

ВИ СРПСКА КОНФЕРЕНЦИЈА О ОБЛИЦИМА СПЕКТРАЛНИХ ЛИНИЈА У АСТРОФИЗИЦИ

АНЂЕЛКА КОВАЧЕВИЋ¹, МИЛАН С. ДИМИТРИЈЕВИЋ²,
ЛУКА Ч. ПОПОВИЋ², ДРАГАНА ИЛИЋ¹

¹*Катедра за астрономију, Математички факултет, Студентски трг 16,
11000 Београд, Србија*

E-mail: andjelka@matf.bg.ac.rs, dilic@matf.bg.ac.rs

²*Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11060 Београд, Србија*

E-mail: mdimitrijevic@aob.bg.ac.rs, lpopovic@aob.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду сумирали смо рад Седме Српске Конференције о Облицима Спектралних Линија у Астрофизици (СКОСЛА). Главна расправа Конференције била је о томе шта можемо рећи како функционишу Активна Галактичка Језгра (АГЈ) на основу анализе облика њихових спектралних линија. Разматрано је и Штарково ширење спектра одређених класа звезда, као и веза између експерименталне спектроскопије и астрофизичке плазме.

1. УВОД

Седма Српска Конференција о облицима спектралних линија у астрофизици одржана је у Зрењанину од 15. до 19. јуна 2009. године.

Организацију Конференције је финансијски подржало Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије. Конференција је уврштена у званичну активност обележавања Међународне године астрономије. Као што је на самом отварању Конференције, један од аутора (МСД) истакао (видети Слика 2), спектралне линије (њихова геометријска својства - ширине и облици) су моћна оруђа за изучавање емисионих и апсорпционих карактеристика гасова у астрофизичким објектима: од Сунчевог система до најудаљенијих објеката - квазара. Самим тим, ове линије настају из извора који зраче на широком опсегу таласних дужина, и имају различите физичке углове и кинематичке карактеристике. Односно, у енергетском домену ове линије се налазе од Х зрачења (Fe K) па све до радио подручја.

Експериментална и теоријска истраживања лабораторијске плазме се широко примењују у спектроскопским астрофизичким истраживањима, при чему су нарочито за прорачун облика линија атомски подаци неопходни.

Конференција је окупила астрономе (посматрачи и теоретичари) и физичаре како би се направио преглед тренутног нивоа истраживања на овом пољу (локално у Србији, као и глобално).

Главни циљ је био унапређење знања у разматраној области, као и бољег разумевања значаја емисионих и апсорпционих линија за будућа астрофизичка истраживања. Фокус програма као и релације између различитих тема које су разматране на Конференцији приказан је на Слици 1.



Слика 1: Схематски приказ релација између тема дискутованих на Конференцији.

СКОЛСА серија конференција (детаљан историјат видети у раду Димитријевић, 2008) је мост између лабораторијске и астрофизичке спектроскопије. Интеракција између ова два поља истраживања треба да се појачава у будућности, на шта указује и састав Научно-организационог комитета НОК (Слика 4).

О значају синергије између ових поља говори и чињеница да је Зборник радова са Конференције штампан у часопису *New Astronomy Reviews* на 176 страна (Слика 3) чији су уредници били Лука Ч. Поповић и Милан С. Димитријевић. Можемо рећи да је по први пут у српској астрономији зборник радова са једне конференције штампан у овако престижном светском часопису.



Слика 2: Милан С. Димитријевић, копредседник Научног организационог комитета (НОК) и главни покретач SKOLSA, свечано отвара Конференцију. С десна на лево седе: др Џилијен Пич (члан НОК), др Драгана Илић (коподредседник ЛОК) и др Лука Ч. Поповић (копредседник НОК и председник ЛОК).



Слика 3: Др Лука Ч. Поповић и др Милан С. Димитријевић написали су уреднички увод за *New Astronomy Reviews* у коме је штампан зборник радова са VII SKOLSA.

