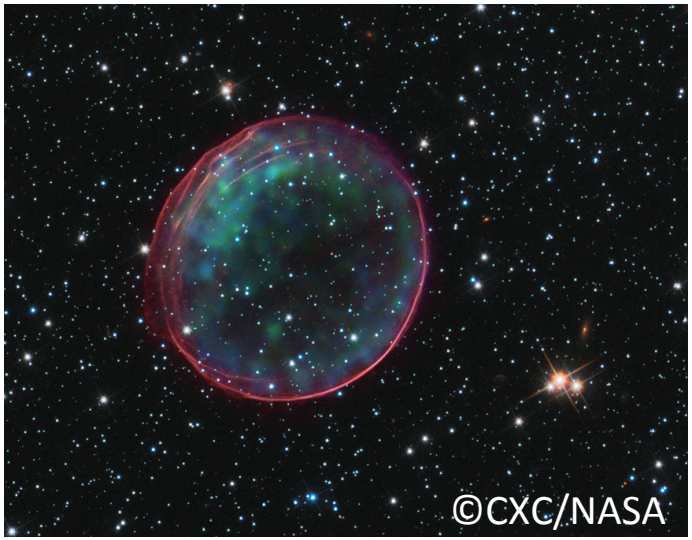
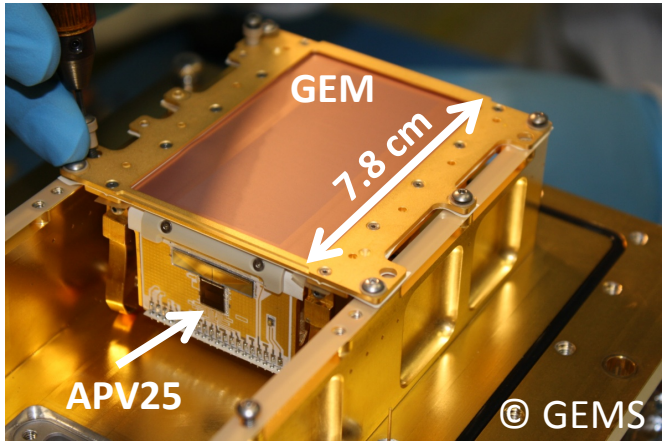
新しい天体観測手法としての X線偏光天体物理学の開拓

