



О сверхтонкой структуре мазерного перехода

$J_{K_a, K_c} = 6_{1,6} - 5_{2,3}$ молекулы H_2O

Лапинов Александр Владимирович¹⁾,

Камаева Юлия Александровна²⁾

¹⁾Институт прикладной физики РАН,

²⁾ВШОПФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского

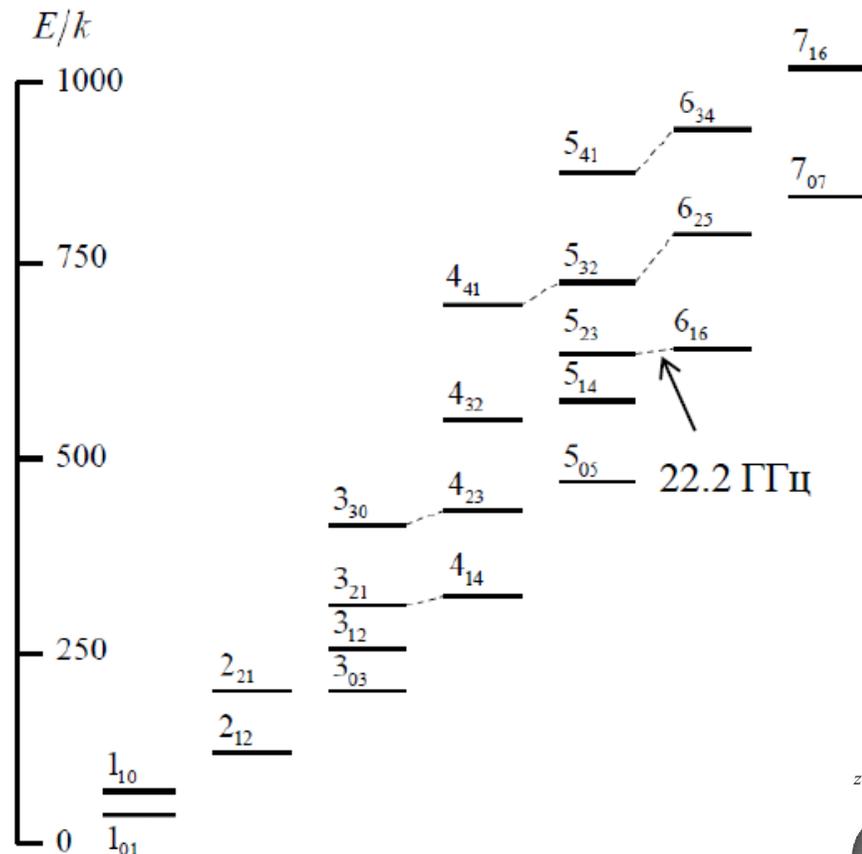
При поддержке проекта РНФ 23-22-00227

Цель доклада

1. Привести уточнённые значения частот сверхтонкого расщепления в переходе $J_{K_a, K_c} = 6_{1,6} - 5_{2,3}$ молекулы H_2O .
2. Показать, что при большой отрицательной оптической толщине мы можем не просто не видеть никаких признаков сверхтонкого расщепления, но наблюдать лишь единственную сверхтонкую компоненту, даже если она относительно мало превышает по интенсивности остальные компоненты в тепловом случае.
3. Показать, что в мазерном случае даже при большой отрицательной оптической толщине линия с высокой степенью точности похожа на гауссову, но её ширина значительно уже неоднородно уширенной линии.

Схема вращательных энергетических уровней молекул орто- H_2^{16}O .

© А. Нестерёнок, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, 2010



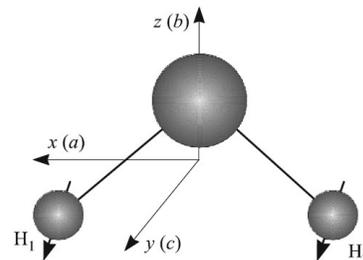
Мазерная линия на частоте 22.2 ГГц соответствует разрешенному электродипольному переходу между вращательными уровнями молекул орто- H_2^{16}O $6_{16} \rightarrow 5_{23}$.

