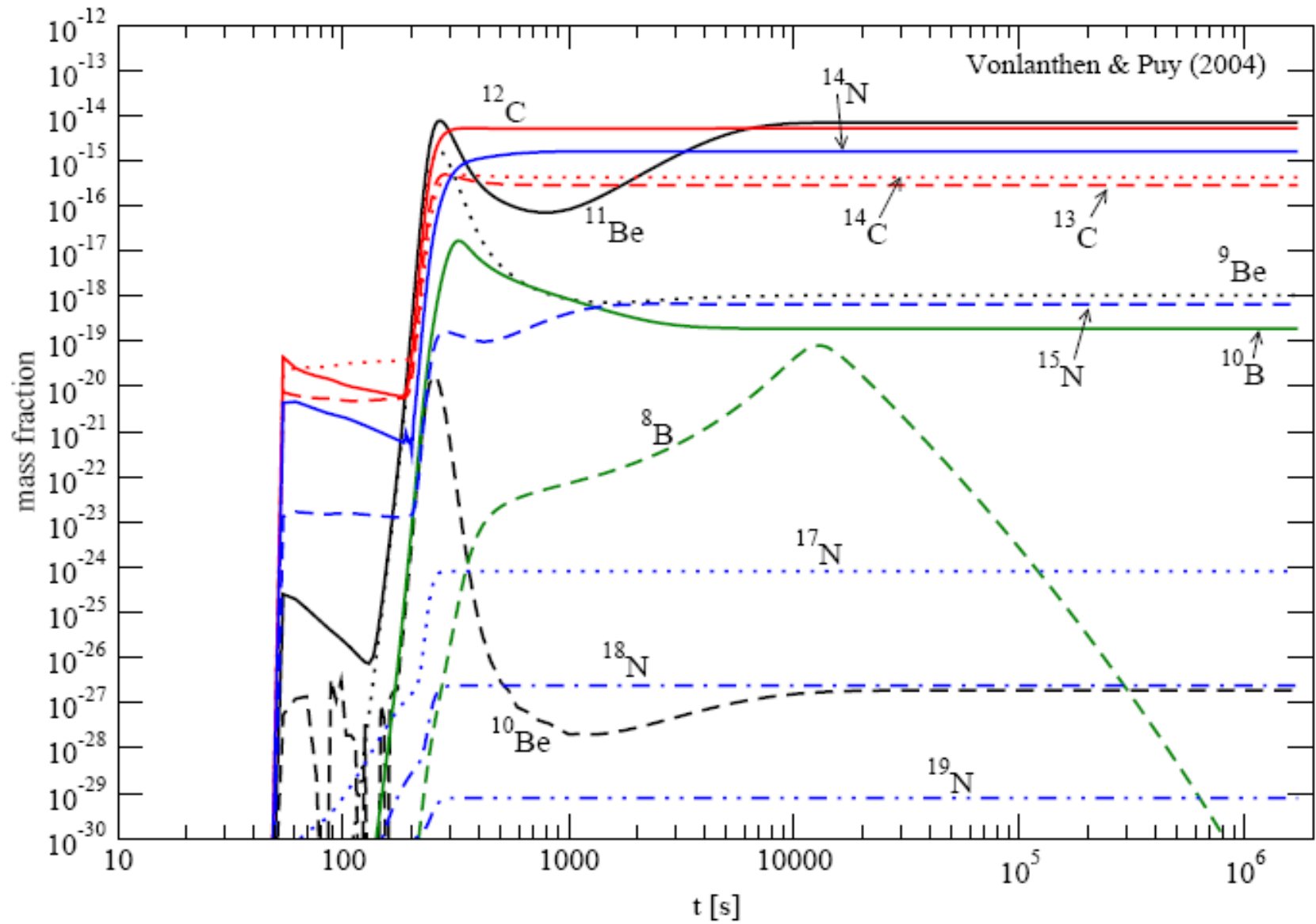


# Micro scale SSF

Dubrovich V.K.  
SAO RAS



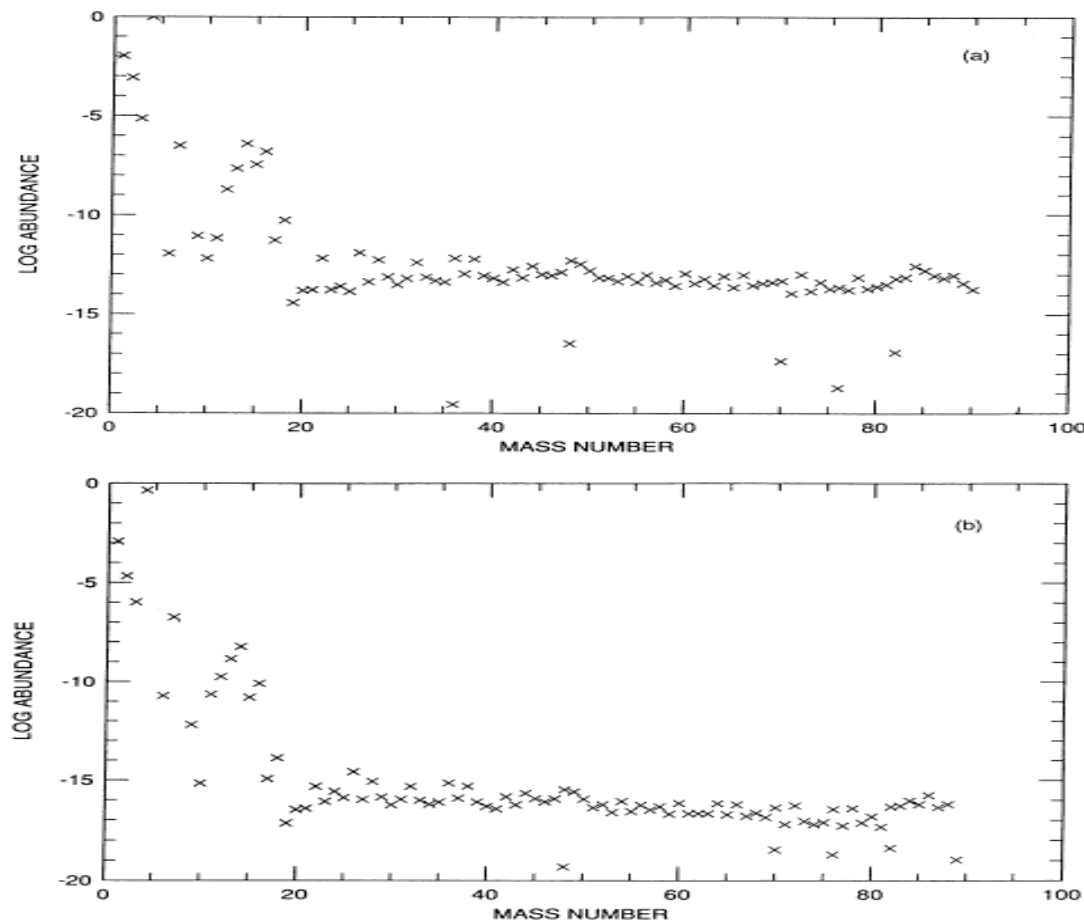


FIG. 7.—Abundances as a function of  $A$  from  $A = 1$  to  $A = 90$  for  $\eta_{10,2} = 52$ . One notices the prominent peak at  $^{14}\text{C}$ , caused by the necessity of charged particle reactions to transport the reaction flow beyond  $A = 14$ . (a) Case 0; (b) case 2. The change in  $n_n$  leads to a neutron capture path closer to stability with longer beta-decay half-lives. In comparison with the results of case 0, the abundances are smaller by two orders of magnitude at  $A = 14$  and another factor of 10 up to  $A = 80$ .

sities of Figure 8 and temperatures of Figure 3. It is also understandable that case 2 experiences essentially no fission cycling at all.

Figures 10a–10c show the abundances for the same three cases at  $t = 3000$  s, resulting from the full  $r$ -process network beyond Kr. In Figures 10a and 10b one notices that fission cycling was indeed effective, due to the fact that there is a sharp drop visible in abundances just below the  $A = 130$  peak. This is the point where fission feeds back with a larger rate than the flow from lighter nuclei and produces a discontinuity. One also

TABLE 4  
FISSION CYCLE TIMES

$n_n$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	$\tau_{\text{cycl}}$ (s)
$10^{20}$ .....	$2.84 \times 10^0$
$10^{19}$ .....	$1.16 \times 10^1$
$10^{18}$ .....	$3.46 \times 10^1$
$10^{17}$ .....	$3.73 \times 10^2$
$10^{16}$ .....	$2.23 \times 10^3$

# Процессы в которых участвуют первичные молекулы

- Формирование спектрально-пространственных флуктуаций температуры CMB (Spectral-Spatial Fluctuation – SSF)
- Формирование изотропных спектральных искажений CMB в случае дополнительного выделения энергии на ранних стадиях (распад нестабильных частиц)
- Охлаждение первичных объектов на нелинейной стадии эволюции первичных флуктуаций плотности

# Список молекул

- $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2^+$ ,  $\text{HD}$ ,  $\text{HD}^+$ ,  $\text{H}_2\text{D}^+$
- $^4\text{HeH}^+$ ,  $^3\text{HeH}^+$ ,  $\text{He}_2^+$ ,  $^3\text{He}^4\text{He}^+$
- $\text{LiH}$ ,  $\text{HF}$
- $(\text{C,N,O})\text{H}$ ,  $(\text{C,N,O})\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

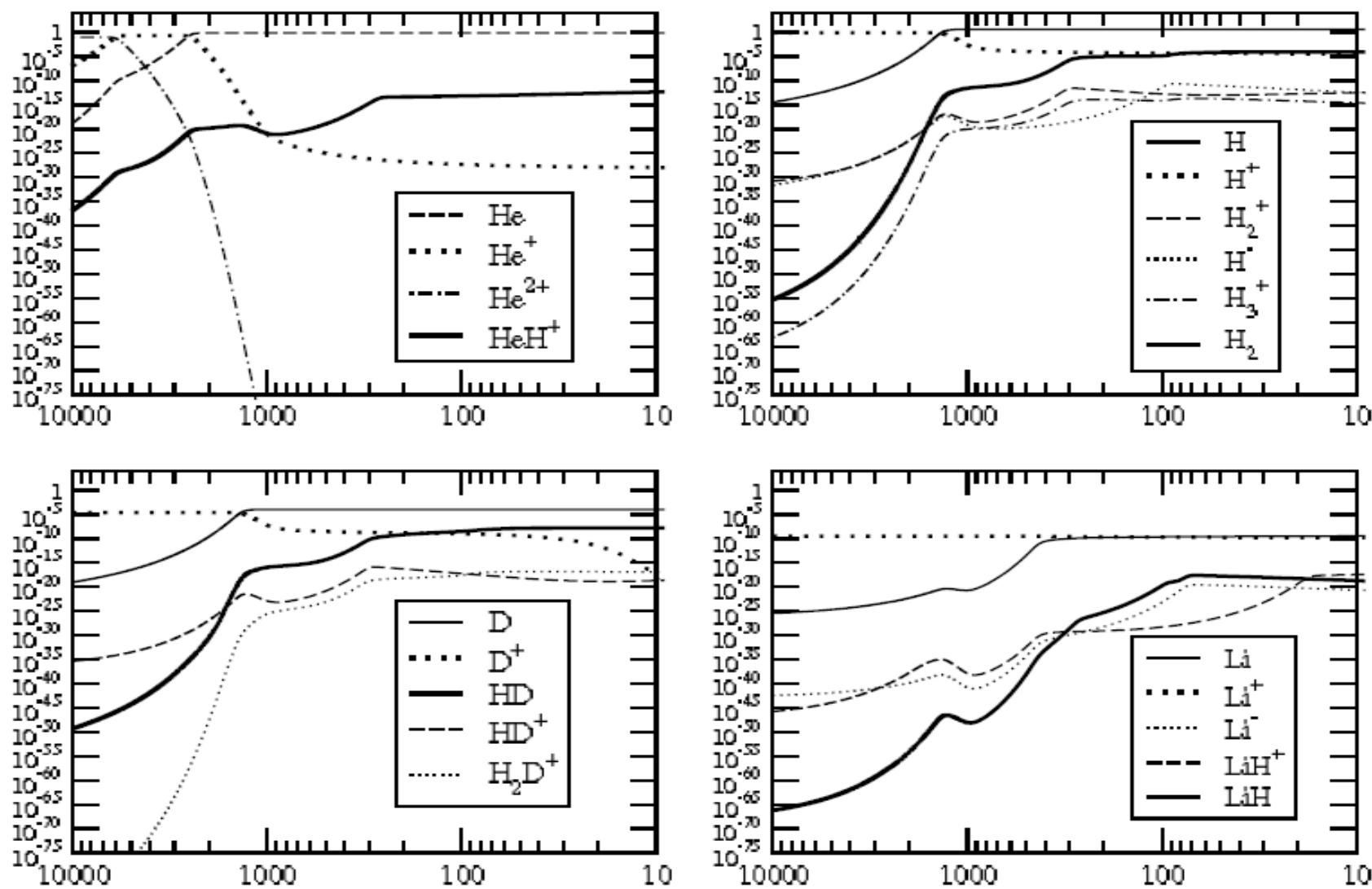


Fig. 1. Evolution of chemical abundances in the SBBC model. Vertical axes are the relative abundance and the horizontal axes are relative to the redshift.

