

X線フレアに伴う 円盤表面衝撃波の観測可能性

三浦 均（筑波大）

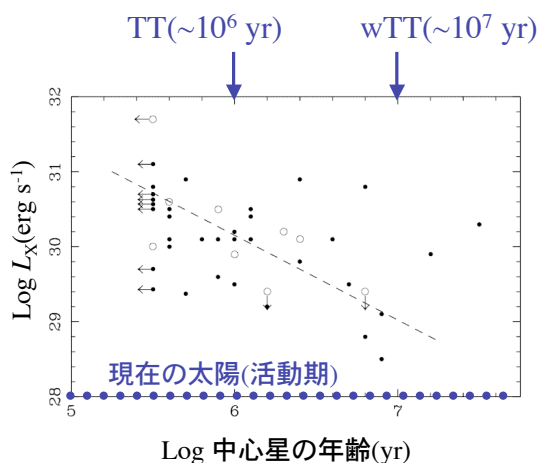
- X線フレアに伴う衝撃波
- 新しい原子輝線放射機構
- プロブとなる輝線

第2回星・惑星系研究会、筑波大学、2005年3月5日

1/20

前主系列星のX線観測

前主系列星 ($M \sim 0.7-1.4 M_{\text{sun}}$) in ONC
(Feigelson *et al.* 2002, *ApJ* 572, 335)



- $L_X \sim$ 太陽の100-1000倍
- 発生頻度 ~ 1 回 / 1.4 days

X線フレア

FIG. 2a

2/20

X線フレアの理論研究

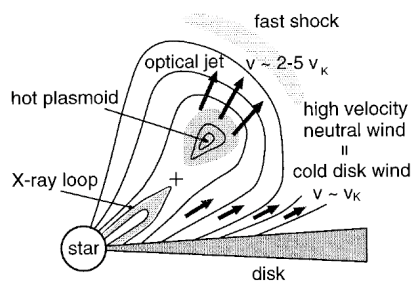
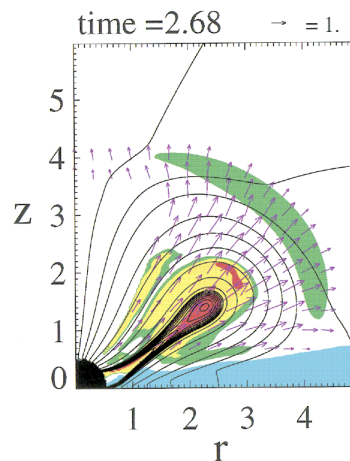


FIG. 4.—A schematic picture of numerical results. Hot plasma jet ejected from the flaring region corresponds to the optical jet. Cold, dense wind emanating from the disk may explain high-velocity neutral winds.

(Hayashi *et al.* 1996, *ApJ* 468, L37)

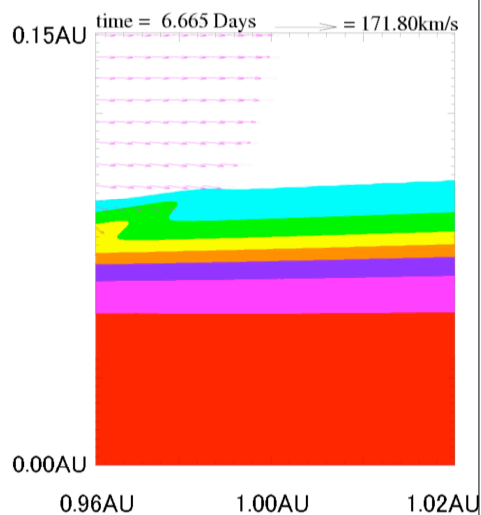
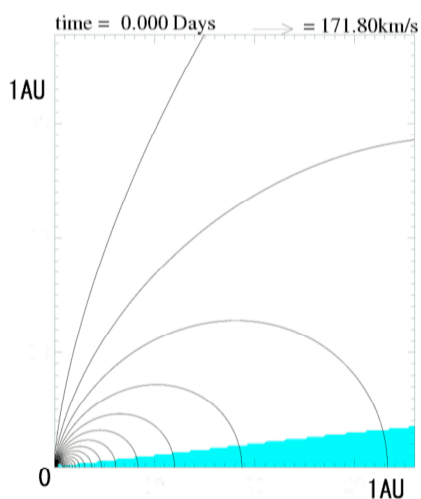
Hot plasmoidの速度
~ 数100 km s⁻¹