В качестве основного механизма накачки космических H_2O -мазеров, как правило, рассматривается столкновительное возбуждение молекул H_2O на вышележащие уровни с последующей радиационной дезактивацией этих уровней.

Предполагаемые физические условия в источниках мазерного излучения H_2O :

$$n(\text{H}_2) \sim 10^8 - 10^9 \text{ см}^{-3},$$

$$T \sim 400 - 1000 \text{ К.}$$



© П.Л. Чаповский, А.А. Мамрашев

$$I_a < I_b < I_c$$

значения энергии указаны в кельвинах, k – постоянная Больцмана.

Предшествующие исследования

1. Д.А. Варшалович, А.И. Иванчик, Н.С. Бабковская, Письма в АЖ, т.32, No.1, с.32-41 (2006).
2. S. Kukolich, J. Chem. Phys. 50, 3751 (1969).
3. H. Bluysen, A. Dymanus, and J. Verhoeven, Phys. Lett. 24A, 482 (1967)

Коламбус, июнь 2013



John Muentner (in the right) obtained the most precise hf constants for HC_3N :

$$eQq_N = -4319.24(1) \text{ kHz}, C_N = 0.976(1) \text{ kHz}$$

R.L. DeLeon and J.S. Muentner, 1985, J.Chem.Phys. 82, 1702
as well as

$$\mu_0(\text{H C}_3\text{N}) = 3.73172(1)\text{D}$$

R.L.DeLeon and J.S.Muentner, 1985, JCP 82, 1702

$$\mu_0(\text{NH}_3) = 1.47179(15)\text{D}$$

M.D.Marshall and J.S.Muentner, 1981, JMS 85, 322



Steve Kukolich (in the right) obtained the most precise frequencies for NH_3 :

$$\text{NH}_3 \text{ J,K}=1,1 \quad \nu_{\text{inv}} = 23694.495487(48)\text{MHz}$$

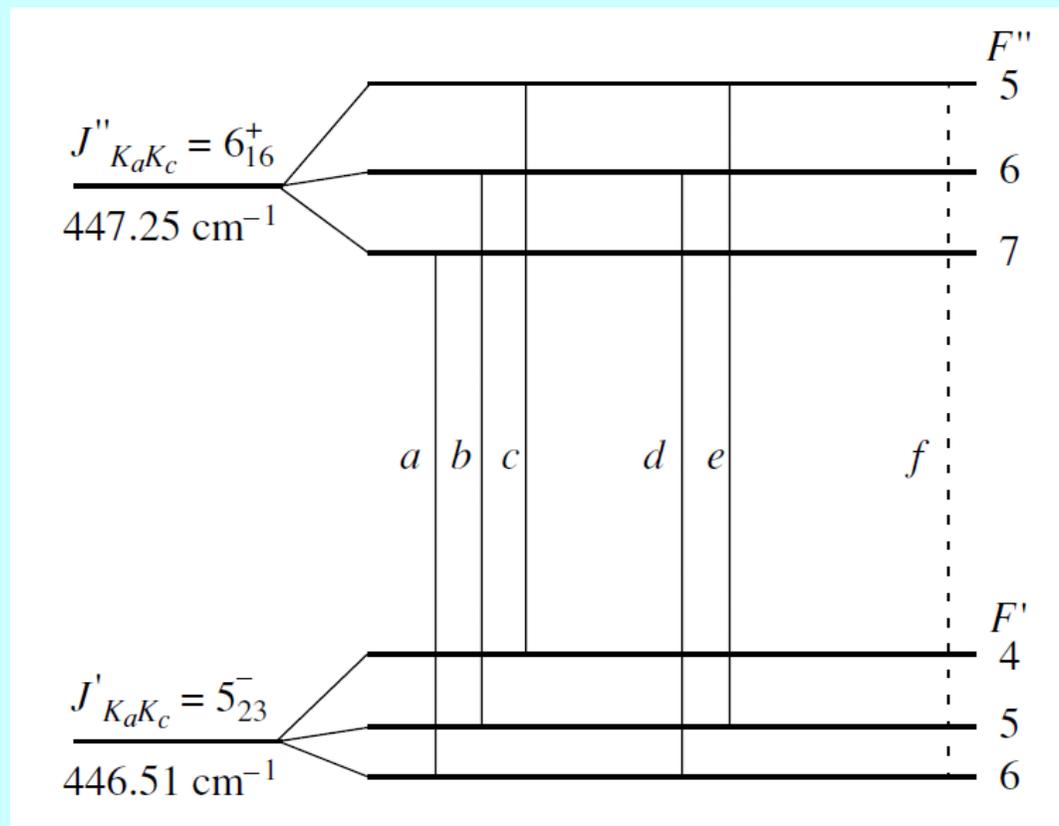
18 hf components, $\sigma_v = 0.61\text{m/s}$