# Механизмы формирования флуктуаций температуры СВЧ

- Доплеровское искажение температуры
- Люминесценция при неравновесности спектра СВЧ
- Доплер + Люминесценция
- Собственное тепловое излучение или поглощение при наличии разности температур вещества и излучения

# Доплеровский механизм формирования SSF

$$\frac{1}{c} \frac{dI_\nu}{dt} = -k_\nu I_\nu + j_\nu - \frac{3}{c} I_\nu \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$$

$$\frac{\Delta I_\nu}{I_\nu} = -(1 - S_\nu)(1 - e^{-\tau_\nu})$$

$$S_\nu = \frac{e^{h\nu/kT_0} - 1}{g_i n_j / g_j n_i - 1}$$

$$\tau_\nu = \frac{c^3}{16\pi\nu^3} \frac{g_i n_j A_{ij} (1 - g_j n_i / g_i n_j)}{H_0 (1+z) \sqrt{1 + \Omega z}}$$

$$\Delta T/T \approx 2\tau\nu/c$$



# Люминесценция

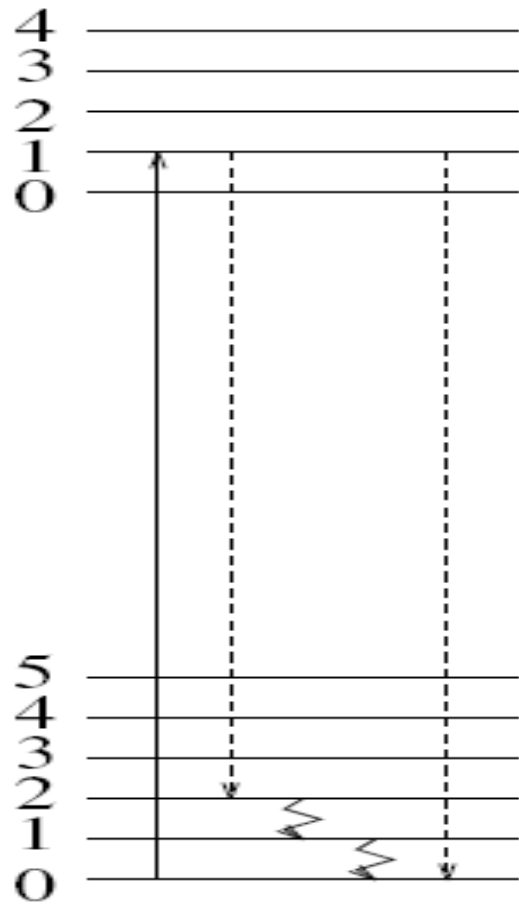


Fig.1a

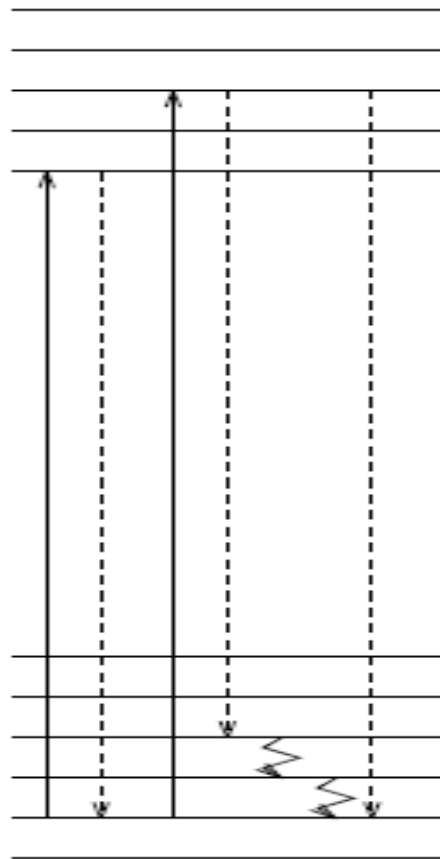


Fig.1b

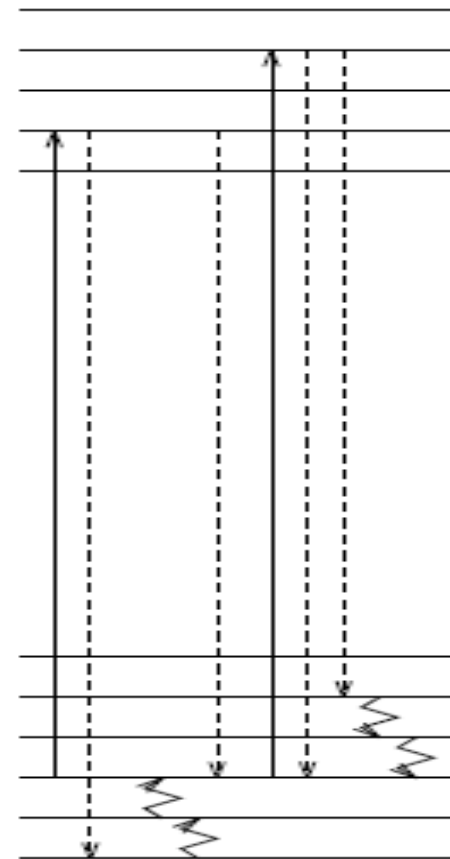
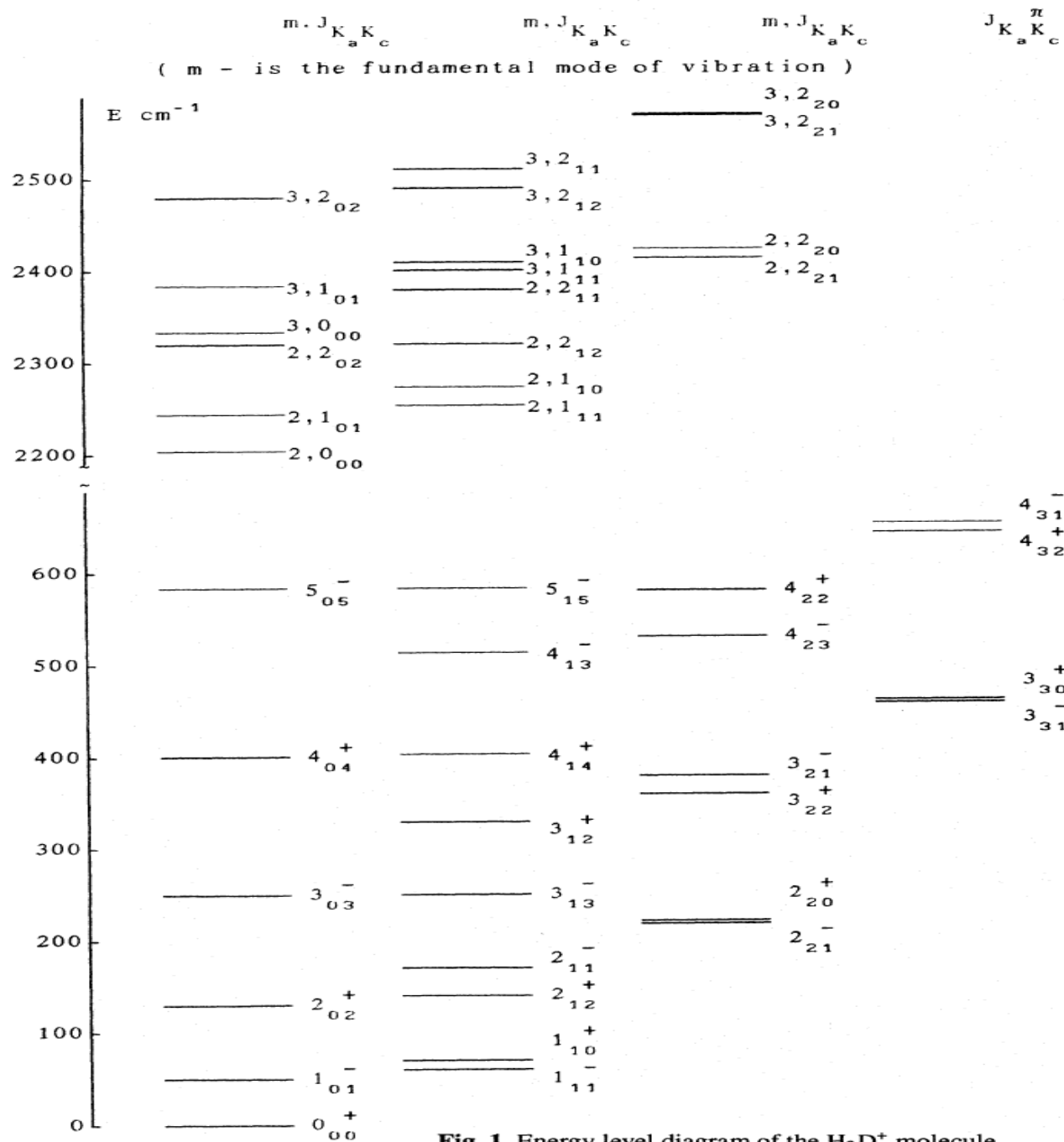
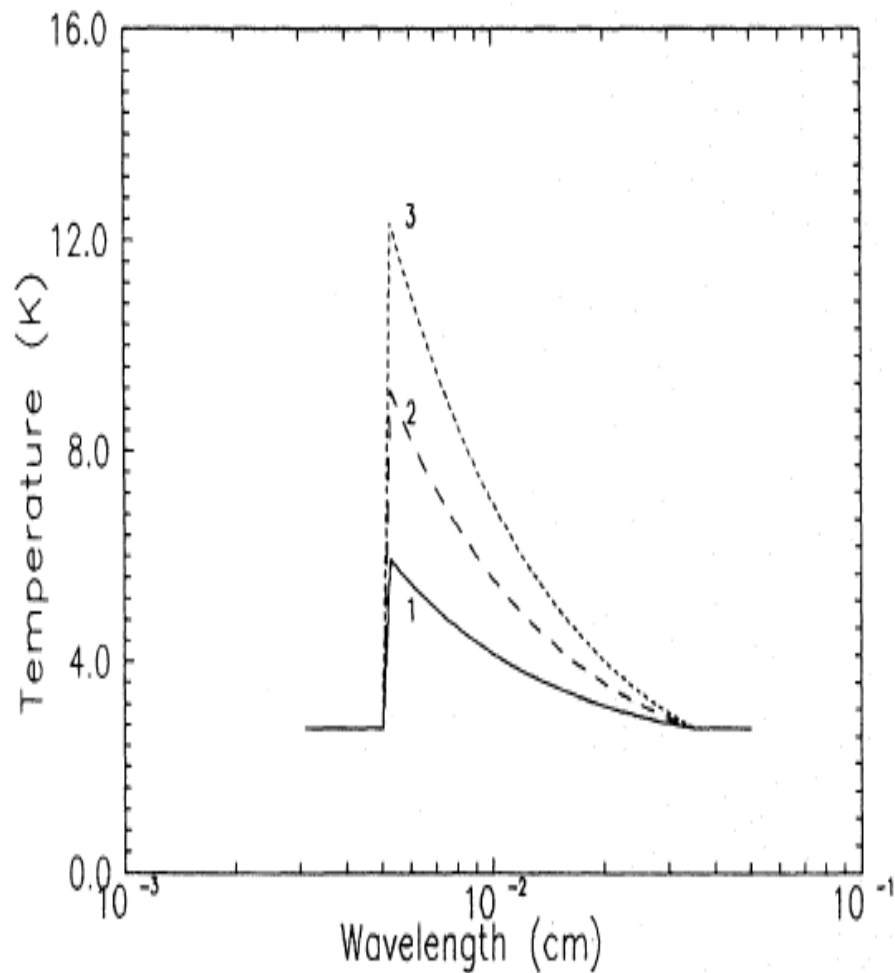


