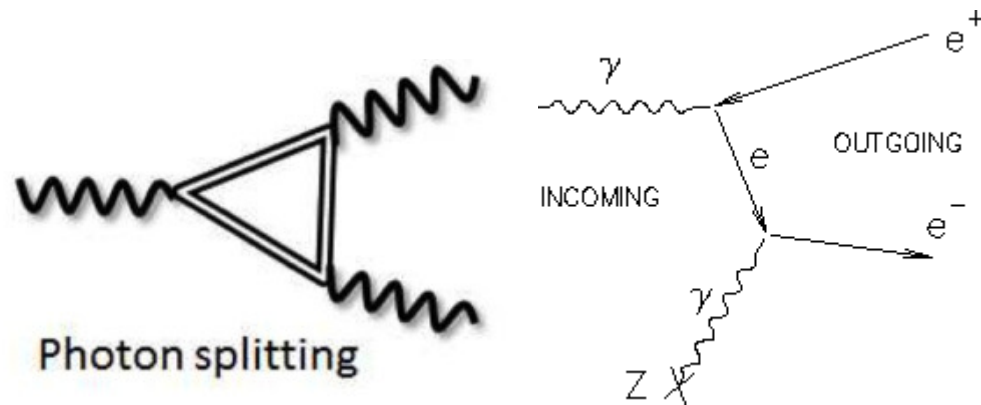
濃いガスを通過したのか？

量子電磁気的効果か？

Radiative Transport Equation

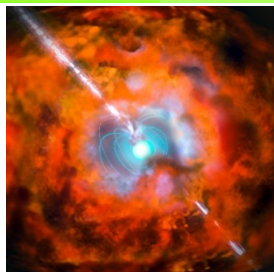


輻射輸送方程式
原子による吸収、散乱

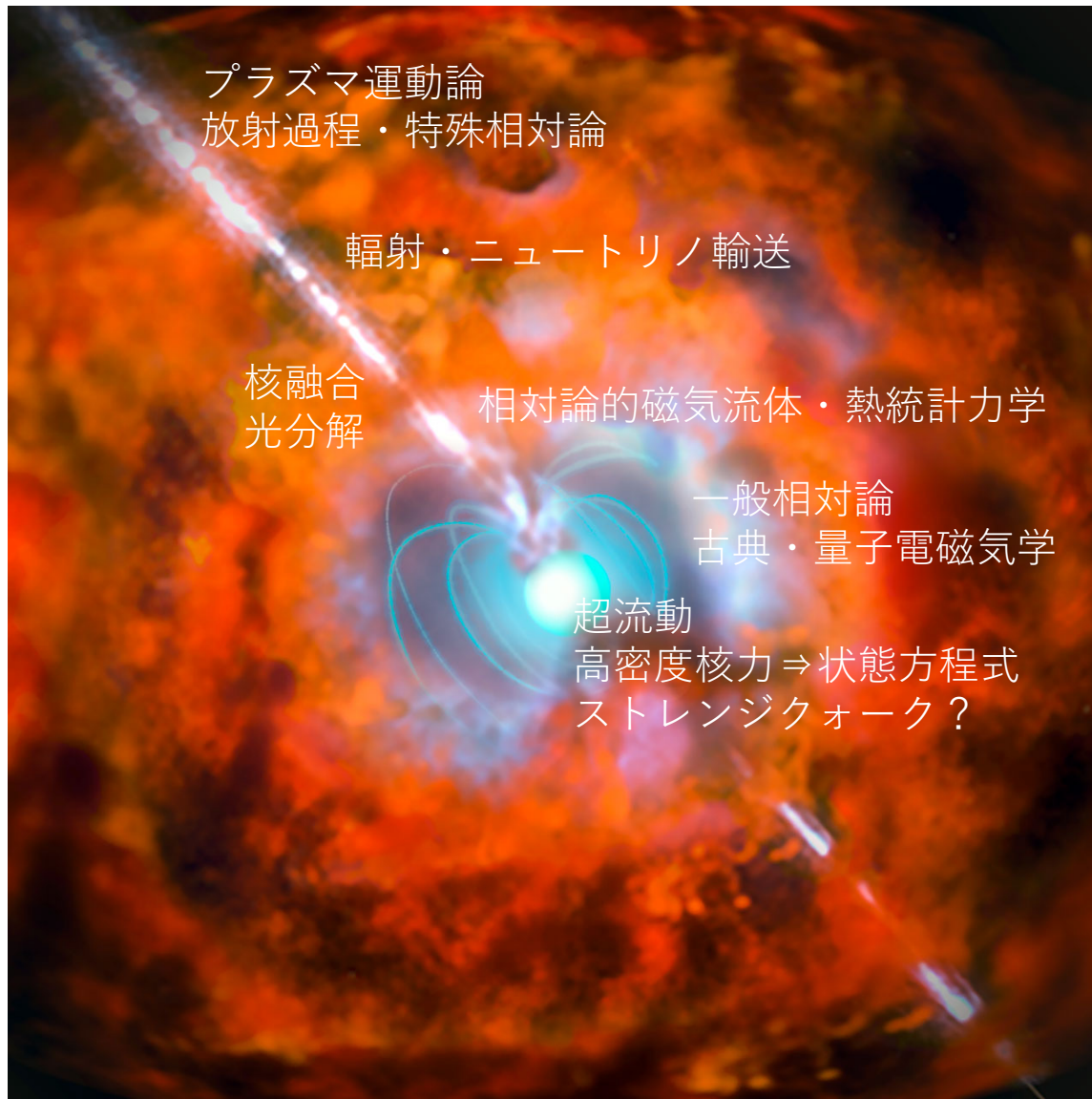


強磁場中での光子分裂、電子・陽電子対生成

まとめ



天文学
宇宙論



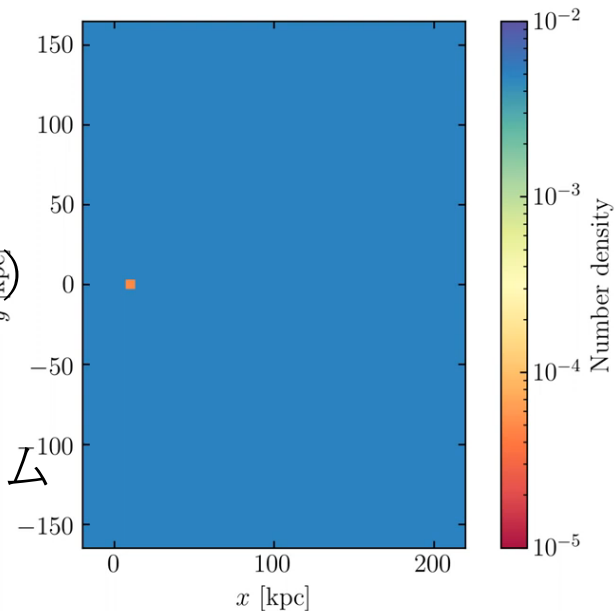
メンバー

メンバー Members

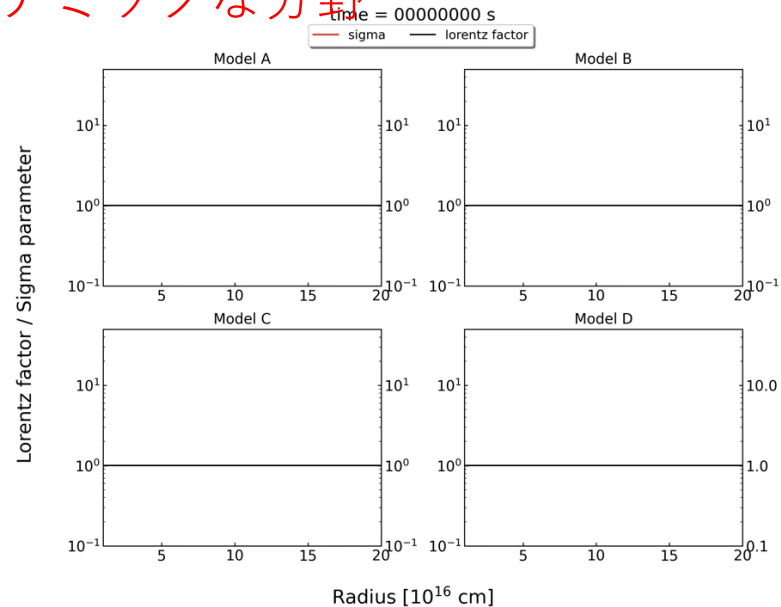
教員 Staff	准教授 Assoc. Prof.	浅野勝晃 Katsuaki Asano	ガンマ線バースト、ブレーザー、パルサー
	特任助教 Project Assis. Prof.	霜田治朗 Jiro Shimoda	宇宙線、超新星残骸、銀河風
研究員 PDs	特任研究員	川島朋尚 Tomohisa Kawashima	ブラックホール降着円盤、輻射輸送
		和田知己 Tomoki Wada	マグネター、電波バースト