2次元軸対称MHDシミュレーション

3/20

X線フレアが衝撃波を引き起こす

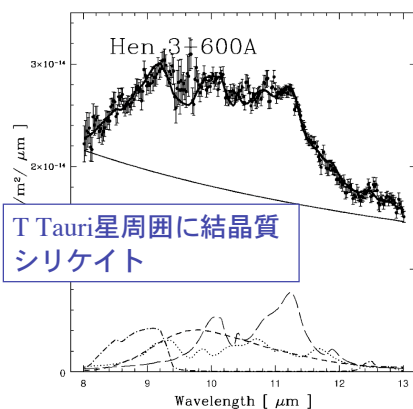


4/20

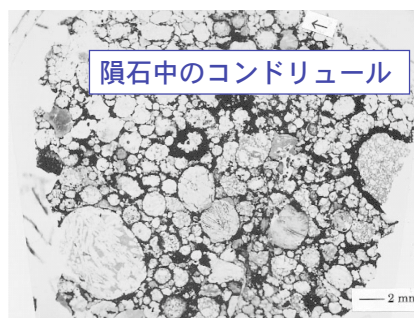
衝撃波の意義

- 中心星の活動性と星周円盤のコネクション
- ダスト加熱機構（結晶化、コンドリュール）

Honda et al. (2003)

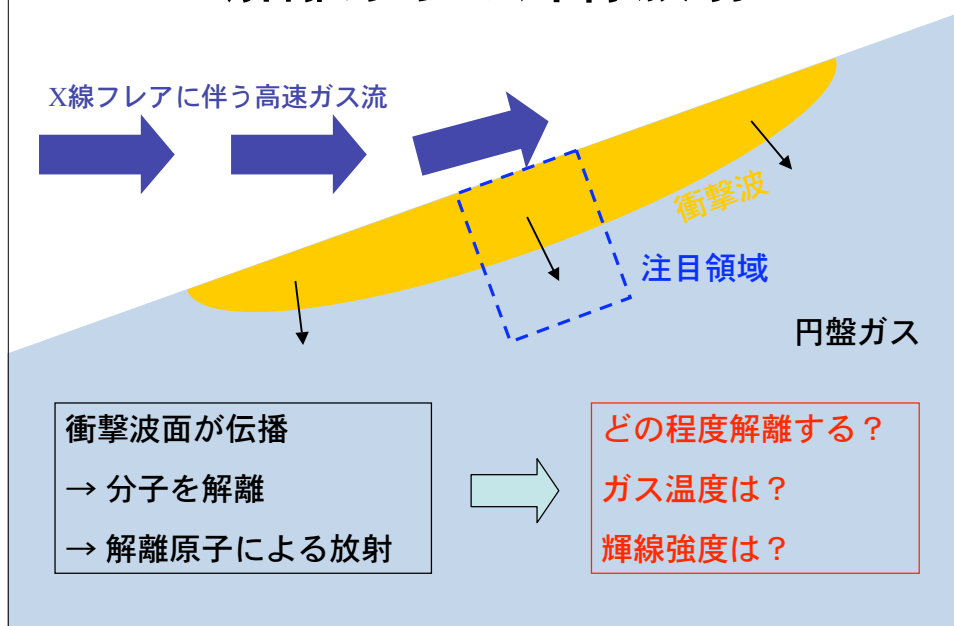


Connolly & Love (1998)



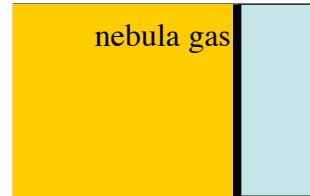
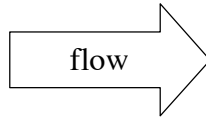
5/20

解離原子の輝線放射



計算モデル

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho_g v_g) = \text{const.}$$



$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho_g v_g^2 + p) = \text{const.}$$

1次元定常流

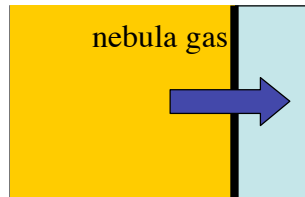
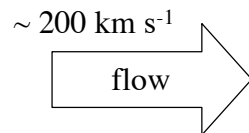
$$\frac{\partial}{\partial x}\{(\rho_g v_g^2/2 + e + p)v_g\} = -\Lambda$$

$$\frac{dy_i}{dt} = n \sum_{j=1}^{28} \sum_{k=1}^{28} k_{jk} y_j y_k + n^2 \sum_{l=1}^{28} \sum_{m=1}^{28} \sum_{n=1}^{28} k_{lmn} y_l y_m y_n$$

