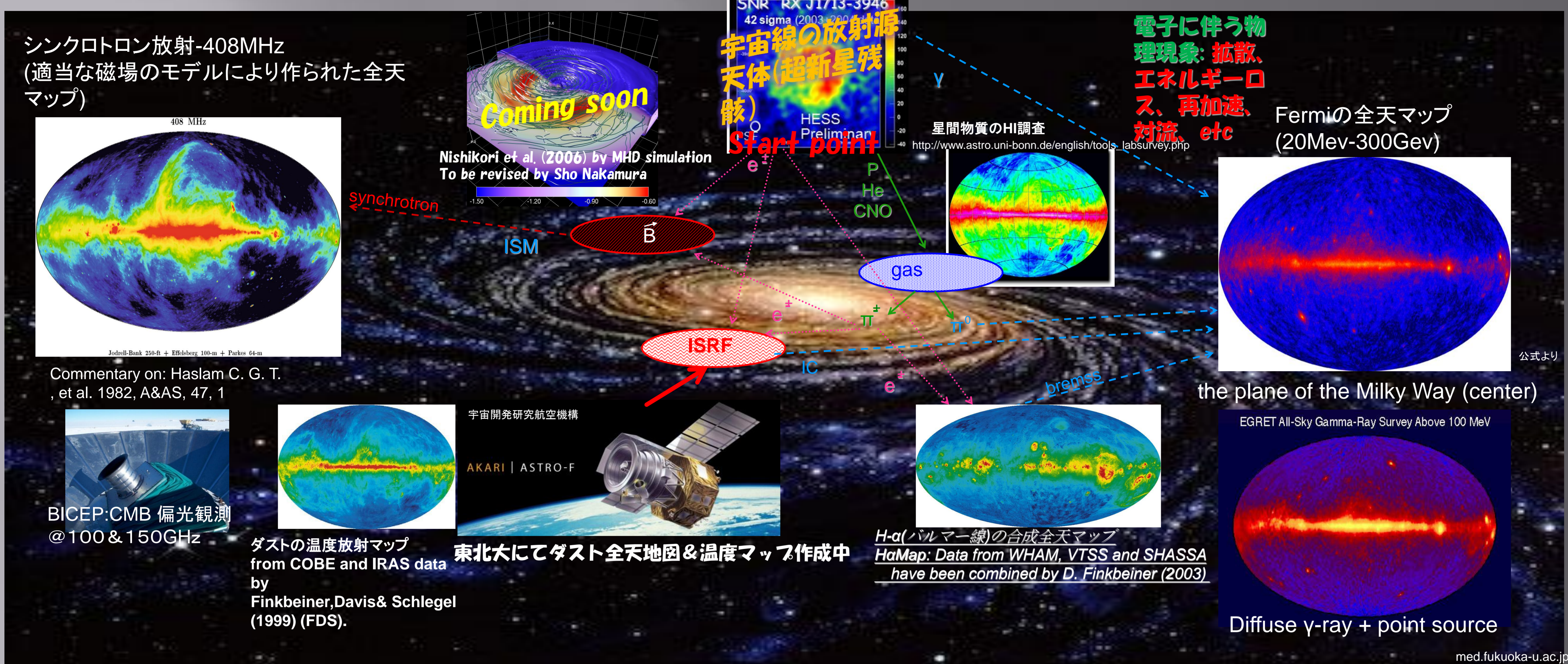


Jitter Radiation for galprop – new physical

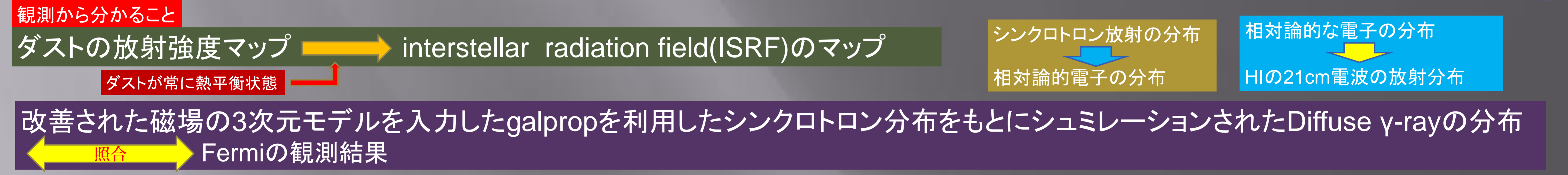
Diffuse galactic γ -ray –

調べる意味? → 以下の説明
物質と γ 線の相関図 → 下の図



プライマリー宇宙線の主たる供給源は超新星爆発の衝撃波での1次フェルミ加速である。プライマリー電子は、宇宙マイクロ波背景放射との逆コンプトン散乱やシンクロトロン放射でエネルギーを失う一方星間磁場中を伝搬する円偏光アルペン波による共鳴再加速を受けながら、星間空間を拡散し銀河系内に広く分布する。又、プライマリー宇宙線が星間物質と衝突して来た π 中間子(139.57018(35)(MeV))が崩壊し、電子陽電子が対生成される。これらの電子・陽電子が星間磁場と相互作用することで100GHz以下の周波数域でシンクロトロン放射を放出する。 π 中間子の崩壊時には、 γ 線が放出される。これが銀河系拡散 γ 線の起源の一つである。