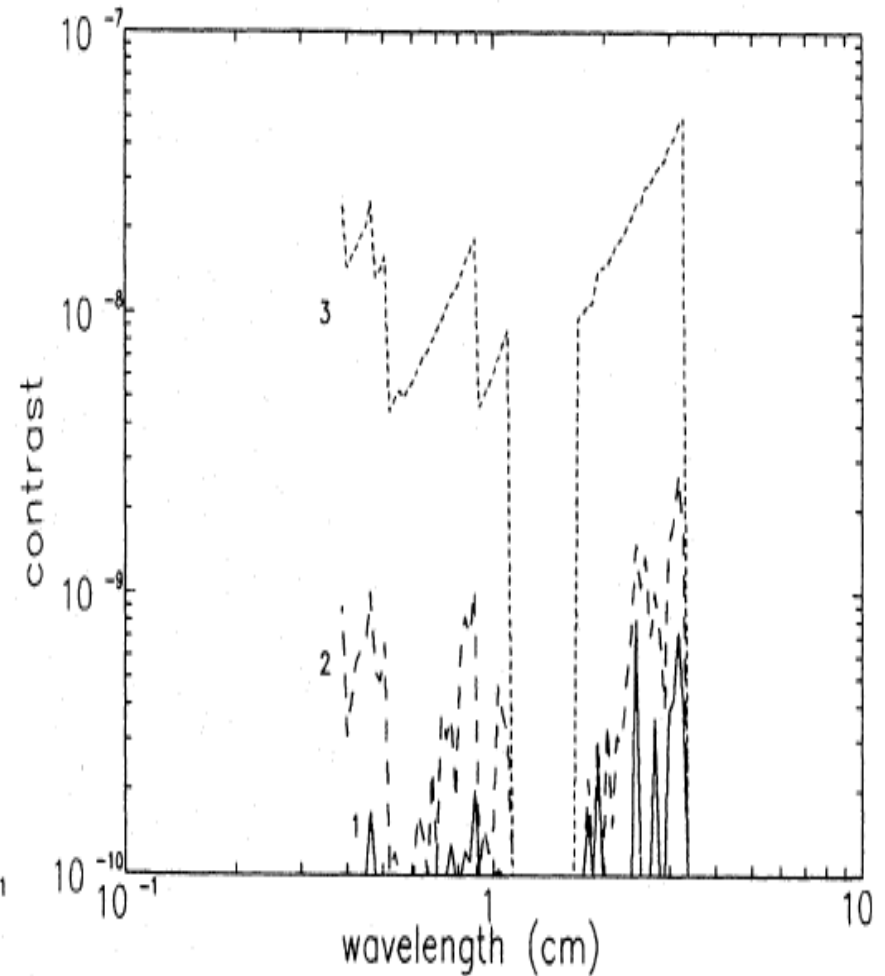
Fig.1c

**Fig. 1a–c.** The scheme of some rovibration transitions in diatomic molecules

Fig. 1. Energy level diagram of the  $\text{H}_2\text{D}^+$  molecule



**Fig. 2.** Assumed initial distortions of the CMBR spectrum in the Wien region (temperature versus wavelength) as  $Z = 0$  (case 1)



**Fig. 4.** The calculated relative intensities of distortions (contrasts) result from the  $\text{H}_2\text{D}^+$  molecules luminescence between  $Z = 40$  and  $Z = 20$ , as at  $Z = 0$  (case 1)

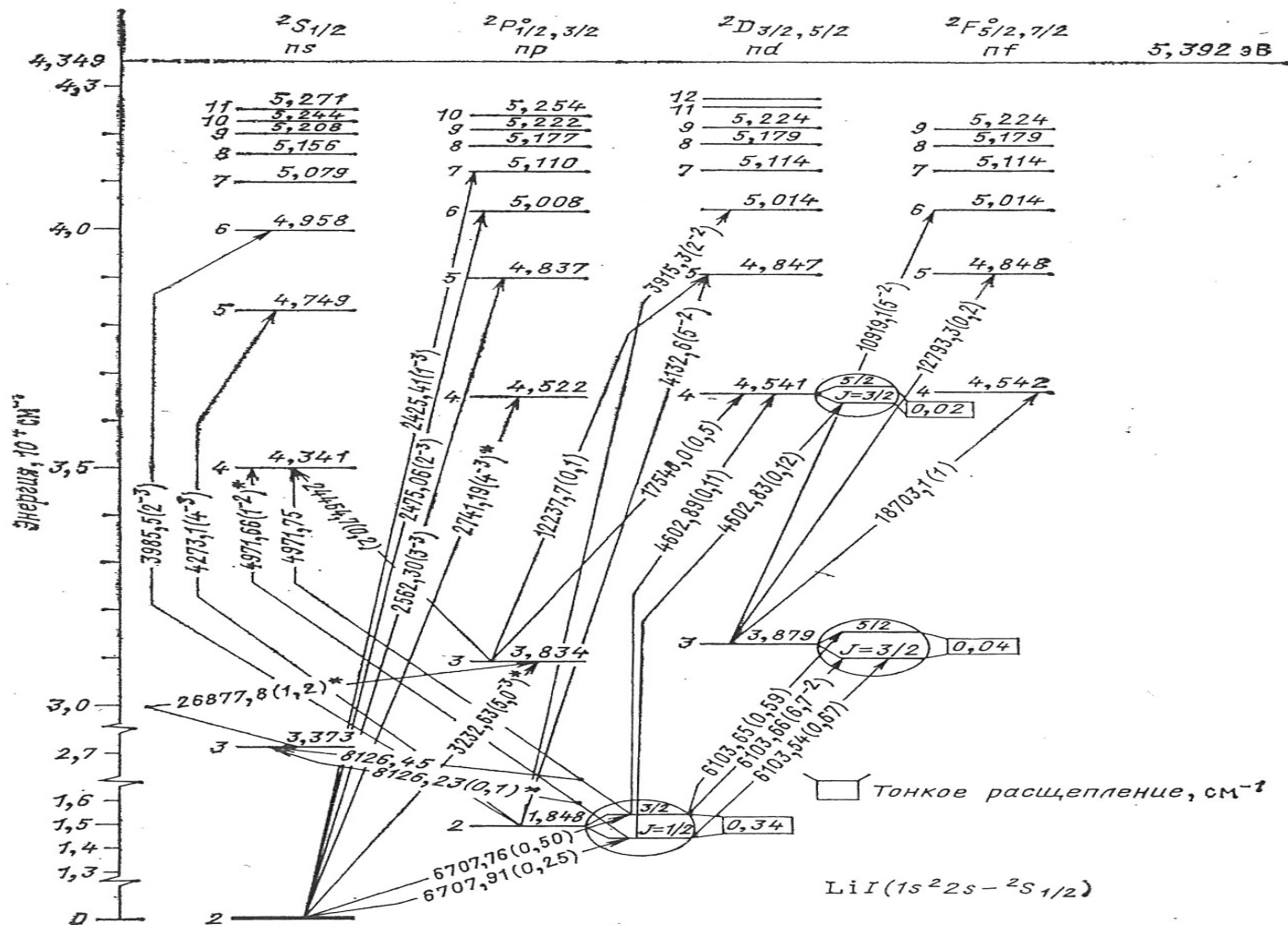
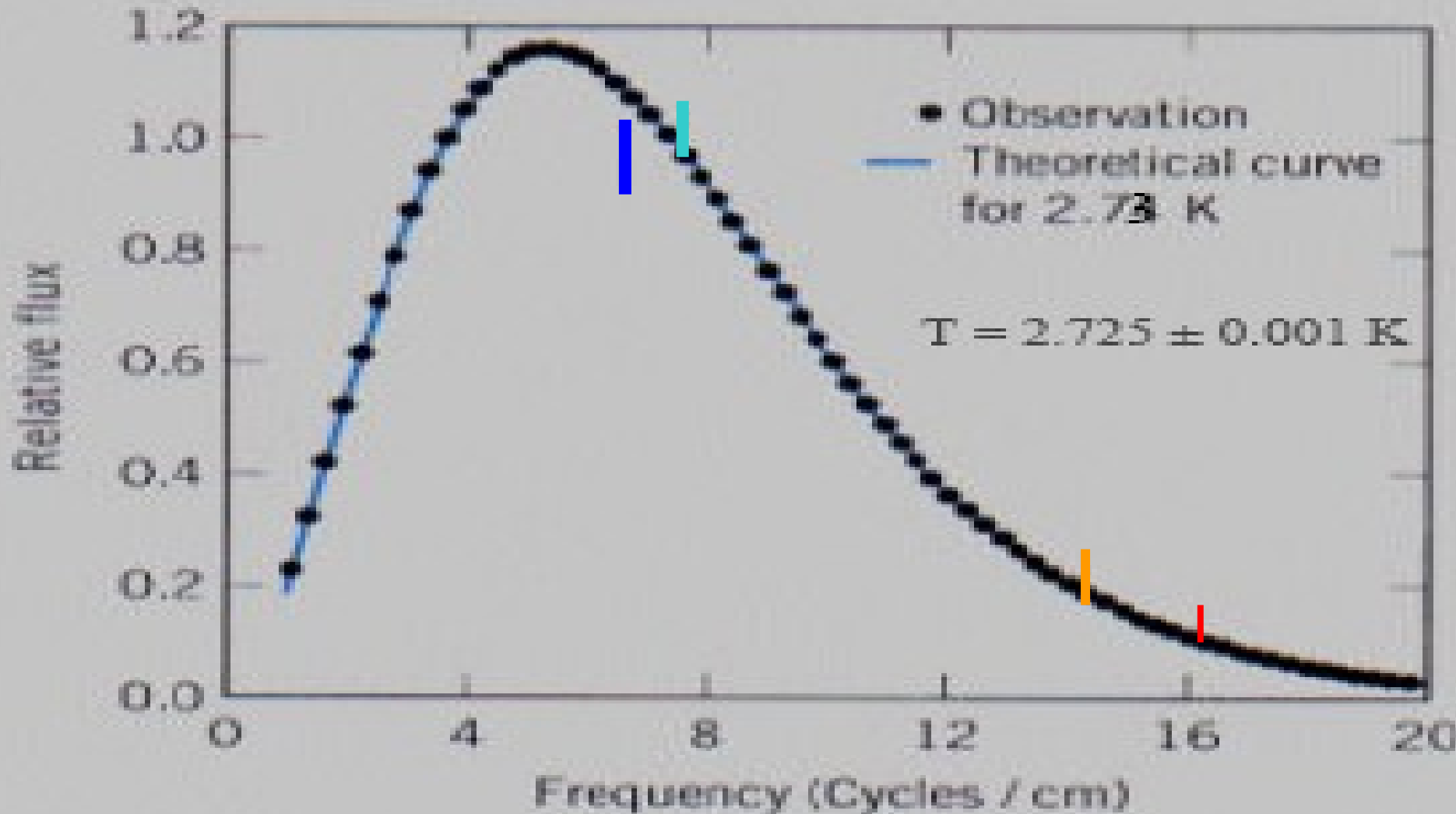


Рис. 6.3. Комбинированная диаграмма уровней энергии, спектра и сил осцилляторов переходов для атома лития