化学反応ネットワーク : H, He, C, O

7/20

計算条件



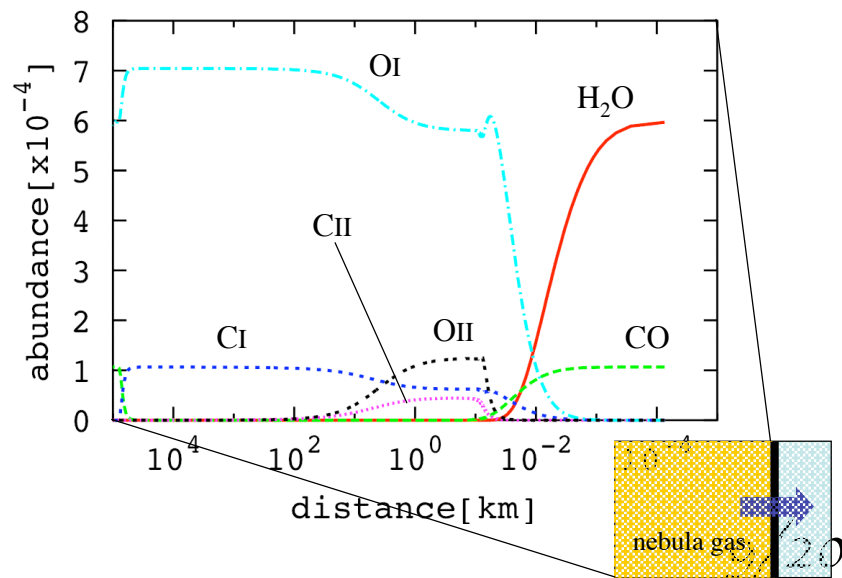
衝撃波の伝播速度 $\sim 55 \text{ km s}^{-1}$ }
 円盤ガス数密度 $\sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ } ← 中本らの結果

化学組成・・・円盤ガスは全て分子(H_2 , CO, H_2O)

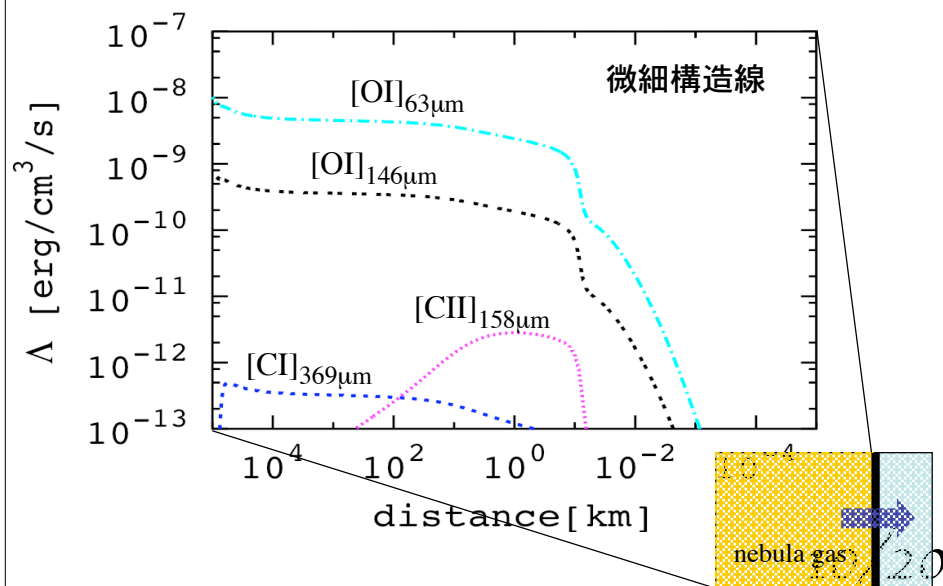
(Finocchi *et al.* 1997)