理化学研究所・仁科加速器研究センター
玉川高エネルギー宇宙物理研究室

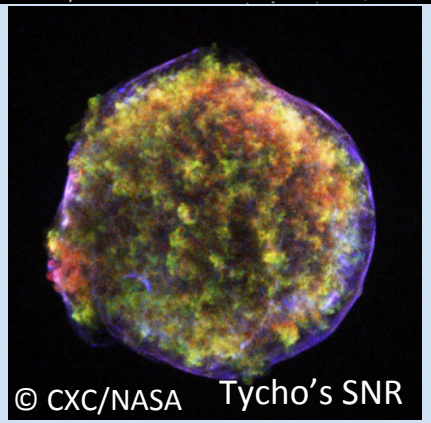
玉川 徹



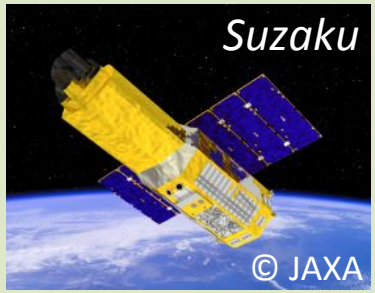


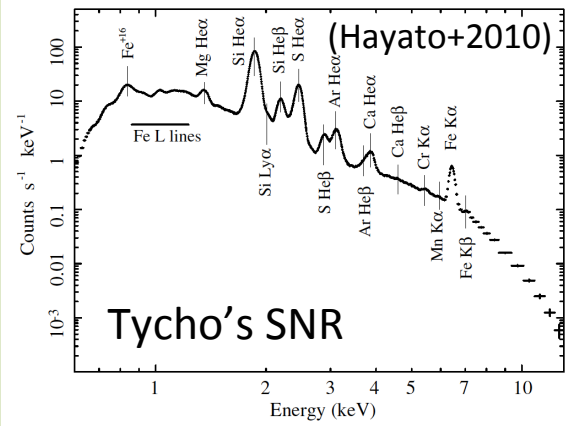
X線観測の新しい次元

撮像（空間）

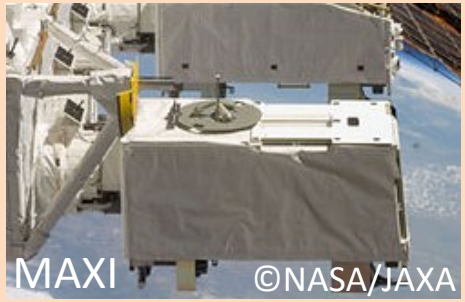


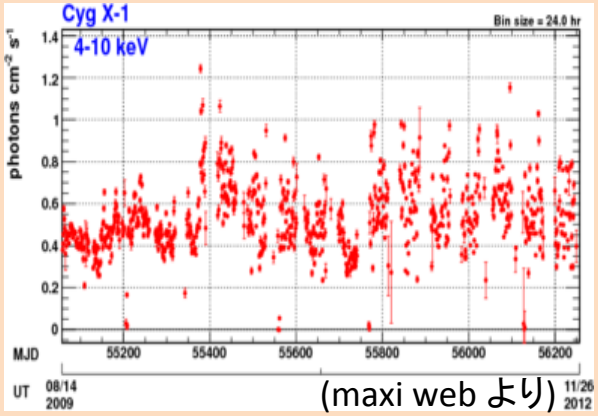
分光（エネルギー）





光度曲線（時間）





(maxi web より)

