

# Structure, evolution and matter outflows of AGN

By E.Y.Vilkoviskiy & S.Efimov,  
Fesenkov Astrophysical Institute  
Almaty, Kazakhstan

# ДВА ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯ

теоретических исследований АЯГ в  
АФИФ в последнее десятилетие:

4. ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ КОМПАКТНОГО  
ЗВЁЗДНОГО КЛАСТЕРА в АЯГ
5. ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТЕЧЕНИЯ  
ВЕЩЕСТВА АЯГ



M82



# 1. Compact stellar clusters

G. Tenorio-Tagle, S. Silich, A.R. Gonzales and C. Munoz-Tunon

## astro-ph/9704101-Properties of H II Regions in the Centers of Nearby Galaxies

Authors: Luis C. Ho, Alexei V. Filippenko, Wallace L. W. Sargent

Comments: To appear in the Astrophysical Journal, LaTeX, 37 pages including 15 postscript figures. AAStex macros included

As part of an optical spectroscopic survey of nearby, bright galaxies, we. Superstellar Clusters: Ho 1997,

Martin Hernandez et al 2005,

Melo et al. 2005,

Msc  $\sim 10^5 - 6 \cdot 10^7$ ;  $R \sim 3-10 pc$  (Walcher et al, 2004, Pascuale et al, 20045)

## 23 Oct 1998 Supermassive Black Holes and the Evolution of Galaxies Magorrian...

D. Richstone, E. A. Ajhar, R. Bender, G. Bower, A. Dressler, S. M. Faber, A. V. Filippenko, K. Gebhardt, R. Green, L. C. Ho,

Ast Lett 1975 AGN=stars+gas+BH

© 1998 г. Э.Я. ВИЛЬКОВИНСКИЙ

### ДИАГРАММА ВРЕМЯ – СВЕТИМОСТЬ ДЛЯ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК

Предложена диаграмма время – светимость для активных ядер галактик на основе расчета взаимодействия галактик с учетом иерархии распределения масс во Вселенной.

Обсуждения возможности построения аналога диаграммы Герцшпрунга – Рассела, показывающей зависимость светимости звезд от их эффективной температуры, для активных ядер галактик (далее АЯГ) начались довольно давно [1, 2], однако лишь развитие унификационных моделей, основанных на ротационной симметрии АЯГ, позволило "разделить переменные": видимое (определяемое чисто наблюдательными критериями) разнообразие классов может быть в значительной мере сужено (унифицировано) посредством свертки по углам апекса  $i$ , что существенно упрощает задачу определения критериев внутренних различий активных ядер.

Важнейшими из параметров, определяющих различия АЯГ, несомненно также являются болометрическая светимость  $L$ , изменяющаяся в интервале от  $10^{48}$  до  $10^{40}$  эрг  $\cdot$  с $^{-1}$ , и время  $t$ , поскольку сильная эволюция АЯГ не вызывает сомнений. Несмотря на многочисленные исследования эволюции функции светимости АЯГ, детали и физические причины такой эволюции остаются неясными. Основная цель настоящей работы – построение теоретической зависимости  $L(t)$ , дающей физическую интерпретацию эволюции светимости АЯГ.

Поскольку объем данного сообщения ограничивает возможность детальной аргументации, приведем основные положения предлагаемой теории в упрощенной, аксиоматической форме. Предварительно заметим, что АЯГ (в отличие от звезд) состоит из нескольких физических различных, но сильно взаимодействующих подсистем. Наиболее очевидным является наличие следующих трех основных подсистем [3]:

I. Центральный объект – массивная черная дыра (ЧД) с аккреционным диском и парой осевых джетов.

II. Компактный звездный ядро, содержащий большую часть массы АЯГ.

III. Газовая подсистема, включающая в себя холодные облака, заключенные в горячий газ, а также молекулярно-пылевые торы, окружающие периферию аккреционных дисков.

Итак, пусть аксиоматика теории состоит из следующих положений.

1. Все АЯГ включают в себя три указанные подсистемы. Степень относительной "развитости" этих подсистем может быть различна, но роль звездного ядра в эволюции особенно важна.

2. Справедлива унификационная модель, объясняющая большинство различий наблюдаемых оптических и радиосвойств АЯГ (кроме дихотомии радиогромкость – тихость) ротационной симметрией и различием угла наблюдения относительно оси симметрии.

## Истечение вещества АЯГ

**The INTERACTING subsystems theory of active galactic nuclei. I. The broad-absorption-line QSO theory, E. Y. Vilkoviskij, S. N. Efimov, O. Karpova, L. Pavlova: *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 309,80-88(1999)**

**Роль компактного звёздного кластера**

**E. Vilkoviskiy and B. Czerny,**

***Astronomy & Astrophysics*, 2002,**

**The role of the central stellar cluster in active galactic nuclei. I. Semi-analytical model**

**11 Apr 2007**

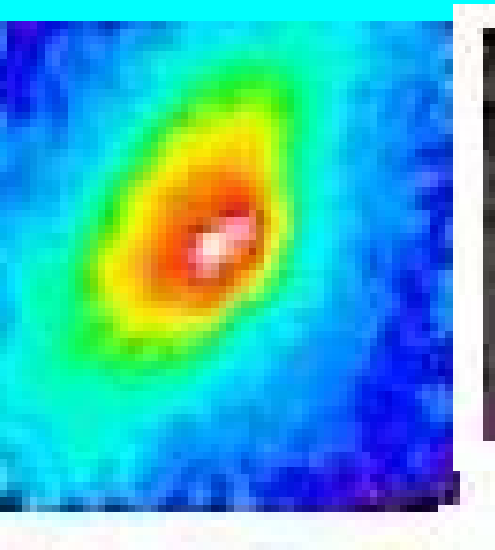
# **A Close Look at Star Formation around Active Galactic Nuclei<sup>1</sup>**

R.Davies,.. R.Genzel...

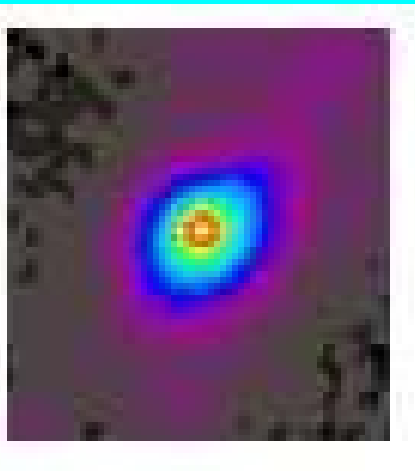
We analyze star formation in the nuclei  
of 9 Seyfert galaxies

**at spatial resolution down to 0.085",  
corresponding to 10pc in some objects.**

# Every picture size is about 1" X 1"



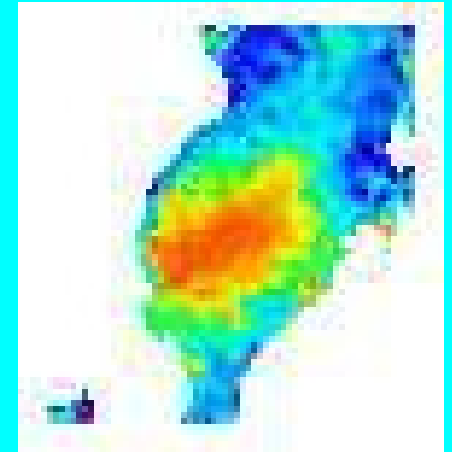
Звёздный  
континуум



Поток в узкой  
Брекетт-гамма



Скорость по  
Брекетт-гамма



Брекетт-гамма  
дисперсия



Table 3. Measured & Derived [R.Davies, R.Genzel...2007](#)

Object	radius		log LK/ Lsol		$\Sigma_{\text{dyn}}$
	"	pc		log Mdyn	( $10^4 \text{ Mc/ pc}^{-2}$ )
Mkn 231a	0.6	480	9.3	9.8	0.9
NGC 7469	0.4	128	8.5	8.7	1.0
Circinus	0.4	8	6.2	7.5	17
NGC 3227b	0.4	32	7.8	8.0	3.7
IRAS 05189	0.55	450	9.3	—	—
NGC 2992c	0.4	64	7.5	—	—
NGC 1097d	0.25	22	6.7	8.2	1.3
NGC 1068	0.5	35	7.6	8.1	3.4
NGC 3783e	0.3	60	7.5	7.3	0.2

Таким образом, современные наблюдения подтверждают существенную роль компактного звездного кластера в явлении АЯГ.

Это подтверждает важность исследования **ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПОДСИСТЕМ АЯГ:** Компактного звёздного кластера, газовой подсистемы (межзвёздная газовой-пылевая среда, аккреционный диск, СМЧД).

В АФИФ с 2002 начаты такие расчеты и ведутся с использованием методов “n-body simulation” вместе с Гейдельбергским университетом (Р Шпурцем); Фольксваген проект 2007-2010.

(Р Шпурцем, Э.Вильковиский, Ч. Омаров)

# ИСТЕЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВА АЯГ

Оценки связанной с широкими абсорбциями потери массы BALQSO составляют от 0.1 до нескольких  $M_{\odot}/y$ .

При построении теоретической модели истечения вещества АЯГ необходимо учитывать данные наблюдений (Antanucci 1993), которые свидетельствуют о справедливости унификационной схемы (внутреннее единство АЯГ типов Sy1 и Sy2),

а также теоретические соображения о возможной роли компактного звездного кластера в центре АЯГ.

Отсюда была определена структура нашей обобщенной унифицированной модели.

