

Fizičke karakteristike širokolinijske oblasti AGJ ("Oblaci u Padovi")

Dragana Ilić (Matematički fakultet, Katedra za astronomiju)

Luka Popović (Astronomska opservatorija Beograd)

Pierro Rafanelli (Dipartimento di Astronomia, Padova)

Stefano Ciroi (Dipartimento di Astronomia, Padova)



Uvod

- **nema** metoda za direktno određivanje temperature u širokolinijskom regionu!
- kombinacijom teorije, posmatranja i modela naći direktan metod, koji će koristiti posmatrani spektar
- savladati program **CLOUDY** (Ferland 2006) - kod za numeričku simulaciju spektra



Katedra za astronomiju, Padova

- nastava i istraživanje
- struktura:
 - profesori i istraživači (~24)
 - tehnički personel (~24)
 - post-doc (~8)
 - phd studenti (~35-40)
 - studenti
- <http://www.astro.unipd.it/>



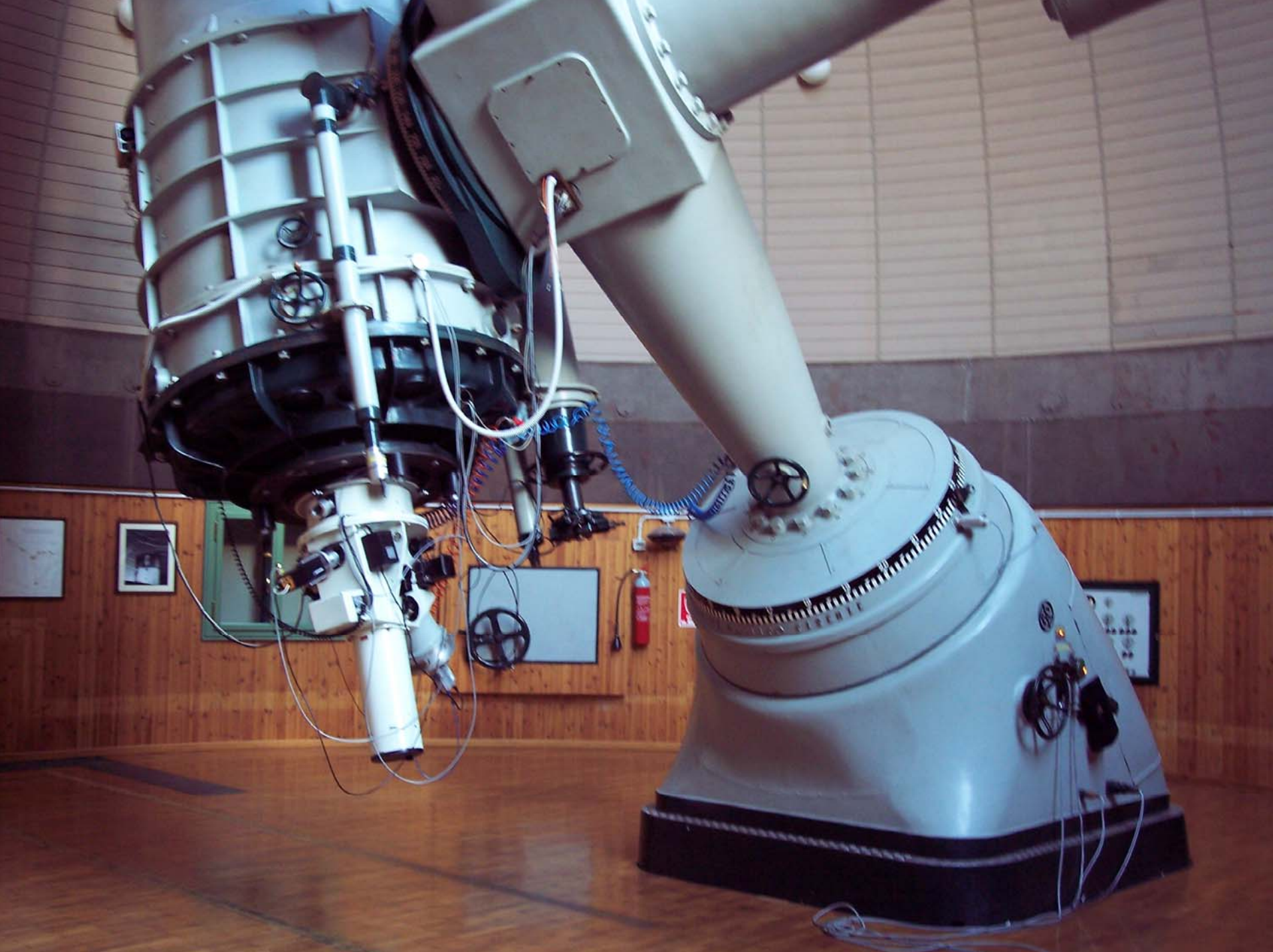


Katedra za astronomiju, Padova

- osnovne studije
 - 3+2 godine
 - godina ima 3 trimestra
 - 60 kredita/godini
 - 3 god (32predmeta,mini teza)
 - 2 god (19predmeta)
 - diplomatska teza (30 kredita)
- Opservatorija Asiago



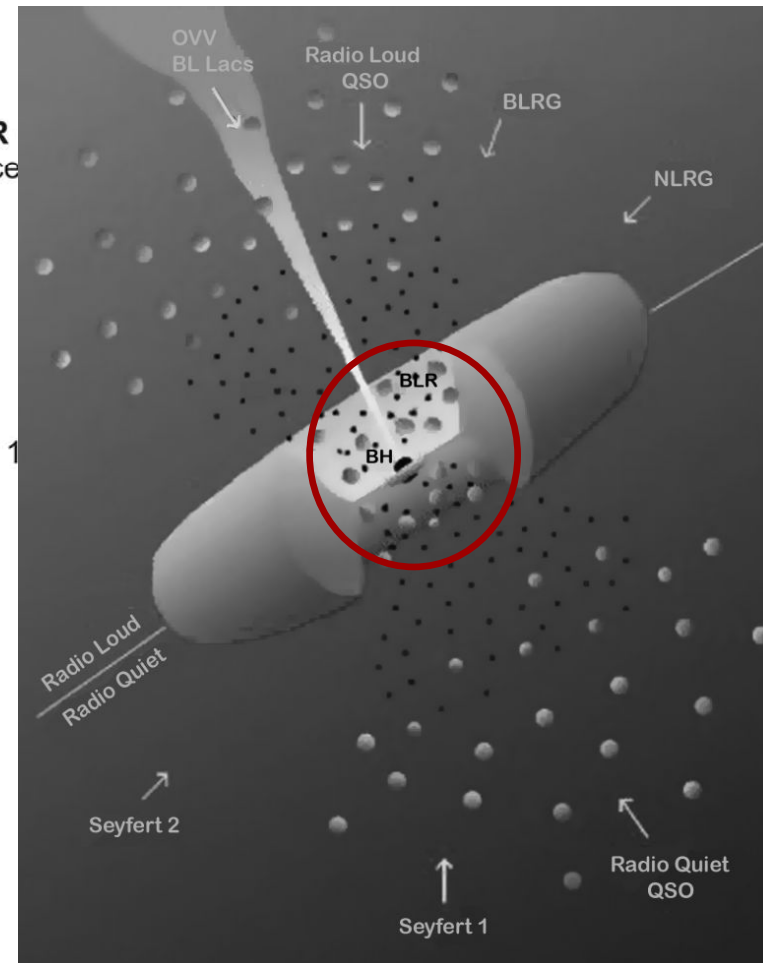
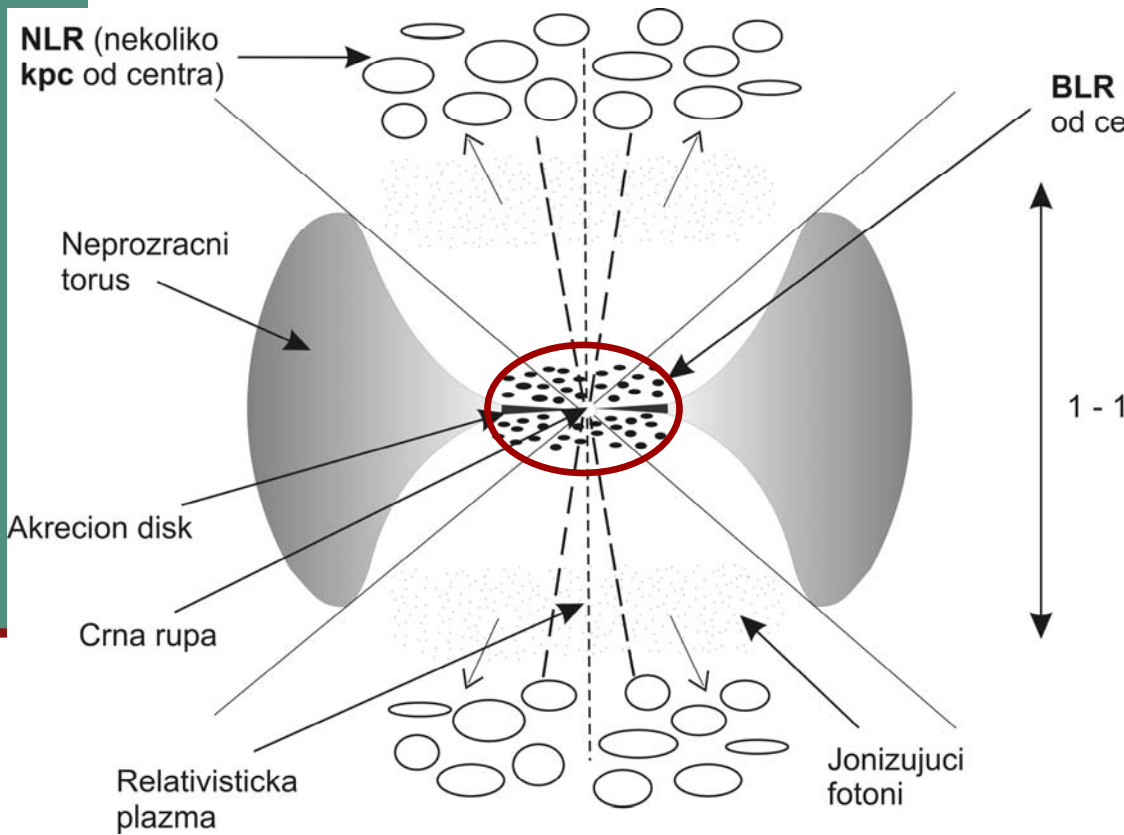




