

TES型X線マイクロカロリメータを用いた 電荷交換反応機構の解明

首都大宇宙物理実験研究室と原子物理実験研究室との共同研究

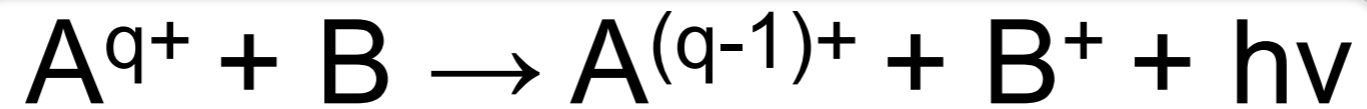
○ 榎崇利

赤松弘規, 辺見香理, 江副祐一郎, 石崎欣尚, 大橋隆哉, 神田拓真, 石田卓也,
田沼肇(首都大), 篠崎慶亮(ARD/JAXA), 満田和久(ISAS/JAXA)

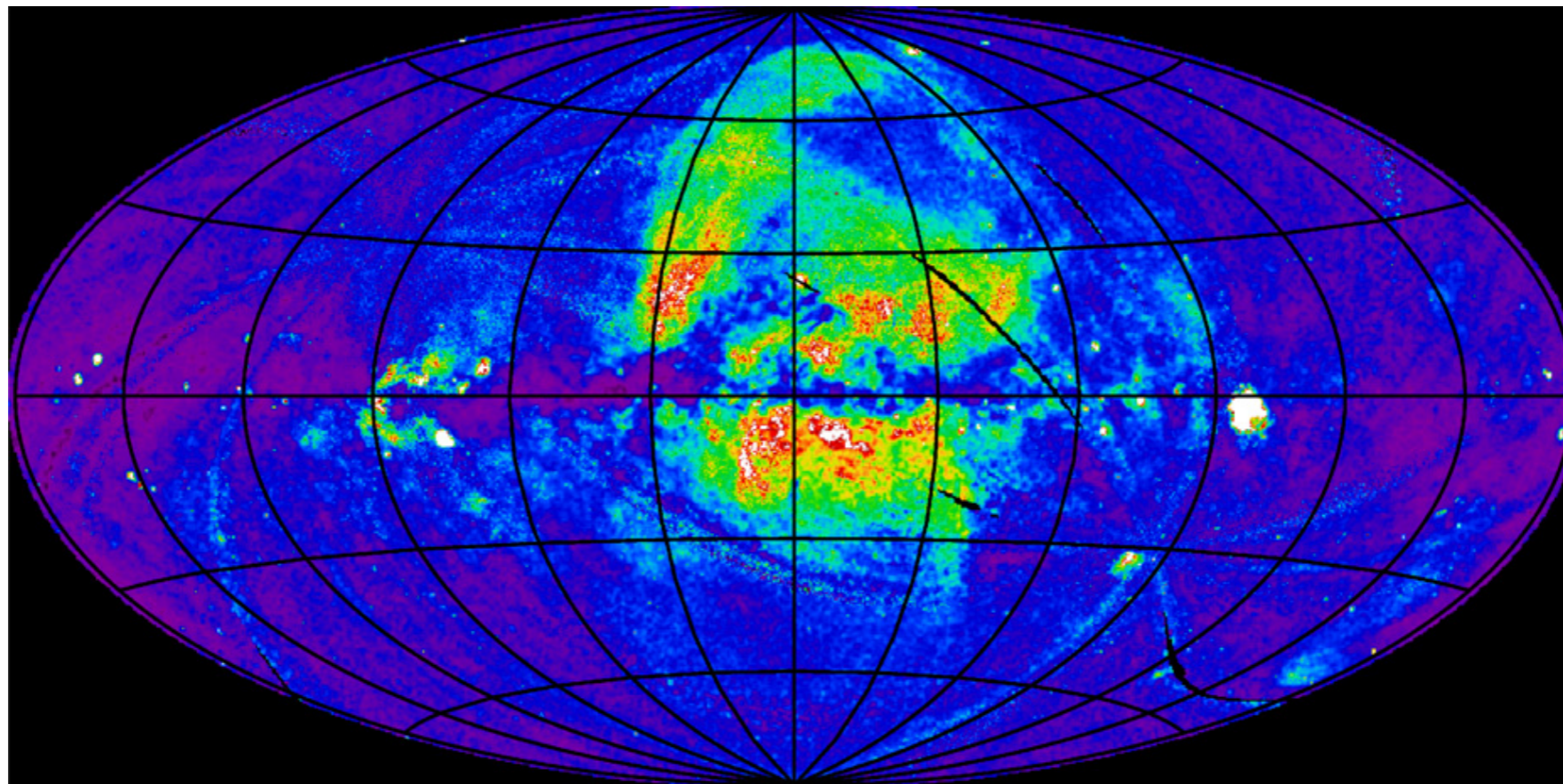
軟X線背景放射と電荷交換反応

時間変動する謎の軟X線背景放射の発見 (ROSAT衛星で発見)