	協力研究員	大村匠 Takumi Ohmura	宇宙ジェット、電波銀河
大学院生 Students	博士課程 Doctor	西脇公祐 Kosuke Nishiwaki (日本学術振興会特別研究員、卓越大学院プログラム生)	銀河団、高エネルギーニュートリノ
		後藤瞭太 Ryota Goto (卓越大学院プログラム生)	ガンマ線バースト、放射機構
		草深陽 Yo Kusafuka (日本学術振興会特別研究員)	相対論的磁場優勢ジェット
	修士課程 Master	アボンナサ テオ Théo Abounnasr (文部科学省奨学金研究留学生)	衝撃波プラズマ不安定性
		一ノ瀬諭斗 Yuto Ichinose	ジェット流体不安定性

高エネルギー天体の理論的研究

- マルチメッセンジャー天文学
- 物理の総合商社的分野 (+天文学、宇宙論、素粒子論)
- 電波からX線・ガンマ線にいたる放射メカニズム
- 高エネルギーまで粒子を加速するメカニズム
- ブラックホールから噴出するジェット生成メカニズム
- 超新星爆発のメカニズム
- 10^{20} eVを超える最高エネルギー宇宙線の加速源天体
- 天体からのニュートリノや重力波の放射
- 毎年のように新しい発見が報告される、ダイナミックな分野