# Квazarы с широкими линиями поглощения

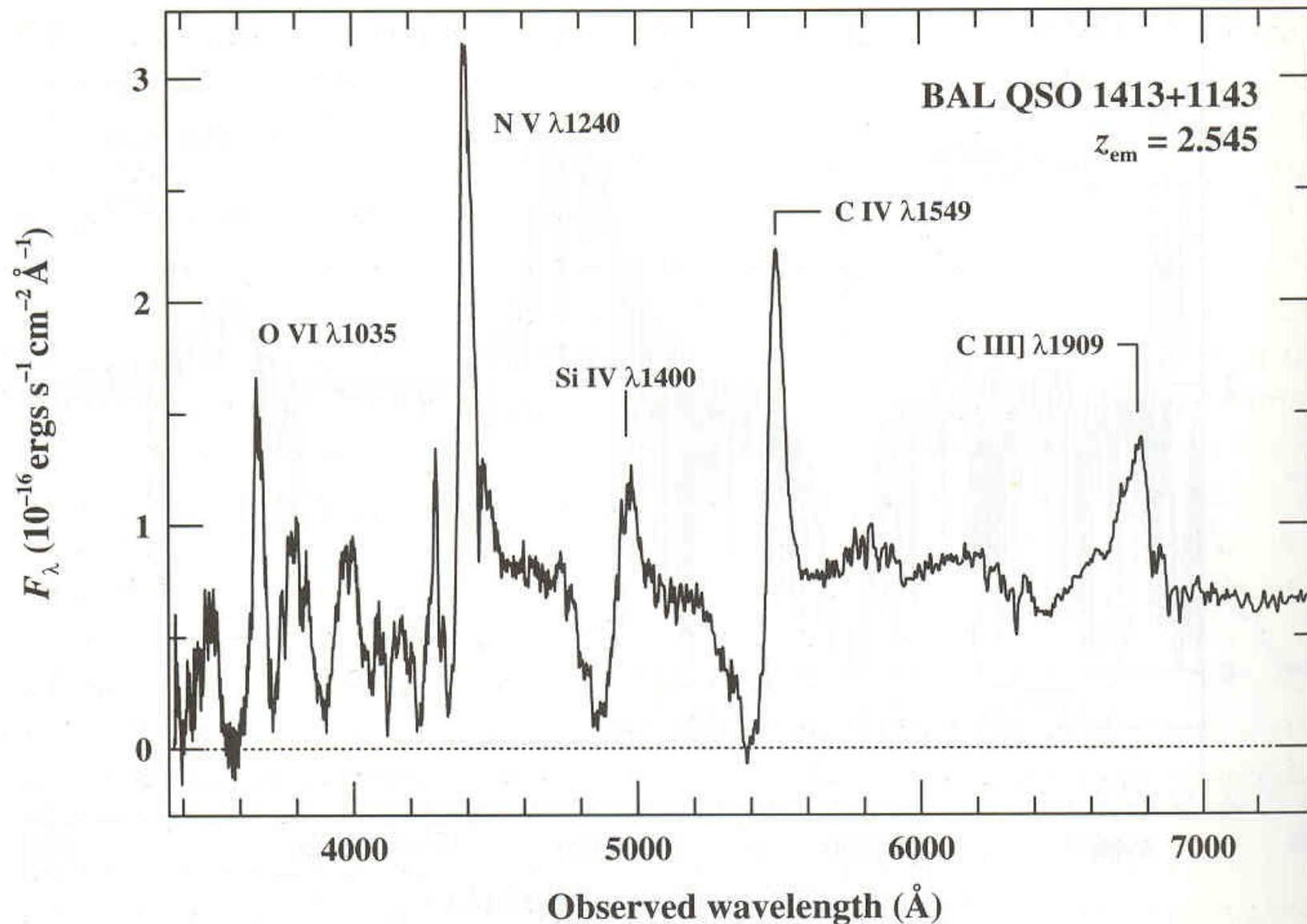


Fig. 12.6. The QSO 1413+1143 is an example of a broad absorption-line (BAL) QSO

1987 - 2001ГГ  
a-Foltz, Weymann,.. b-Vilkovisky, Irwin

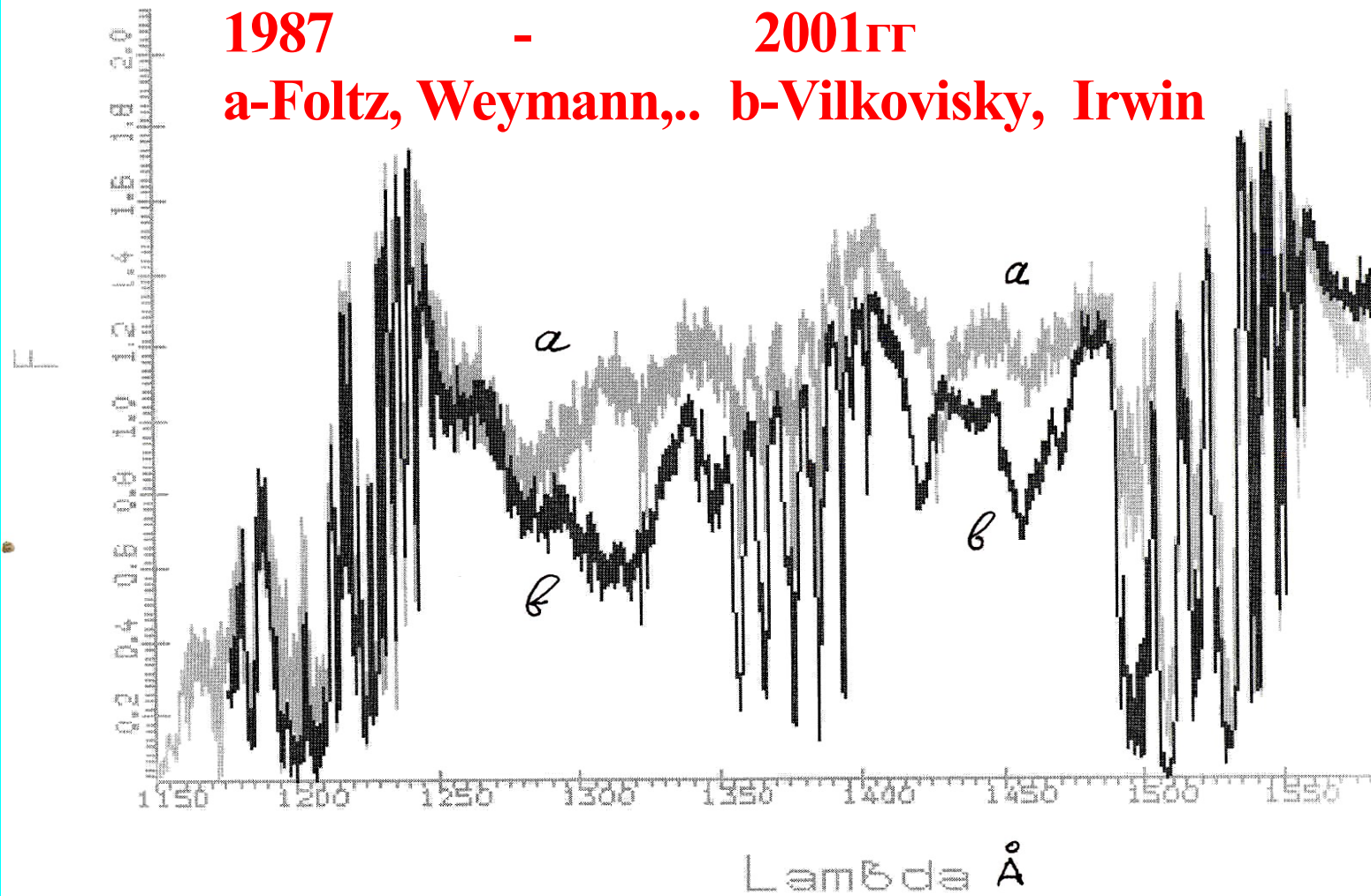
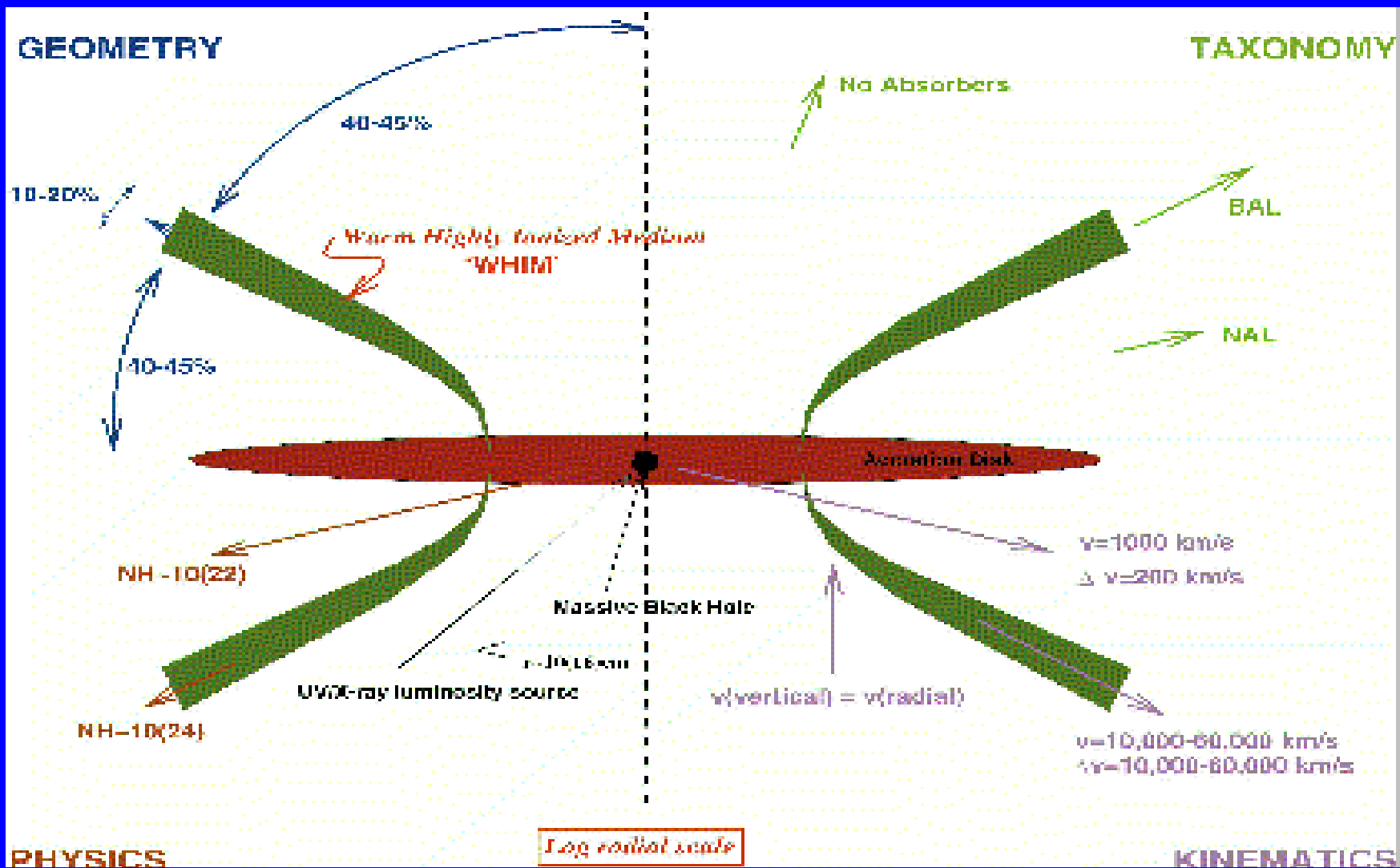