# Доплер + Люминесценция



## Усиление SSF – Доплер+Люминесценция

$$\frac{\Delta T(\nu_i)}{T} = \frac{V_p}{c} \tau K$$

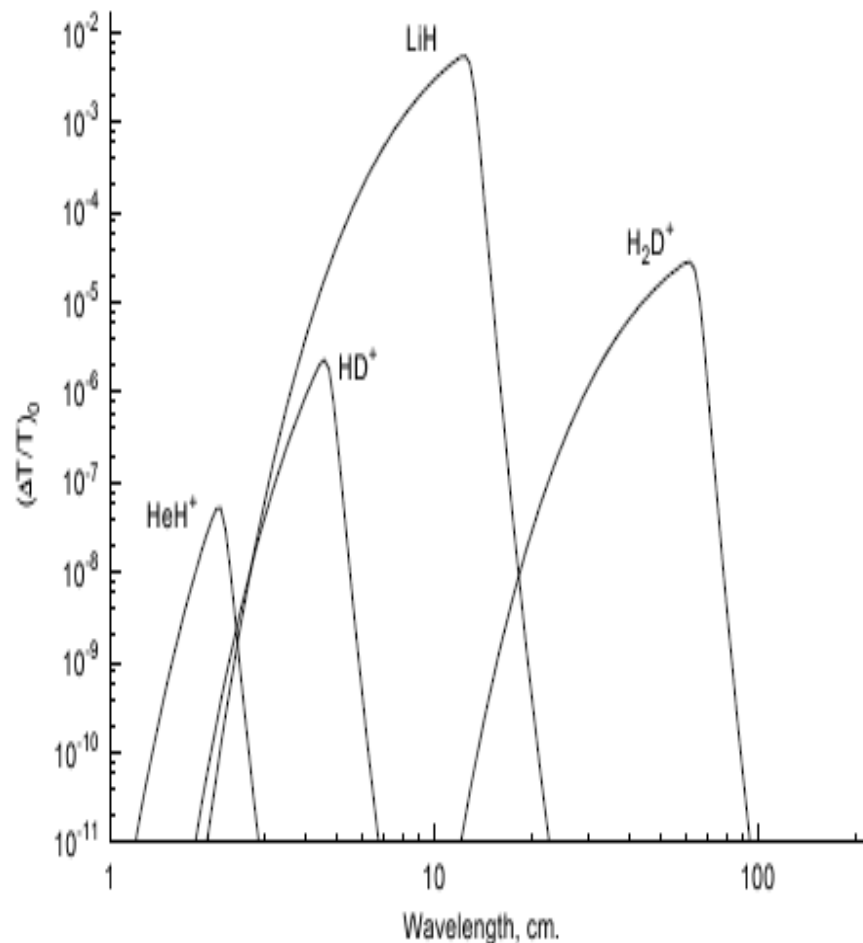
$$K = \left(\frac{\nu_1}{\nu_i}\right)^2 \left(\frac{h\nu_1}{kT}\right)^2 \exp\left(-\frac{h\nu_1}{kT}\right) \xi = K_0 \left(\frac{z_r}{z}\right)^2 \exp\left(-\beta \frac{z_r - z}{z}\right)$$

$$\tau = \tau_0 \omega \alpha_M \Omega^{-1/2} (z/z_r)^{1/2} H^{-1}(J+1) \exp\left(-\gamma \frac{J(J+1)}{z+1}\right)$$

# Эффект усиления для некоторых молекул как функция красного смещения

Table 1.

		LiH	HD <sup>+</sup>	HeH <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> D <sup>+</sup>
$D_e$	(eV)	2,43	2,67	1,85	4,3
$z_r$		195	210	150	340
$\lambda_r$	( $\mu\text{m}$ )	676	227	149	1920
$\lambda_v$	( $\mu\text{m}$ )	7,1	3,0	3,3	4,5
$\lambda$	(cm)	13,2	4,77	2,23	65,3
$\tau_0$		7.5(7)	4.9(6)	1.8(7)	3.3(6)
$K_0$		2,2(3)	50	1,8	4,8(4)
$\beta$		4,3	9,2	12,0	4,2
$\alpha'$		1,5(-10)	3,0(-9)	1,1(-7)	3,0(-10)
$V'/c$		4,5(-7)	2,0(-6)	5,5(-5)	2,1(-10)



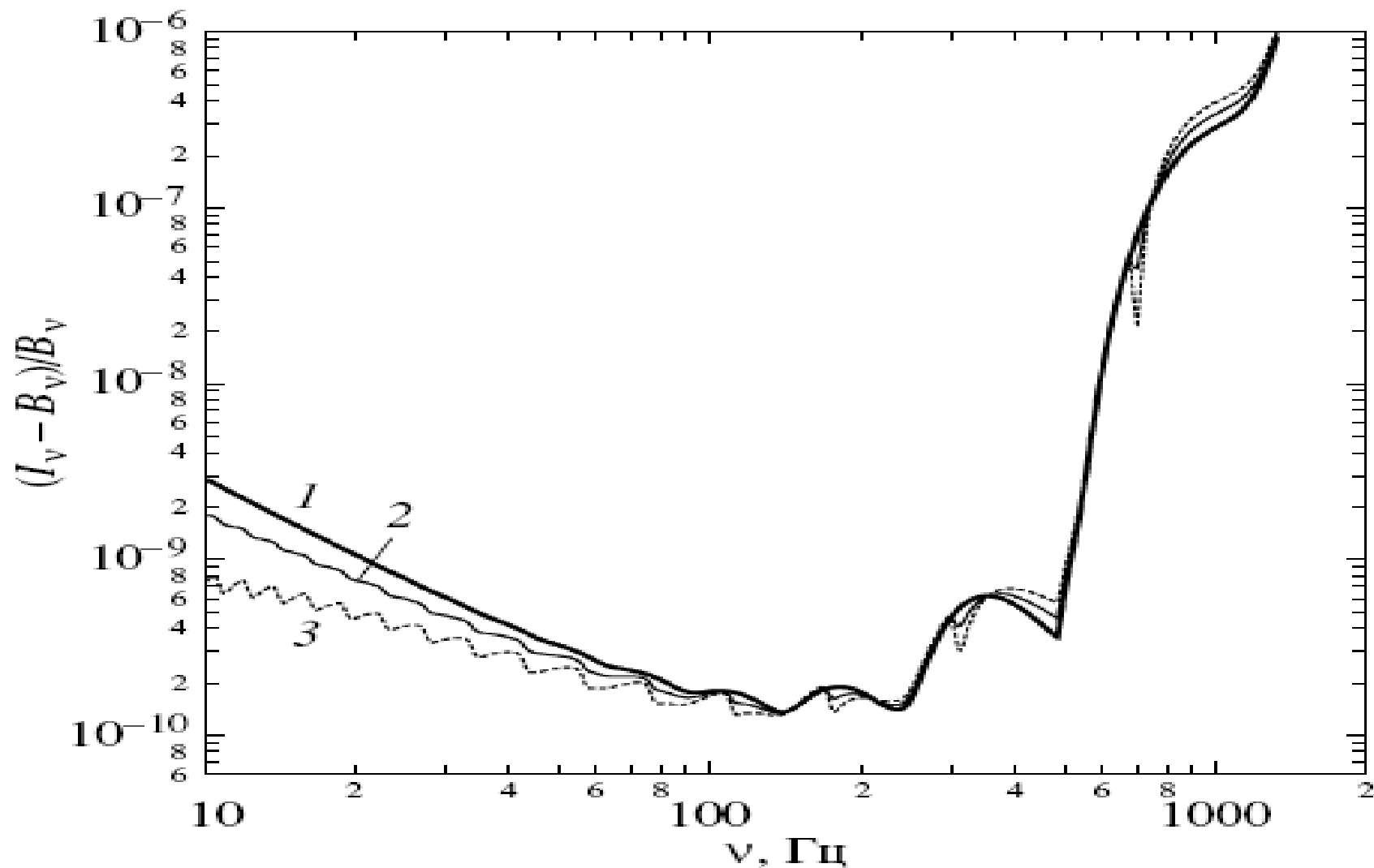
# Нестационарность - быстрая переменность

- Затухание мелкомасштабных звуковых волн на стадии рекомбинации водорода (эффект Дорошкевича-Силка)
- Столкновения микромасштабных флуктуаций с локальным нагревом электронов
- Быстропеременные источники энергии новой природы

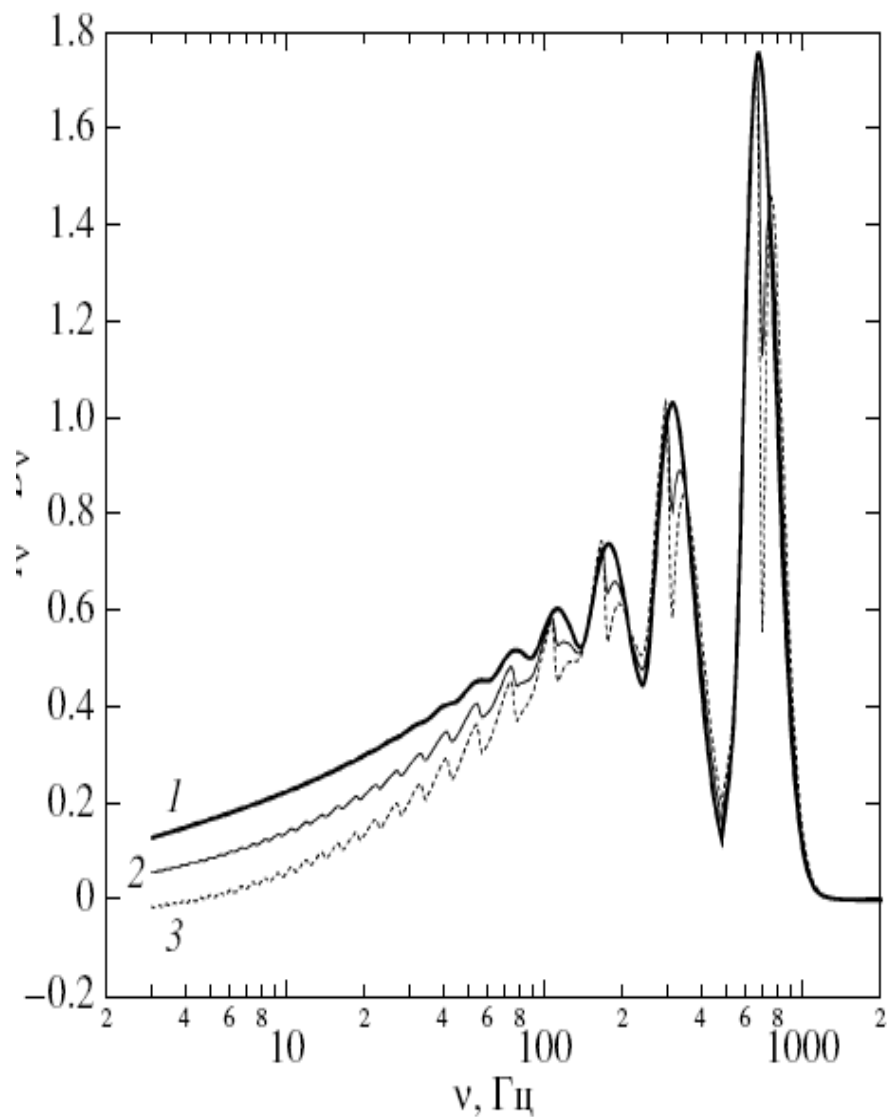


# Модель временной переменности

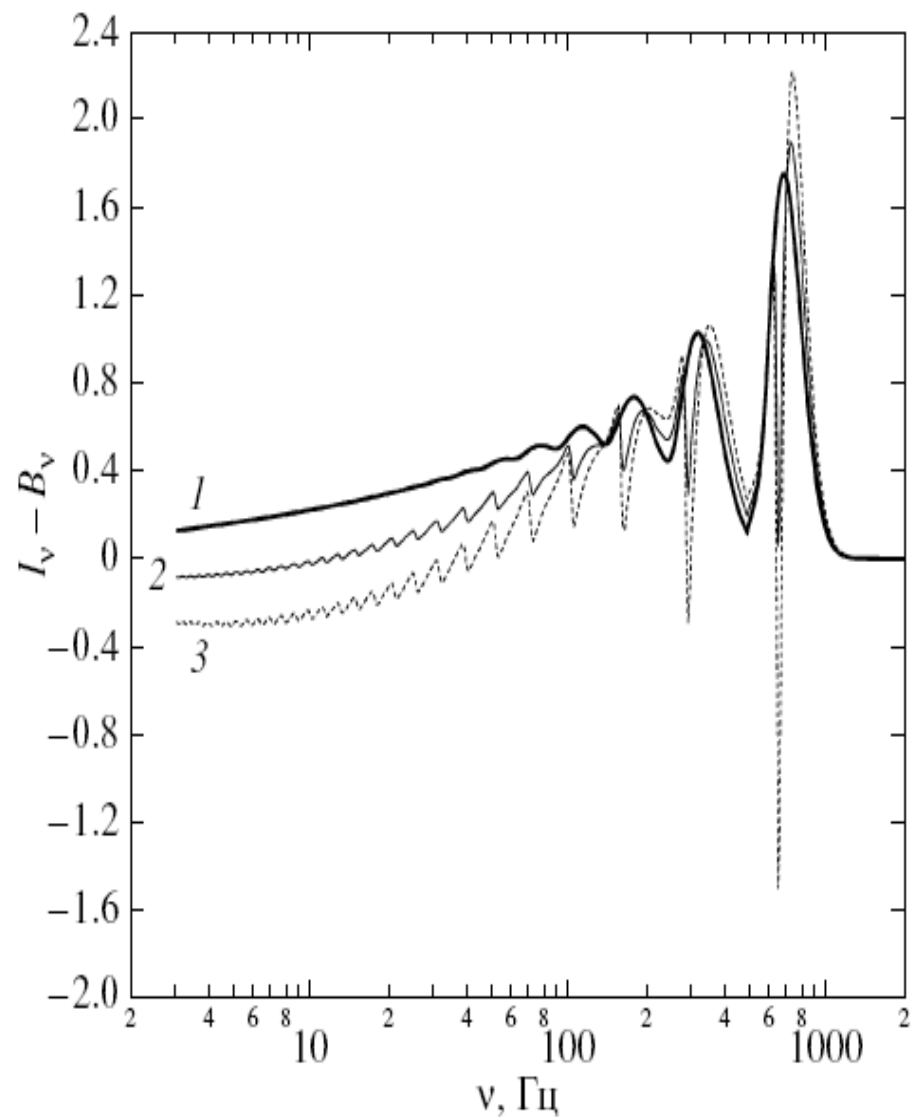
$$\tau(z) = 1 + A \exp\left(-\frac{(z - z_c)^2}{2\sigma^2}\right)$$