また、相対論的電子・陽電子と星間物質中のイオンとの相互作用で発生する制動放射も銀河系拡散 γ 線の起源の一つである。更に銀河系内の星からの放射の重ね合わせであり主に1eV程度の近赤外域にエネルギーが集中するInterstellar Radiation Field(ISRF)が相対論的電子・陽電子により逆コンプトン散乱されることも、銀河系拡散 γ 線の起源の一つである。ISRF中の紫外線は、銀河系内のダストの熱源である。ダストはISRFからの熱供給とダストからの熱放射とのバランスにより、その温度が決定される。したがって、ダストの温度分布を精度良く知ることはISRFのモデルを精度良く知ることに繋がる。現在東北大学の専用PCクラスターにおいて全天ダスト地図作成が日々行われている。シンクロトロン放射の分布は、銀河系磁場の分布モデルと直接関係している。また、相対論的電子・陽電子、宇宙線の伝搬は銀河系磁場の分布によってコントロールされる。さらに、ダストも磁場にへばりついており、その分布は銀河系磁場の分布に支配されている。特にダストからの偏光放射は、ダストの長軸が磁場と垂直な方向に整列することで発生すると考えられており、銀河磁場の構造を精度よく知ることが重要である。私たちのグループでは、磁気流体数値シミュレーションを用いて銀河系磁場の3次元構造のより現実的なモデル作成に挑んでいる。また、宇宙マイクロ波背景放射の偏光Bモード検出を目指して南極点から観測を実施中の米国のBICEPチームとの共同研究も開始している。BICEPは、100GHzと150GHzで観測を行っており、現時点で最も精度の高い銀河系内のダストからの偏光放射の情報を提供している。



物理プロセスの導入(予定)

シンクロトロンは磁場の周りを相対論的電子が周回することで、電磁波が発生するが、磁力線を相対論的電子がジグザグにかいくぐることによっても発生する。かいくぐる磁場が多数存在するため、電子が様々な方向に振動するため、放射された電磁波の偏光は無偏光になる。もし、観測によるシンクロトロン放射の偏光度が理論的なものよりも低かったら、シンクロトロン放射の成分にはこのJitter放射も含まれている可能性がある。

銀河空間にはイオンと電子が電離している領域-プラズマ-があり、イオンはそれ自身の重さのため全く動かず、電子の動きに注目していくものとする。プラズマ内部の温度は平衡状態のものとはずれており、プラズマ内の領域において、ある領域はT1の温度を持ち、別の領域ではT2(>T1)というように温度勾配を持っているものだとすれば、

Cool region

e^- T_1 e^-

温度が変化
するまでにか
かる距離(この
領域で温度拡
散が行われて
いる。) L

Hot region

e^- T_2 e^-

電子のmean free pass λ_e

電子の熱速度 $v_{th} \equiv \sqrt{\frac{2k_B T}{m_e}}$ (T は平衡状態の温度)

電子の波長 λ

単位時間あたりの衝突回数 V_e

$\epsilon \equiv \frac{\lambda_e}{L}$

$\delta_T = \frac{L}{T} \frac{\partial T}{\partial x}$

V_e

Boltzmann方程式(外力0)

$\frac{\partial f}{\partial t} + v_x \frac{\partial f}{\partial x} = -v_e (f - f_m)$

ϵ 1次の分布関数

$f^{(1)} = \epsilon \delta_T \frac{v_x}{v_{th}} \left(\frac{5}{2} - \frac{v^2}{v_{th}^2} \right)$

温度勾配により分布関数に揺らぎが発生(chapman enskog)

平衡状態の分布-Maxwell-Boltzmann分布

$f_m = n_0(\vec{x}) [\pi v_{th}(\vec{x})]^{-3/2} \exp[-\{v/v_{th}(\vec{x})\}^2]$

$f^{(1)}$ の効果

$\left\langle \frac{1}{2} m_e v^2 \vec{v} \right\rangle \neq 0, \left\langle \frac{1}{2} m_e v^2 \right\rangle = \frac{3}{2} k_B T, \langle \vec{v} \rangle = 0$

分散関係式

1次までの計算 無衝突のプラズマ内の摂動を考える $\lambda \ll \lambda_e$

Boltzmann方程式

$-i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) f_{\vec{k}} = \frac{e}{m_e} (E_{\vec{k}} + \vec{v} \times (B_{\vec{k}}/c)) \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial \vec{v}} \right)$

$\vec{E} = E_{\vec{k}} \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)]$ $\vec{B} = B_{\vec{k}} \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)]$ $\delta f = f_{\vec{k}} \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)]$

簡単のため波数ベクトル(x座標にとる)と温度勾配(y座標にとる)が直行し、波数ベクトルがMaxwell方程式により直行している磁場の温度勾配に垂直なモード(z座標にとる)をとる。

