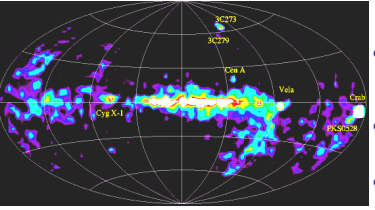


μ-PICで拓く未知なる世界

MeVチームでは、μ-PICを用いたγ線検出器やダークマター検出器、高速X線結晶構造解析器の開発などを行っています。

<MeV-γ線天文学>

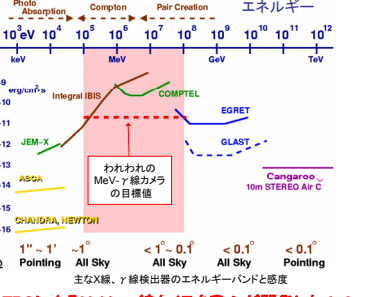
◎ MeV 領域のγ線で見える宇宙



- 元素合成 超新星残骸: 放射性同位体から核γ線 Ni, Co 銀河面: 長寿命の同位体 ²⁶Al, ⁶⁰Fe
- 粒子加速 γ線バースト (GRB)、活動銀河核 (AGN) のジェット: 高エネルギー電子によるシンクロトロン放射や逆コンプトン散乱
- 強い重力場 ブラックホール: 降着円盤由来の放射、π⁰の崩壊に伴う放射
- その他 γ線パルサー、太陽フレア 電子・陽電子対消滅線、中性子捕獲など

◎ MeV-γ線天文学の現状

- COMPTTEL (CGRO 衛星) Compton Imaging を用いた検出器 数十個の天体を検出
 - IBIS, SPI (INTEGRAL 衛星) Coded Aperture Imaging を使用 MeV 付近の感度はCOMPTTELと同程度
- MeV領域ではコンプトン散乱が優位で光子毎に到来方向を一意に決定できない。
宇宙線と検出器のまわりの機器との相互作用で生じるγ線等バックグラウンドが大きく、他の領域よりも感度が10倍以上悪い。



ノイズのカットに優れ、検出感度の高いμ-TPCによるMeV-γ線カメラを我々が開発した!!

③ μ-TPC を用いた 新型 MeV-γ線カメラ

micro-TPC, シンチレーター, ASD (読み出し回路)

MeV-γ線カメラのイメージ、コンプトン散乱した点を拡大した図

コンプトン散乱に伴う反跳電子のエネルギーと方向をμ-TPCで、散乱γ線のエネルギーと方向をシンチレーターで検出。

イベント毎の入射γ線のコンプトン散乱を完全に再構成。(MeV領域では世界初!)

従来の方法では... 600events

イベント毎には到来方向を決定できず、ボヤッとしたイメージしか得られない。

15cm離れた二つの線源を見たときのイメージ イベント毎に扇型に到来方向を決定でき、少ないイベントでも二つの線源をはっきりと分離!

さらに... あるイベントに対して、運動学的及び幾何学的にそれぞれ独立にαが求まる。2つのαが等しい イベントだけを抽出することでコンプトン散乱した イベントだけを抽出できる。

強力なバックグラウンド除去能力! コリメータ等不要 3strの広い視野を確保

① γ線など放射線の検出原理

ガス中にγ線やX線が入射すると、ガスの原子から電子が叩き出される。(光電効果、コンプトン散乱、対生成)

電子は、エネルギーを落とすしながら周囲のガスの電子を電離させていく。

電子の飛跡に沿って電子の雲ができる(一次電子雲)。この電離された電子を集めて信号として検出する。ただしこのままだと信号が弱い。

もっと電子を増やすために ~比計数管~ 陽極付近に強い電場を作ること、電子は加速され、さらに電離を起こす(電子なだれ)。こうしてできた多数の電子を集めて陽極から信号として取り出す。

γ線の位置情報を知るには? ⇒ ここでμ-PICの登場

② μ-PIC と μ-TPC

μ-PICは我々が独自に開発した検出器。比計数管を輪切りにし、基板上にピクセル状に並べたような構造。ドリフトプレーンとμ-PICの間にはガスが詰められ、ドリフト電場がかかっている。

荷電粒子がガス中を走ると、その飛跡に沿って電子雲ができる。電子雲はドリフト電場によってμ-PIC側へ移動する。

μ-PICに到達した電子雲は陽極付近でなだれ増幅を起こす。これによってμ-PICのどのピクセルに信号があったかで、2次元の位置情報が得られる。

さらに、ピクセルごとの検出時間差を利用してz方向の位置情報を得る。このようにして粒子の3次元の飛跡がわかる!!