⇒ 起源の一つに電荷交換反応からの輝線



太陽風に含まれるイオン (C^{q+} , N^{q+} , O^{q+} 等) による電荷交換反応

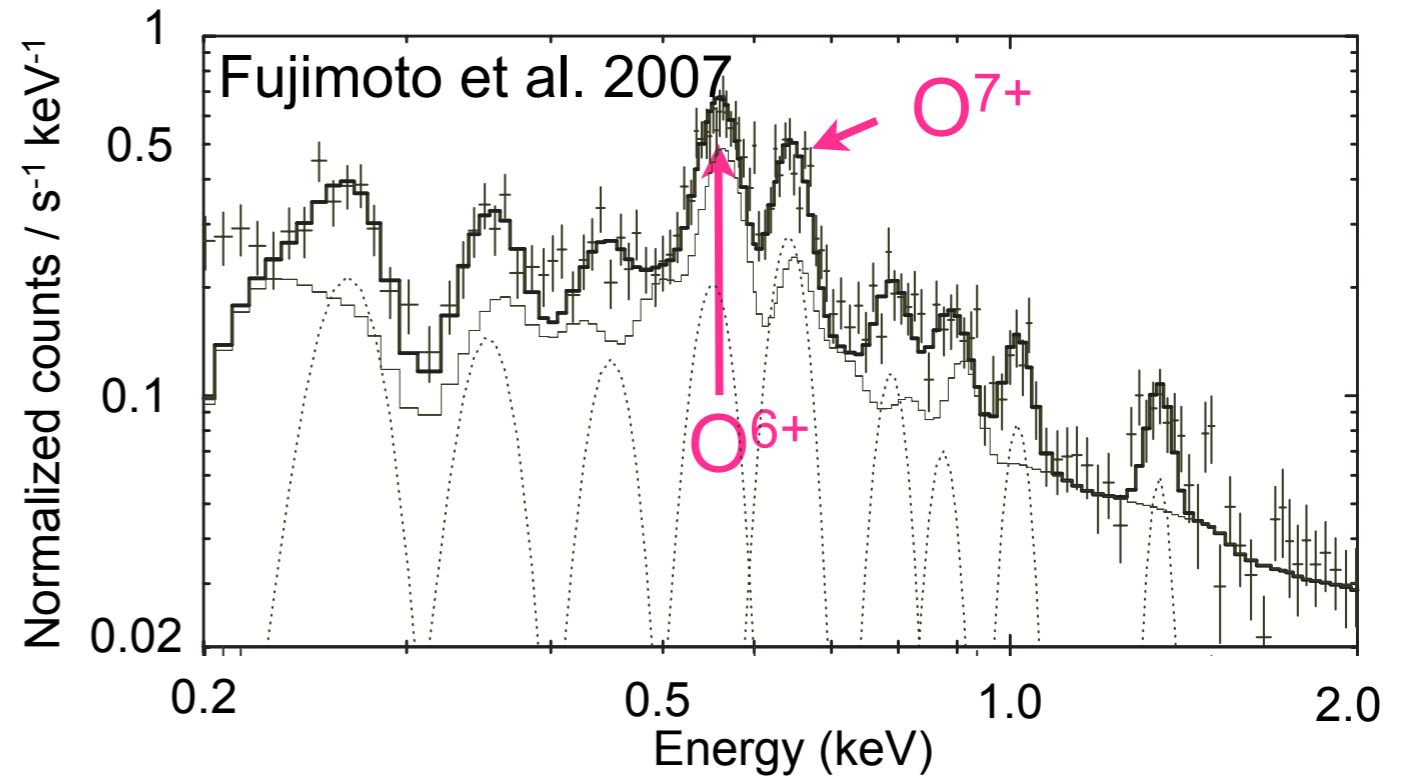
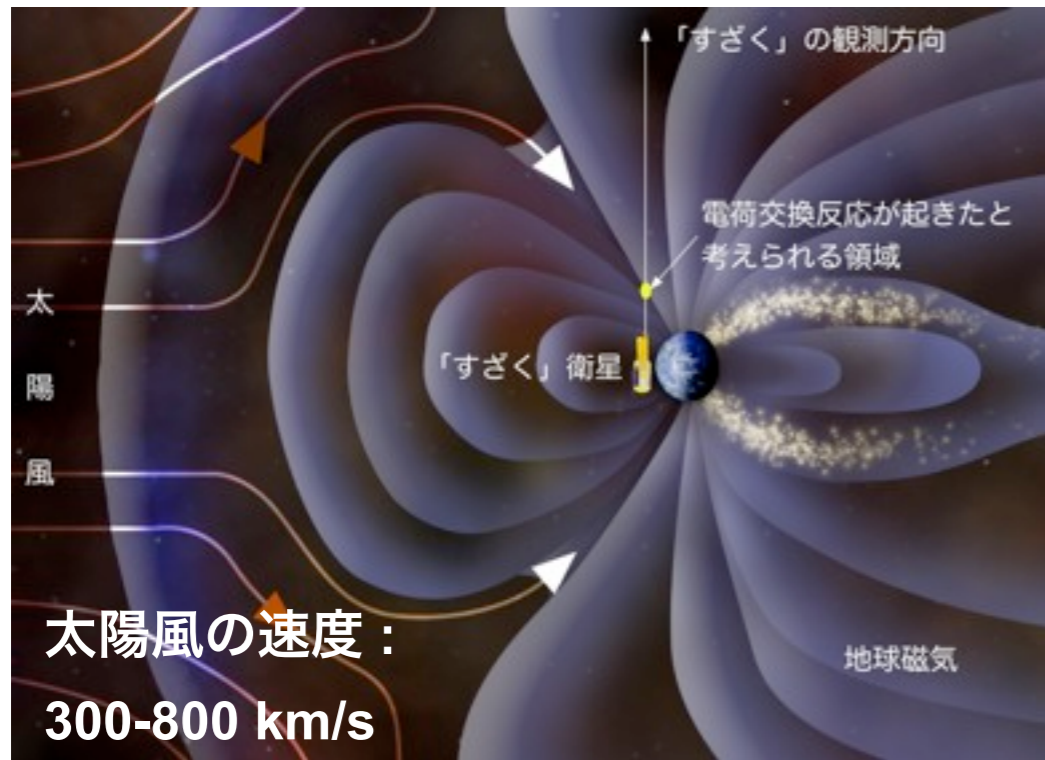