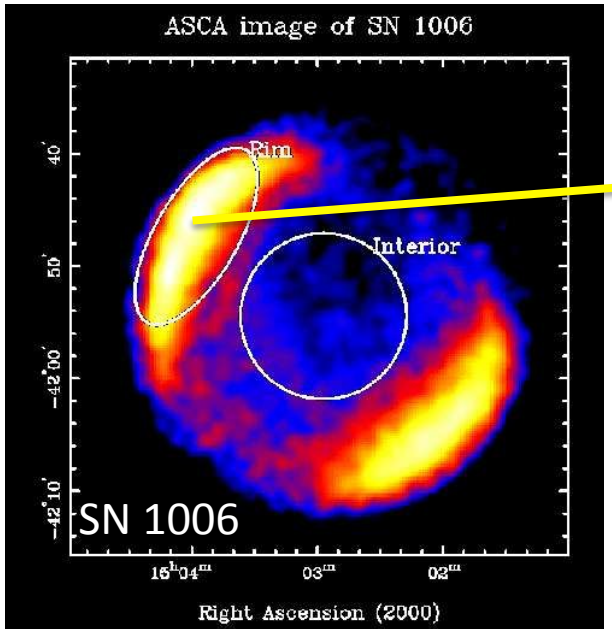
偏光

- 観測の「次元」が増える
- 見る世界が変わる
- 最後のフロンティア

- 観測が難しい
- もはや波ではない
- 光子一個一個の電気ベクトル測定が必要

宇宙線粒子加速機構

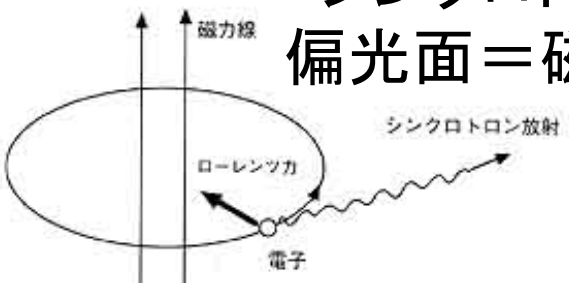
超新星残骸

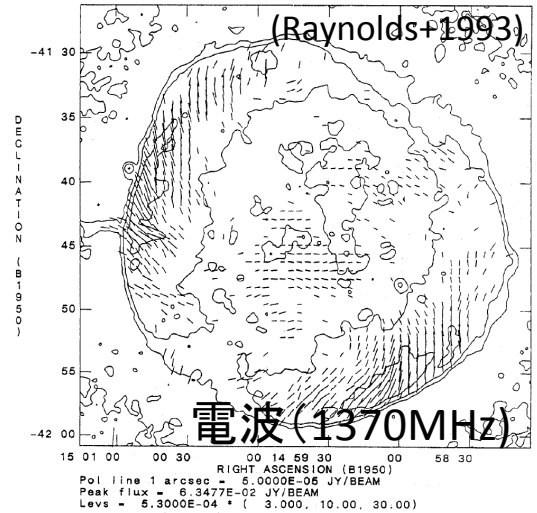


シンクロトロン放射の発見
（ASCA衛星、Koyama+1995）

細いフィラメント構造
（Bamba+2003）

シンクロトロン放射
偏光面＝磁場と垂直



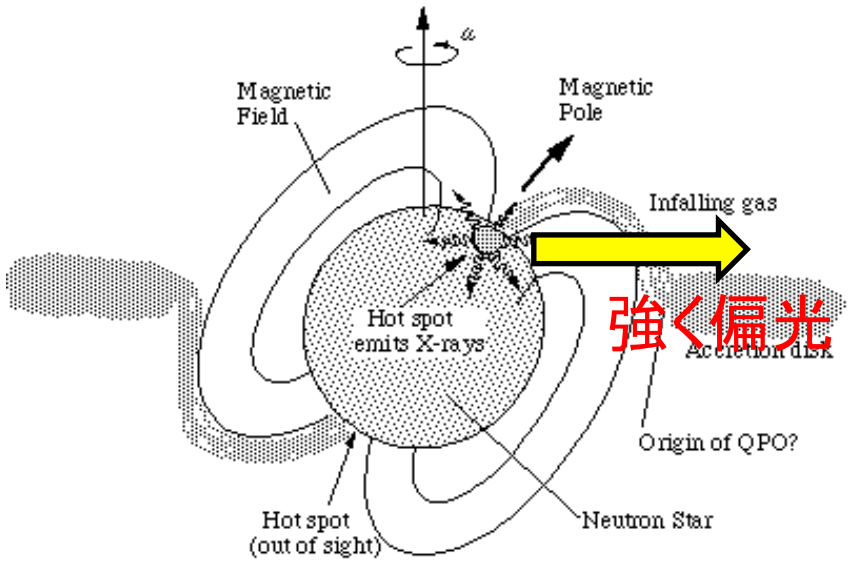


- E~10^{16} eV 粒子観測現場
- 「宇宙線」と「X線」をつなぐ天体