8/20

分子の解離



放射率 $\Lambda = n_2 A_{21} E_{21}$



輝線強度の計算

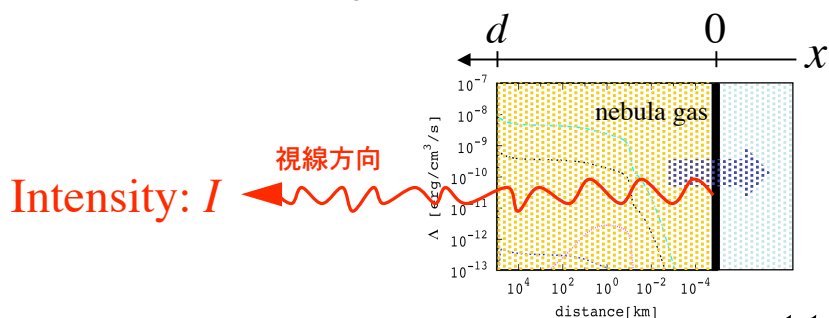
源泉関数: $j = \frac{\Lambda}{4\pi}$

輝線強度: $I = \int_0^d j dx$

[OI]_{63μm}の場合

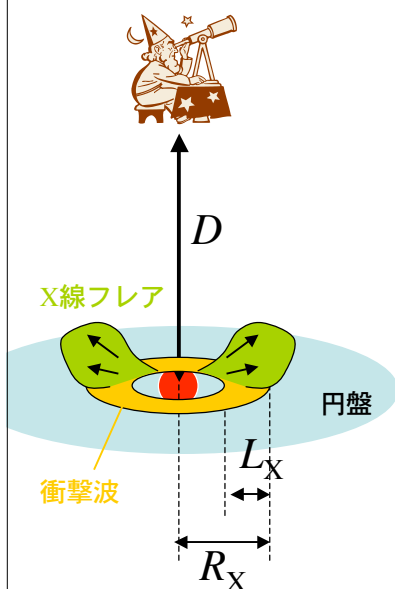
$$\tau = \frac{h\nu}{4\pi} n_1 B_{12} \phi(\nu) d \sim 1$$