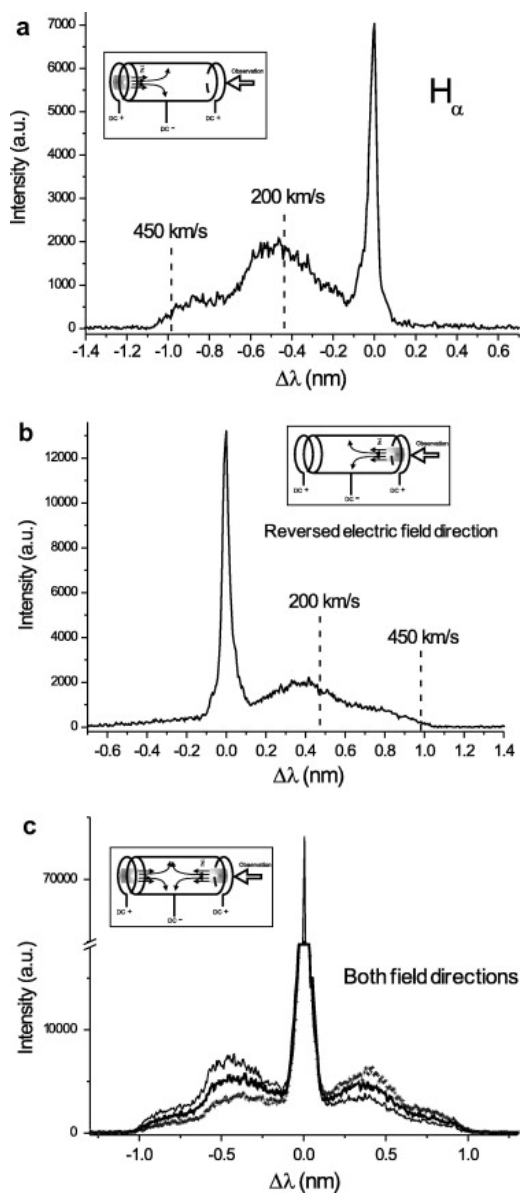
ORGANIZING COMMITTEES	
Scientific Organizing Committee	Local Organizing Committee
Milan S. Dimitrijević (Serbia) Co-chairman	Luka Č. Popović Chairman
Luka Č. Popović (Serbia) Co-chairman	Dragana Ilić Co-vice chairperson
Edward Baron (USA)	Darko Jevremović Co-vice chairman
Nebil Ben Nessib (Tunisia)	
John Danziger (Italy)	Edi Bon
Emanuel Danezis (Greece)	Miodrag Dačić
Peter Hauschildt (Germany)	Milan S. Dimitrijević
Darko Jevremović (Serbia)	Predrag Jovanović
Evencio Mediavilla (Spain)	Tanja Milovanov
Anatolij A. Mihajlov (Serbia)	Zoran Simić
Vladimir Milosavljević (Serbia)	Nataša Gavrilović
Gillian Peach (United Kingdom)	Jelena Kovačević
Jagoš Purić (Serbia)	Andjelka Kovačević
Tanya Ryabchikova (Russia)	Marko Stalevski
Myakzyum Kh. Salakhov (Russia)	
Alexander F. Zakharov (Russia)	

Слика 4: Научни организациони комитет (НОК) (лева колона) и локални организациони комитет (ЛОК) (десна колона). Копредседници НОК су др Милан С. Димитријевић и др Лука Ч. Поповић. (ДВД издање материјала Конференције).

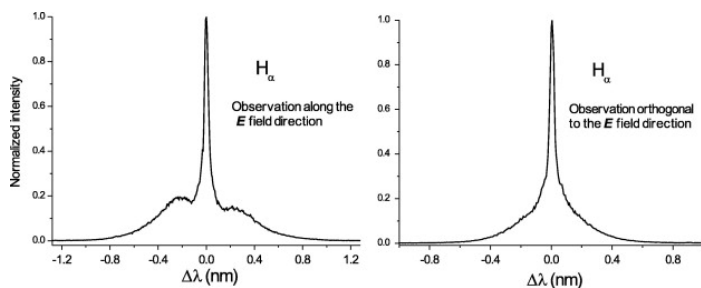
2. СПЕКТРАЛНЕ ЛИНИЈЕ У ЛАБОРАТОРИЈСКОЈ ПЛАЗМИ