Fig. 1



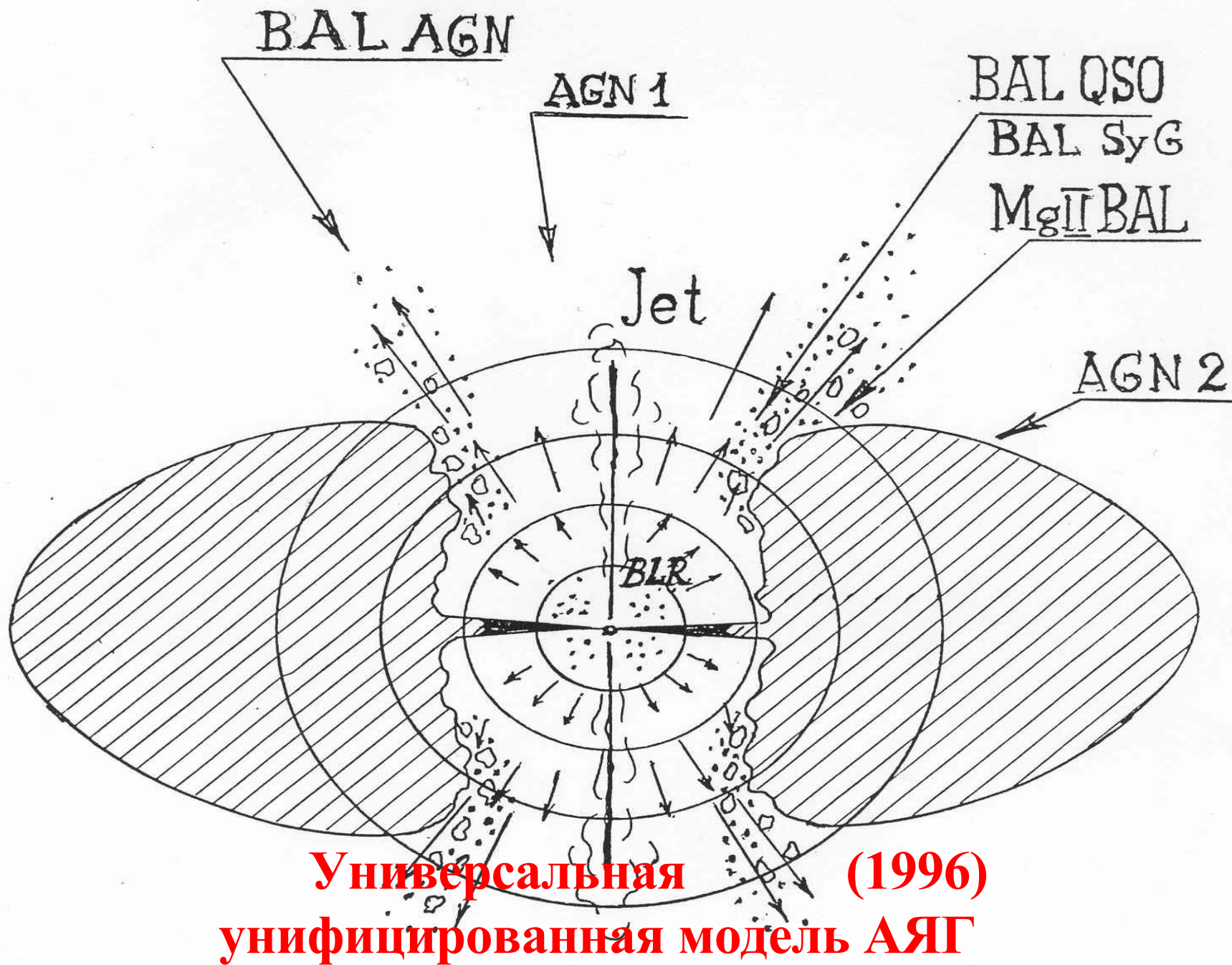
Эмпирическая модель истечения вещества АЯГ (Elvis 2000)

## ИСТЕЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВА АЯГ

Оценки связанной с широкими абсорбциями потери массы BALQSO составляют от 0.1 до нескольких  $M_{\odot}/y$ .

При построении теоретической модели истечения вещества АЯГ необходимо учитывать данные наблюдений (Antanucci 1993), которые свидетельствуют о справедливости унификационной схемы (внутреннее единство АЯГ типов Sy1 и Sy2), а также теоретические соображения о возможной роли компактного звездного кластера в центре АЯГ. Отсюда была определена структура нашей обобщенной унифицированной модели.







NGC 4154

NGC 1068

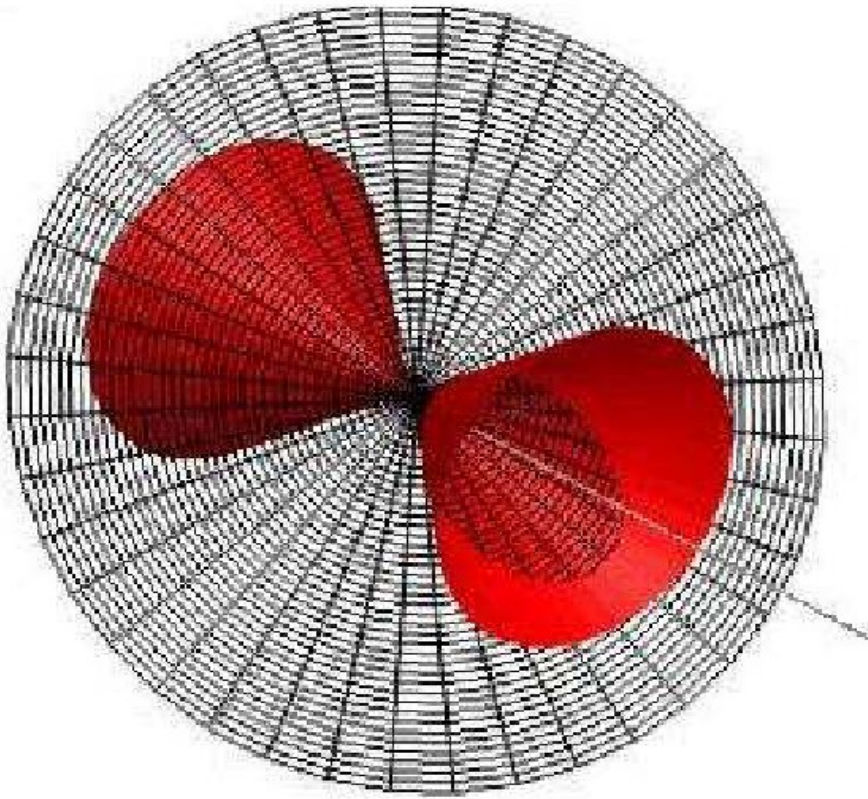
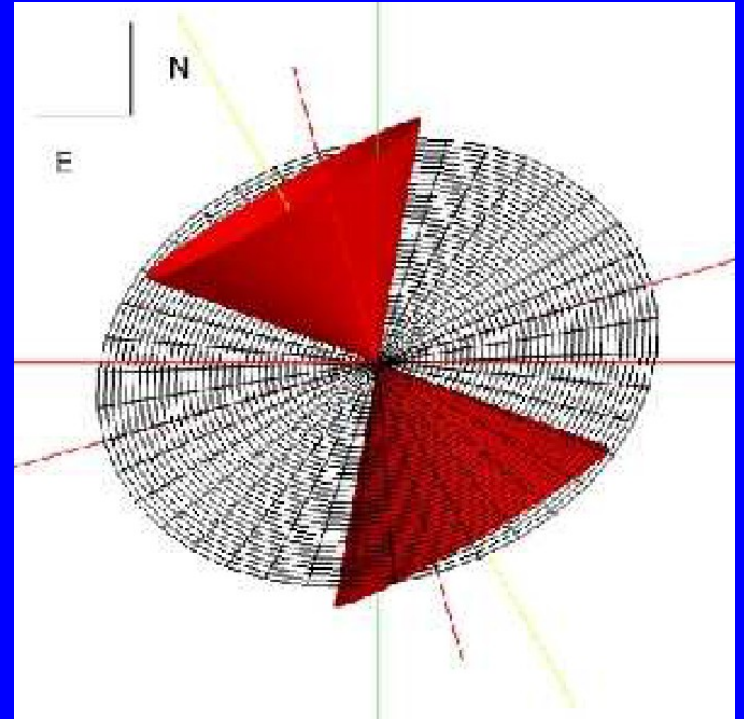


Fig. 12



V. Das, D.M. Crenshaw, J.B.  
Hutchings, R.P. Deo, S.B.  
Kraemer...  
astro-ph/0505103



M82

# Давление излучения и ИСТЕЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВА АЯГ

Уравнения для звездного (и солнечного [ $g_{\text{rad}}=0$ ]) ветра:

$$\begin{cases} dM/dt = 4\pi r^2 \rho(r) v(r), \\ v dv/dr = 1/\rho(r) dp/dr - GM/r^2 + g_{\text{rad}}(r) \\ \text{div}\Phi = S(r) \end{cases} \quad (1)$$

В сплошной однородной среде давление излучения в спектральных линиях (в приближении Соболева)

$$g_{\text{rad}} = 1/c\rho(r) \sum_j F_j \Delta v_j (1 - \exp(-\tau_j)) / \tau_j,$$

где  $\tau_j = \chi_j V_T / (dv/dr)$ ,  $V_T / (dv/dr)$  - Соболевская длина,  $\chi_j$  - коэффициент поглощения в линии.

Если температура вещества ветра практически постоянна ( $\sim 10^4\text{K}$ ), получим уравнение течения в виде

$$v dv/dr = \{2 a^2/r - GM(r)/r^2 + g_{\text{rad}}(r)\} / (1 - a^2/v^2) \quad (2)$$

где  $a \sim (kT/m)$  скорость звука.