S.G. Kukolich, 1967, Phys.Rev. 156, 83

International Symposium on Molecular Spectroscopy
68th Meeting - June 17-21, 2013

Формализм сверхтонкого расщепления молекулы Н₂О

Варшалович и др. 2006



6

$$\Delta E_F(J) = A_J X(J, F) + B_J Y(J, F),$$

$$\sum_F (2F + 1) \Delta E_F = 0.$$

$$X(J, F) = F(F + 1) - J(J + 1) - I(I + 1),$$

$$Y(J, F) = X(X + 1) - \frac{4}{3} J(J + 1) I(I + 1).$$

Константы сверхтонкого расщепления перехода

$$J_{K_a, K_c} = 6_{1,6} - 5_{2,3} \text{ молекулы } \text{H}_2\text{O}$$

A_{up} (кГц)	A_{low} (кГц)	B_{up} (кГц)	B_{low} (кГц)	Reference
-16.35(10)	-15.88(13)	-	-	BDV, 1967
-16.39(15)	-15.92(15)	*	*	Kuk, 1969
-16.388	-15.915	0.1340	0.1412	ВИБ, 2006
-16.388(37)	-15.915(43)	0.1340(28)	0.1412(39)	Наша работа

Частоты сверхтонких компонент в переходе $J_{K_a, K_c} = 6_{1,6} - 5_{2,3}$ молекулы H_2O

Переход	Частота (кГц)	σ (кГц)	Сдвиг (км/с)	σ (км/с)	Отн. вес	Ссылка
F=7– 6	22 235 044.002	0.026	0.48330	0.00035	0.38461538	Наша работа
F=6– 5	22 235 077.063	0.026	0.03754	0.00035	0.32407407	Наша работа
F=5– 4	22 235 120.341	0.025	–0.54597	0.00033	0.27272727	Наша работа
F=6– 6	22 235 252.795	0.720	–2.33183	0.00970	0.00925926	Наша работа
F=5– 5	22 235 297.849	0.614	–2.93928	0.00828	0.00925926	Наша работа
F=5– 6	22 235 473.581	0.947	–5.30865	0.01277	0.00006475	Наша работа
ν_0	22 235 079.847	0.018	0	0	1	Наша работа
ν_0	22 235 079.846	0.050	0	0	1	Kuk, 1969
ν_0	22 235 080.452*	0.037*	0	0	1	BDV, 1967