Анализа профила линија се веома често користи у астрофизичким истраживањима. Профили линија атома и јона се фитују различитим типовима функција у зависности од физичких узрока који изазивају ширење. Подаци о карактеристикама астрофизичке плазме се добијају из ширине спектралних линија (Sulentic et al., 2000). Астрофизичке плазме имају широк опсег параметара: густине, температуре и макроскопске брзине. Јака магнетна и електрична поља такође могу бити присутна (њихов утицај се може уочити у профилима линија и линијским интензитетима). Са друге стране лабораторијска плазма може имати широк опсег параметара у зависности од извора, тако да је могуће постићи да њихове вредности буду блиске параметрима астрофизичке плазме (Griem, 1964). Међутим то није могуће постићи код објеката који имају веома јака магнетна поља и велике брзине као у широколинијским регионима активних галактичких језгара (AGJ). У раду Kugaica et al., (2009) је приказано неколико примера спектра лабораторијске плазме које имају сличне карактеристике са астрофизичким спектрима. Овде је издвојен (видети Сл 5) профил линија водоникових атома које су веома проширене експесивно или са Доплеровим помаком због њихових, за лабораторијску плазму великих, брзина (100-500 m/s). Као што се може видети овај спектар је сличан онима код неких врелих звезда и уског линијског региона код АГЈ (Netzer, 2008). Иако су брзине мале у односу на

широко линијски регион Доплеров механизам је у основи исти (Sulentic et al. 2000). Са друге стране овакве брзине атома су карактеристичне за лабораторијску плазму и токамаке.



Слика 5: Водоникова Балмер алфа линија са великим Доплеровим помаком, забележена у плитком катодном пражњењу: а) Електрично поље је у правцу визууре, б) супротан смер електричног поља и с) електрично поље присутно у оба смера. Напон: 1.45 kV, притисак: 0.4 mbar.



Слика 6: Воденикова алфа линија добијена из Гримовог пражњења, забележена у правцу електричног поља (лево) и управно на њега (десно). Напон: 2 kV, притисак: 2 mbar.

У случају Гримовог пражњења воденикови атоми су великих брзина (400 км/с) (Слика 6) због чега настаје велико Доплерово ширење профила линија где су оба крила присутна. Профил забележен у правцу електричног поља је асиметричан са два крила која су благо одвојена од централног профила, док је у другом случају профил симетричан. Слични профили су забележени код АГЈ, а узроковани су радијалним кретањем емитера (Strateva et al., 2003). Неопходна је пажљива интерпретација спектра код оних извора где могу бити присутни ефекти електричног и магнетног поља, Доплеровог ширења и оптичког преноса кроз нехомогени гас. Ове сличности лабораторијских и астрофизичких профила и блискост до одређеног нивоа параметара плазме отварају могућност експерименталне симулације астрофизичке плазме.

На Конференцији је разматрана и важност улоге атома и молекула у Ридберговом стању (Gnedin et al., 2009) у астрофизици и то из најмање два разлога: великих су димензија и слабих веза, због чега се највероватније налазе у хладним звездама и космичким објектима, смеђим, белим, и М црвеним патуљцима. Присуство оваквих Ридбергових атома у атмосферама поменутих типова звезда очитовало се као недостатак флукса у Спицеровим посматрањима. Показано је да у атмосферама хладних звезда хемијонизациони процеси у којима учествују Ридбергови атоми постају веома важни.

Био је дат и преглед (Ben Nessib, 2009) *ab initio* прорачуна Штарковог ширења у квантно механичком приступу, семикласичној поремећајној и семи емпиријској теорији коришћењем SUPERSTRUCTURE и Cowan кода.

Ab initio значи да се у прорачунима полази од карактеристика атома из којих се рачунају енергетски нивои и јачине осцилатора, који се обично узимају из посебних теоријских прорачуна или експеримента. У Табели 1 у другој колони су приказани електронско сударно ширење рачунато Cowan кодом за атомску структуру и модификованим семиемпријским приступом за прорачун Штарковог ширења. Они су упоређени са експерименталним резултатима (Djeniže et al. 1990) за $3p4s-3p4p$ прелаз и резултатима Dimitrijević et al. (1996) за прелазе $3p4p-3p5s$.