ROSAT衛星による 3/4 keVの軟X線背景放射の全天探査

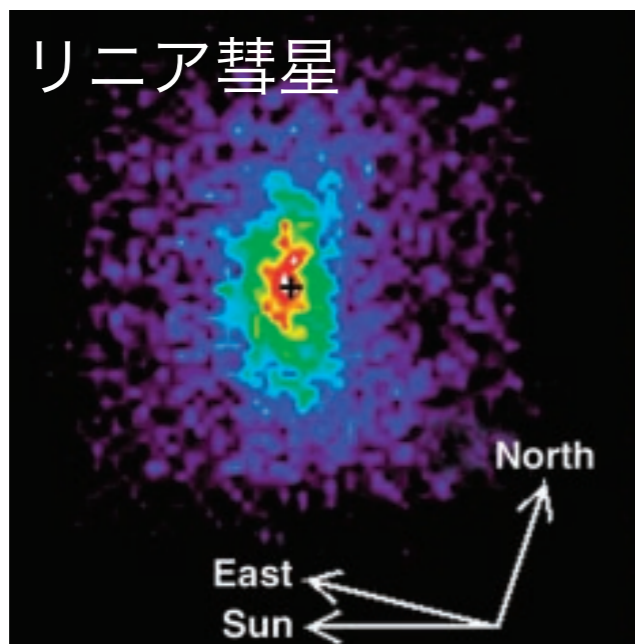
Snowden et al. 1997

電荷交換反応の観測の例

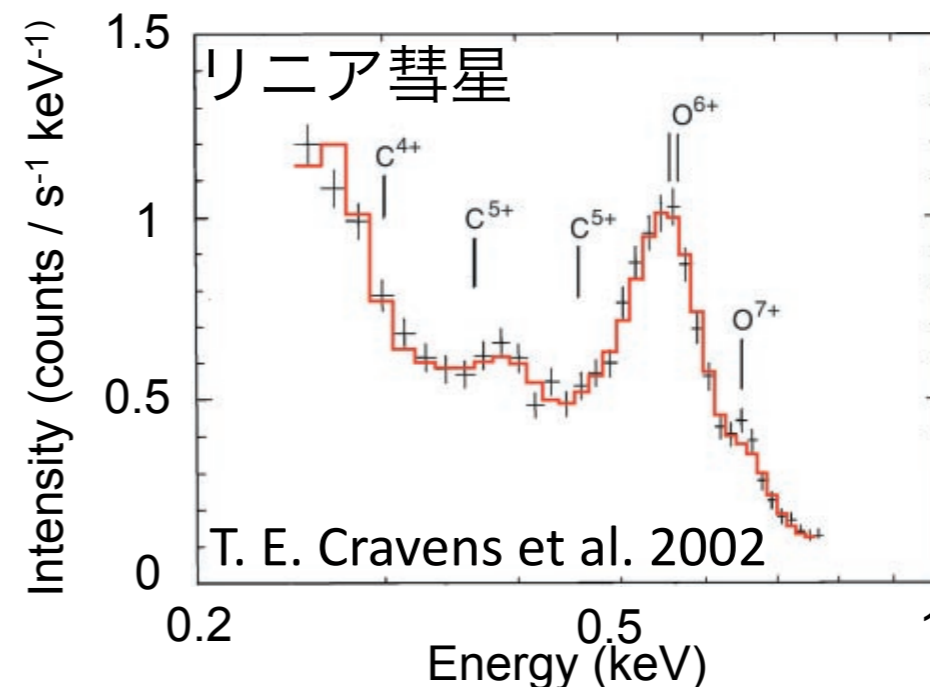
Suzaku 衛星で地球近傍の中性水素との電荷交換反応で説明されるX線放射を観測



Chandra 衛星で彗星周辺の水素との電荷交換反応で説明されるX線放射を観測



T. E. Cravens et al. 2002



地上実験の必要性

先行研究との比較

先行研究

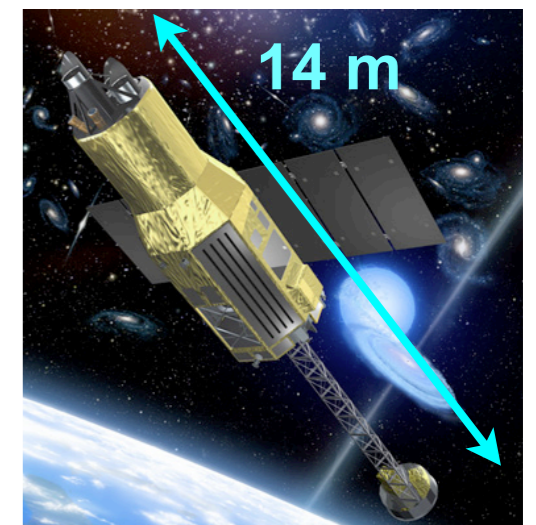
- ◆ LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory)
半導体マイクロカロリメータ + EBIT (Electron Beam Ion Trap)
 分光性能 (10 eV) イオン速度 (遅い)
- ◆ JPL (Jet Propulsion Laboratory)
Ge 検出器 + ECR (Electron Cyclotron Resonance) 型イオン源
 分光性能 (100 eV) 太陽風のイオン速度
- ◆ 我々のグループ
TESマイクロカロリメータ + ECR型イオン源
 分光性能 (10 eV) 太陽風のイオン速度