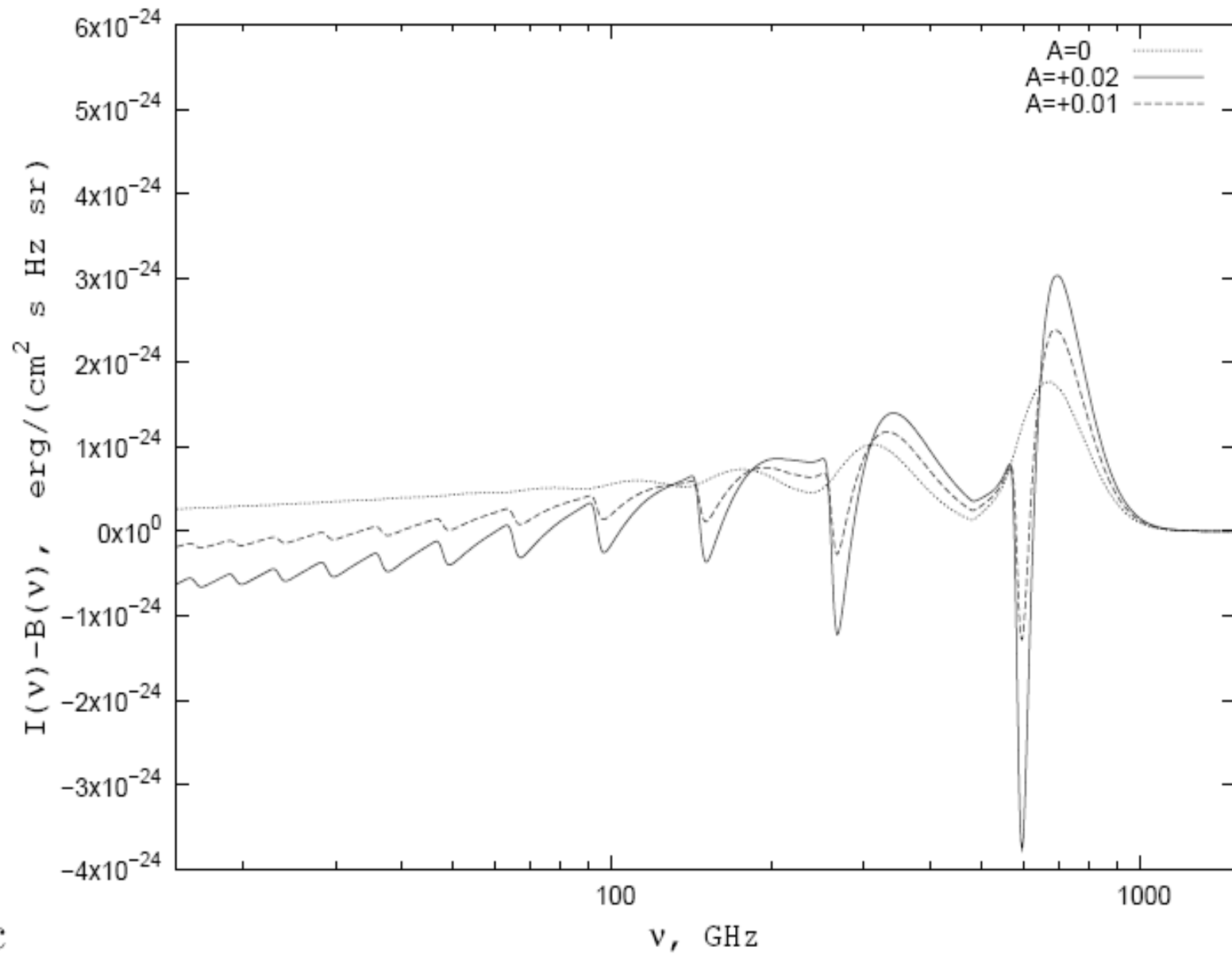
**Рис. 3.** Спектр водорода в субординатных континуумах в единицах интенсивности чернотельного излучения: *1* — невозмущенный спектр, *2* и *3* — спектры при наличии вариации  $t_e$  при  $z_c = 1200$ ,  $\sigma = 17$  (*2* — при  $A = 0.01$ , *3* — при  $A = 0.02$ ).



**Рис. 4.** Спектр водорода в субординатных континуумах в ед.  $10^{-24}$  эрг·см $^{-2}$ ·с $^{-1}$ ·Гц $^{-1}$ ·стерад $^{-1}$ . Значения параметров те же, что и на предыдущем рисунке.



**Рис. 5.** То же, что и на предыдущем рис., но при  $z_c = 1300$ .



CC

Рис. 13: Непрерывный рекомбинационный спектр для  $A = +0.01$ ,  $A = +0.02$ ,  $z_c = 1400$

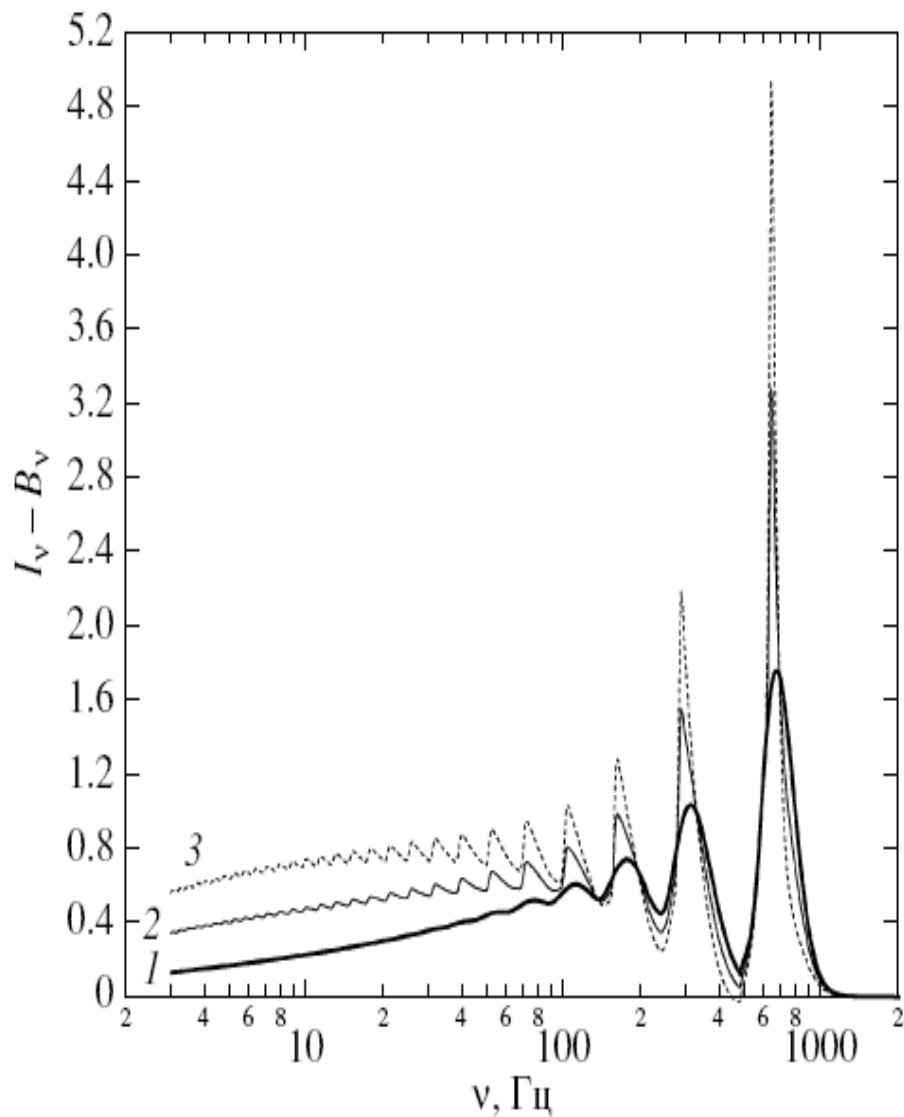


Рис. 6. То же, что и на предыдущем рисунке, но 2 — при  $A = -0.01$ , 3 — при  $A = -0.02$ .

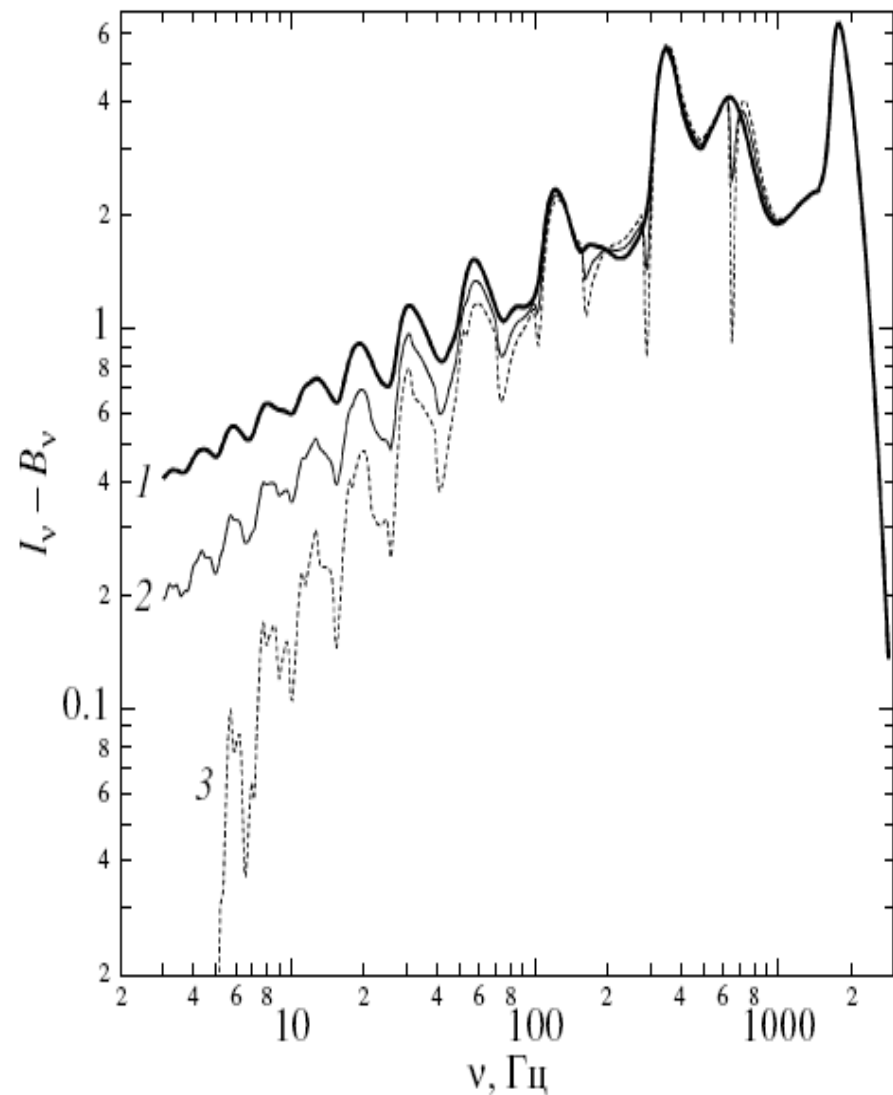


Рис. 7. Полные спектры: 1 — невозмущенный, 2 и 3 — при наличии возмущения с  $A = 0.01$  и  $A = 0.02$  соответственно ( $z_c = 1300$ ,  $\sigma = 17$ ).