Формализм решения уравнения переноса излучения

$$T_A^* = \eta_A [J(T_{ex}) - J(T_{bg})] (1 - \exp\{-\tau(\nu)\})$$

$$\sim \eta_A |T_{ex}| (\exp\{|\tau(\nu)|\} - 1),$$

$$\tau(\nu) = \tau_0 \varphi(\nu),$$

$$J(T_{ex}) = h\nu/k / [\exp\{h\nu/kT_{ex}\} - 1]$$

График T для теплового случая без hf

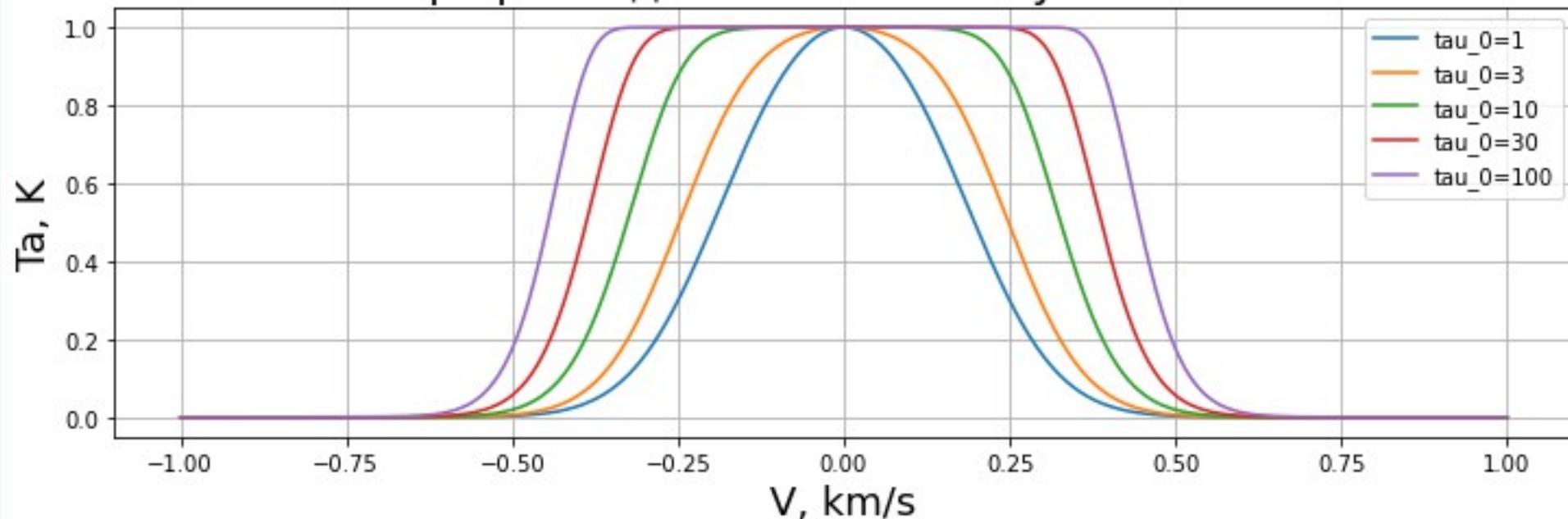
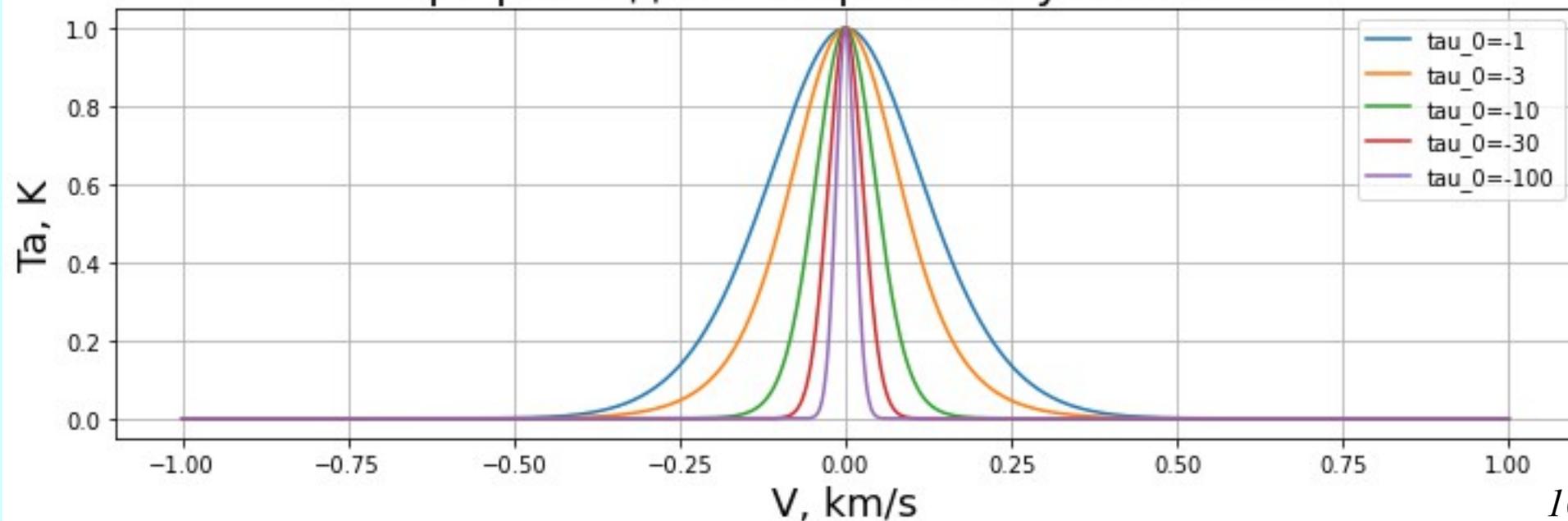
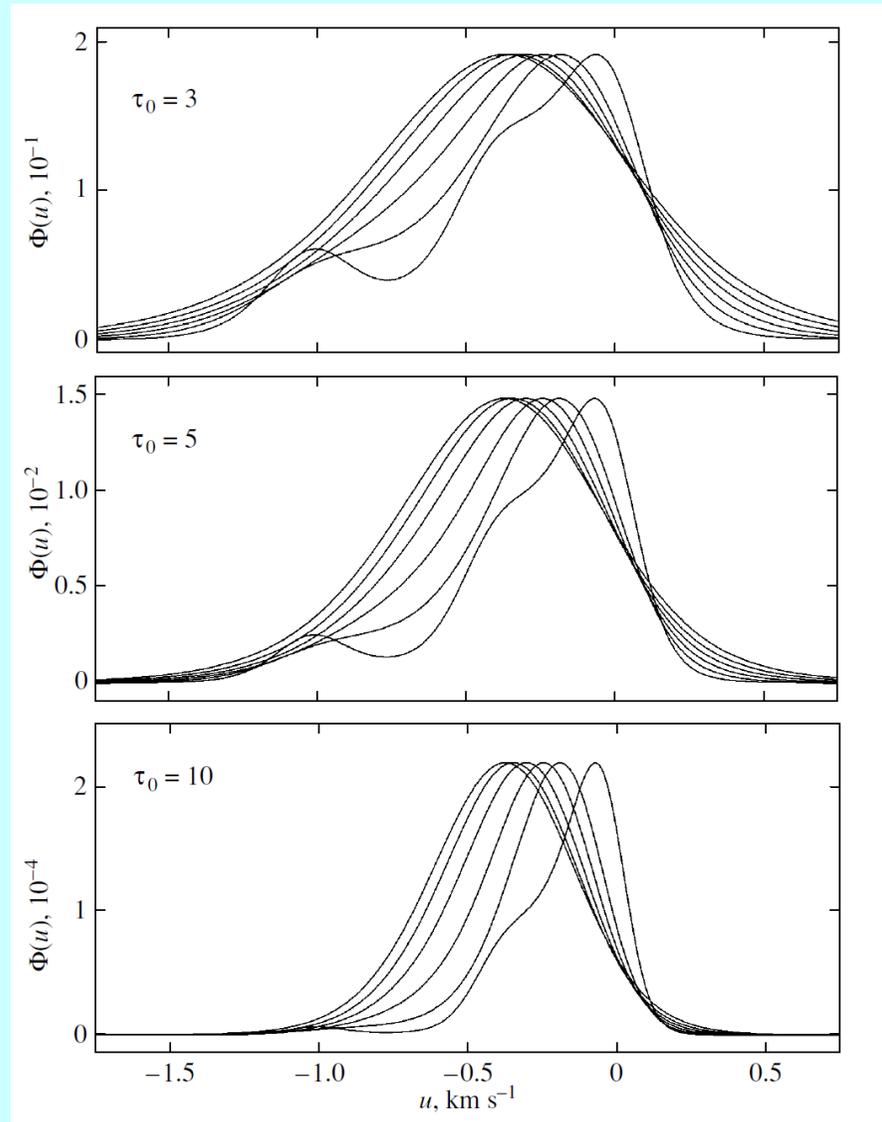