ASTRO-Hによる観測データとの比較

ASTRO-HのX線マイクロカロリメータによる分光観測

⇄ スペクトルデータの比較

地上でのTESマイクロカロリメータによる分光観測



地上実験の概要

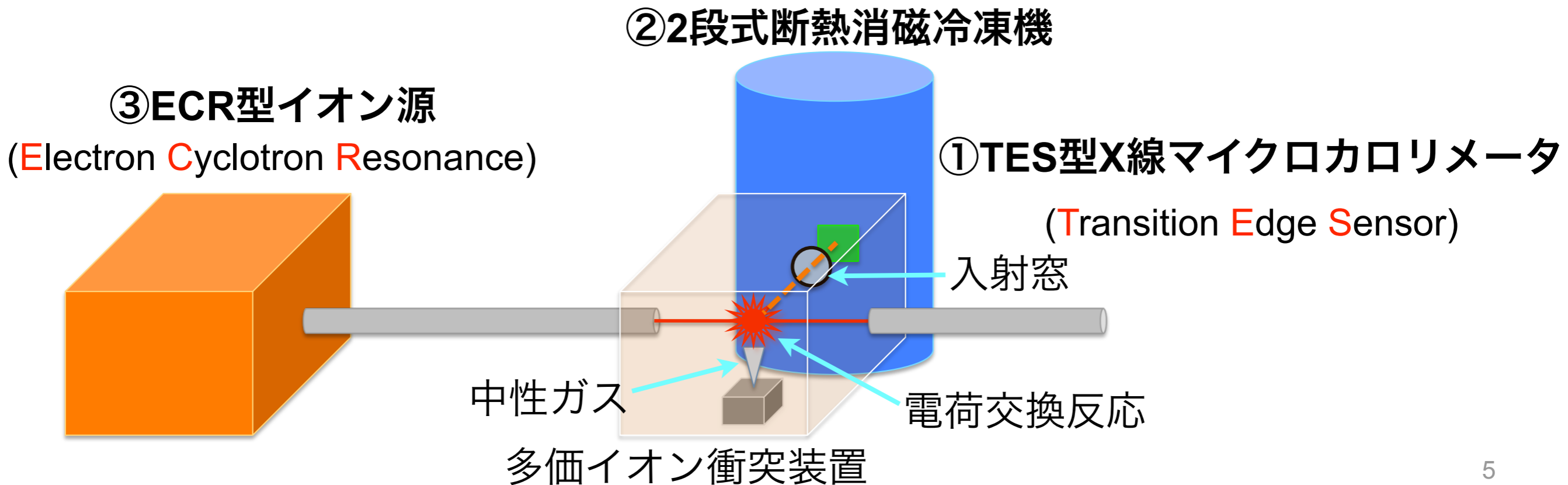
——地上実験の目的——

高分光性能を誇るTESカロリメータを用いて
最も頻繁に起きている $O^{7+} - H$ による電荷交換反応に迫る

輝線の分布
反応断面積の解析



電荷交換反応の
物理的理解



地上実験の概要

地上実験の目的

高分光性能を誇るTESカロリメータを用いて
最も頻繁に起きている $O^{7+} - H$ による電荷交換反応に迫る

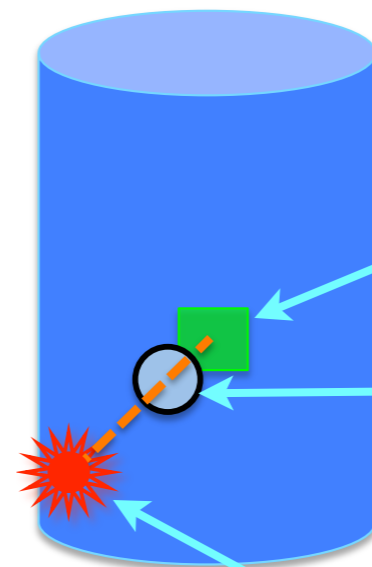
輝線の分布
反応断面積の解析



電荷交換反応の
物理的理解

首都大宇宙物理実験研究室

②2段式断熱消磁冷凍機



①TES型X線マイクロカロリメータ
(Transition Edge Sensor)

入射窓

電荷交換反応

地上実験の概要

— 地上実験の目的 —

高分光性能を誇るTESカロリメータを用いて
最も頻繁に起きている $O^{7+} - H$ による電荷交換反応に迫る

輝線の分布
反応断面積の解析

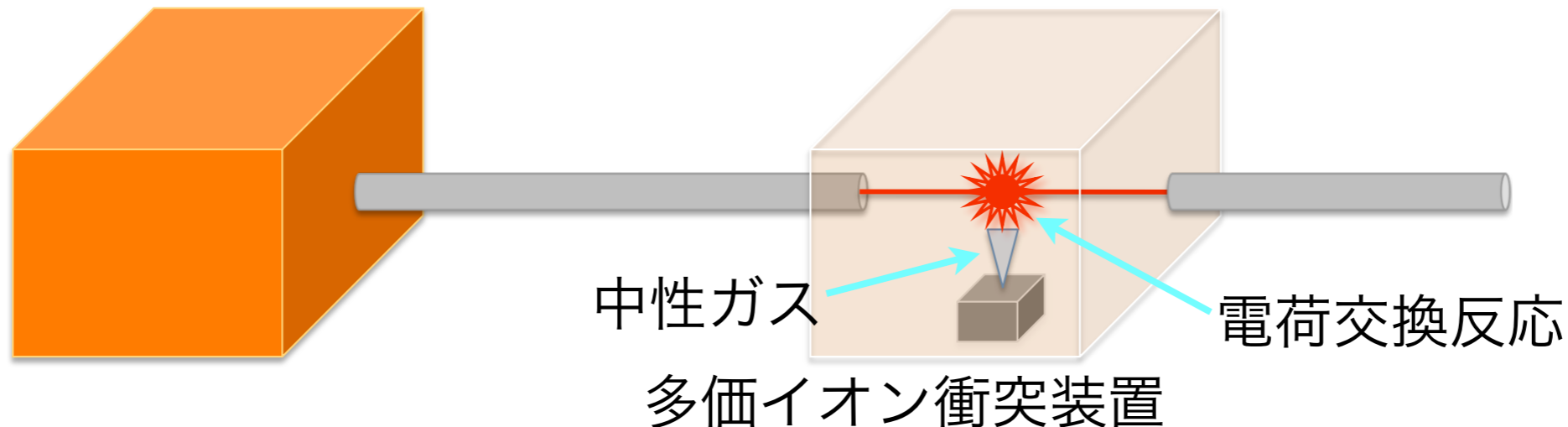


電荷交換反応の
物理的理解

— 首都大原子物理実験研究室 —

③ ECR型イオン源

(Electron Cyclotron Resonance)