# Параметры протообъектов (мелкомасштабная структура)

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = \left( \frac{M}{M_{\star}(0)} \right)^{\alpha} (1+z)^{-1}$$

D. Puy & M. Signore: Primordial molecules in the early cloud formation

**Table 1.** Initial conditions for different masses  $M$  of protoclouds (i.e. at  $z = z_{ta}$ ),  $H_o = 100 \text{ Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ,  $\Omega_o = 1$ ,  $\Omega_b = 1$

$M$ (in $M_{\odot}$ )	$z_{ta}$	$T_r$ (in K)	$T_{ta}$ (in K)	$n_{ta}$ (in $10^5 \text{ cm}^{-3}$ )	$r_{ta}$ (in $10^{20} \text{ cm}$ )	$t_{ff}$ (in $10^{13} \text{ s}$ )
$10^6$	564	1545	4496	11.23	0.293	1.381
$10^7$	261	717	1536	1.123	1.364	4.369
$10^8$	121	333	447	0.123	6.332	13.81
$10^9$	55	154	119	$1.23 \cdot 10^{-2}$	29.39	43.69
$10^{10}$	25	72	25	$1.23 \cdot 10^{-3}$	136.4	138.1
$10^{11}$	11	33	6	$1.23 \cdot 10^{-4}$	633.2	436.9
$10^{12}$	5	15	1.7	$1.23 \cdot 10^{-5}$	2939	1381

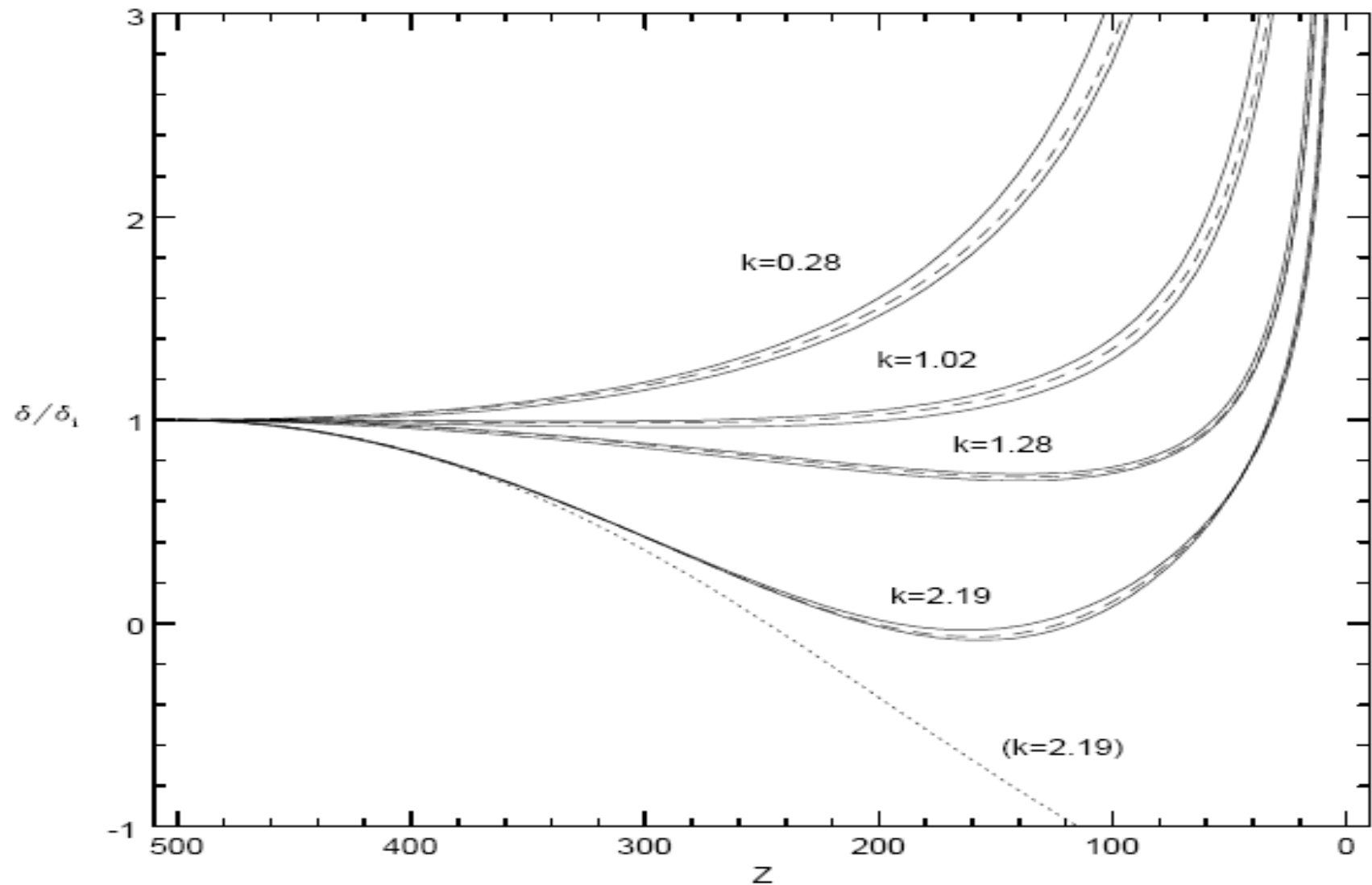


Fig. 1.— Evolution of the overdensity for single spherical Fourier modes in the linear regime. The overdensity  $\delta$  is normalized to its initial value  $\delta_i$ . The comoving wavenumber  $k$  is given in  $\text{kpc}^{-1}$ . The dashed lines are obtained analytically from linear theory. The pairs of solid lines show numerical results for  $\delta(r, z)$  at the center and at the surface of the sphere. (The

# Охлаждение первичных объектов

Основные молекулы –  $\text{H}_2$ , HD Возможно –  $\text{HeH}^+$ , ...

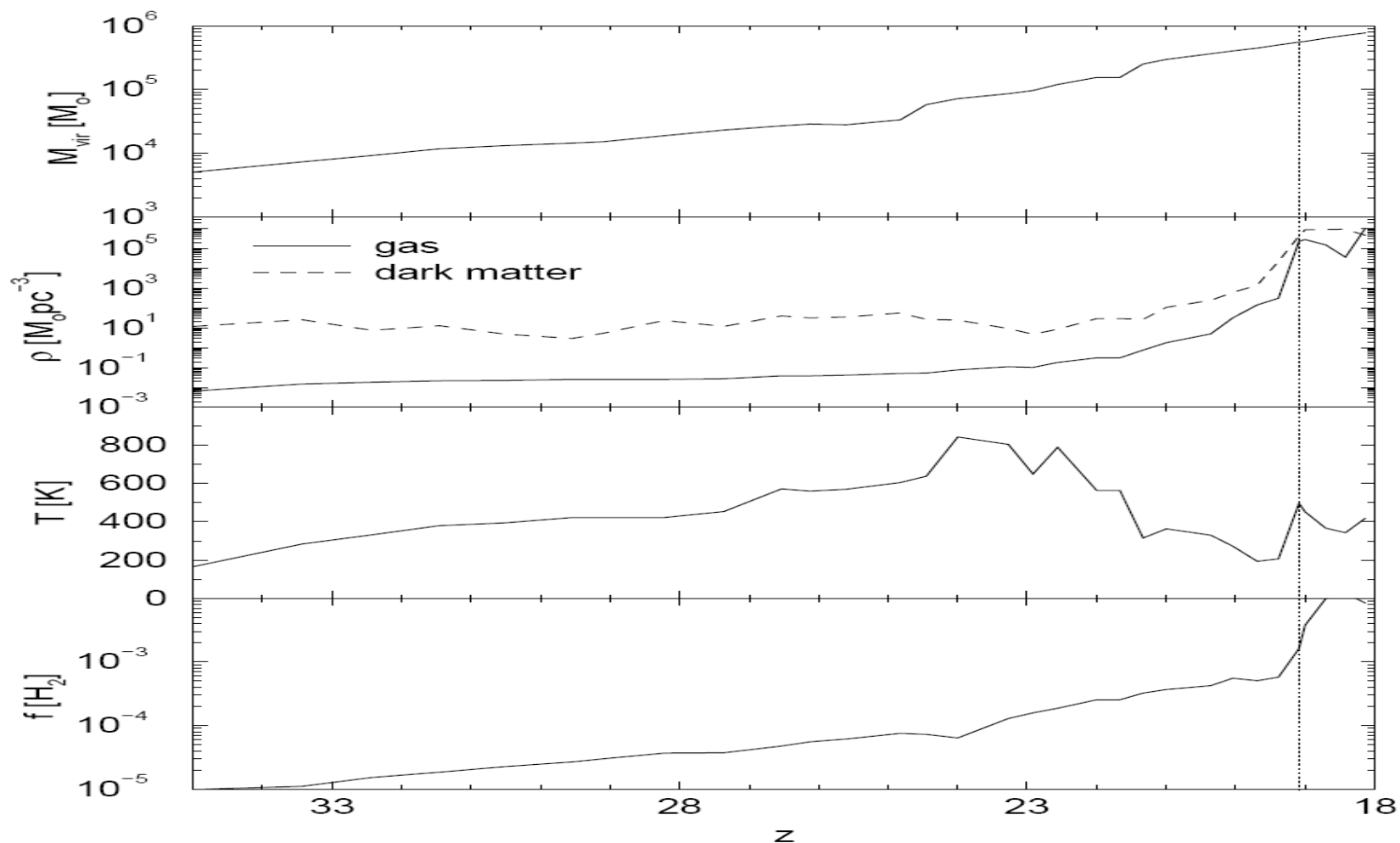


Fig. 1.— The top panel shows the evolution of the virial mass of the most massive clump as a function of redshift. The remaining panels show the density (both dark and baryonic), the temperature, and the molecular hydrogen mass fraction at the central point of that clump. The central point is defined as the point with the highest baryon density. Clearly the finite gas pressure prevents baryons from clumping as much as the dark matter at redshifts  $\gtrsim 23$ . The vertical line at  $z = 19.1$  indicates where our numerical model breaks down.



## Соотношение размер – интервал частот

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = 2^{3/2} \Omega^{1/2} z^{1/2} \theta$$

$$\theta = 10'' (M/10^{12} M_{\odot})^{1/3} (100/z)^{1/2} \omega^{-1/3} \Omega^{1/2}$$