Табела 1: Електронско сударно ширење за $S\ III$ линије на $T=40000\ K$ и електронској густини $N_e=2.1\ 10^{23}\ m^{-3}$. Експериментални резултати за $3p4s-3p4p$ прелаз су узети из Djaniž et al. (1990), а за $3p4p-3p5s$ прелазе из Dimitrijević et al. (1996).

Прелаз	$W_{CC+MSE}\ (\text{\AA})$	$W_M(\text{\AA})$
$3p\ 4s\ ^3P^o - 3p\ 4p\ ^3D$	0.405	0.432
$3p\ 4p\ ^3D - 3p\ 5s\ ^3P^o$	0.410	0.402
$3p\ 4p\ ^3S - 3p\ 5s\ ^3P^o$	0.396	0.380

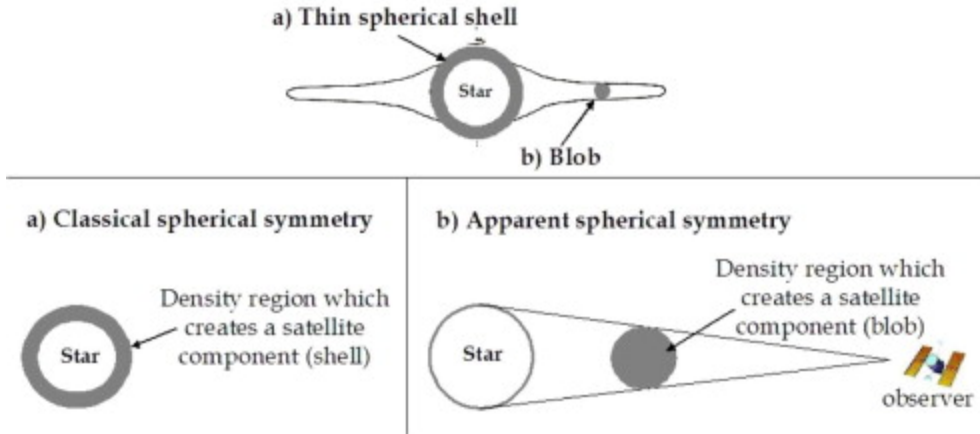
Elabidi et al. (2004) су израчунали ab initio атомске податке потребне за примену модификованог семиемпиријског формализма за електронско, ударно ширење јона линија Ne VII, Ne VIII, Si XI. Ови аутори су израчунали допринос еластичних судара на прагу за екситацију енергија и екстраполирали их испод прага као што је дато у раду Dimitrijević и Konjević (1980). Ab initio рачун је интересантан јер не захтева додатне податке, атомски подаци неопходни за параметре Штарковог ширења могу се израчунит коришћењем одговарајућег атомског пакета (SUPERSTRUCTURE, Cowan код). У будућности тестираће се и други кодови за добијање јачина осцилатора и енергија атомских енергетских нивоа потребних за примену семикласичног поремећајног формализма Штарковог ширења (RMATRIX, MCHF, CIV3).

3. ЗВЕЗДАНЕ И МЕЋУЗВЕЗДАНЕ СПЕКТРАЛНЕ ЛИНИЈЕ

У овој секцији Конференције аутори E. Danezis, E. Lyratzi, L. Š. Popović, M. S. Dimitrijević, A. Antoniou (2009) дали су преглед истраживања комплексних УВ линија у врелим звездама, затим посматрачке чињенице и проблеме који су везани са посебним и комплексним профилима спектралних линија, и приказали ГР модел и његову примену. У случају врелих звезда појављују се апсорпционе спектралне линије које нису повезане са неком познатом апсорпционом линијом звезде исте спектралне класе, а зову се дискретне апсорпционе компоненте (ДАК). Као што је показано у раду Danezis et al. (1991) то нису непознате апсорпционе линије већ спектралне линије истог јона и исте таласне дужине као и главна спектрална линија, померене за различито $\Delta\lambda$, пошто су настале у регионима различите густине који ротирају и крећу се радијално са различитим брзинама.