График T для мазерного случая без hf



Результаты расчета мазерных профилей H_2O из работы Д.А. Варшалович, А.И. Иванчик, Н.С. Бабковская, 2006



$\Delta v = 0.3,$
 $0.4, \dots, 0.8 \text{ км/с}$

График T для теплового случая с hf

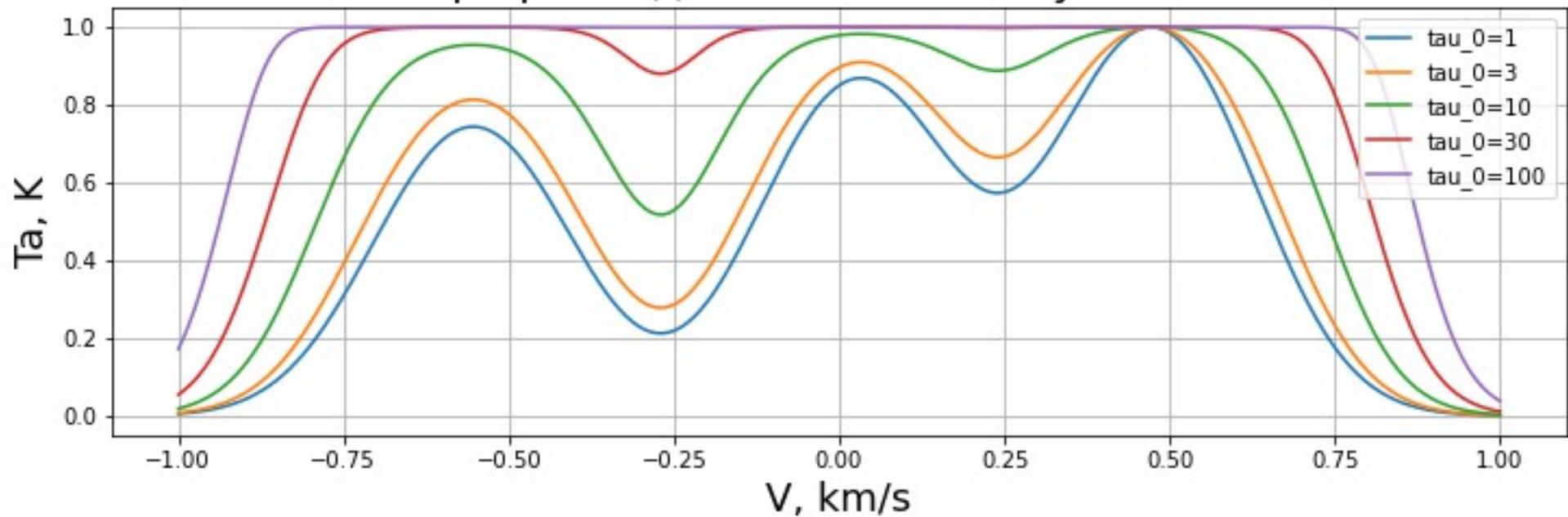
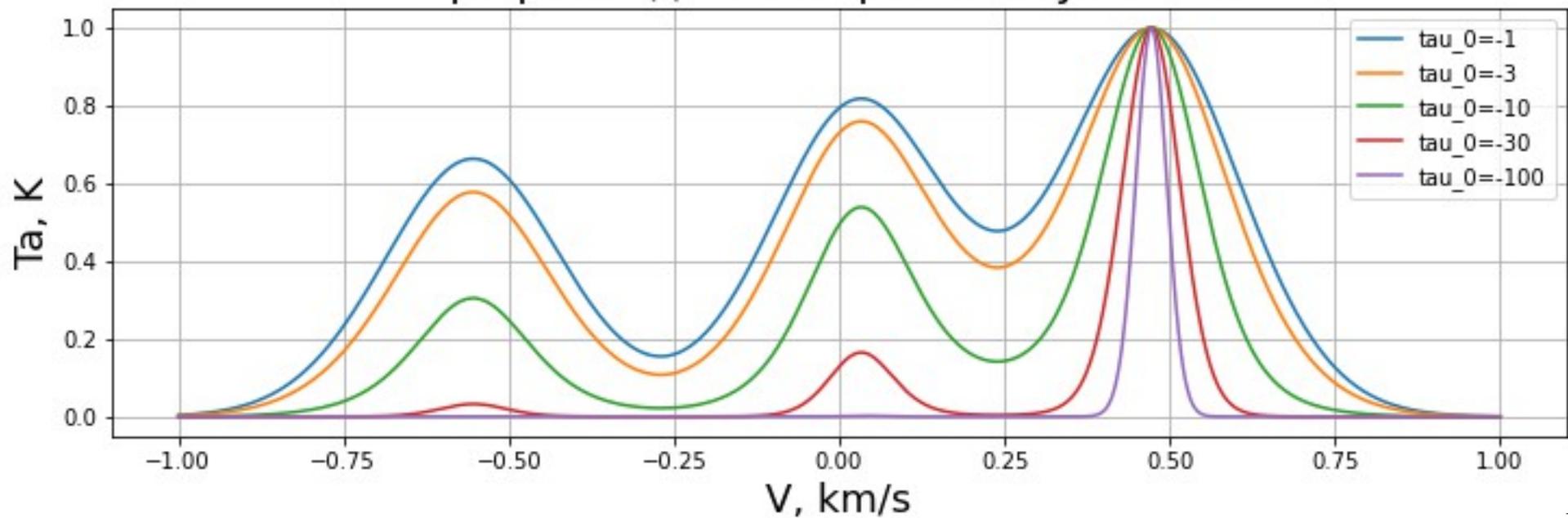
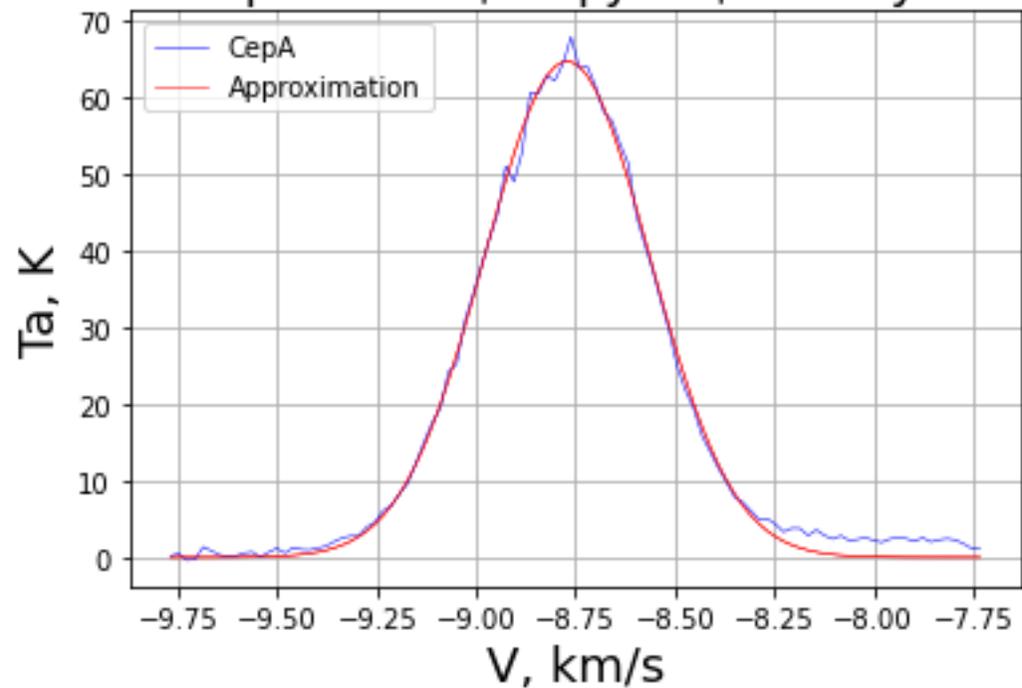