- CTAなどのTeV-γ観測と相補的

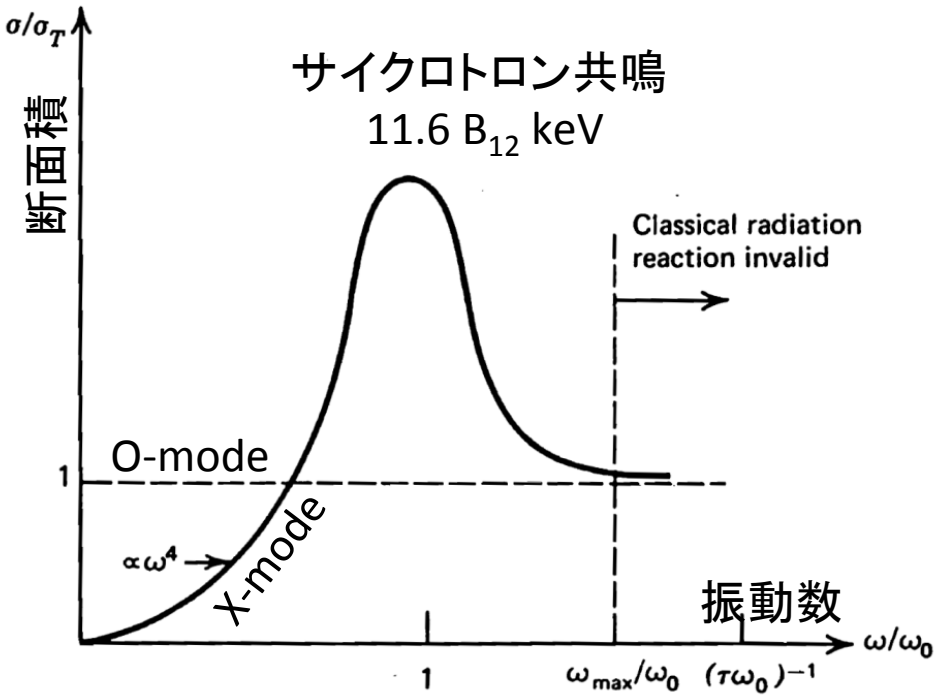
他の粒子加速源
✓ パルサー電場加速
✓ 宇宙ジェット（JEM-EUSOなど）

超強磁場の物理

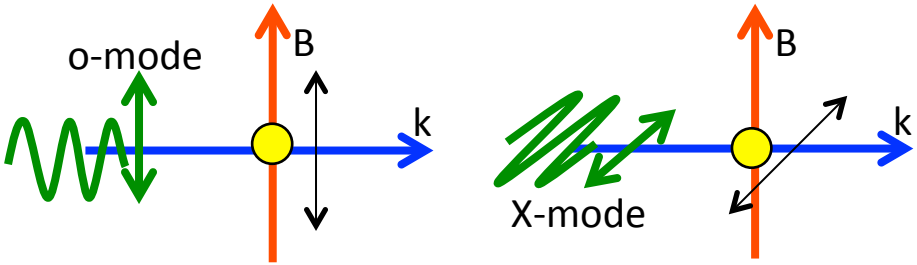
中性子星の強磁場（~10^{12} G）



トムソン散乱の断面積異方性



強い磁場中での光子輸送

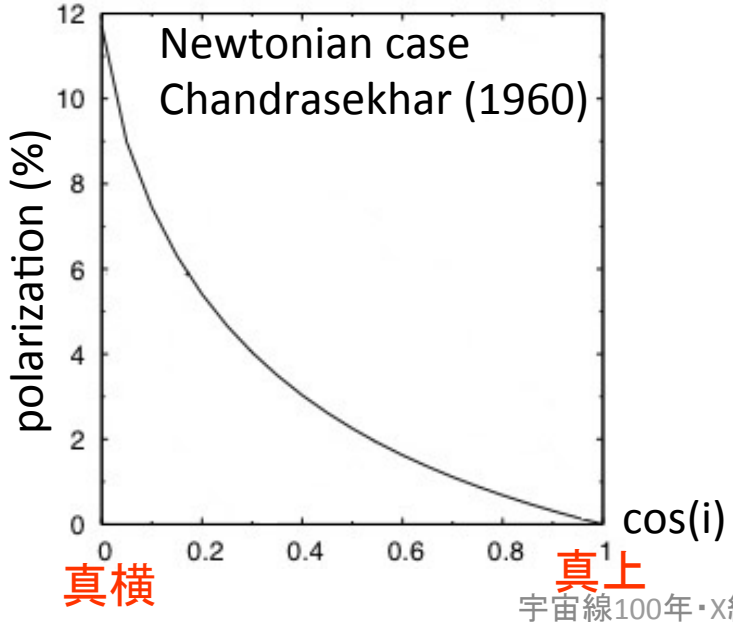


電子は自由に動ける　　動きが制限される

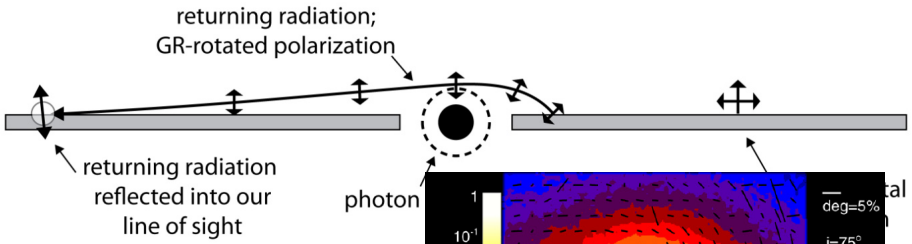
- 磁化プラズマは**天然の偏光板**
- Magnetar　B～10^{15} G
  - ✓ 真空偏極の効果（QED）
  - ✓ 複屈折