Аутори су предложили да пошто су вреле емисоне звезде окружене танким сферним омотачем који прелази у диск у екваторијалној равни, густе региони који креирају посматране ДАК у звезданом спектру могу бити или

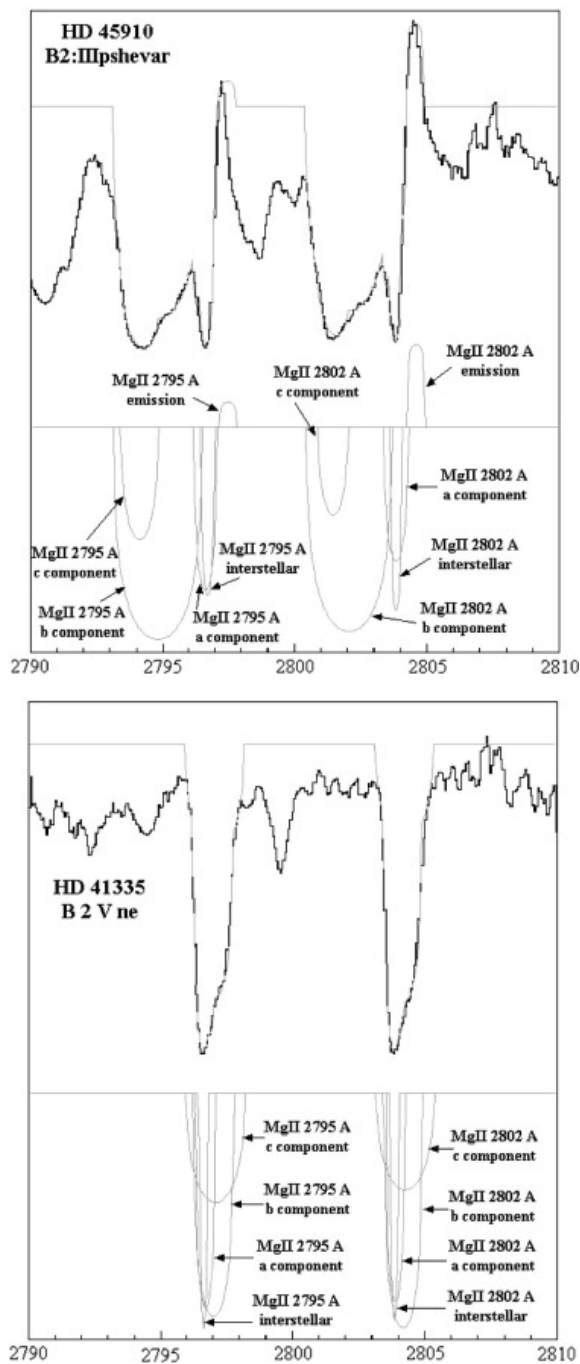
танке љуске око звезде или сферни густе региони који леже у диску који је окружује (Слика 7).



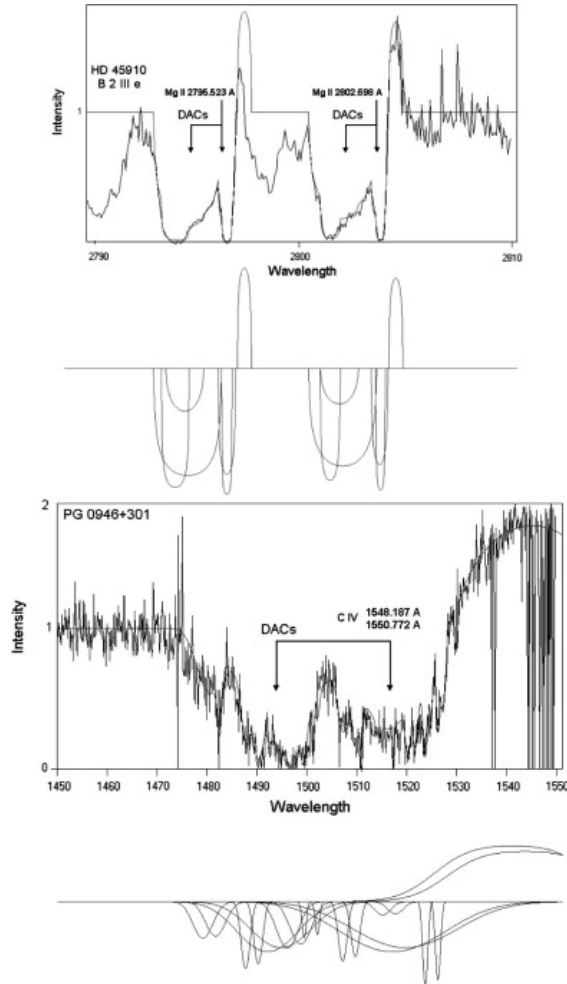
Слика 7: ДАК настају у а) танкој сферној опни око вреле звезде или б) сферном густом региону у диску око звезде.