В активных ядрах галактик (**АЯГ**) рассматривают две различных модели течения:

1) модель **однородной среды**

2) модель **двухфазной среды**, в которой поглощающие (более холодные) облака движутся в почти прозрачной (более горячей) сплошной среде.

Во втором случае динамика поглощающего вещества определяется уравнением движения для облака под действием сил давления излучения, взаимодействия со сплошной средой и тяготения:

$$dV/dt = g_{\text{rad}} + g_{\text{int}} + g_{\text{grav}}$$

В двухфазной среде ускорение отдельного облака давлением излучения вследствие поглощения излучения в спектральных линиях и континууме можно записать в виде

$$g_{\text{rad}} = 1/c(S_{\text{cl}}/M_{\text{cl}}) \left\{ \int \int \Sigma_j \chi_j F(\nu) \exp[-\tau_j] d\nu dr + \int \int \chi(\nu) F(\nu) \exp[-\tau(\nu)] d\nu dr \right\}, \quad (3)$$

где  $\tau_j = \chi_j r_{\text{cl}}$ ,  $\chi_j = \chi_{j0} \exp[-((\nu - \nu_j)/\Delta\nu_j)^2]$  - коэффициент поглощения в линии,

$\tau(\nu) = \chi(\nu) r_{\text{cl}}$ ,  $\chi(\nu)$  - коэфф. поглощения в континууме.

Ускорение трением квадратично зависит от разности скоростей облака и окружающей среды

$$g_{\text{int}} = \rho_{\text{hg}} (S_{\text{cl}}/M_{\text{cl}}) |v - V(\mathbf{r})| [v - V(\mathbf{r})]. \quad (4)$$

## Для расчета модели динамики и спектров очень важно правильно рассчитать перенос излучения в облачной среде.

Рассмотрим два предельных случая поглощения в линии, соответственно при малой и большой оптической толщине этой линии в отдельном облаке,  $\tau_j^0 = (\pi e^2/mc) N_{ij} f_j (\Delta v_D)^{-1}$ , где  $e$  и  $m$  - заряд и масса электрона,  $N_{ij}$  - колонковая плотность иона в облаке,  $f_j$  - сила осциллятора для перехода в данной линии,  $\Delta v_D$  - доплеровская ширина линии.

Выражения для изменения потока излучения  $\Phi$  с расстоянием имеет вид:

$$d\Phi/\Phi = - S_{cl} n_{cl} \{1 - \exp(-\tau_j^0 \exp[-((v-V_{cl})/V_T)^2])\} dr,$$

Интегрируя это выражение, (переходя к  $dr=(dr/dv)dv$ ) можно найти зависимость величины поглощения от скорости потока облаков  $V_{cl}$ . Для двух предельных случаев величины оптической толщины в данной линии в одном облаке получим (Qwan 1990):

а) при  $\tau_j^0 \ll 1$ ,  $\tau_j = -\ln(\Phi/\Phi_0) \approx S_{cl} n_{cl} \tau_j^0 V_T / (dV_{cl}/dr)$ ,

б) при  $\tau_j^0 \gg 1$ ,  $\tau_j = -\ln(\Phi/\Phi_0) \approx S_{cl} n_{cl} q V_T / (dV_{cl}/dr)$ , где  $q \sim 1.5 \ln(\tau_j^0 + 0.5)^{1/2}$ .

Из этих выражений видна зависимость  $\tau_j$  от градиента скорости облаков: при достаточно большом градиенте, суммарная оптическая толщина в линии может стать малой даже при очень большой оптической толщине отдельных облаков в этой линии, и наоборот.

Основная часть суммарной оптической толщины определяется «локальным фактором покрытия»  $S_{cl} n_{cl} V_T / (dV_{cl}/dr)$ , где  $L=V_T / (dV_{cl}/dr)$  есть аналог Соболевской длины.

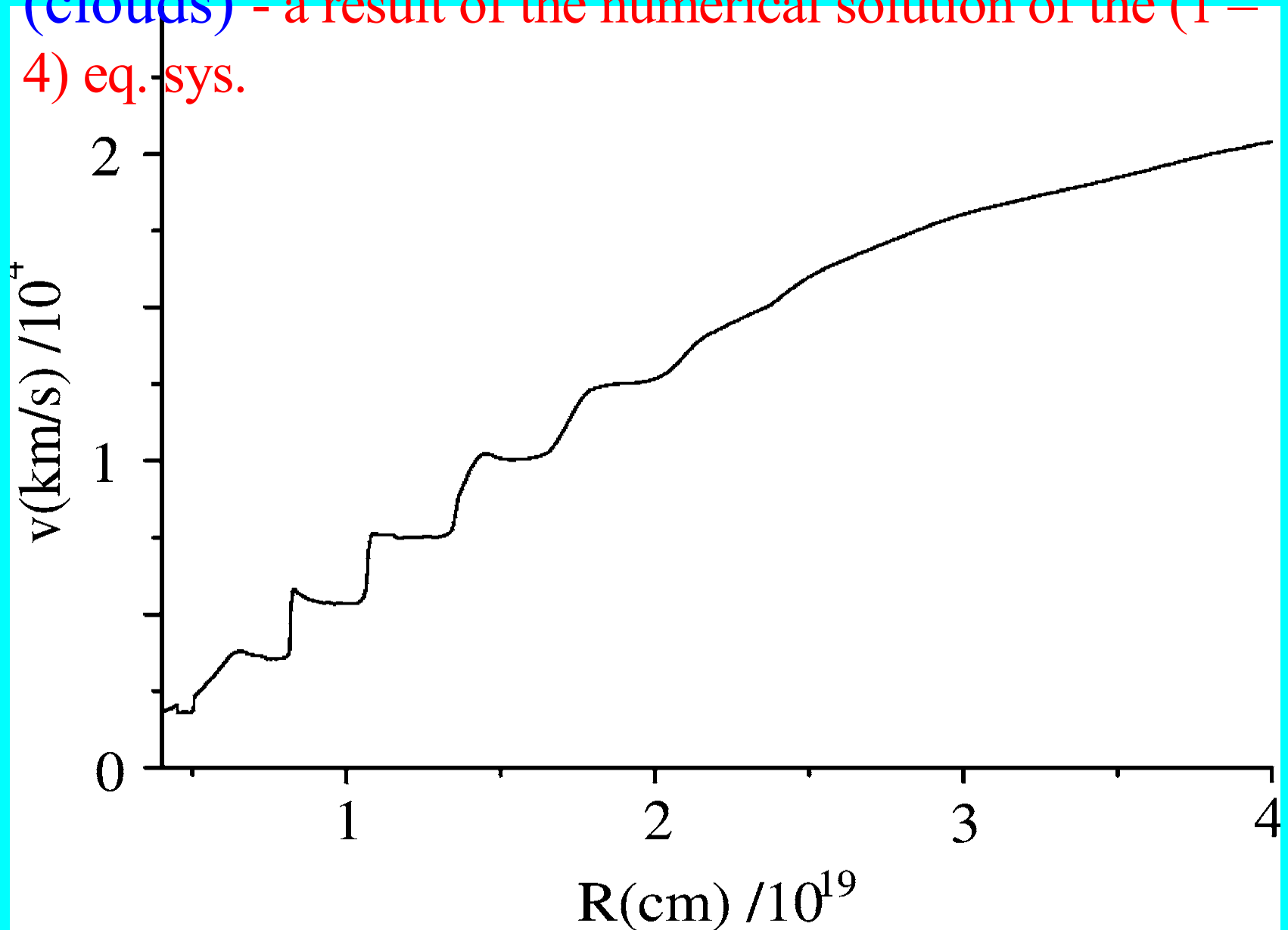
**Зависимость поглощения (а значит, и силы давления излучения) от градиента скорости ведет к интересным нелинейным эффектам динамики облаков. Ускорение и скорость могут испытывать резкие скачки, а**

NB: «Фактор покрытия»  $F = S_{cl} n_{cl} V_T / (dV_{cl}/dr)$   
определяет профиль линий погл.

Problems stressed by R. Weymann 2002г :

- 1) Оценки колонковых плотностей по величине поглощения в УФ и рентгене сильно разнятся
- 2) В УФ наблюдаются «узкие детали» в широких линиях поглощения, причем их скорость (положение на шкале частот) не меняется за время порядка 10 лет

Профиль скорости течения холодной фазы  
(clouds) - a result of the numerical solution of the (1 –  
4) eq. sys.