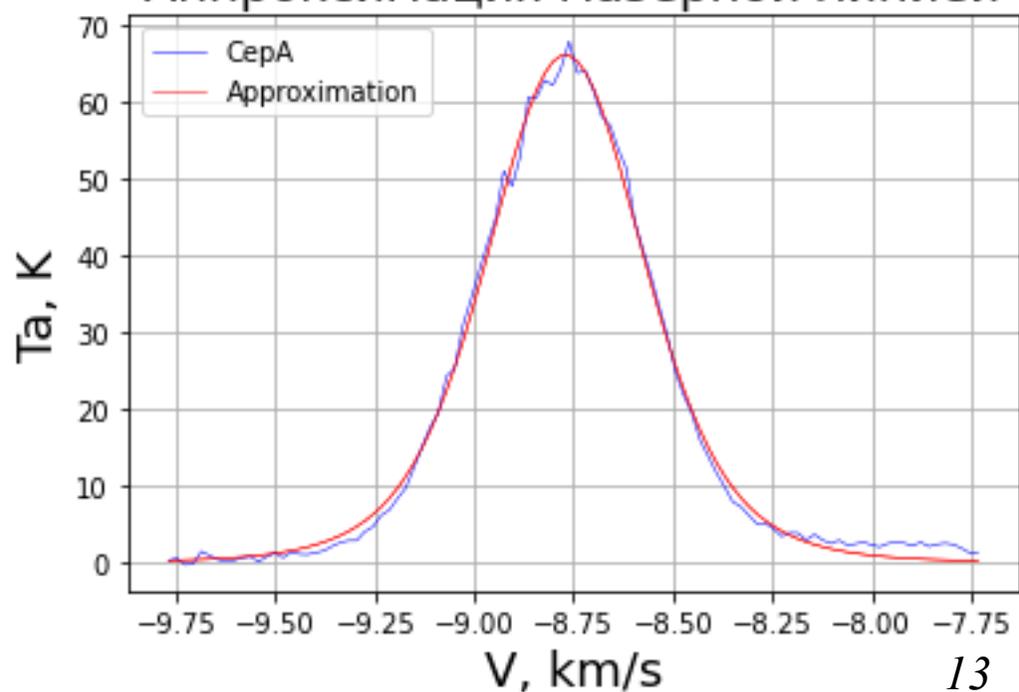
График T для мазерного случая с hf



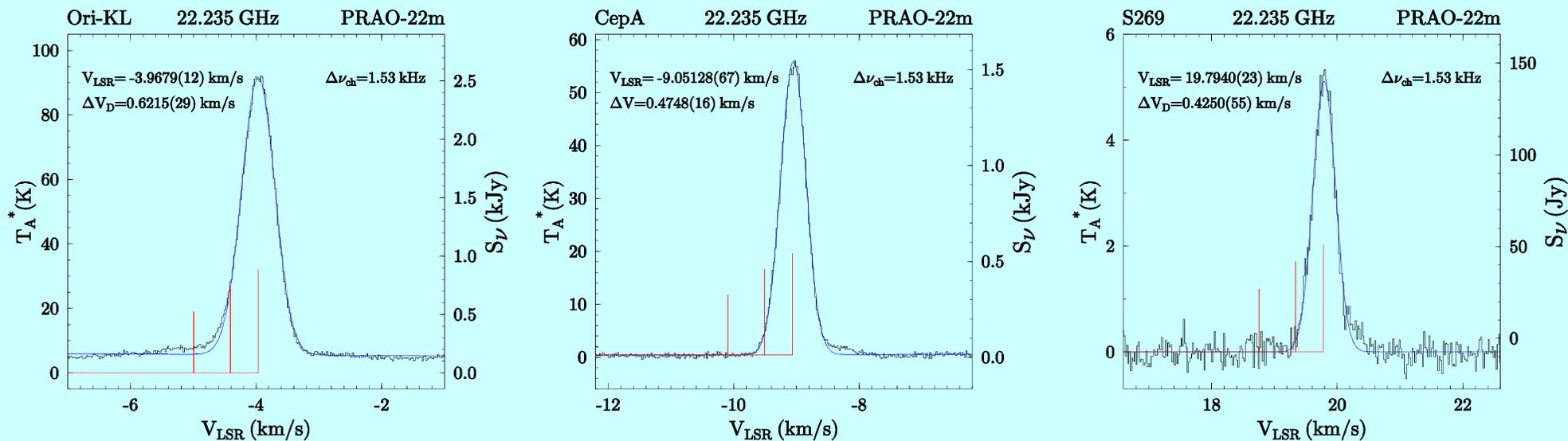
Аппроксимация функцией Гаусса



Аппроксимация мазерной линией



Примеры измерений на РТ-22 ПРАО наиболее узких мазерных линий в переходе $J_{K_a, K_c} = 6_{1,6} - 5_{2,3}$ молекулы H_2O





Спасибо за внимание !

SDSS
J103842.59+494917.7 &
Chandra