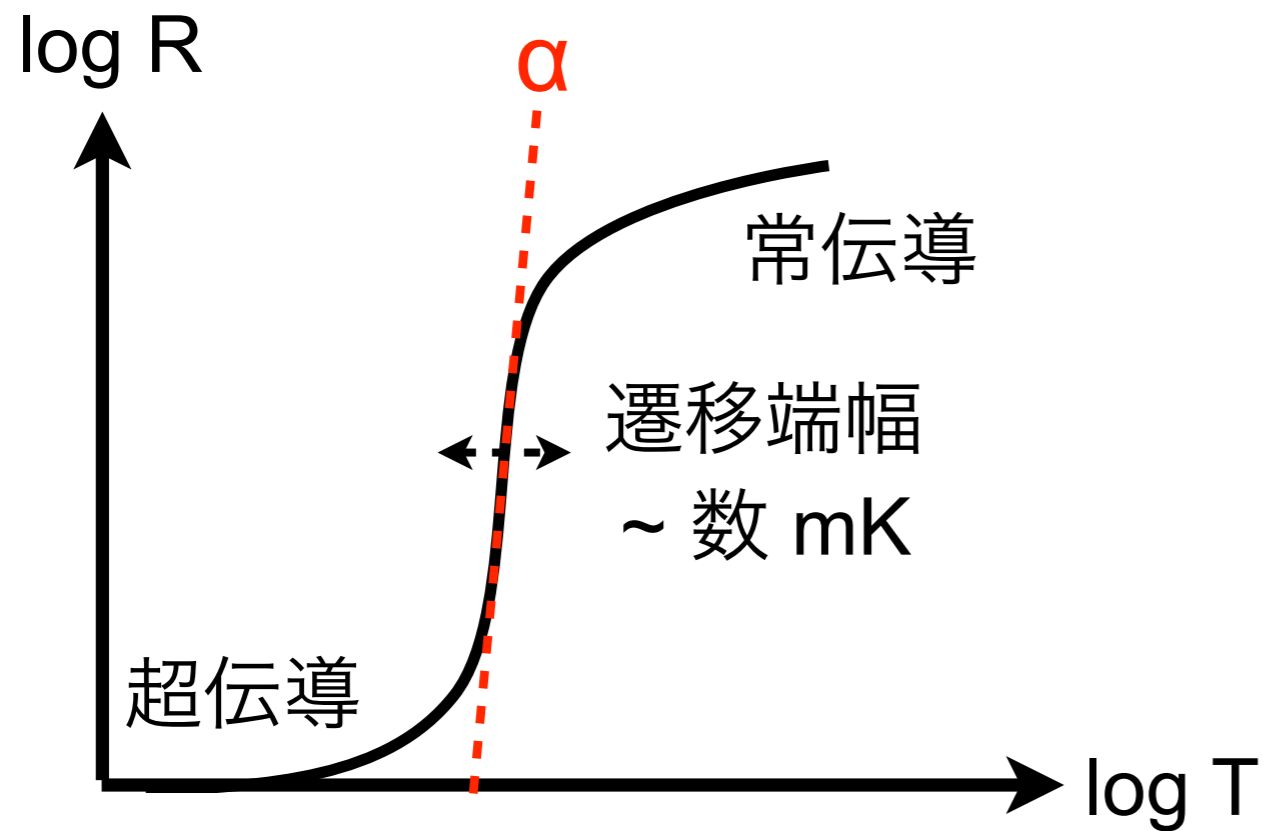
① TES型X線マイクロカロリメータ

Transition Edge Sensor

TES : 超伝導遷移端の急激な抵抗変化を利用した温度計

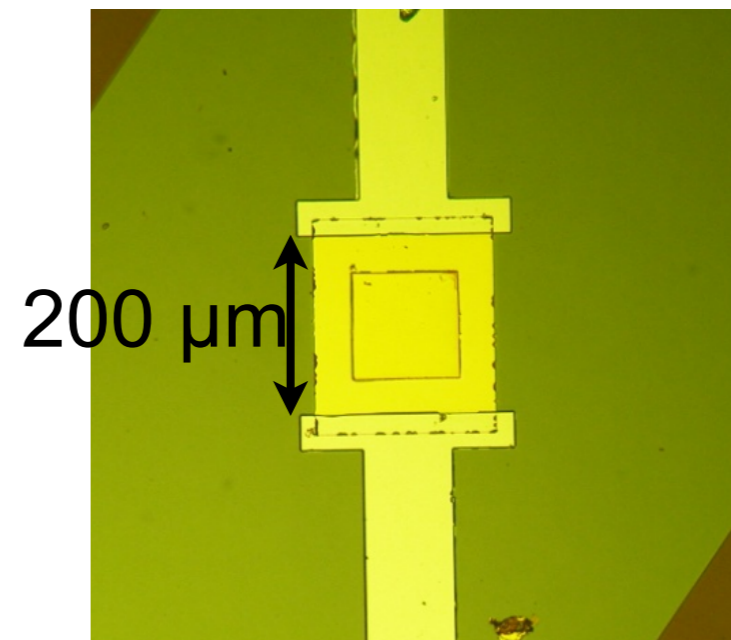
世界記録はNASA/GSFCの $\Delta E = 1.8 \text{ eV @ } 5.9 \text{ keV}$ (Bandler et al. 2008)

我々のグループ自作の素子で $\Delta E = 2.8 \text{ eV @ } 5.9 \text{ keV}$ (赤松2010春年会)



温度感度

$$\alpha = \frac{\partial \log R}{\partial \log T}$$



TES素子($200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$)

② 2 段式断熱消磁冷凍機 (dADR)