Cilj rada

- kombinacijom teorije, posmatranja i numeričkih modela naći **direktan metod za određivanje temperature** u širokolinijskom regionu, koji će koristiti posmatrani spektar
- savladati program **CLOUDY** (Ferland 2006) - kod za numeričku simulaciju spektra

Model Aktivnih Galaktičkih Jezgara



Širokolinijska oblast kod AGJ

- **Broad Line Region – BLR**
FWHM \sim do 10,000 km/s
- dimenzije \sim do jednog sv. meseca
- blizu crne rupe
- geometrija nepoznata: više predloženih modela (npr. dvo-komponentni model, model velikog broja oblaka...)

Karakteristike plazme u . . .

- ...zvezdanima atmosferama

$$T_e \sim 10^3\text{-}10^4 \text{ K} \quad N_e \sim 10^{13}\text{-}10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

- ...BLR

$$T_e \sim 10^4 \text{ K} \quad N_e \sim 10^9\text{-}10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

- ...maglinama

$$T_e \sim 10^4 \text{ K} \quad N_e \sim 10^3\text{-}10^5 \text{ cm}^{-3}$$



Fizika BLR

- fotojonizacija (glavni izvor)
- verovatno pod uticajem jakog gravitacionog polja
- $T_e \sim 10^4 \text{ K}$ $N_e \sim 10^9\text{-}10^{12} \text{ cm}^{-3}$
- plazma je sličnija zvezdanim atmosferama nego fotojonizacionim maglinama (Osterbrock 1989)

Boltzmann Plot - BP

- optički tanka plazma sa malim promenama T_e i n_e , a populacija gornjih nivoa ($n > 3$) opisana Boltzmannovom raspodelom (Griem 1997, Popović 2003, 2006)