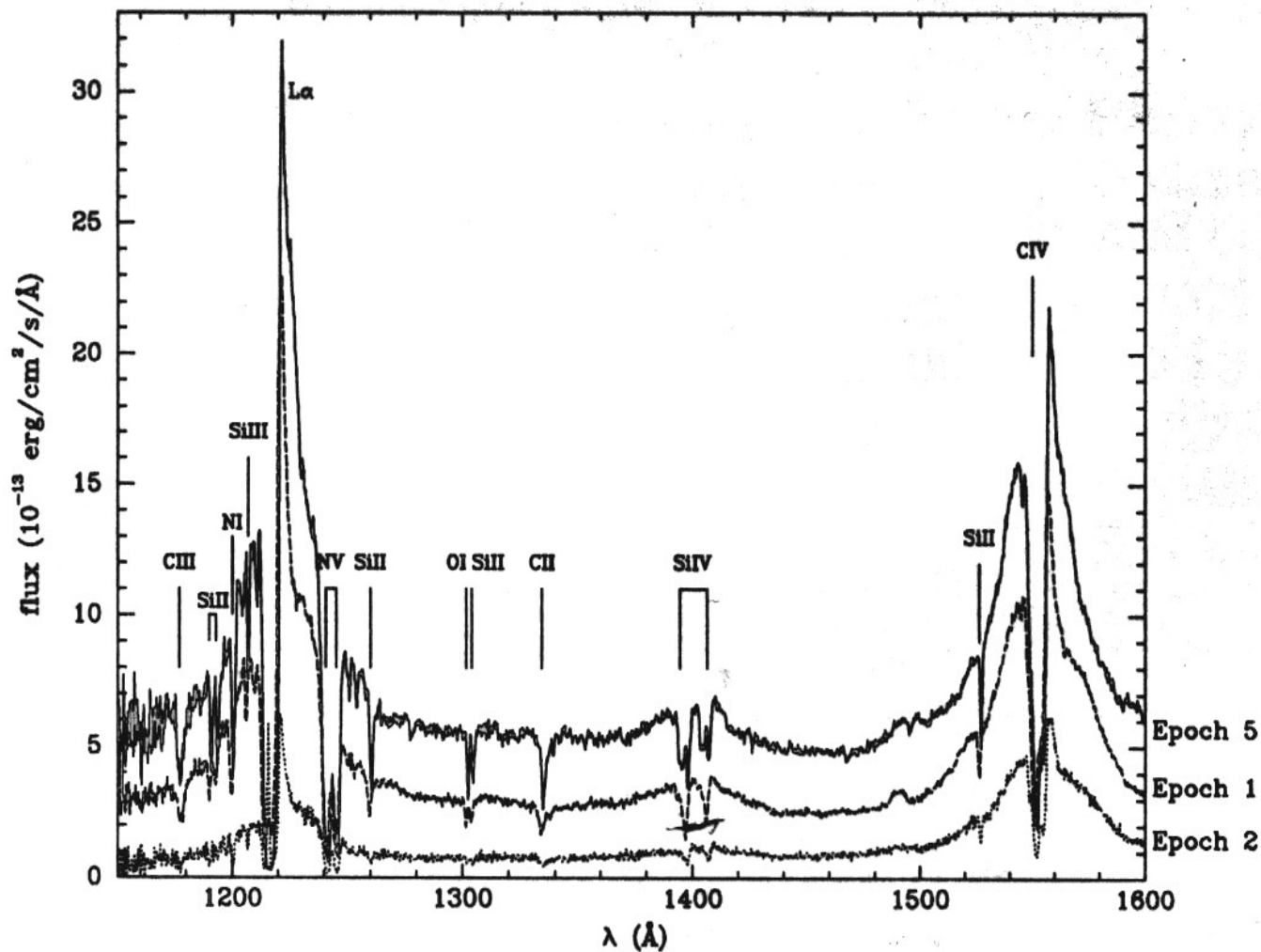
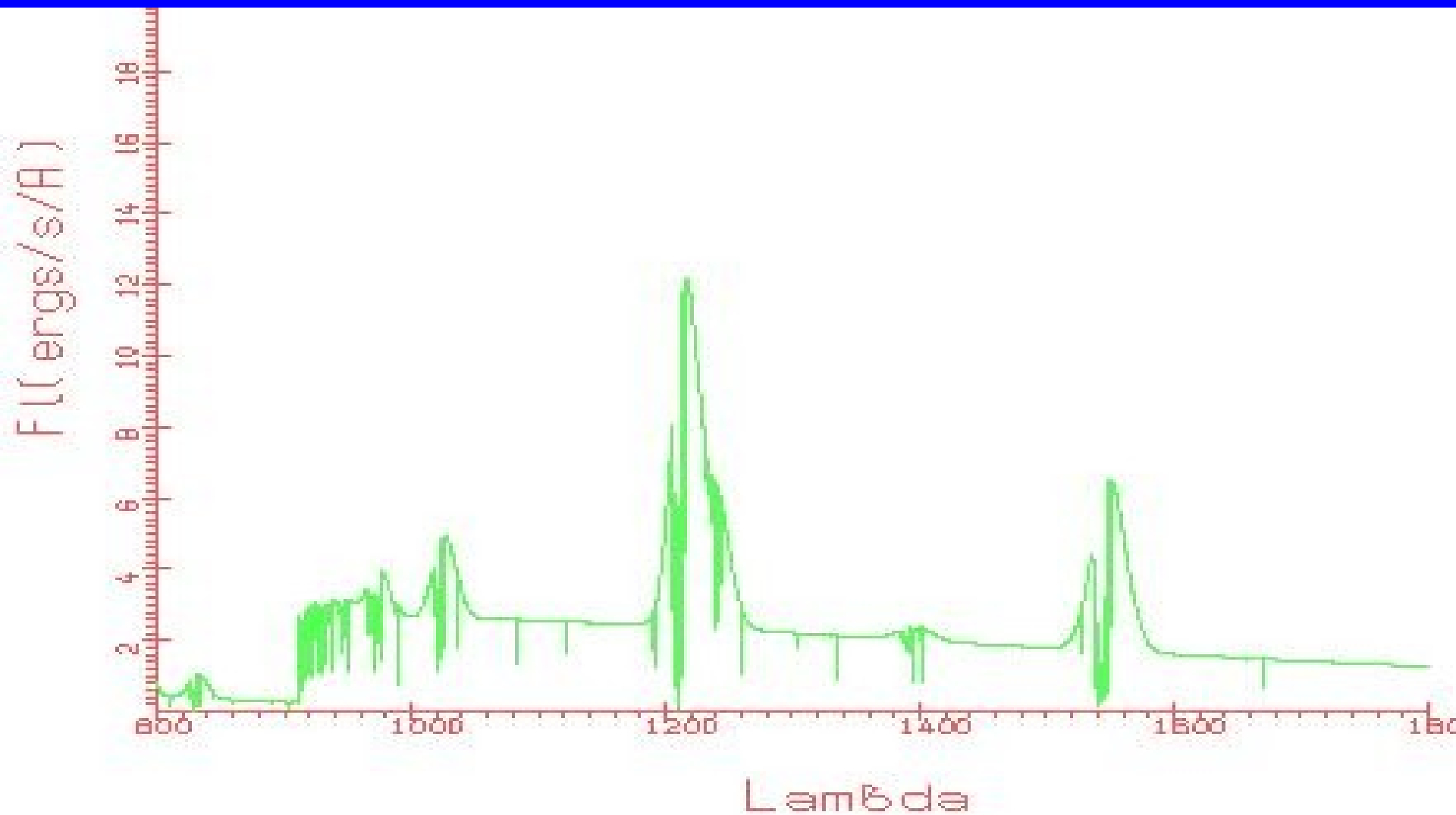
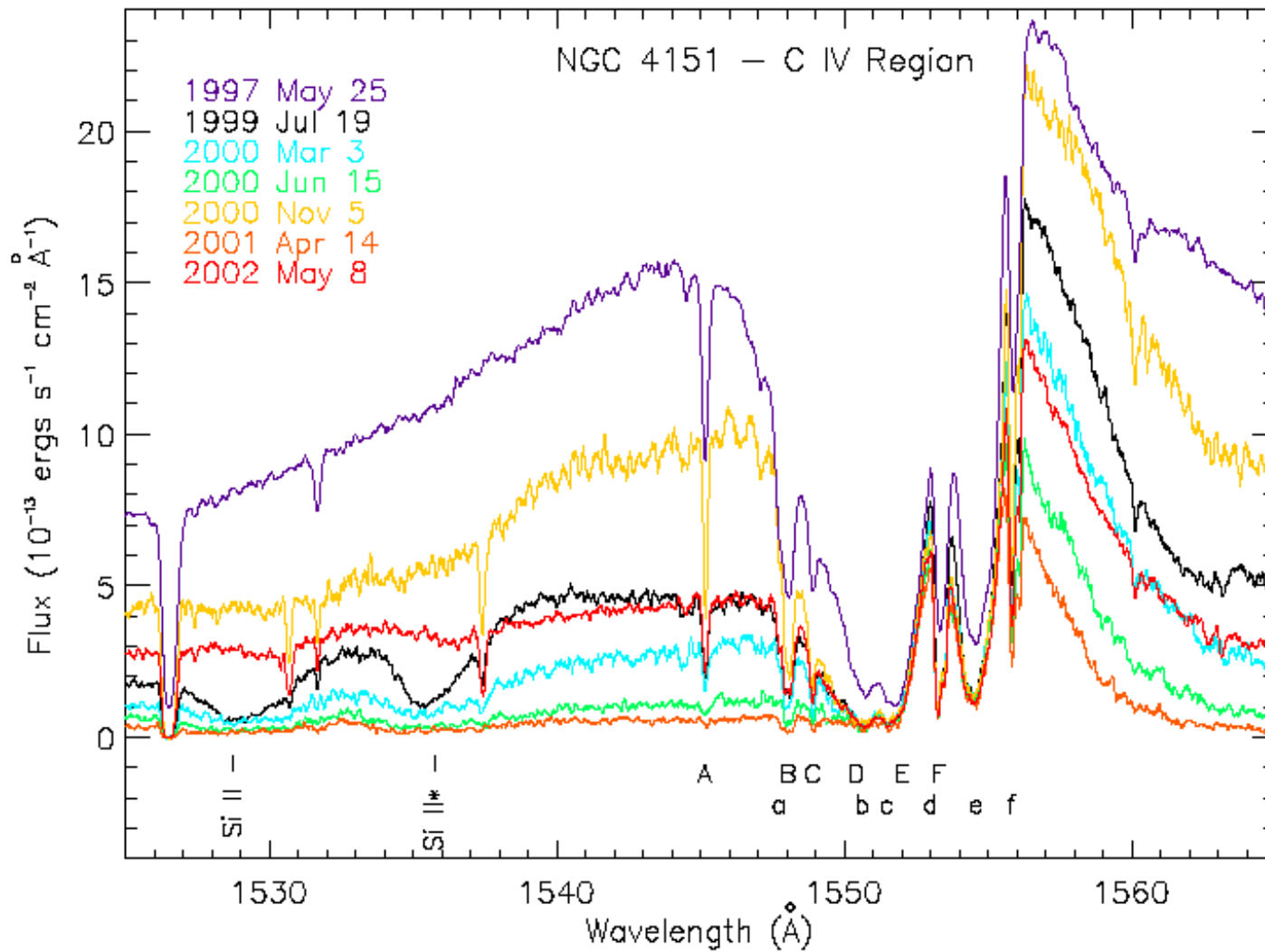


FIG. 2.—Absorption lines in the FOS spectra of NGC 4151. Note that the epoch 2 target acquisition failed, so the nucleus of NGC 4151 was not centered on the aperture, and the flux level is unreliable.