double **A**diabatic **D**emagnetize **R**efrigerator

断熱消磁冷凍機：磁性体のエントロピーを利用した冷凍機

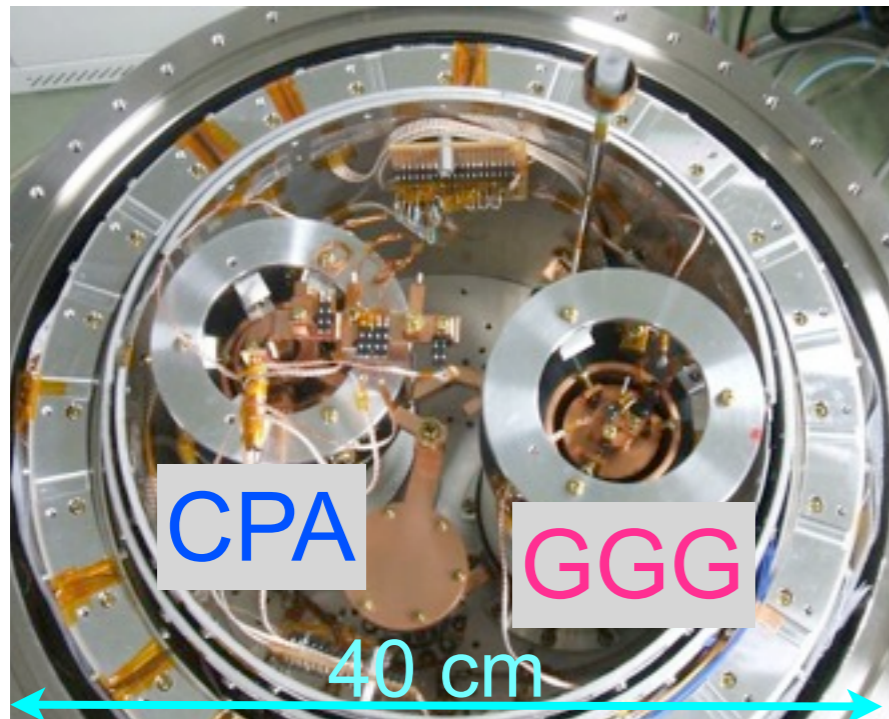
W27b

冷却原理は谷津講演参照

- 開発目的
- ◆ASTRO-HのBBMとして開発
 - ◆冷凍機の性能評価

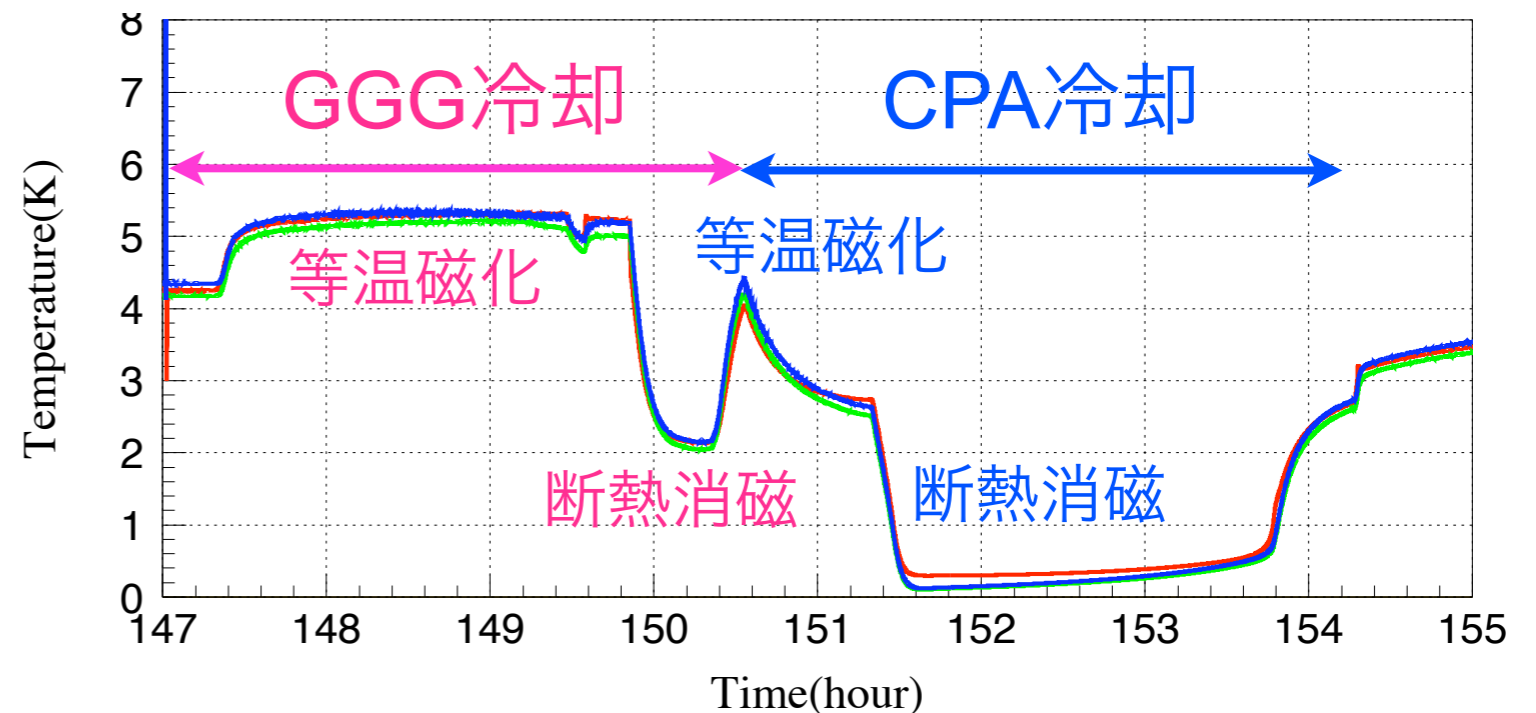
2 段での冷却に成功し、100 mKで約2時間の保持時間

現在、TESカロリメータを導入し、性能評価実験中



GGG : ガリウム ガドリニウム ガーネット

CPA : クロム カリウム ミョウバン



断熱消磁冷却時の温度分布

③ ECR型イオン源と多価イオン衝突装置

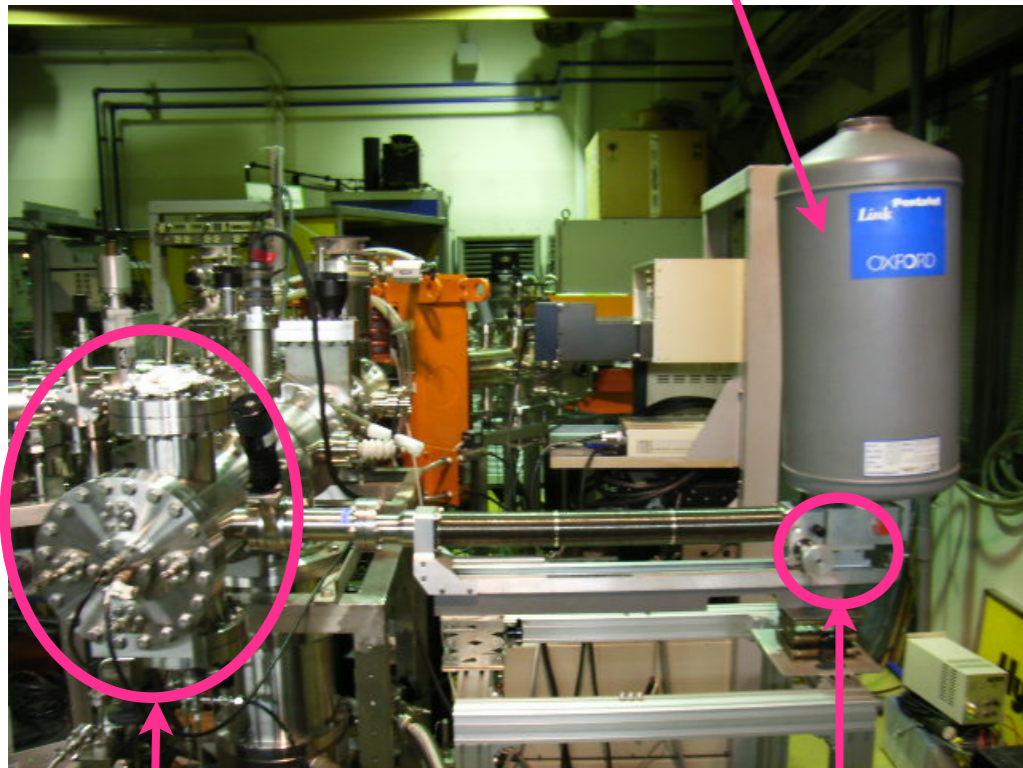
Electron Cyclotron Resonance