$$I_{lu} \approx (hc/\lambda) g_u A_{ul} I (N_0/z) \exp(-E_u/kT_e)$$

- linije jedne spektralne serije (npr. **Balmerove**) $\Rightarrow T_e$

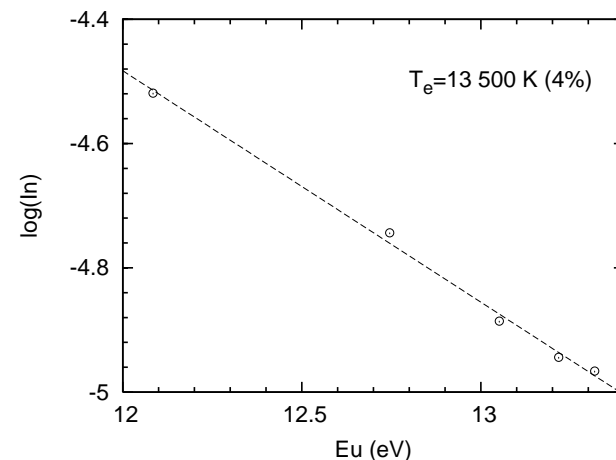
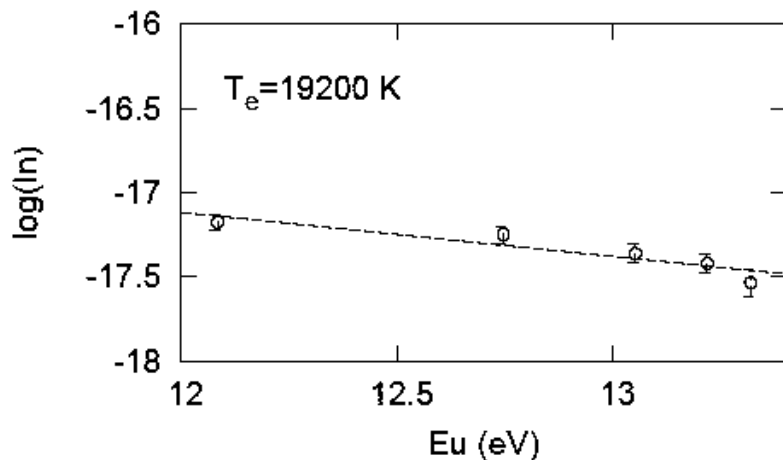
$$I_n = (F_{ul} \lambda)/(g_u A_{ul}) \Rightarrow \log(I_n) = B - A \cdot E_u$$

$$A = \log_{10} e/(k_B T_e)$$

- pretpostavka: linije nastaju u istoj oblasti

BP metod – “recept”

1. meriti fluks emisionih linija (npr. 5 Balmerovih linija)
2. izračunati normalizovane intenzitete I_n
3. nacrtati grafik zavisnosti I_n od E_u
4. ako je greška fita $< 10\text{-}20\%$
 $\Rightarrow T_e$ iz nagiba fita
 \Rightarrow nivoi $n > 3$ su u PLTE