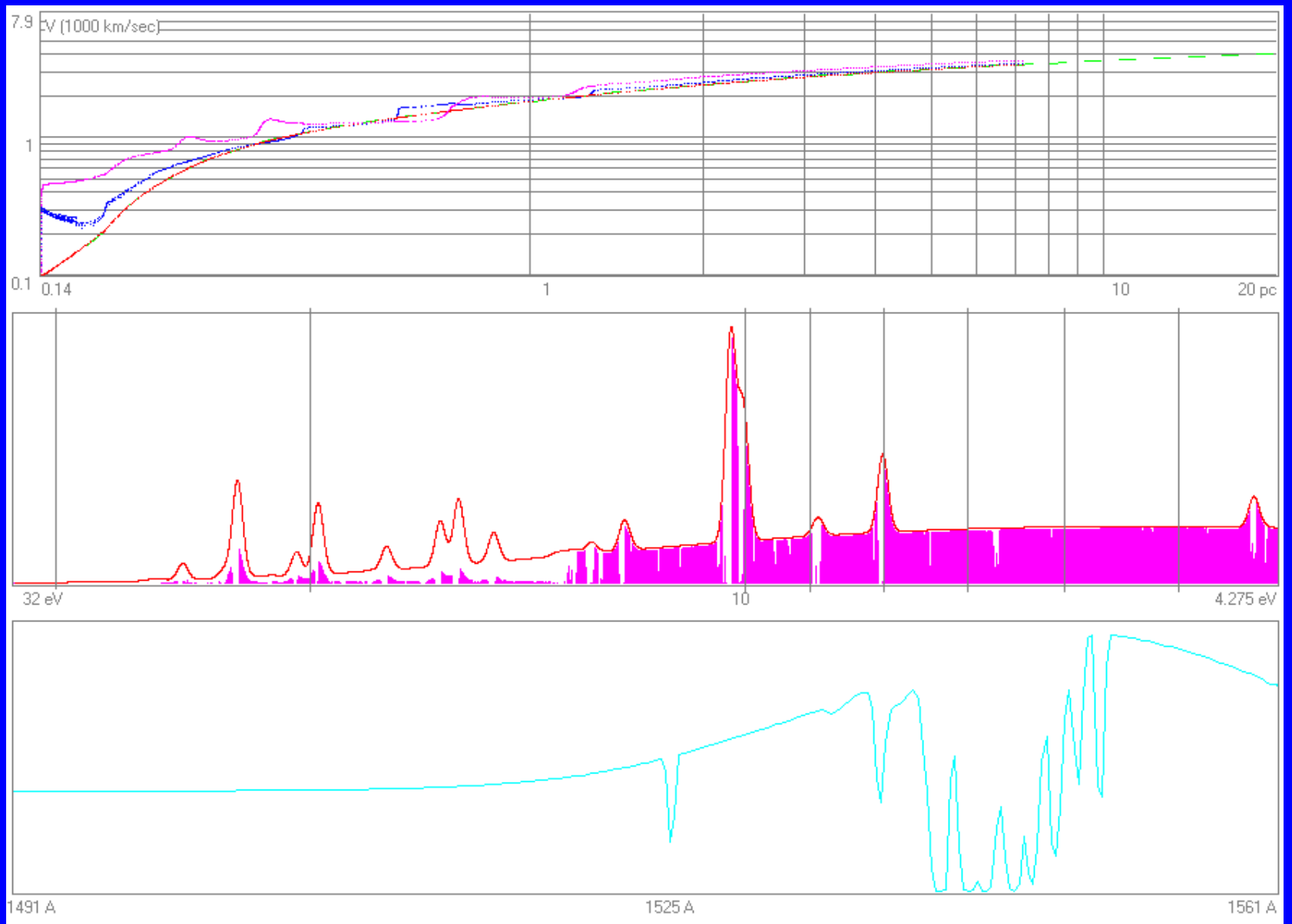


Рассчитанный спектр NGC 4151 (Sy 1,5)