ECR 型イオン源：

磁場中でサイクロトロン運動する電子をマイクロ波により加速し
対象の原子、分子を逐次電離度を上げ、イオンを生成

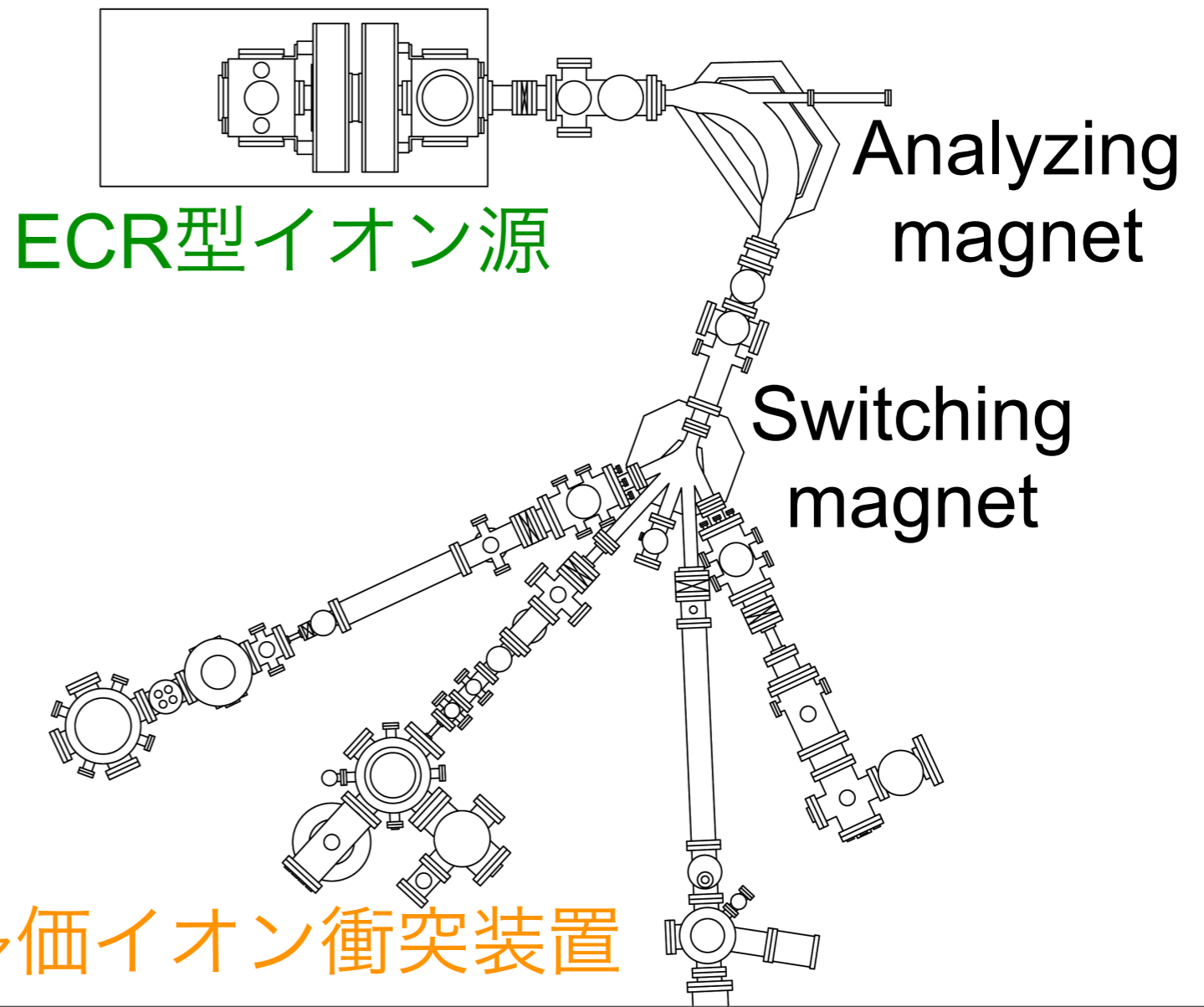
原子物理実験研究室保有

液体窒素タンク



多価イオン衝突装置

Si(Li)検出器



ECR型イオン源

Analyzing magnet

Switching magnet

多価イオン衝突装置

Si(Li)検出器による予備実験

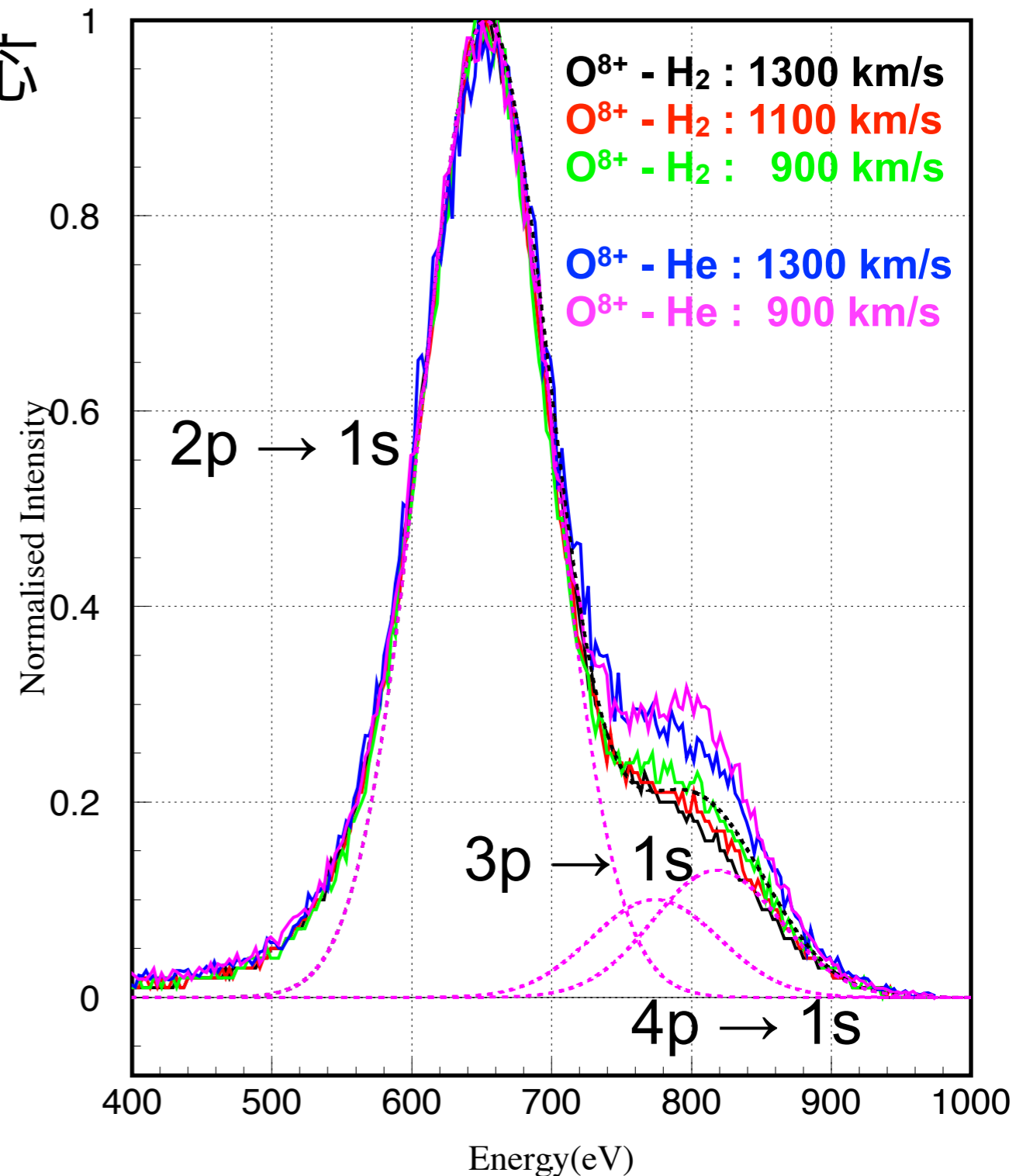
目標：O⁷⁺ - Hによる電荷交換反応

- ☑ O⁷⁺ の生成 (O⁸⁺ も生成可)
- ☐ H の生成

Si(Li)検出器 で分光観測

$\Delta E = 120\text{eV} @ 1.5\text{ keV}$

2pからの発光が強い



Si(Li)検出器による予備実験