相対論効果の検証

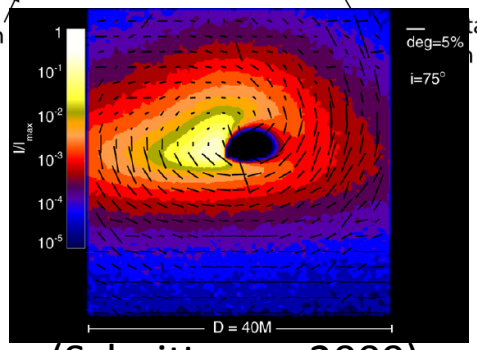
ブラックホール降着円盤



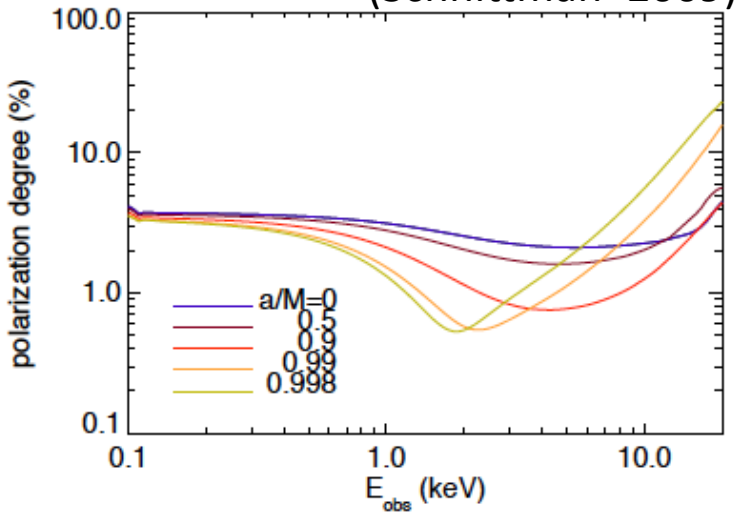
一般相対論効果の考慮



相対論効果で曲げられた光子が disk で散乱し偏光



(Schnittman+2009)



X線偏光観測の歴史

X-ray polarimetry of Crab Nebula

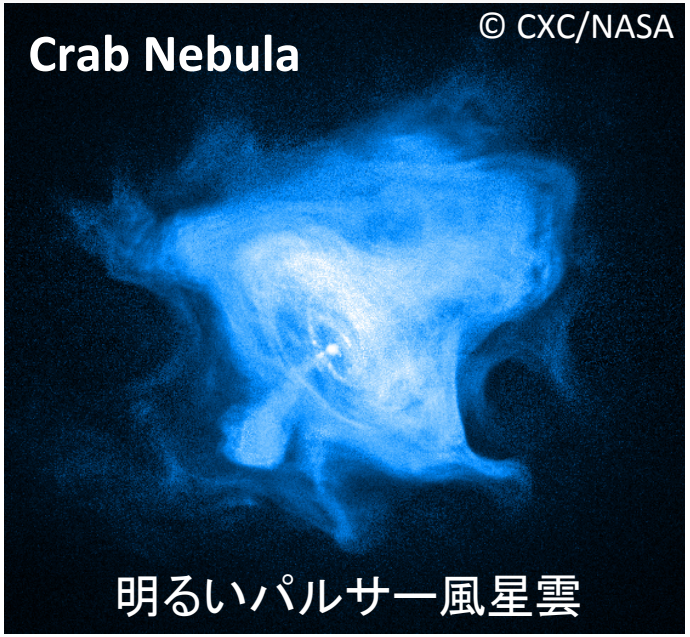
1. Sounding Rocket (Novick+1972) Bragg
2. OSO-8 (Weisskopf+1976, 78) Bragg