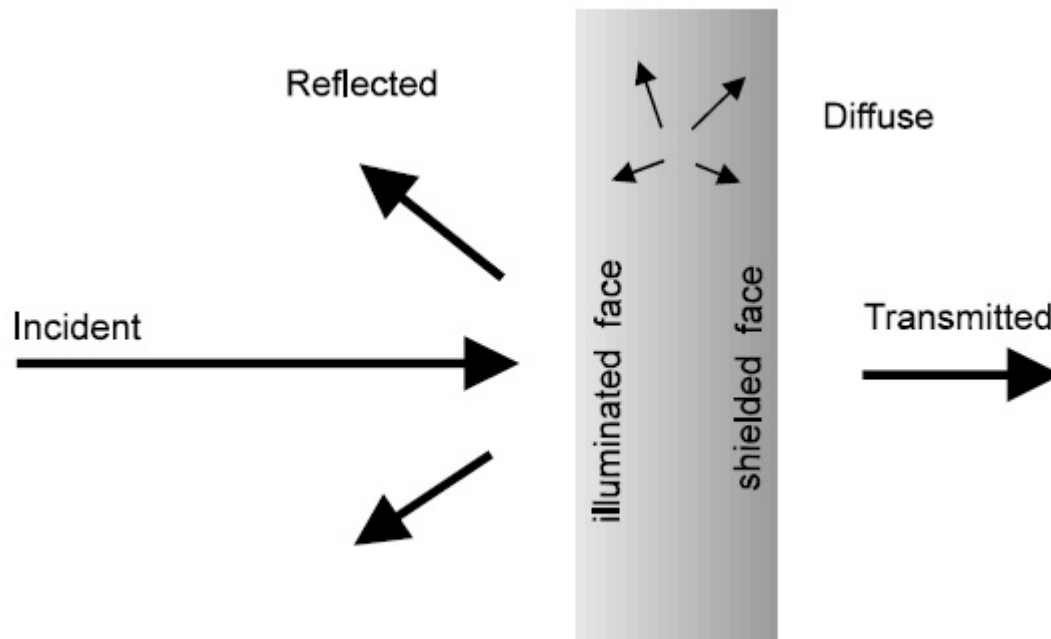
CLOUDY model

Ilić et al. 2006,
MNRAS, 371, 1610

CLOUDY

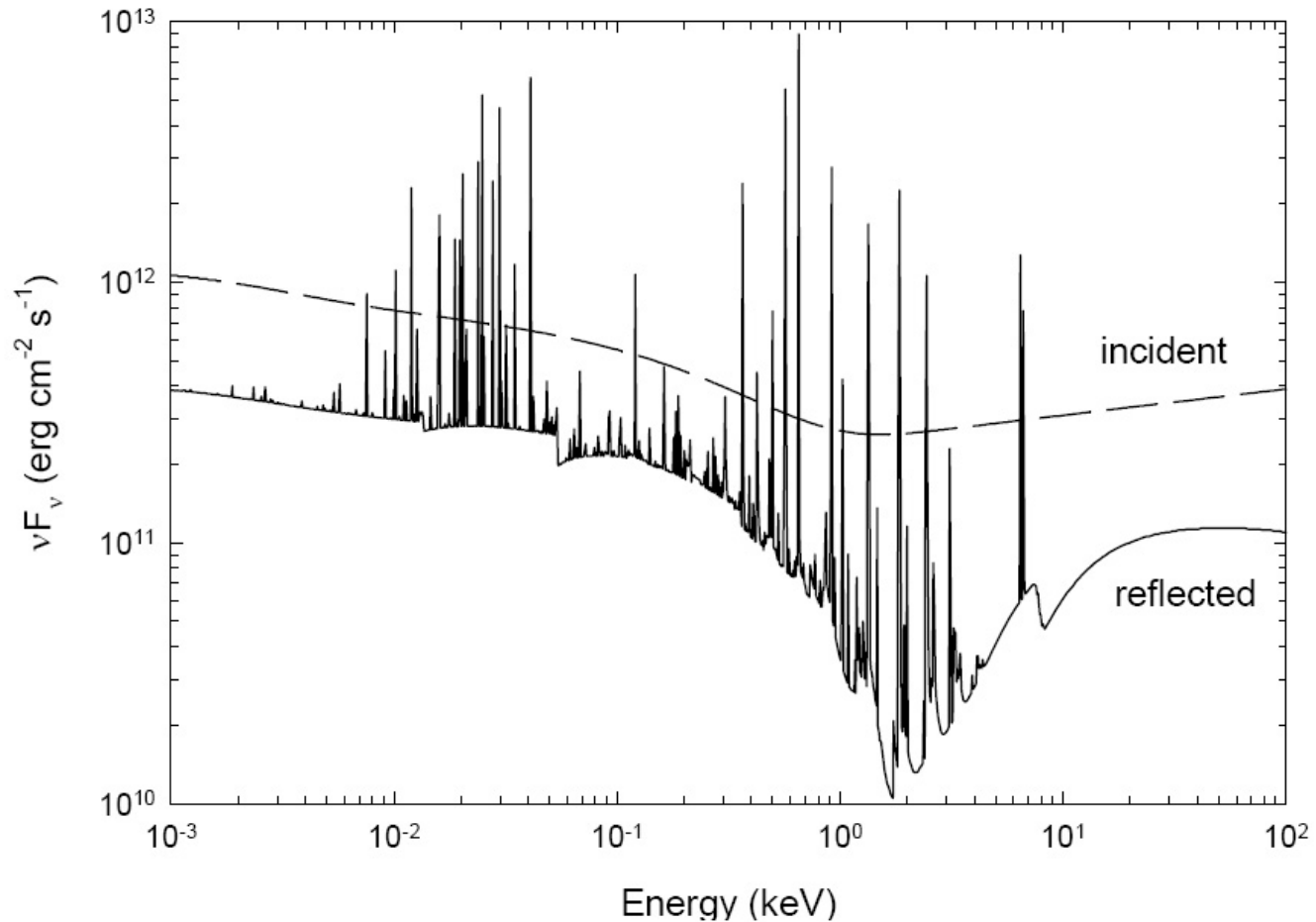
- kod za numeričku simulaciju spektra
- određuje fizičke uslove (temperatura, stepen jonizacije i hemijsko stanje) non-LTE oblaka gasa, izloženog spoljnom izvoru zračenja, i predviđa njegov izlazni spektar
- *Hazy, A Brief Introduction to Cloudy 06.02* (Ferland 2006) www.nublado.org

Shema oblak gasa



- geometrija može da bude otvorena ili zatvorena

Primer predviđenog spektra



CLOUDY modeli

- napraviti **mrežu modela** za različite vrednosti gustine vodonika $n_{\text{H}}(\text{cm}^{-3})$ i fotojonizacionog fluksa $F_{\text{H}}(\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1})$
- zadati minimalan broj ulaznih parametara
- **primeniti BP** na rezultate modela