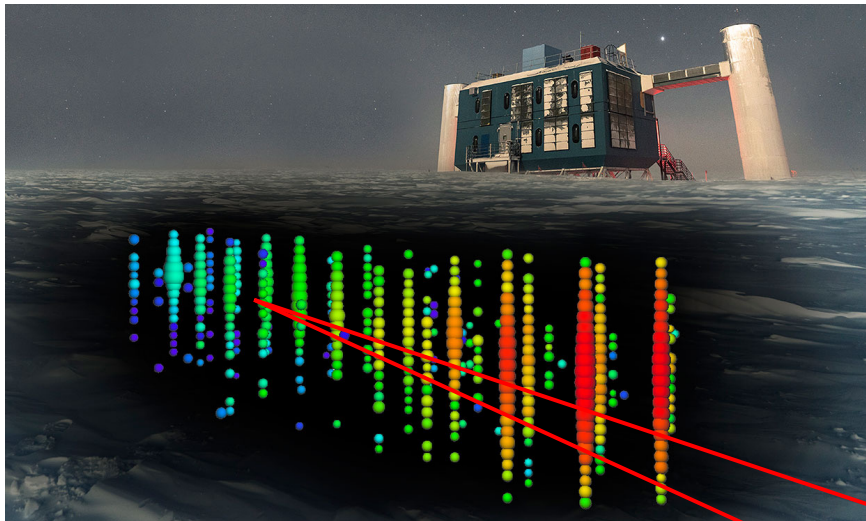


高エネルギー天体グループ

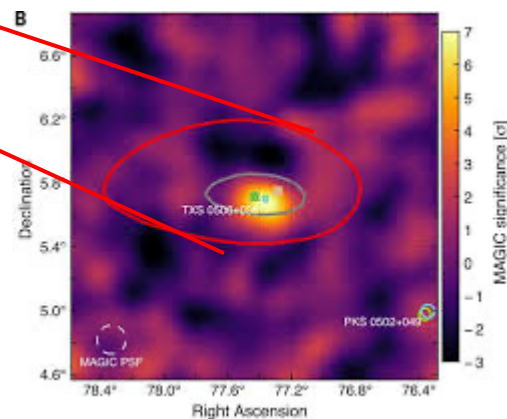


ブラックホールからのニュートリノ？

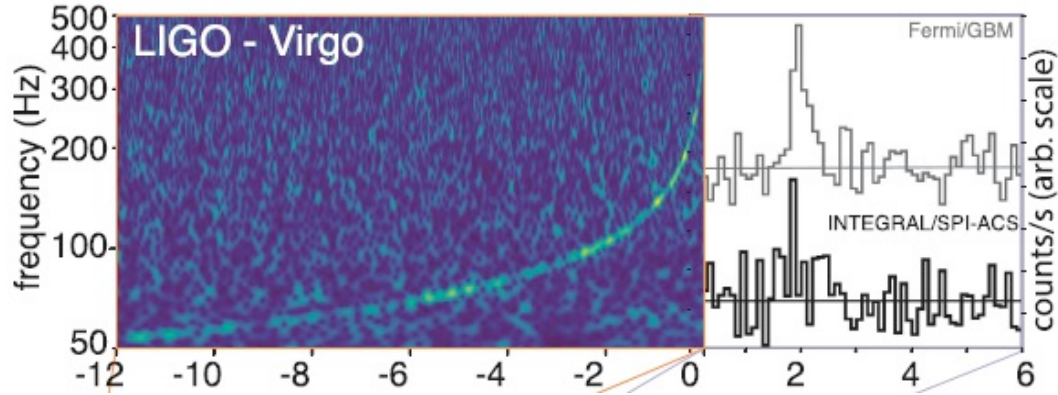
2017年9月、高エネルギーニュートリノを検出