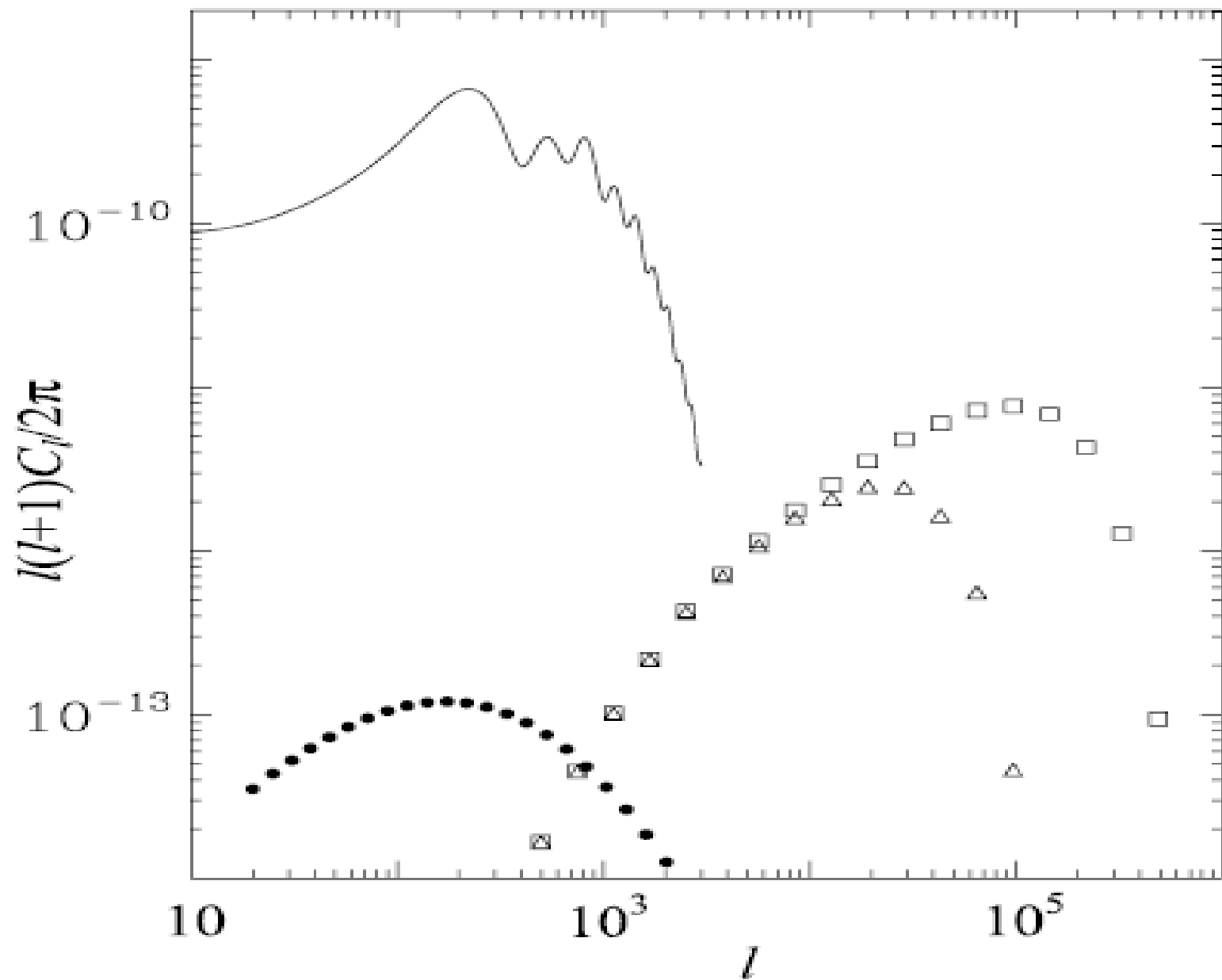
$$\Delta\nu/\nu \approx 4.1 \cdot 10^{-3} M_{12}^{1/3} (0.04/\Omega_b)^{1/3}$$

# Микромасштабная структура

Возможное наличие сверхтяжелых частиц темной материи приводит к формированию неоднородностей плотности на масштабах порядка масс планет и меньше

Пространственное распределение этих флуктуаций похоже на крупномасштабное (фрактальность?)

Эти масштабы уже сравнимы с длиной свободного пробега атомов в силу чего возможна резкая сепарация первичных химических элементов по радиусу и значительное увеличение локального обилия более тяжелых компонент.



**Figure 1.** The spectrum of the CMB temperature anisotropy generated by the Doppler (dots) and OV effects for  $\alpha_j = 0.05$  (triangles) and  $0.01$  (squares), as compared with the expected primary CMB anisotropy (solid line).

# Роль первичных магнитных полей

Охлаждение первичных объектов идет в основном за счет излучения в линиях  $H_2$

Образование  $H_2$  идет по реакциям:



Магнитное поле тормозит движение электронов. При наличии неоднородного поля peculiarных скоростей это приводит к неоднородности концентрации электронов и в конечном итоге к неоднородности распределения конденсированных объектов.

# Молекулы и ударные волны

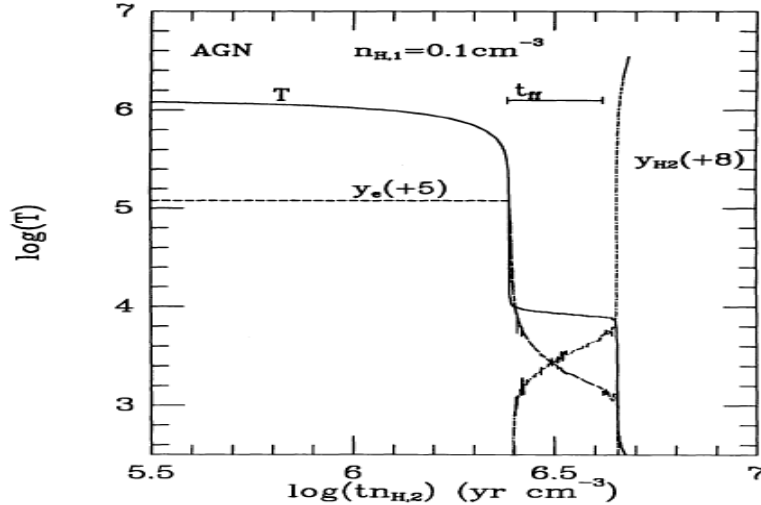


FIG. 4a

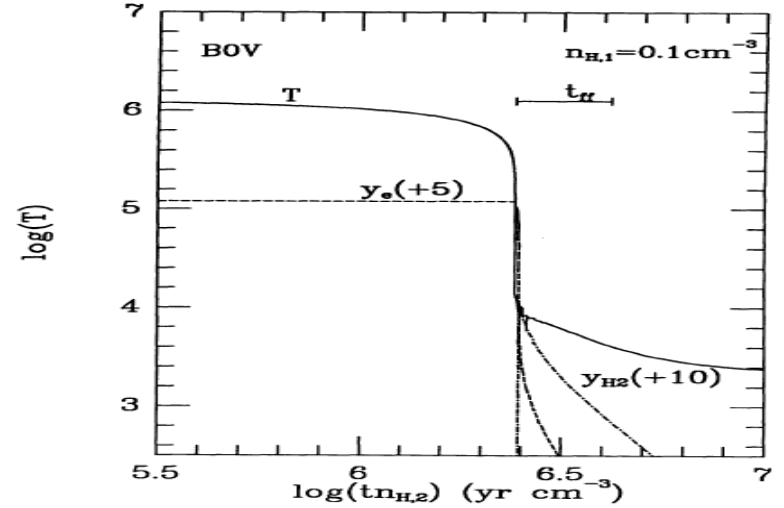


FIG. 4b

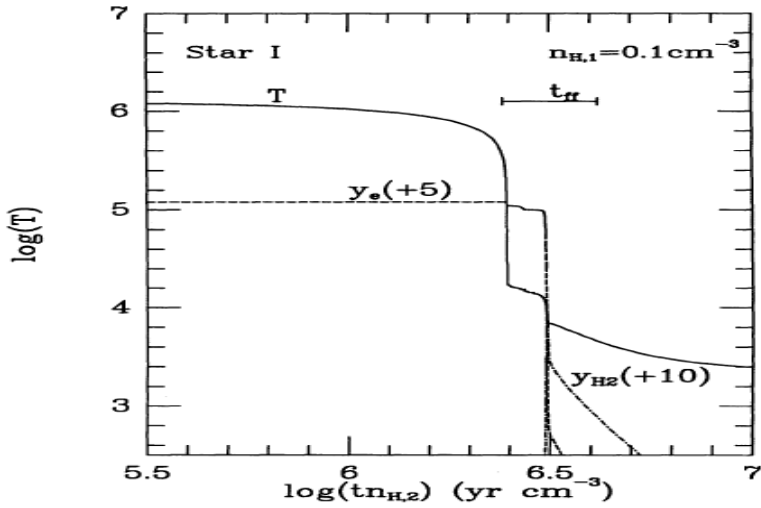


FIG. 4c

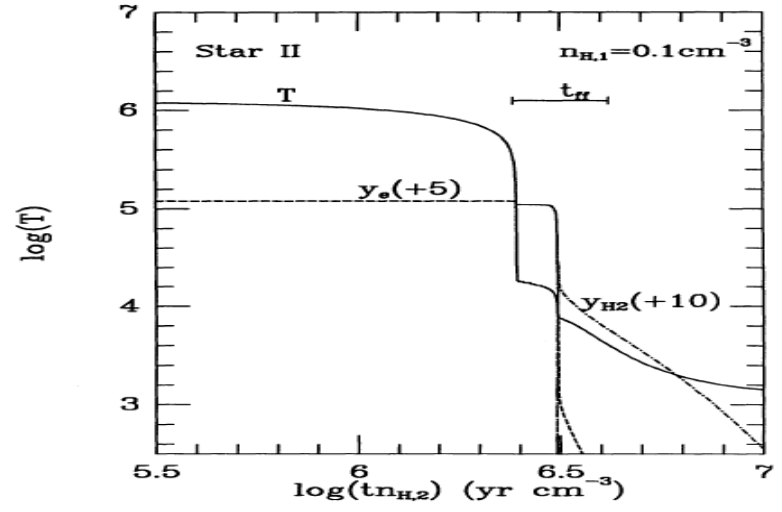


FIG. 4d

FIG. 4.—(a) Temperature (solid line), electron fraction (dashed line) and abundance of H<sub>2</sub> (dot-dashed line) for  $\phi_{AGN} = 30$ , and  $n_{H,1} = 0.1 \text{ cm}^{-3}$ . The value of  $\log(y_e)$  is offset by 5 and  $\log(y_{H_2})$  by 8. For example, the actual value of  $\log(y_e)$  is the value plotted minus 5. (b) Same as (a), except  $\phi_{BOV} = 80$ . The value of  $\log(y_{H_2})$  is offset by 10. (c) Same as (a), except  $\phi_{Star I} = 800$ . The value of  $\log(y_{H_2})$  is offset by 10. (d) Same as (a), except  $\phi_{Star II} = 800$ . The value of  $\log(y_{H_2})$  is offset by 10.

# Методы поиска SSF

- Разностно-трехточечный метод – сравнивают спектры в трех близких пространственных точках
- Разностный двумерный метод - сравнения двумерных карт неба на близких частотных каналах
- Поиск спектра мощности пространственных частот по одномерным сканам (аналог метода в программе «Холод - Космологический Ген»)

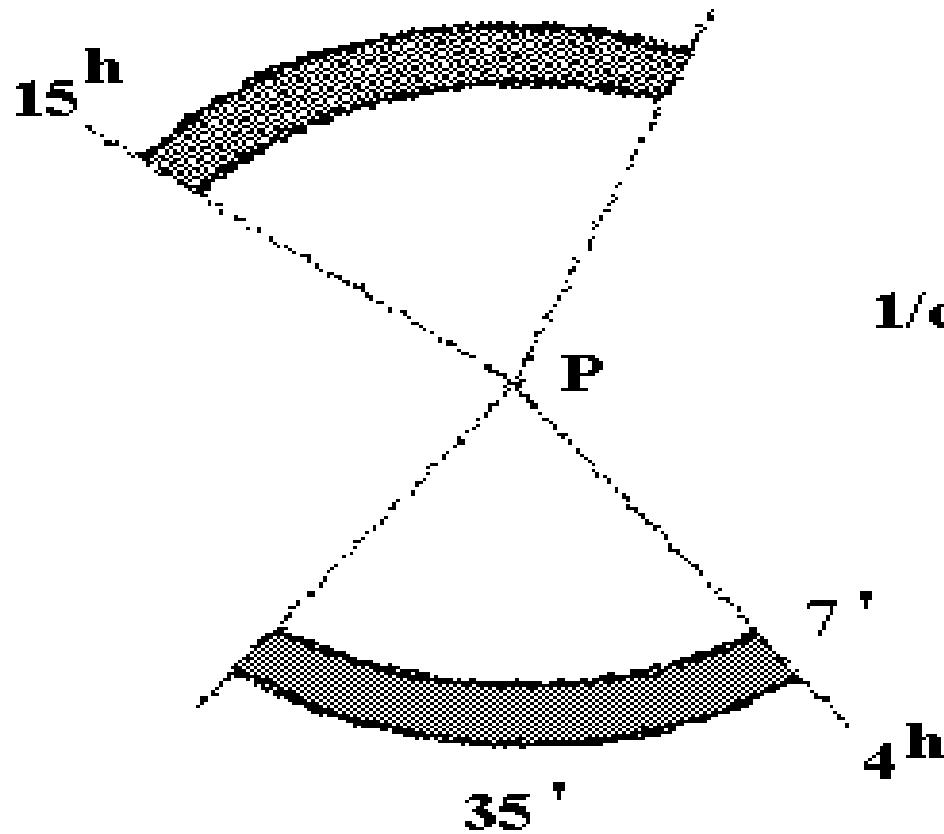
# Научные задачи

- Спектрально-пространственный обзор
- Распределение молекулярных зон малых масштабов в нашей Галактике
- Поиск первичной структуры в линиях CO на красном смещении  $z=9$  ( $\sim 3$  см)
- Выход на оценку амплитуд и масштабов структуры в линиях различных молекул в эпоху Dark Ages