Ulazni podaci za modele

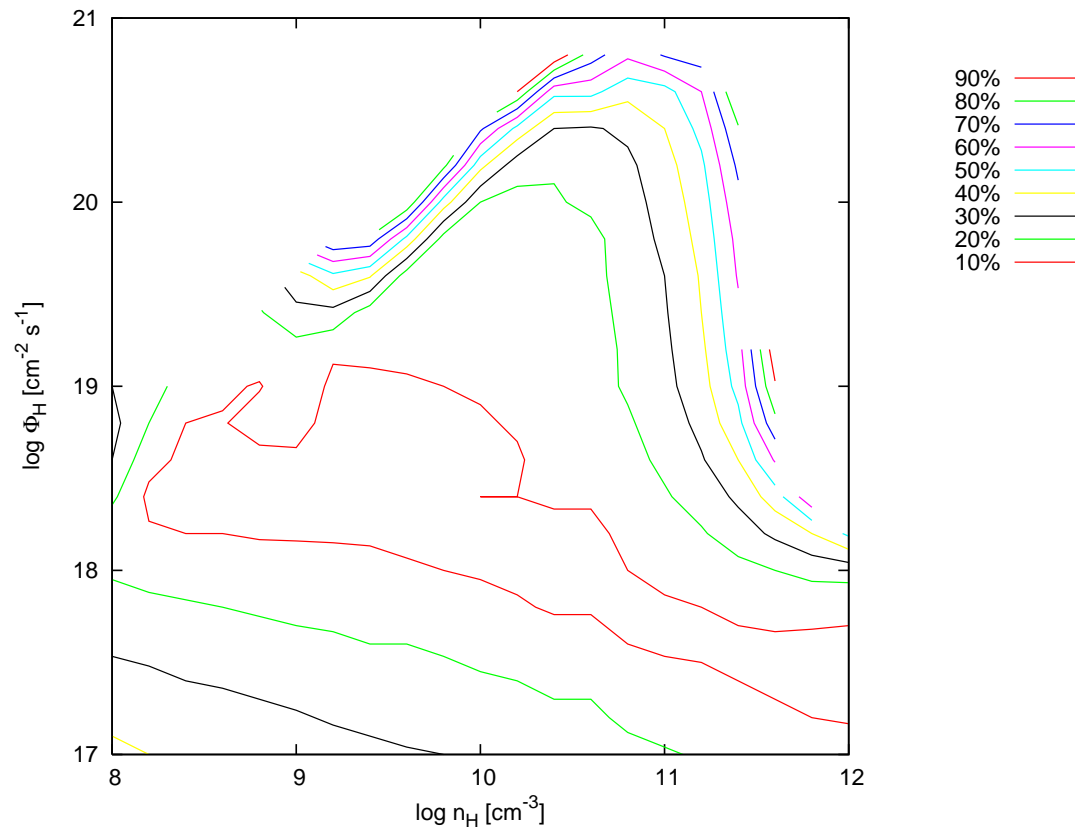
- zastupljenost hemijskih elemenata kao kod Sunca, konstantna gustina vodonika, AGN fotojonizacioni kontinuum dat u samom kodu
- $\log n_{\text{H}} = [8, 12]$ $\log F_{\text{H}} = [17, 21]$
- fiksirana linijska gustina $N_{\text{H}} = 10^{23} \text{cm}^{-2}$
(Dumont et al. 1998, Korista & Goad, 2000, 2004)

Analiza

- razmatrati emisione linije generisane kodom:
 - **Balmerove** linije
 - HeII **4686** , HeI **5876** (linije iz dva susedna stanja jonizacije => njihov odnos vrlo osetljiv na promene temperature)
- primeniti BP metod na Balmerove linije i odrediti BP-temperaturu T_{BP}
- razmatrati srednju temperature T_{av} cele oblasti (takodje generisana kodom)