→吸収は無視



11/20

フラックスの計算



- 円盤は観測者に対してFace-on
- 軸対称なX線フレア
- フレア通過中はガスが光る



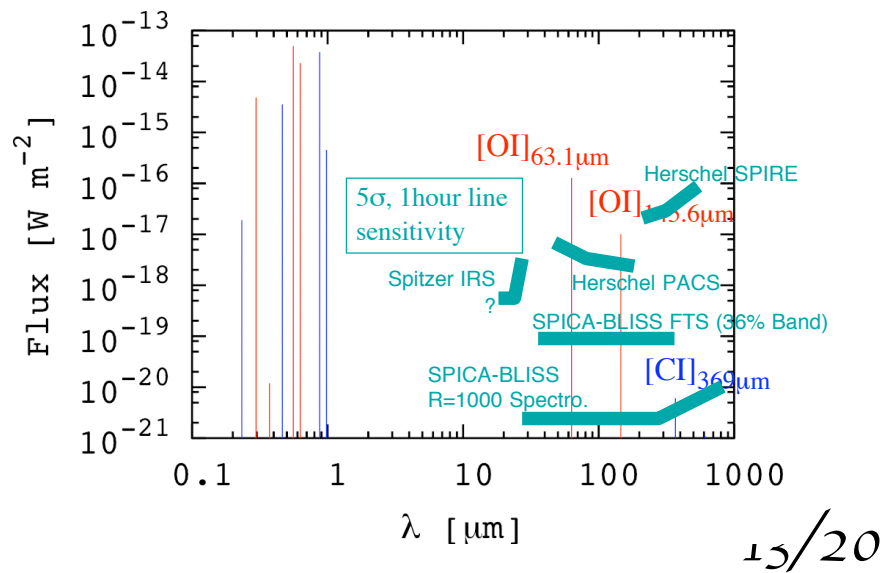
観測されるフラックス

$$F \sim \frac{2\pi I L_X R_X}{D^2}$$

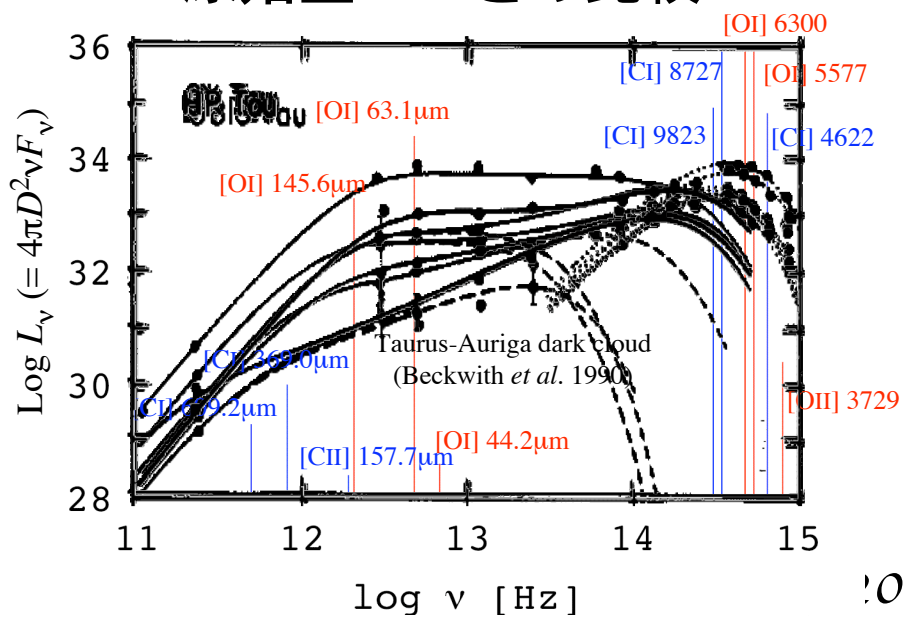
($L_X = 1\text{AU}$, $R_X = 3\text{AU}$, $D = 140\text{ pc}$)

0

輝線フラックスの計算結果



原始星SEDとの比較



ここまでのまとめ

- X線フレア衝撃波のプロープ：[OI]63.1 μm , [OI]145.6 μm , [CI]369 μm
- 原子輝線は狭い領域($R \sim 3\text{AU}$)から放射されるが、検出可能
- X線強度との相関あり？