30年の停滞

3. PHENEX Baloon (Gunji+2007）Compton
4. INTEGRAL(Dean+2008) Compton
5. GAP (2011) Compton (GRB)
6. PoGO(2013) Compton

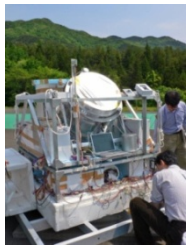
かに星雲やGRB以外の天体を見よう

Open a new field in Astrophysics

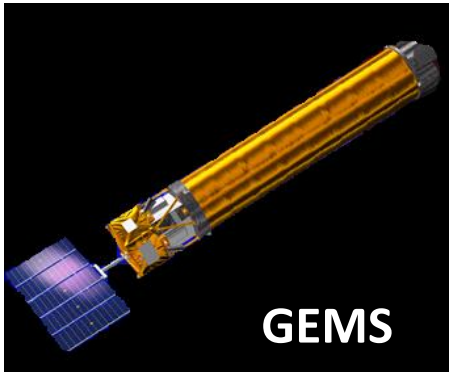


X線偏光＝天体物理研究の優れたツール

PHENEX

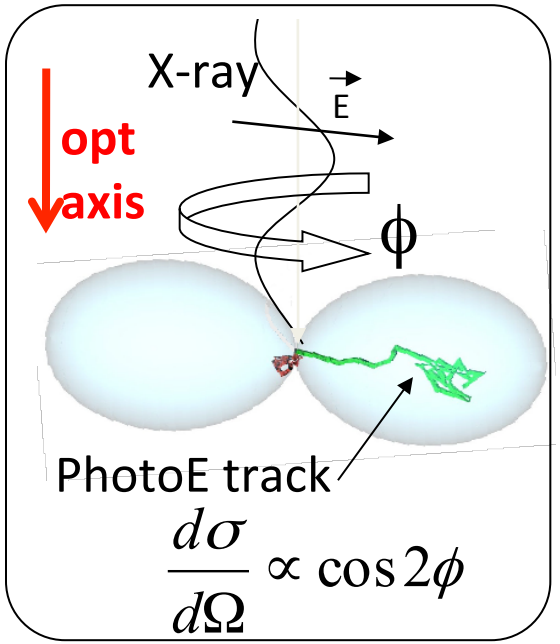


PoGO