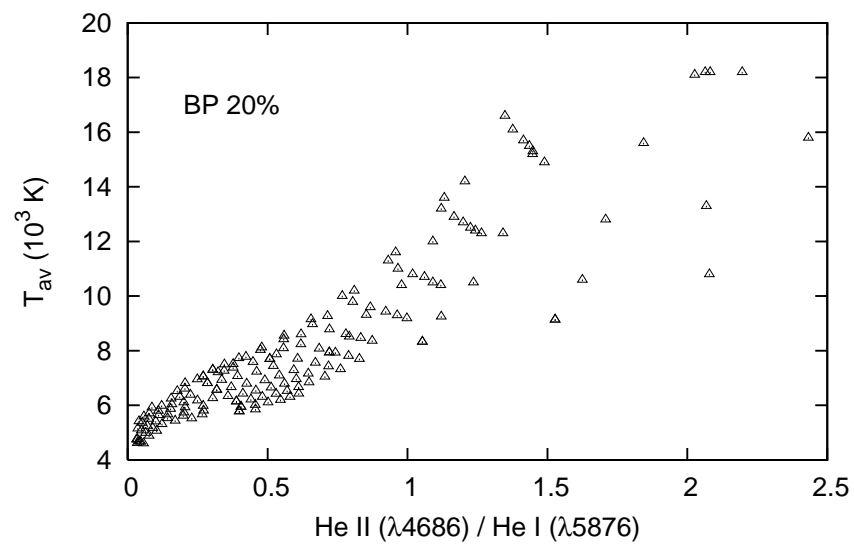
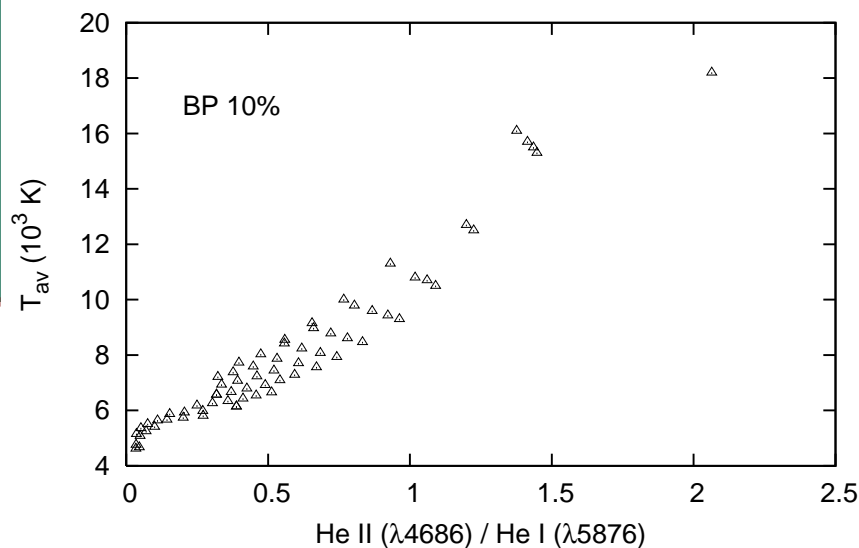
Rezultati #1

- **X² mapping**
(greška BP-analize primenjene na rezultate modela)