# PATAH-600

**beam**

| **0.75' × 7'**



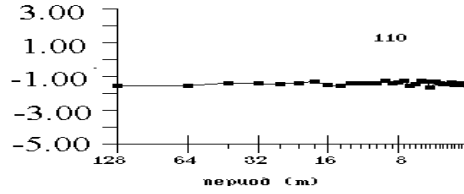
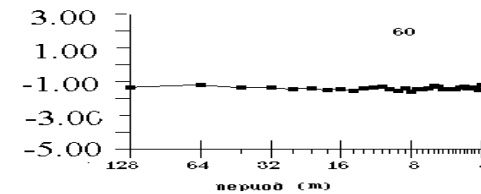
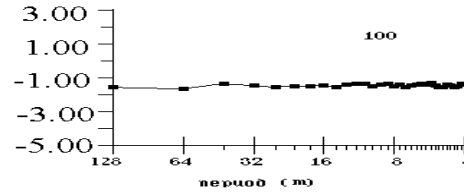
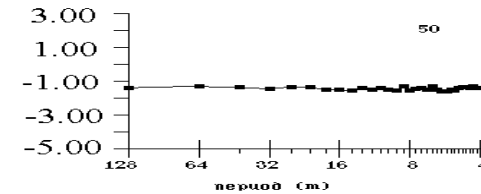
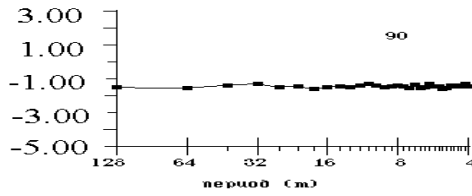
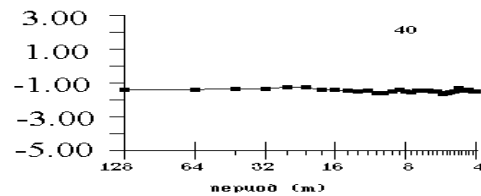
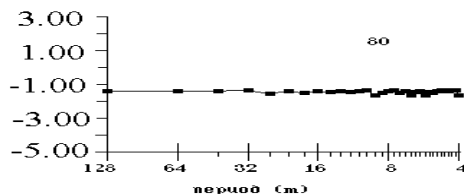
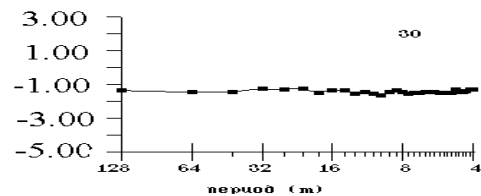
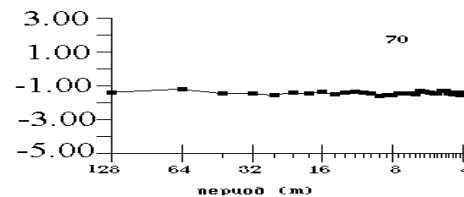
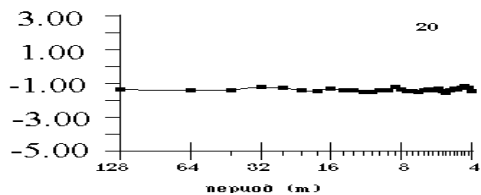
$$\mathbf{1/\cos(\delta) = 114.6}$$



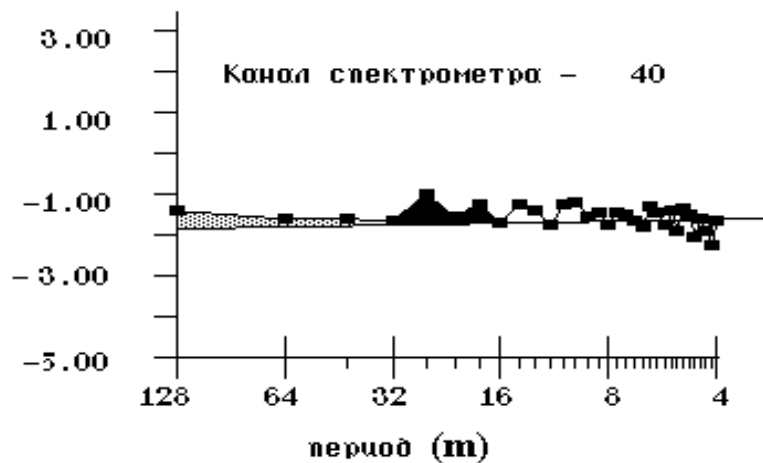
# НАГРУЗКА

## (Среднее 10 измерений)

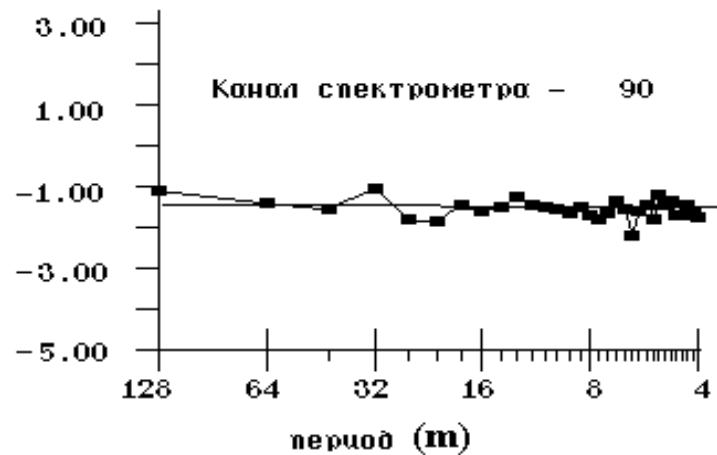
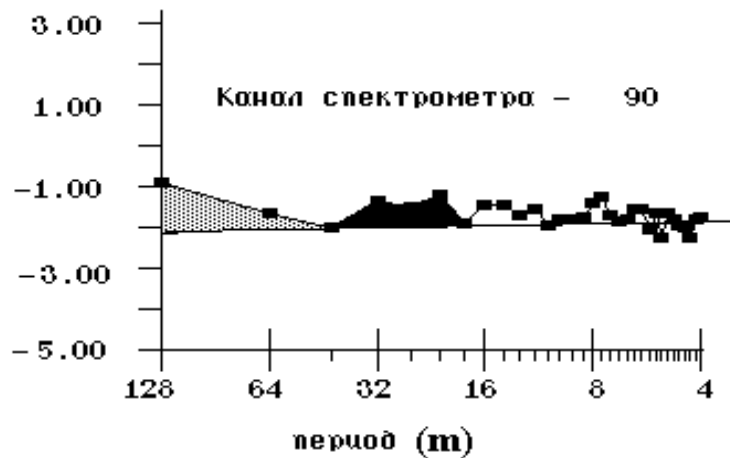
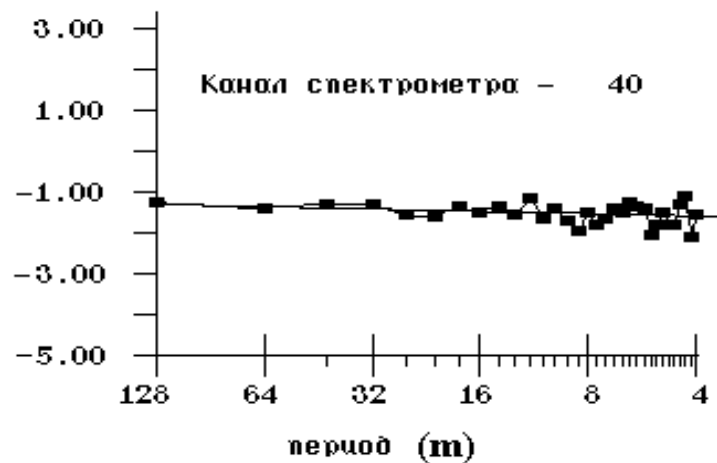
$\log_{10}$  ПЛОТНОСТИ  $K^2$  / (рад/м)



## Полусумма

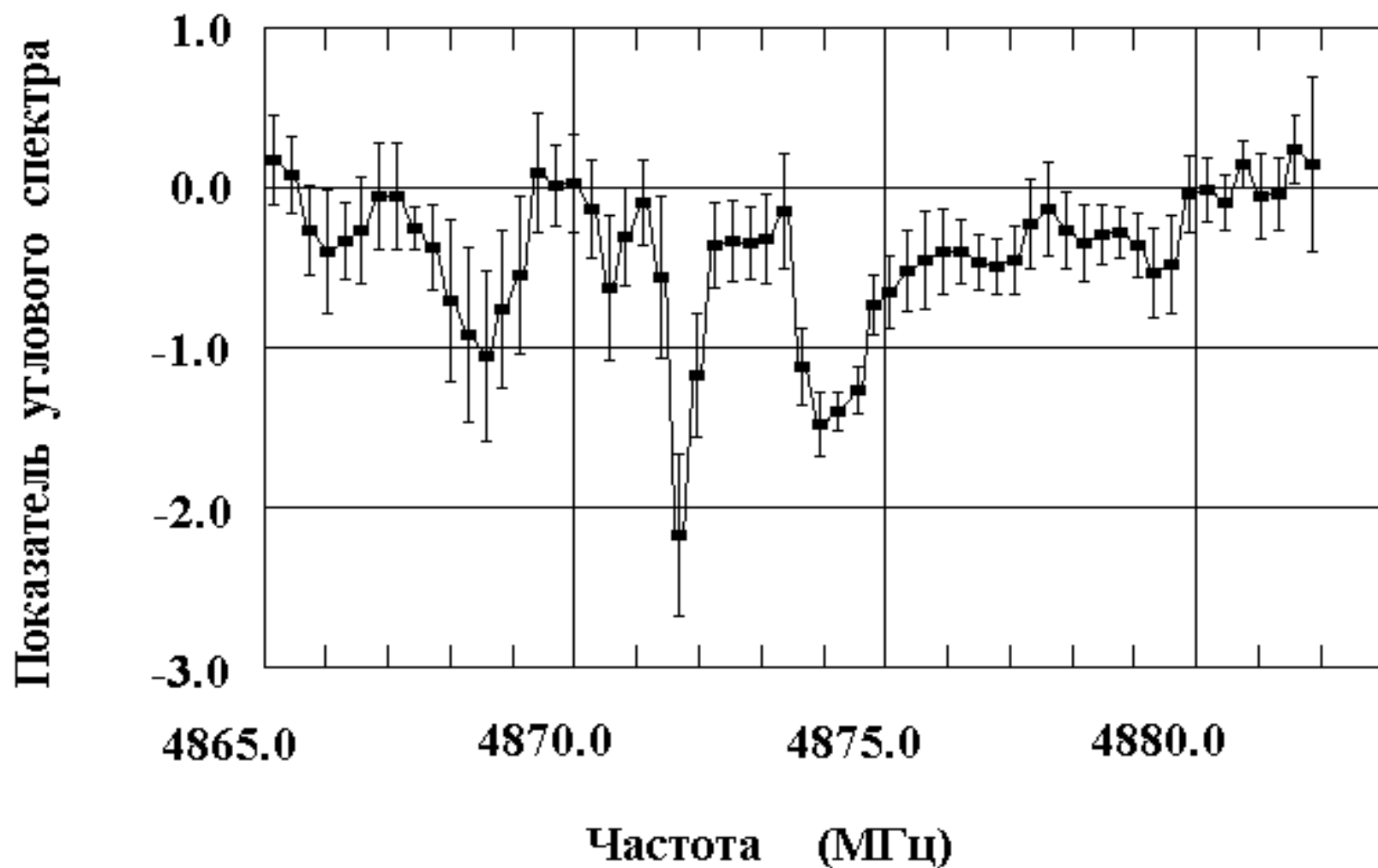


## Полуразность



POLE 2

Октябрь-ноябрь 2008



# Заключение

- Изучение первичных молекул даст уникальную информацию о физических параметрах и тонких деталях процесса первичного нуклеосинтеза .
- Изотропные спектральные искажения формируемые молекулами выявляют роль глобальных источников сверхравновесного энерговыделения в ранней вселенной (нестабильная скрытая материя, ее физические параметры).
- Первичные молекулы тестируют четырехмерную (с учетом большого интервала красных смещений – времени) картину дозвездной эволюции Вселенной на масштабах от скоплений галактик до масс планет (в частности, косвенно тестируется наличие сверхтяжелых частиц темной материи) .
- Детальный анализ параметров охлаждения первичных флуктуаций плотности позволит уточнить картину эволюции объектов на нелинейной стадии.