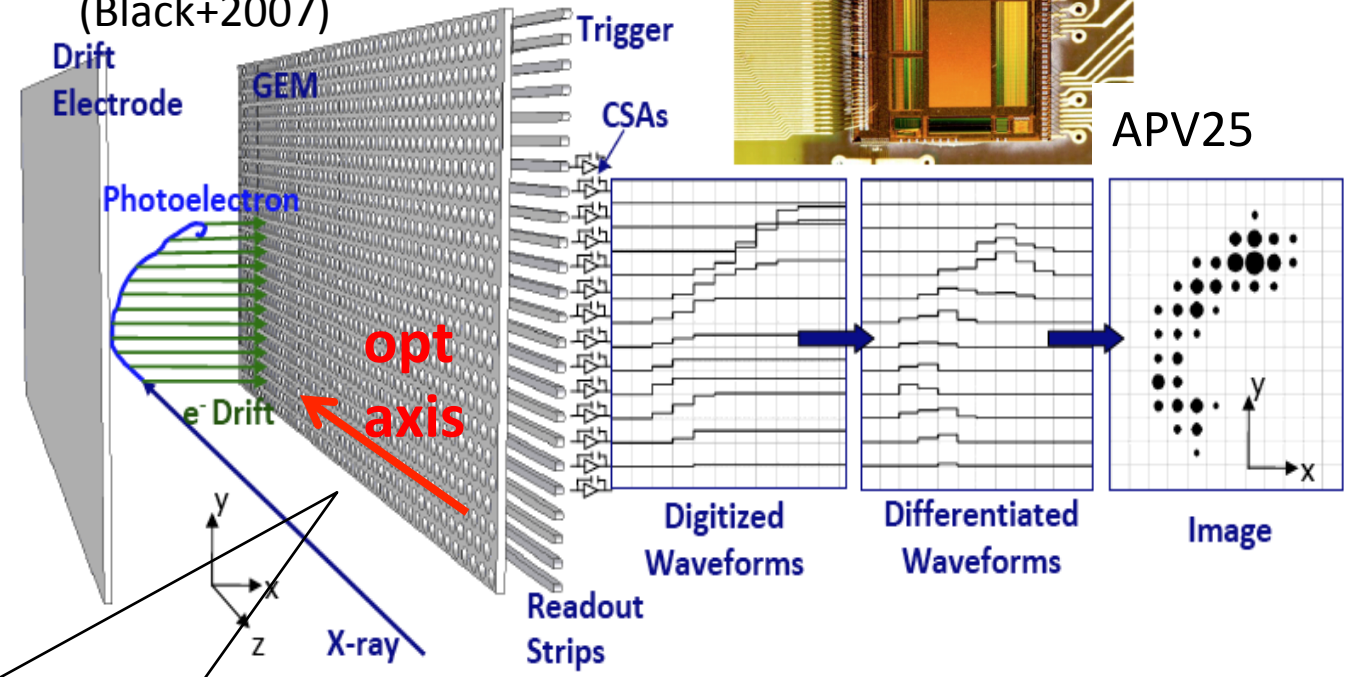
理研の技術とX線偏光計

光電効果と偏光

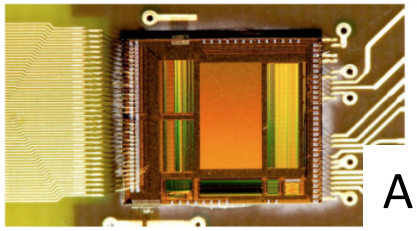


$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \cos 2\phi$$

Time projection chamber (TPC)
(Black+2007)

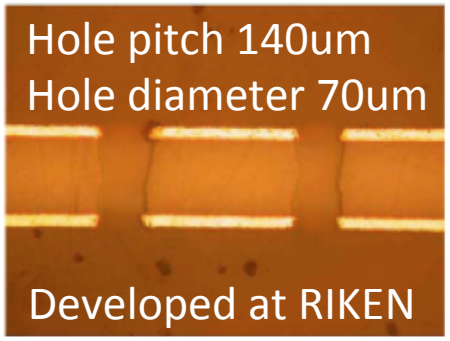


Readout ASIC



APV25

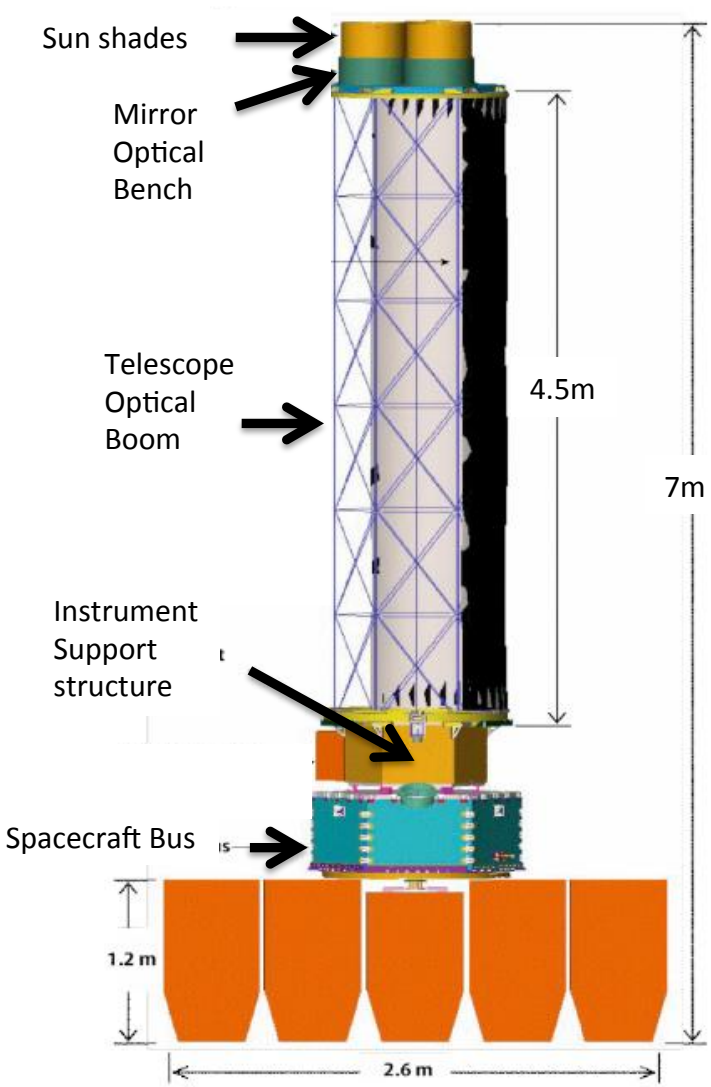
Gas Electron Multiplier (GEM)