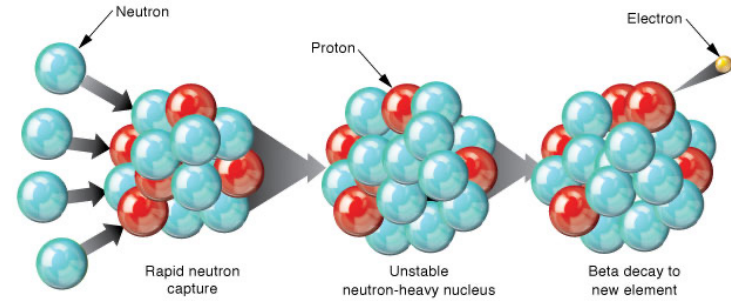
ガンマ線源：
57億光年離れた
銀河中心ブラックホールからのジェッ



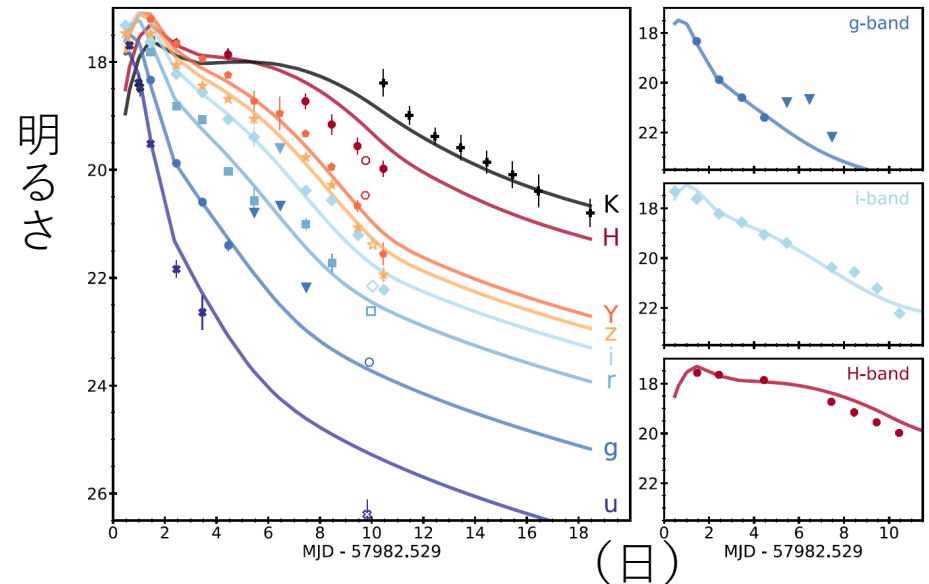
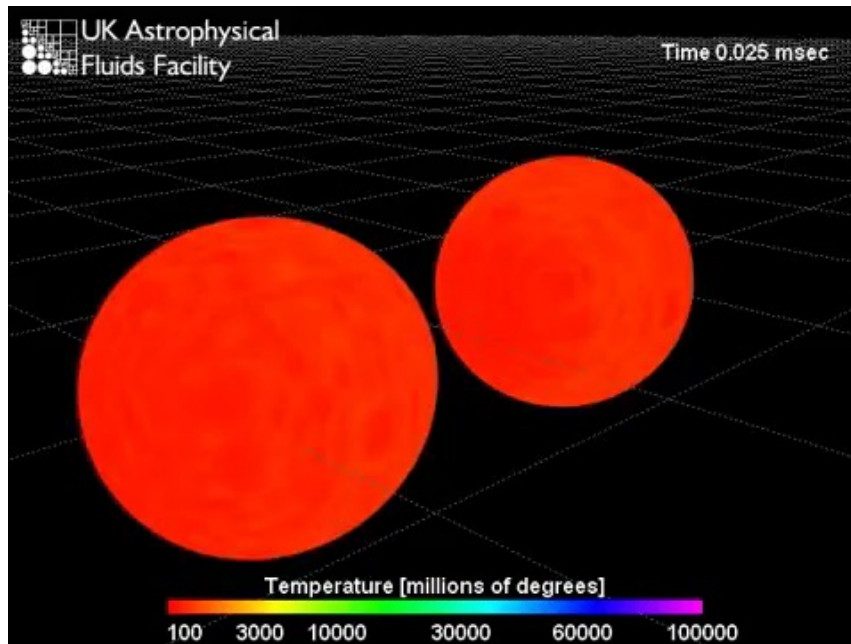
r-過程元素合成 ⇒不安定核（放射性元素）の生成