$B(z)$ $\vec{k}(x)$

$\nabla T(y)$

γ が最大になるような電子の波長

$f_{\vec{k}} = -\frac{ie}{km_e} \left[\left(E_x + \frac{1}{c} v_y B \right) \frac{\partial f}{\partial v_x} + \left(E_y - \frac{1}{c} v_x B \right) \frac{\partial f}{\partial v_y} \right]$

Maxwell方程式

$\omega_r = \frac{\epsilon \delta_T}{4} k v_{th}$

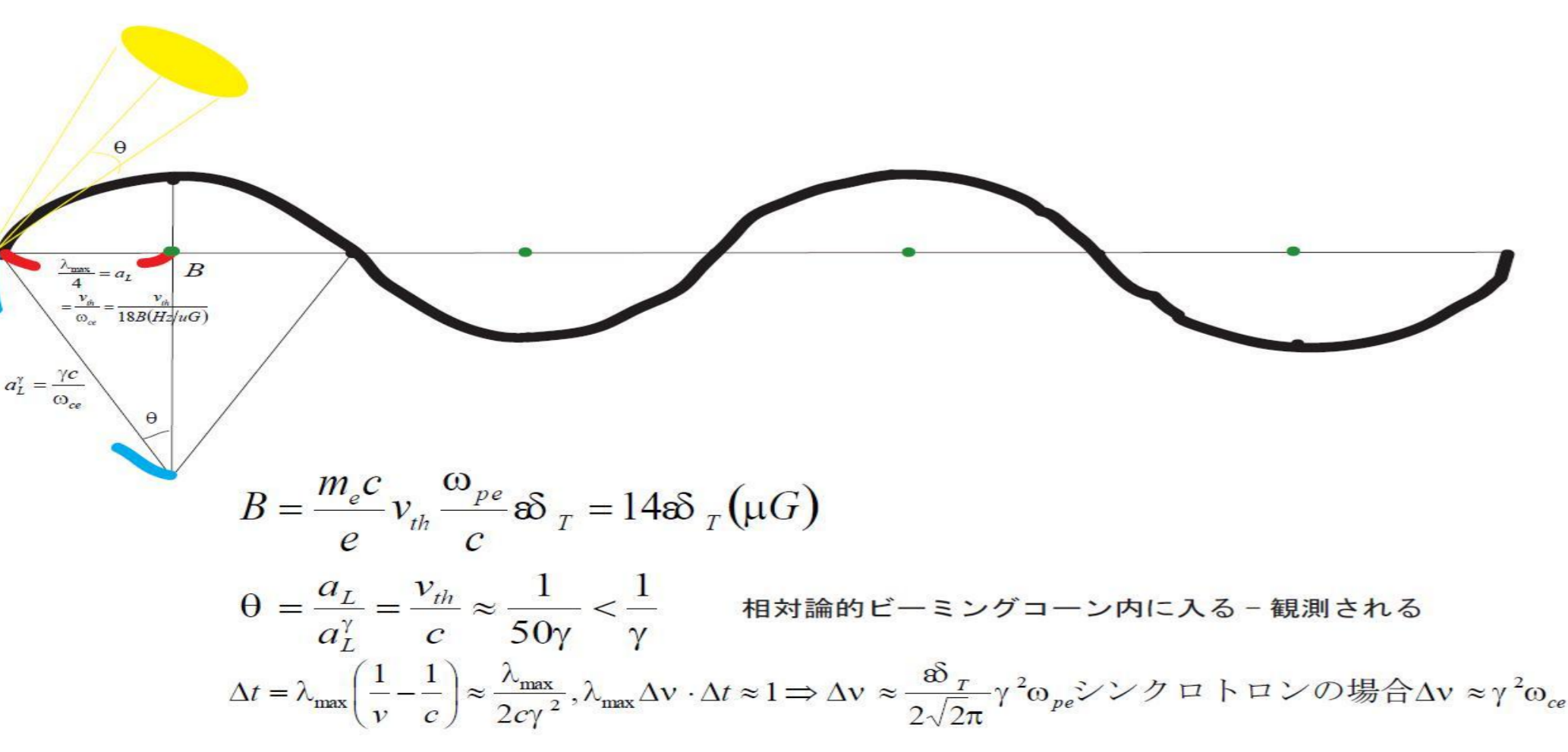
$\omega_i = \frac{k v_{th}}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{3}{8} \epsilon^2 \delta_T^2 - \frac{c^2 k^2}{\omega_{pe}^2} \right)$

プラズマ振動数

$\omega_{pe} = 5.7 \times 10^4 \sqrt{\frac{n}{1cm^3}} Hz$ ω_i はそのままプラズマの成長率 γ となる

$\lambda_{max} = 4\sqrt{2\pi} \frac{c}{\omega_{pe}} (\epsilon \delta_T)^{-1} \approx 9.35 \times 10^6 \frac{1cm}{\sqrt{n/1cm^3} \epsilon \delta_T}$

$\gamma_{max} \approx 56.2 (\epsilon \delta_T)^3 \sqrt{\frac{n}{1cm^3}} (s^{-1})$



以上の考察から、地球に向かってくる電子のJitter radiationは放射コーンのなかに入っているため、十分に観測される可能性がある。いずれは、galpropにnew physical processとして使えるだろう。