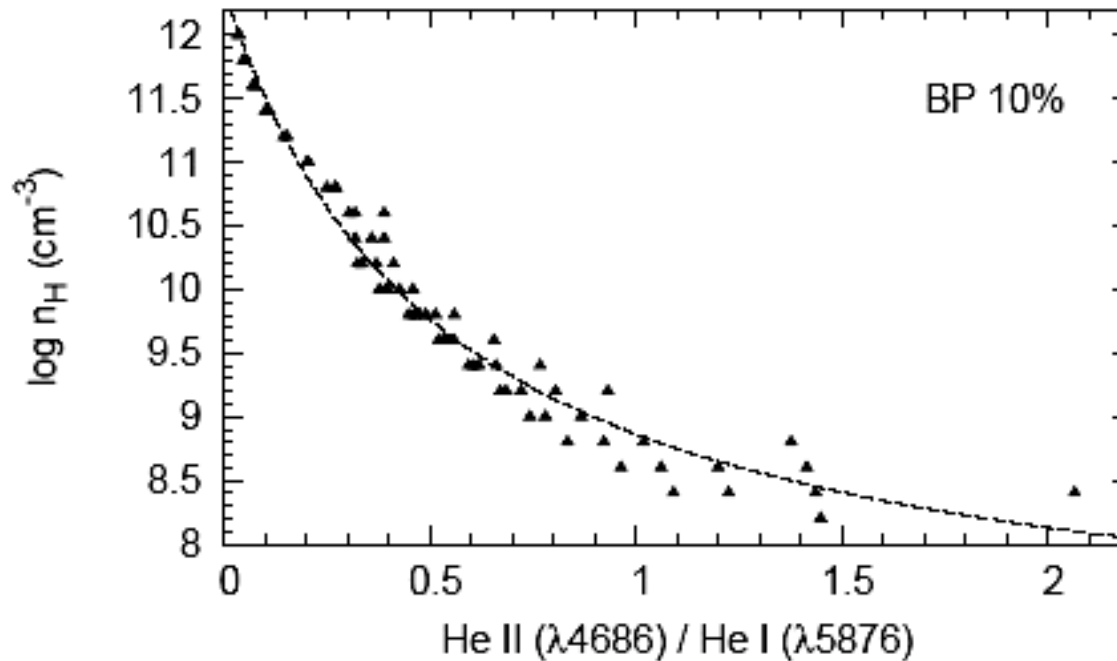
Rezultati #2

- dalje smo razmatrali one modele koji imaju grešku BP analize manju od **20%**
- $T_{av} = A + B \cdot R$, gde je $R = F(\text{HeII}) / F(\text{HeI})$



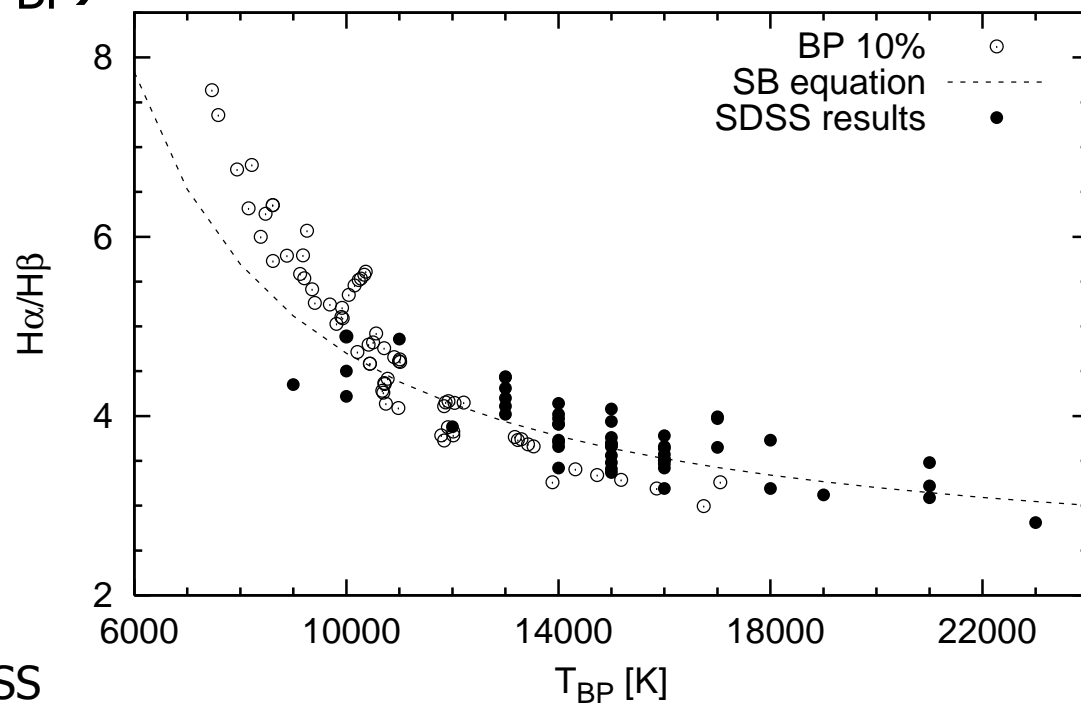
Rezultati #3

- $\log n_H = 7.00 + b/(c + R)$
 $R = F(\text{HeII } 4686)/F(\text{HeI } 5876)$



Rezultati #4

■ $H\alpha/H\beta = f(T_{BP})$



1. BP 10%
2. Saha-Boltzmann eq.
3. 30% prati BP, iz SDSS
uzorka od 90 AGJ
(La Mura et al. 2007, poslato u ApJ)

Neki zaključci

- **direktan metod**: iz posmatranih linija $\Rightarrow T_e!$
- pokazali smo da za ograničene vrednosti parametara n_H & F_H , BP može biti primenjen
- u BLR može da postoji tanki sloj koji je u PLTE i odakle dolaze Balmerove linije
- **budući rad**: primeniti BP na stvarna posmatranja (korelacija sa ostalim osobinama AGJ?)

(Ilić et al. 2007, u pripremi)

I na kraju ...

- Hvala AGN timu Katedre za Astronomiju u Padovi:
 - Prof. Piero Rafanelli
 - Stefano Ciroi
 - Francesco Di Mille
 - Giovanni La Mura

- i Luki Popoviću 😊