弱いガンマ線放射を伴う、中性子星連星合体



放射線を熱源として、可視光、赤外、紫外線で光る。



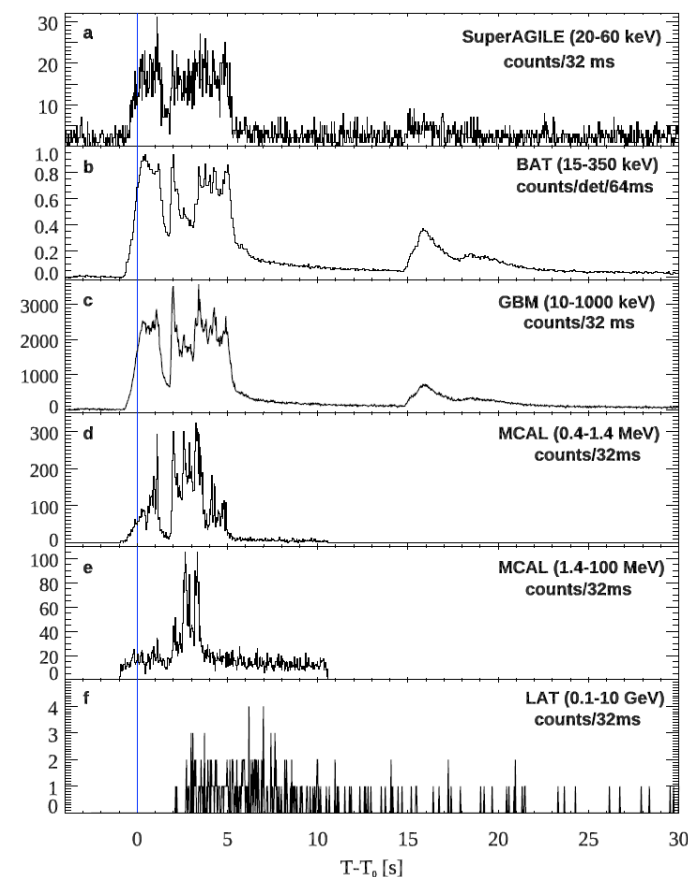
GRB 190114C

地上大気チェレンコフ望遠鏡による初の検出。



MAGIC：直径17m2台のステレオ観測。～7度/秒で旋回可能。
低いエネルギー閾値 (>50GeV)。
発生約60秒後から観測開始に成功。計1000発ほどの光子を検出。