目標：O⁷⁺ - Hによる電荷交換反応

- ☑ O⁷⁺ の生成 (O⁸⁺ も生成可)
- ☐ H の生成

Si(Li)検出器 で分光観測

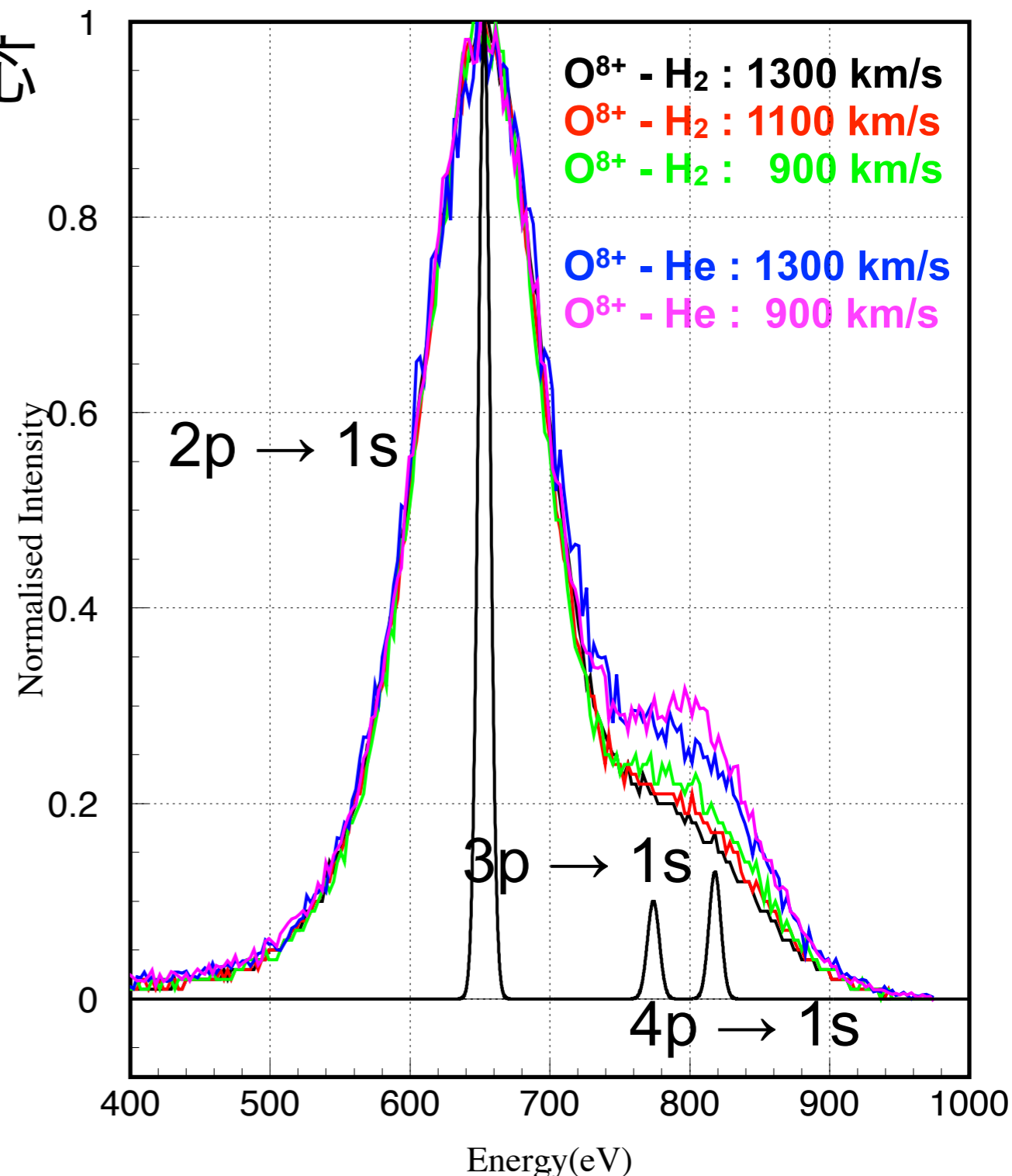
$\Delta E = 120\text{eV} @ 1.5\text{ keV}$

2pからの発光が強い

TESカロリメータで分光観測

$\Delta E = 10\text{eV}$ を仮定

3p, 4pからの輝線を分離できる



まとめ

◆地上実験の目的

太陽風による電荷交換反応の物理的理解

(輝線分布、反応断面積、イオン速度等)

◆首都大宇宙物理実験研究室

TESカロリメータをdADRに導入し、性能評価実験中

◆首都大原子物理実験研究室

Si(Li)検出器で $O^{8+} - H_2$ 、 $O^{8+} - He$ の輝線を確認

2011年2月頃を目処に、TESカロリメータによる分光観測