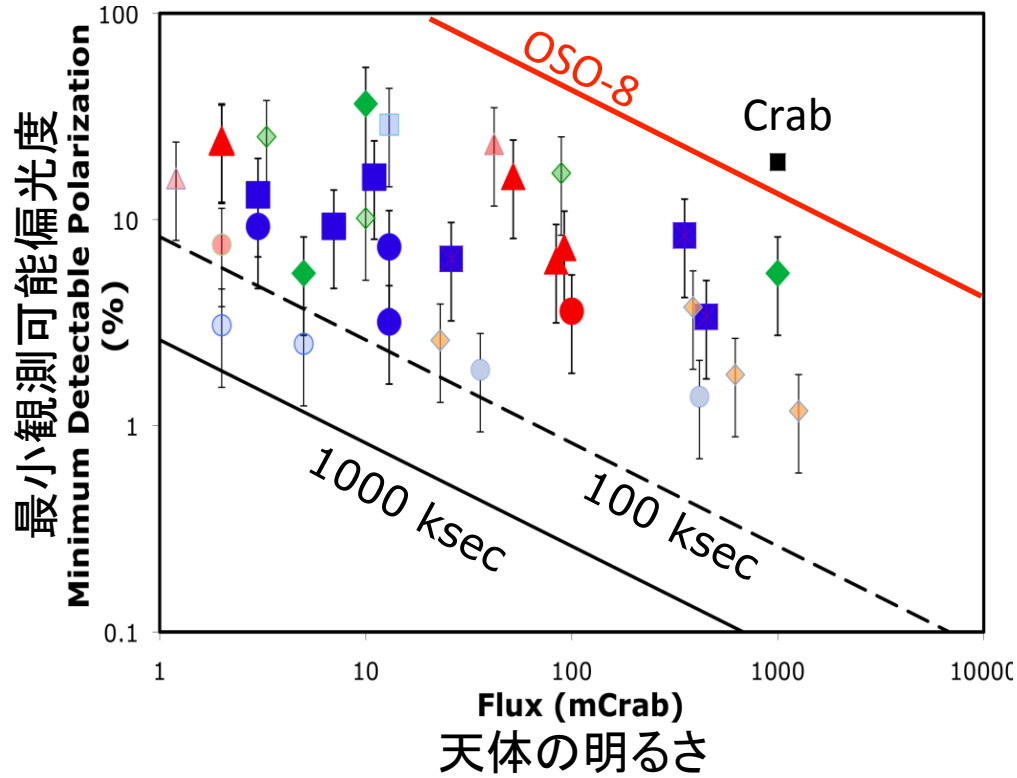


- 140um サイズの比例計数管100万個と等価
- 理研で開発・改良したデバイス（2003～） 学生ほか
- 素粒子・原子核実験用
- 偏光計への応用

X線偏光観測衛星GEMS

Gravity and Extremely Magnetism Small Explorer





- OSO-8（1970年代）の100倍の感度でX線偏光観測が可能
- 2008年採択、2012年中止
- 復活に向けて（2013年～）

四半世紀前の教科書の一節から

実験物理学講座 25

宇宙放射線

近角聡信
蓮沼宏
石黒浩三
熊谷寛夫
三宅静雄
企画編集

西村純
責任編集

共立出版（1986年6月）
【解説】宇宙放射線に関する最近の進歩，最新の実験技術を詳細かつ包括的に述べた初の本格的解説書。

で高いエネルギー分解能（$E/\Delta E=500\sim5000$）をもったブラッグ結晶スペクトロメーター（BCS），焦点面グレーティング（FPG），対物グレーティング（OGS）などが使われる．中程度の位置分解能とエネルギー分解能を兼ねそなえた位置感度型蛍光比例計数管（ISPC）も有望視されている．また結像鏡と組み合わせた効率のよいX線ポーラリメーターは，今後の開発課題の一つであろう．

文　献

1）核実験装置1，核物理学講座7（共立出版，1960）．

* 本項は牧島一夫が執筆．

理研で開発した技術が、本格的なX線偏光観測の扉を開け、宇宙線研究とX線研究がつながることは、非常に嬉しいことである。