このような時間差を用いて3次元飛跡検出装置をTPC(Time Projection Chamber)といい、特にμ-PICを用いたTPCをμ-TPCという。

左2枚: μ-PICを使った2次のX線透過像
右: 可視光写真

左図: μ-TPCの外観
右図: μ-TPCで得られた100~500keVの電子(赤、白)と0.8GeVの陽子(緑)の飛跡

μ-TPCで何ができる? ⇒ 新型MeV-γ線カメラの登場

★ 衛星実験へのステップ ~気球実験-SMILE~★

Sub-MeV γ-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment

気球実験の様子2006.9/1@三陸 (左図)、検出器を格納する気球ベッセル(容器) (中図)、気球に搭載した検出器 (右図)

2006年9月1日気球実験実施@三陸
検出器: 10cm MeV-γ線カメラ
全フライト: 7h
水平飛行 (高度32~35km) : 4h
全フライト中検出器は正常に移動
宇宙拡散γ線と大気γ線の測定に成功!
(電子飛跡検出型コンプトンMeV-γ線カメラとしては世界初)

SMILE計画の今後
10cmのMeV-γ線カメラ ⇒ 30~50cmへ (SMILE II 以降)
最終的には衛星に搭載し全天探査を目指す。
30cm角のμ-TPCを複数並べて COMPTTELと同等の面積を確保すれば、COMPTTELの10倍の感度が期待できる。

今回のフライトで得られた宇宙拡散γ線と大気γ線のフラックス (赤) と過去の実験の比較

次気球(SMILE II)は2011年に放球予定!! かに星雲やCygnus X-1の観測を目的としている。
γ線天文学の未来を担うのは君たちだ!! 世界初の光景を目にしよう!!

④ これからの μ-PIC 10cmから30cmへ

MeV-γ線カメラで天体観測するには30cm角が必要不可欠である。有効面積を大きくすることにより、γ線などの検出効率が向上する。μ-TPCの感度は、10cmの場合の約80倍

左図: 30cm角のμ-TPC 右図: 二つの線源のイメージ

① μ-TPCを使って ~暗黒物質探索実験-NEWAGE~

New generation WIMP search with an Advanced Gaseous tracking dEvice

NASA/WMAP Science Team Dark Energy 73% Gold Dark Matter 23%

WMAPによる宇宙構成比

WMAPの観測結果などにより、我々の宇宙の約23%は暗黒物質(ダークマター, DM)で構成されていることがわかった。

我々は、この未だ正体不明のダークマターを、micro-TPCを使って直接検出することを目指している。

WIMP(DMの候補)は銀河内をランダムに運動していると考えられている。太陽と共に銀河を回っている地球には、WIMPが風のように前方から吹き付けてくる(WIMPの風)。WIMPは原子核を反跳すると考えられているので、μ-TPCでその反跳方向をとらえることによってWIMPの風を検出する。

上図: 地球に吹き付けるWIMPの風
右図: WIMPの風とそれを捕らえるμ-TPCのイメージ

現在神岡で地下実験中!

② 医療用コンプトンγ線カメラ開発

宇宙用開発したγ線検出カメラを医療に応用する研究も行っています。左図は開発している検出器です。下図は放射線種を用いた薬をネズミに投与して、甲状腺と癌を同時にイメージングした、世界でも最先端の結果です。

左図: 開発している検出器
下図: 放射線種を用いた薬をネズミに投与して、甲状腺と癌を同時にイメージングした結果

正金野-スベクトラム
I-131 (364-386keV) FDG (480-516keV)
364keV 511keV
甲状腺(赤丸) 癌(青丸)

③ μ-PICを使って ~X線構造解析

X線を物質に照射し、その回折線をμ-PICの高い位置分解能を利用して検出することにより、タンパク質などの物質の構造を解析する。

左図: 回折線のイメージ
右図: μ-PICで得られた高温超電導体(SrRuO4)の散乱の様子

質問等があればいつでも聞きに来て下さい

自分の手で作った検出器で、新しい世界を見つけよう!

2008年度 ロレンス表彰オランダポ 宇宙線研究室 γグループ MeV-γチーム