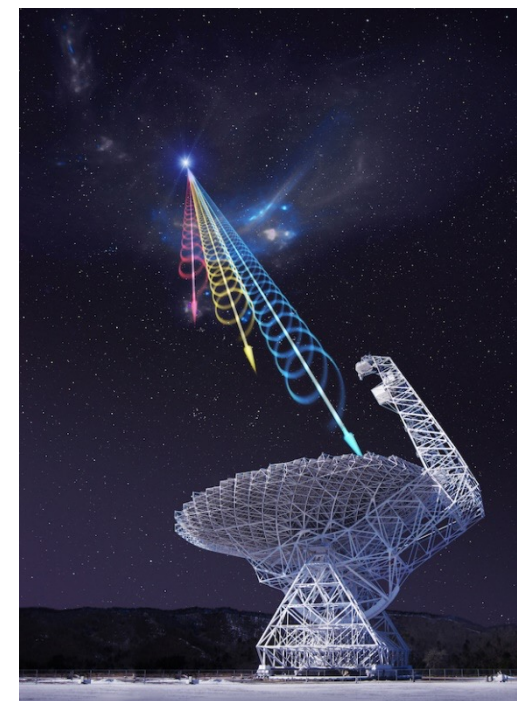
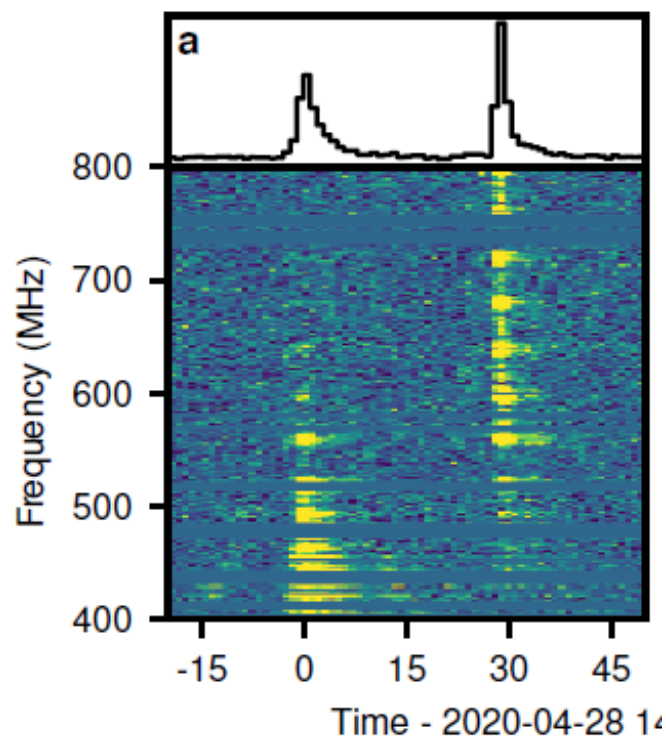
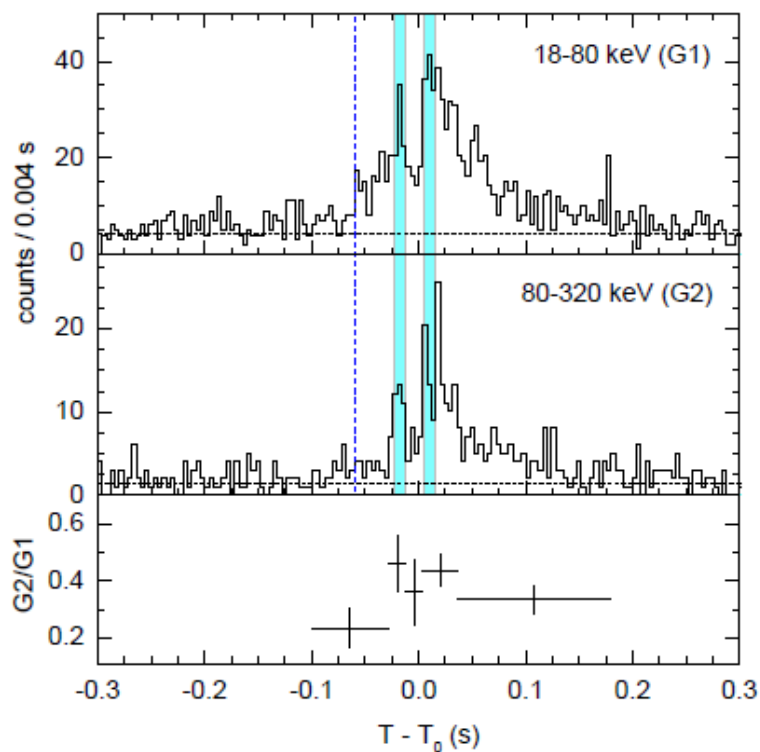
$z = 0.42$ で比較的近傍。
即時放射エネルギー $E_{\text{iso}} \simeq 2.5 \times 10^{53} \text{ erg}$