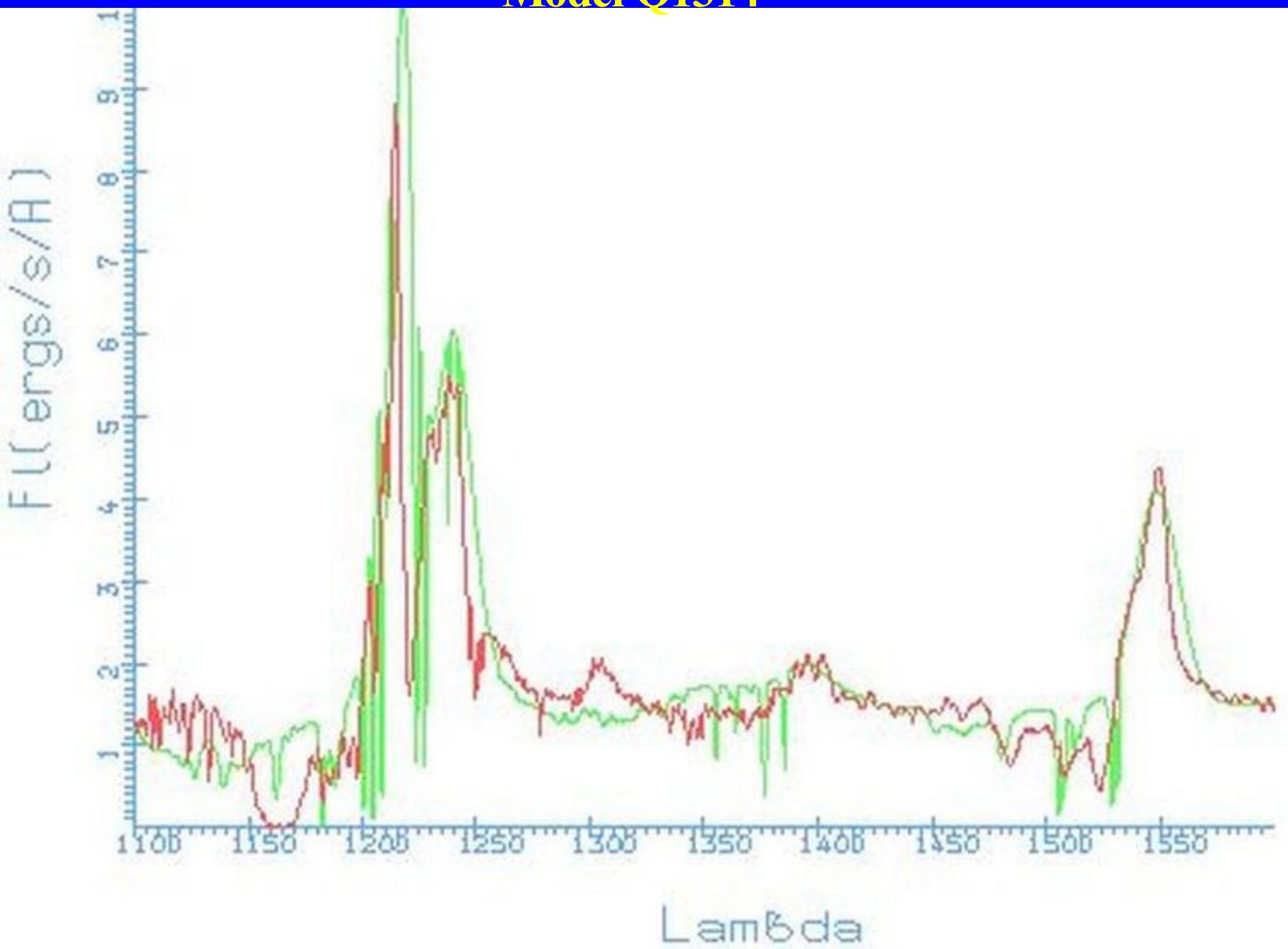


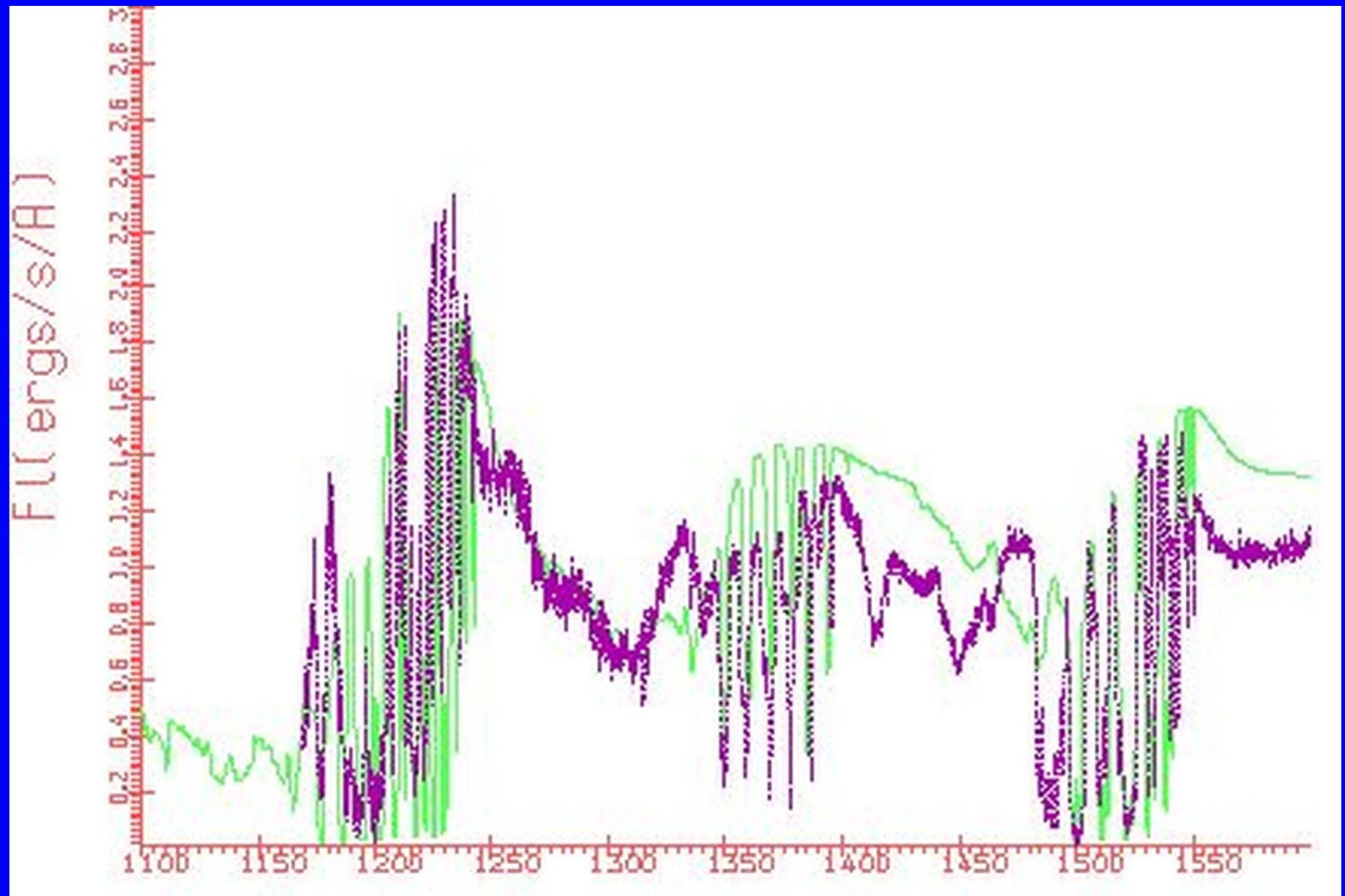
Область линии C IV в NGC4151



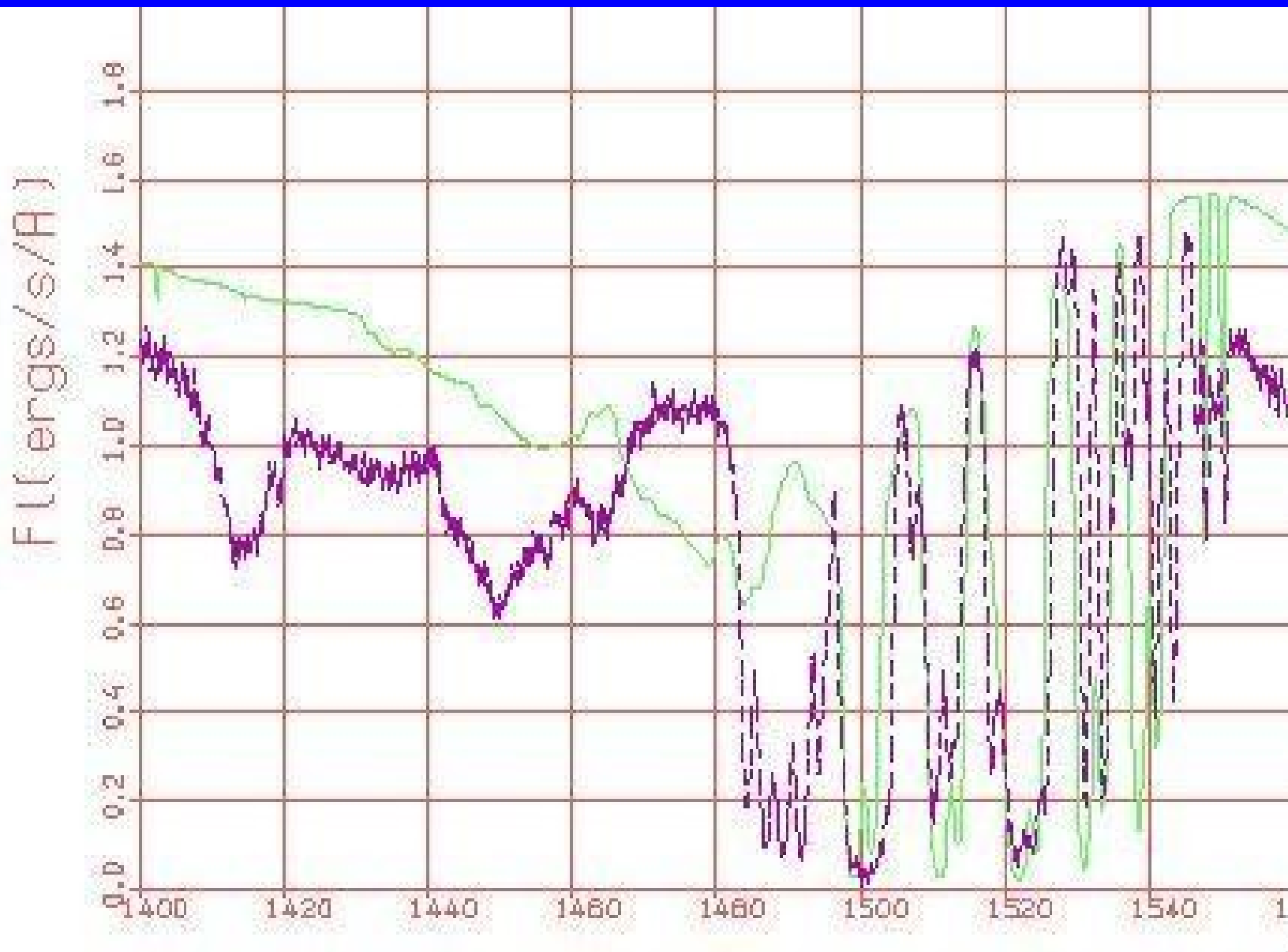
Расчет динамики газа и спектра (внизу-обл. CIV) NGC4151