しかし・・・

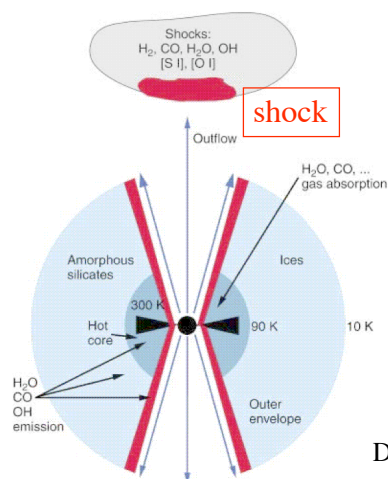
すでに前主系列星で原子輝線が検出されている

何が違うのか？

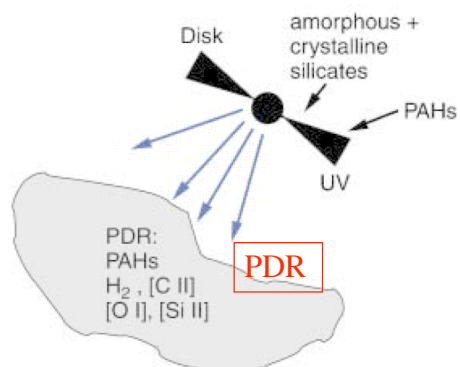
15/20

前主系列星の輝線放射

Class 0
Outflowに伴う輝線放射



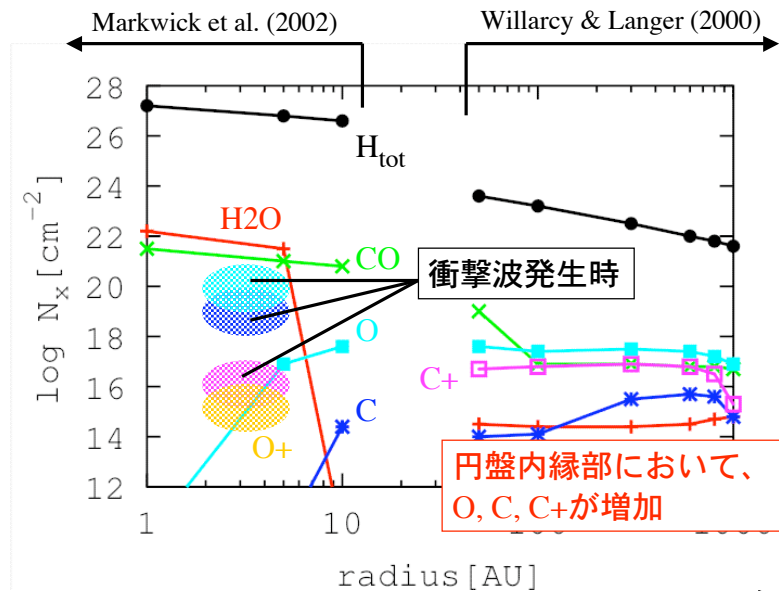
Class 1~
星のUVによる輝線放射



Dishoeck (2004), ARAA 42, 119

16/20

ガス組成の柱密度



20

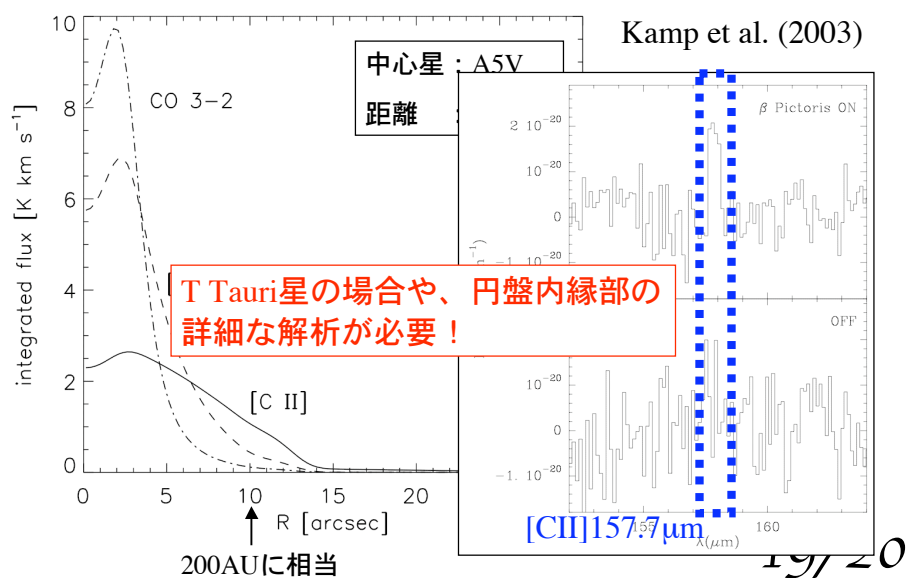
星周円盤の原子輝線

Dishoeck et al. (2004)

Category	λ (μm)	Species/line	Diagnostic ^a	PDR	Shock	Embedded YSO	Disk
Atoms	25.2	[S II]	Shock versus photon heating	+	+	+	+
	34.8	[S II]		+	+	+	+
	63.2	[O II]		+	+	+	+
	145.5	[O II]		+	+	+	+
	187.7	[C III]		+	+	+	+
H ₂	6.9	7 → 5	Mass and temperature of warm gas, shock versus photon heating	+	+	+	+
	8.0	6 → 4		+	+	+	+
	9.7	5 → 3		+	+	+	+
	12.2	4 → 2		+	+	+	+
	17.0	3 → 1		+	+	+	+
	28.2	2 → 0		+	+	+	+
HD	19.4	6 → 5	[D]/[H]	+	+	+	+
	112.0	1 → 0		+	+	+	+
Gas-phase molecules	6.0	H ₂ O	Temperature + density, ice evaporation, organic chemistry, depletion	+	+	+	+
	7.7	CH ₄		+	+	+	+
	13.7	C ₂ H ₂		+	+	+	+
	14.0	HCN		+	+	+	+
	15.0	CO ₂		+	+	+	+
	104.4	CO 25 → 24		+	+	+	+
	108.1	<i>o</i> -H ₂ O 2 ₂₁ - 1 ₁₀		+	+	+	+
	119.3	OH ² Π _{3/2} ⁵ / ₂ → ³ / ₂		+	+	+	+
	130.4	CO 20 → 19		+	+	+	+
	138.5	<i>p</i> -H ₂ O 3 ₁₃ - 2 ₀₂		+	+	+	+
	162.8	CO 16 → 15		+	+	+	+
	174.6	<i>o</i> -H ₂ O 3 ₀₃ - 2 ₁₂		+	+	+	+
	179.5	<i>o</i> -H ₂ O 2 ₁₂ - 1 ₀₁		+	+	+	+
	186.0	CO 14 → 13		+	+	+	+

原子輝線は見つかっていない？

星周円盤の輝線強度



まとめ

X線フレアによって円盤上層部に誘発される
衝撃波の観測可能性について調べた。

1. [OI]63.1 μm , [OI]145.6 μm , [CI]369 μm が有望
2. 円盤内縁部における原子輝線の超過
3. X線強度と相関あり？
4. これまでとは違う輝線放射メカニズムの提唱

20/20