Fermiなどによる即時放射の光度曲線。

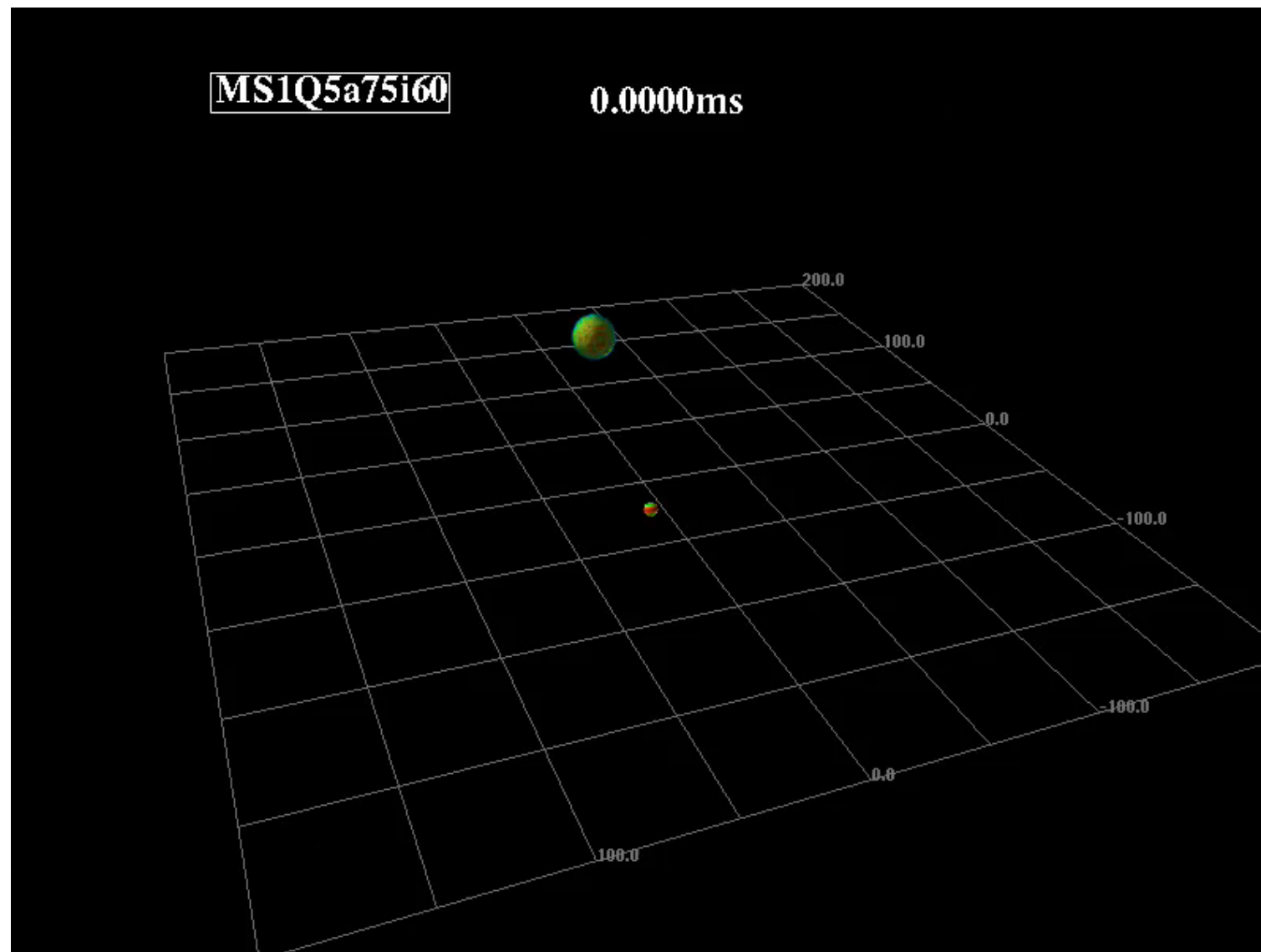
2020年の最も新しい発見

マグネター（超強磁場中性子星）の一種ガンマ線リピーターからの電波バーストの初検出



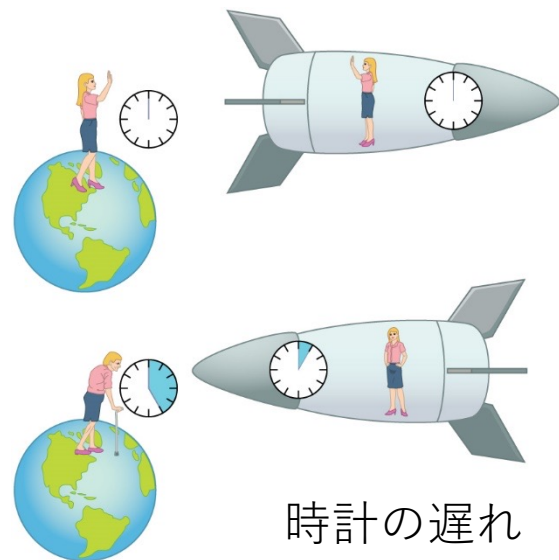
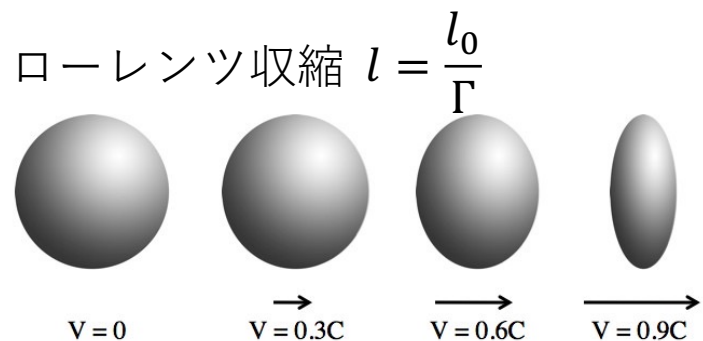
Xと電波の同時検出。放射メカニズムの重大なヒント、FRBの正体に迫る？

一般相対論的連星合体シミュレーション



高エネルギーの世界

高エネルギー：相対論的な世界



$$\Delta t = \Gamma \Delta t_0$$

強重力の世界

半径R、質量Mの星からの脱出速度

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

脱出速度が光速になってしまう半径

$$R_g = \frac{2GM}{c^2} \text{ : シュワルツシルト半径}$$