# Model Q1314



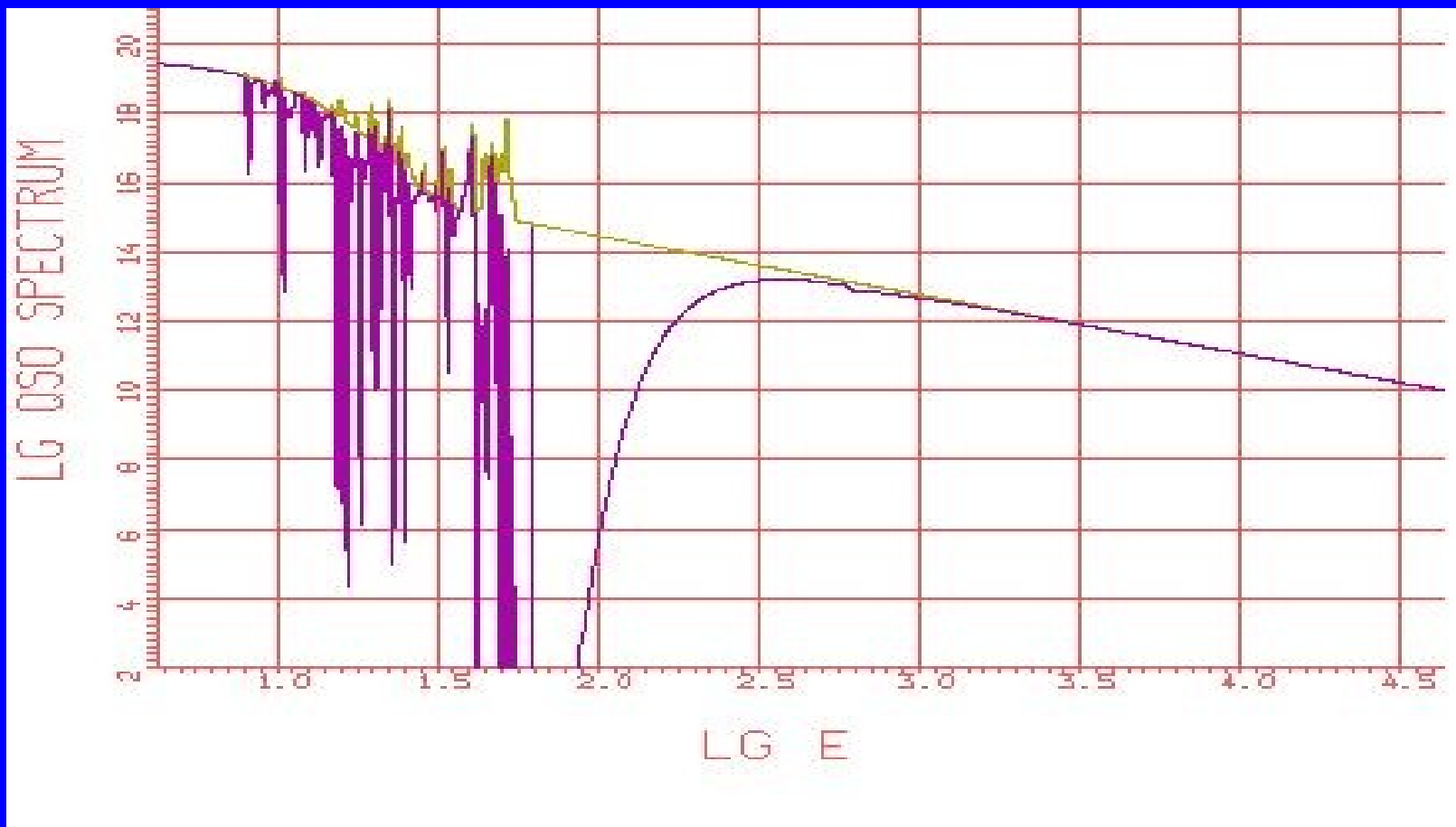


Модельный расчет спектра квазара Q1303+308



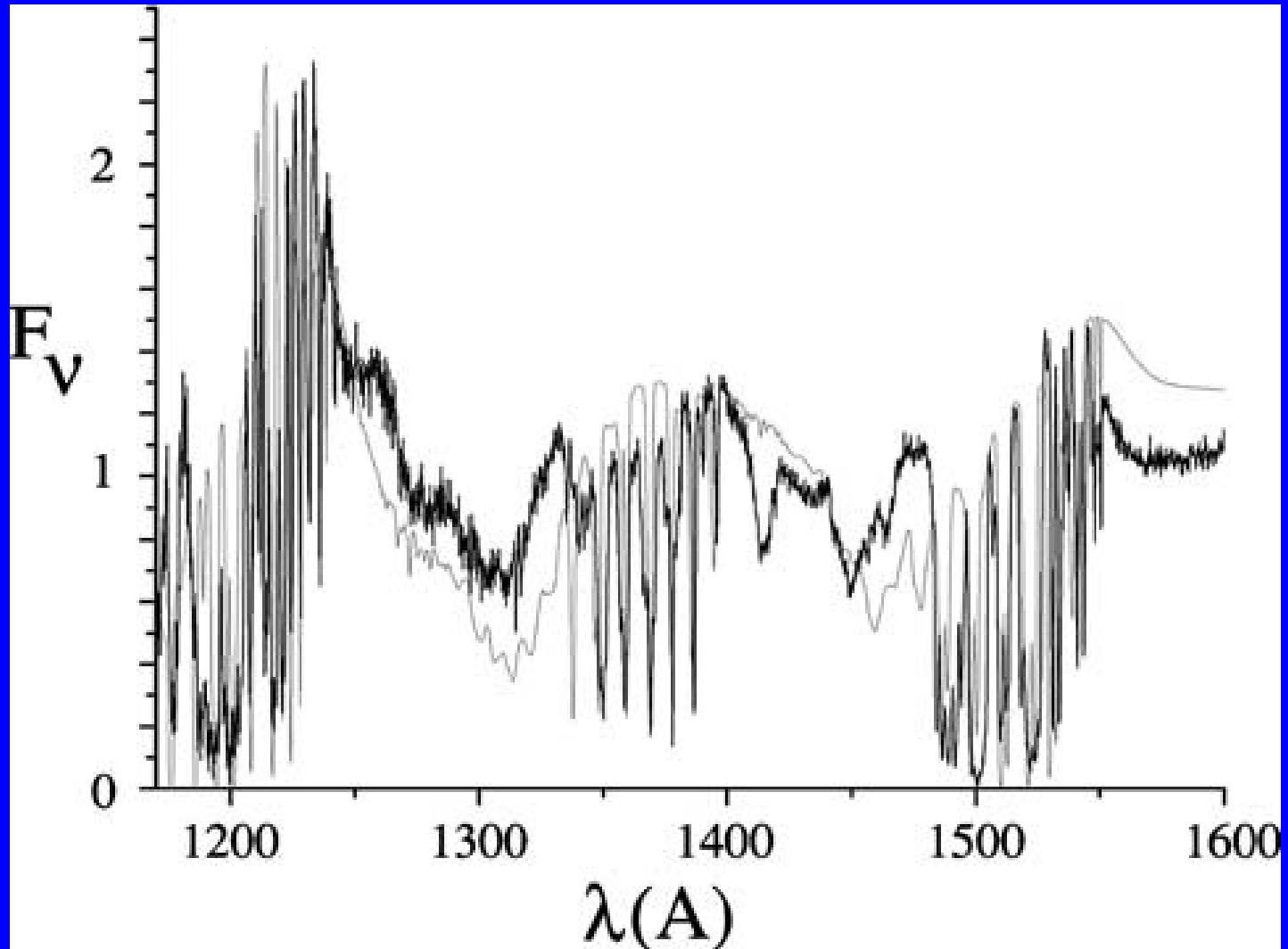
Lambda →

$$\text{Lg}(L(E)*E)$$

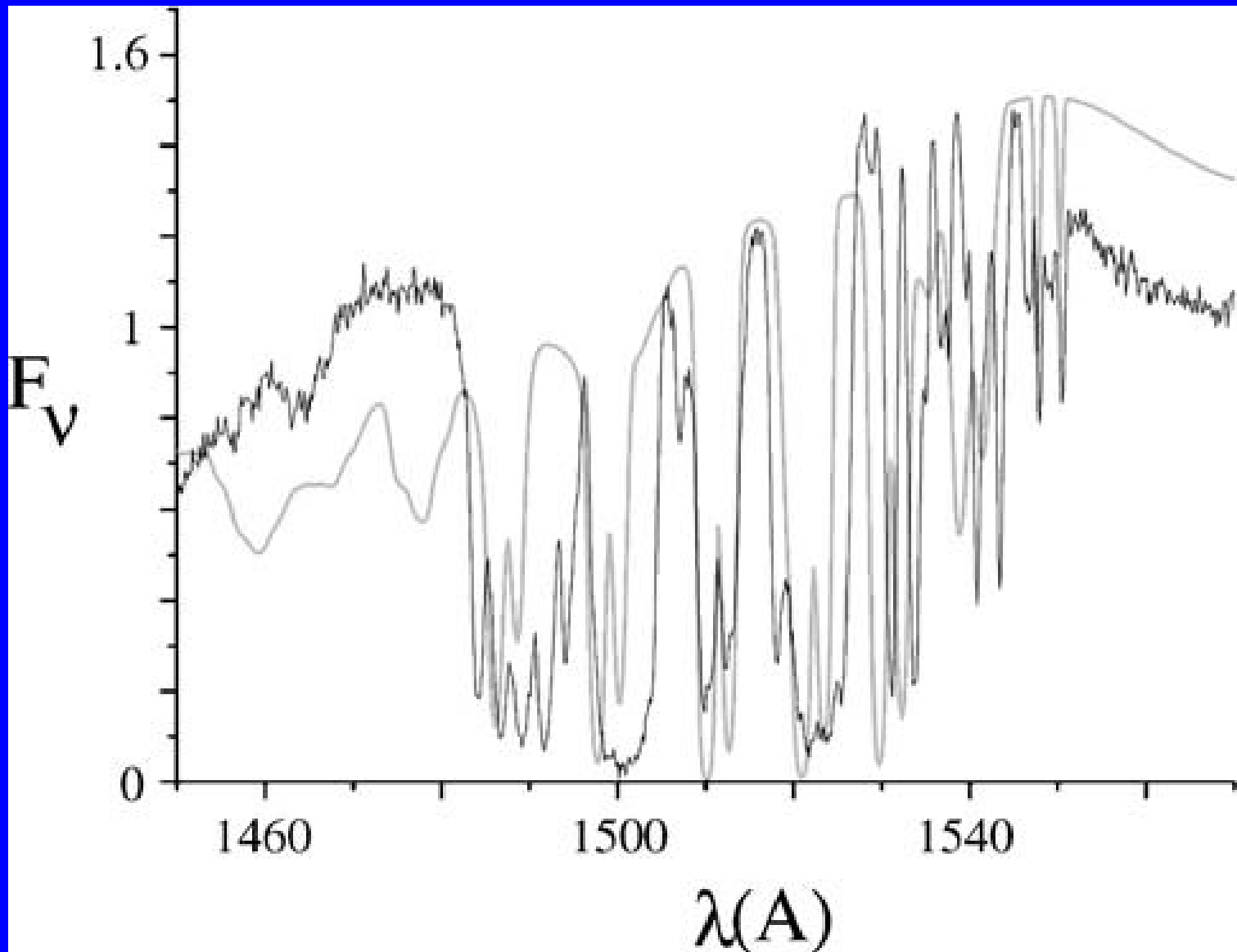


$$\text{Lg}(\text{EeV})$$

# Last variant, Vilkoviskij, ...05



# Vilkoviski, Lovelace...2005





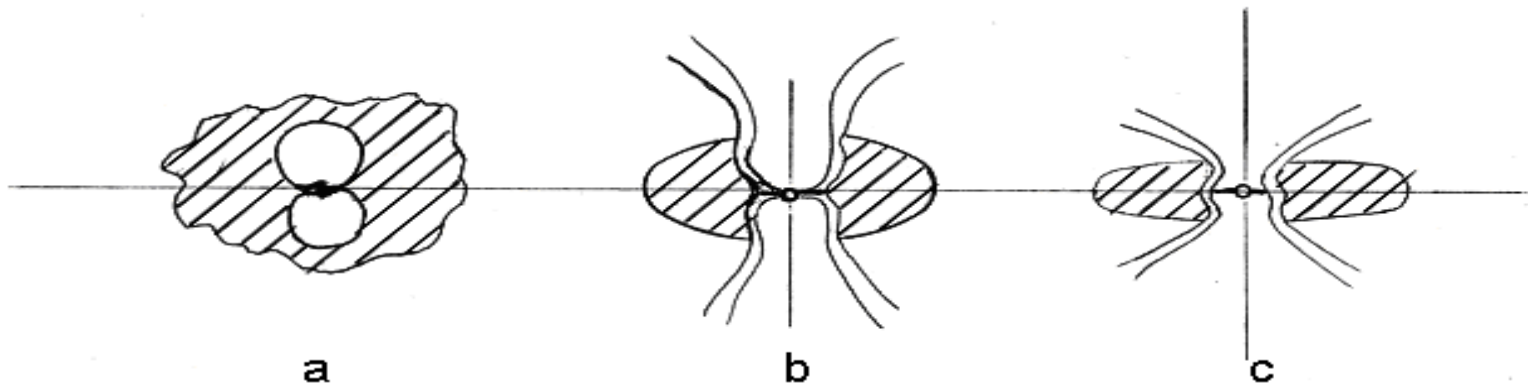
Наш опыт расчета моделей спектров поглощения АЯГ свидетельствует о том, что модель пригодна для интерпретации спектров BALQSO и Сефертовских галактик промежуточных типов (Sy1.5, Sy 1.8).

Доля таких объектов  $\sim (25-35)\%$ .

Это соответствует унификационной схеме, в которой поток вещества располагается в «промежуточных» углах между Sy1-Sy2.

Однако, среди всех Сефертовских галактик типа Sy1 поглощение наблюдается в более чем  $\sim 50\%$  случаев.

## ЭВОЛЮЦИЯ АЯГ



а) скопление газа и пыли (кокон) наблюдается как “сверхсветимый” IRAS-объект.

б)- истечение плазмы вдоль полярных осей образует «дырку в торе» и делает видимым АЯГ.

с) – затухание активности АЯГ, стадия LINER

В настоящее время быстро растет количество и качество данных наблюдений в рентгеновском диапазоне, благодаря новым космическим телескопам CHANDRA, XMM-Newton, INTEGRAL и др.

Эти наблюдения свидетельствуют о дополнительном поглощении в рентгене (кроме облаков, поглощающих в УФ), что требует дальнейшего развития модели истечения вещества АЯГ с учетом смеси нескольких (более двух) газовых фаз и нескольких зон ускорения облаков.

Поэтому более совершенная обобщенная модель истечения вещества АЯГ должна включать в себя расчеты линий в рентгеновском диапазоне, а также учитывать (лучистое и магнито-гидродинамическое) ускорение вещества над поверхностью аккреционного диска.

## ВЫВОДЫ:

- 1) Наша унифицированная модель истечения вещества справедлива для квазаров с широкими линиями поглощения и Сейфертовских галактик промежуточных типов. В этом случае источником поглощающей материи служит вещество внутренней поверхности газопылевого тора, а ускорение определяется давлением излучения и динамикой горячей среды.
- 2) Другие источники вещества и механизмы ускорения следует привлечь for the solutions close to the ACCRETION DISC.
- 3) Модель истечения вещества АЯГ будет использована при интерпретации данных УФ-Х телескопов. Мы учитываем ~1000 резонансных линий 147 ионов 12 элементов, а также непрерывное поглощение на пыли.
- 4) Модели эволюции АЯГ, включающие расчёты взаимодействия компактного звёздного кластера с аккреционным диском будут рассчитаны нами в рамках проекта STARDISK (Volkswagen project)

THANK YOU