Други проблем код оваквих звезда је присуство веома комплексних профила спектралних линија који се састоје из више компоненти које се преклапају. Зато је поменути научни тим предложио за такву појаву посебно име САК феномен (сателитске апсорпционе компоненте). Наиме ако региони у којима настају ДАК ротирају великим брзинама и крећу се радијално са малим, то производи линије великих ширина и малих помераја. Као резултат оне се мешају међу собом као и са главном спектралном линијом, због чега нису више дискретне па се користи нови назив САК. Према томе ДАК и САК су два аспекта једног истог феномена. На слици 8. се види да Mg II профили линија звезде AX Mon (HD45910) који представљају ДАК и звезде HD41335, који представљају САК настају на исти начин. Једина разлика је у томе што су компоненте HD41335 мање померене и због тога помешане међусобно.

Сличан феномен може се детектовати у спектрима неких активних галактичких језгара, као што је на Сlici 9 приказано за C IV UV дублет АГЈ (PG 0946+301). Вредности радијалних брзина и однос интензитета линија показују да два посматрана C IV профила представљају ДАК феномен сличан оном детектованом у спектру вреле звезде HD45910.



Слика 8: ДАК за Mg II профил линија звезде АХМон (HD45910) и САК звезде HD41335. Црном линијом су означени посматрани профили линија а сивом оно што даје модел.



Слика 9: ДАК феномен у АГЈ: сличност ДАК код звезде HD45910 (MgII дублет) са АГЈ PG0946+301(CIV дублет).

Овај научни тим је успешно применио ГР модел на спектралне линије врелих звезда и квазара, чиме је по први пут израчунат велики број параметара, и омогућено изучавање физичких закона у регионима где настају ДАК и САК.

Проф. др Џилијен Пич (Слика 10) је приказала формализам и рачунску технику која се може успешно применити на добијање профила линија од њиховог центра до крила за све температуре и све оне поремећајне густине за које је апроксимација једног пертурбера валидна. У развоју је одређивање доприноса прелаза где емитер-пертурбер систем заузима ограничено стање подржано почетним или крајњим потенцијалима молекуларног стања (Peach and Whittingham, 2009).



Слика 10: Проф. др Џилијен Пич држи свечани говор на затварању Конференције. Проф. Пич је учесник прве у овој серији Конференција.



Слика 11: Др Силви Сахал Брешо са Париске Опсерваторије.

Др Силви Сахал Брешо (Слика 11) описала (Sahal-Bréchet, 2009) је истраживања на Париској Опсерваторији у оквиру сударне теорије ширења линија. Захваљујући новим резултатима, може се имати нови увид у физику објеката чије се проширене линије анализирају. По њеном мишљењу то је позитиван пример интердисциплинарних истраживања, на граници атомске физике и астрофизике. У будућности истраживања ширења линија могу се

проширити и на друге домене астрофизике. Нпр. линијска поларизација у молекуларним линијама међузвезданог медијума почиње да се мери веома прецизно.

Са развојем ванатмосферске астрономије, спектралне линије ретких елемената сада се могу посматрати у звезданим спектрима са добром резолуцијом и атомски подаци за такве атоме и јоне су од све већег значаја. Simić et al. (2009) су дали преглед рада на пољу истраживања утицаја Штарковог ширења, ретких елемената у спектрима звезда и садашњих нових одређивања параметара Штарковог ширења неутралног телура на Београдској Опсерваторији.

4. СПЕКТРАЛНЕ ЛИНИЈЕ У ВАНГАЛАКТИЧКИМ ОБЈЕКТИМА

Ова секција је била највећа на Конференцији са укупно 17 предавања. Најпре ћемо истаћи предавање које је одржао проф. др Мартин Гаскел (Слика 12) који је пионир истраживања променљивости зрачења АГЈ, што може послужити за истраживање оног што се дешава око супермасивних црних рупа. Организовао је многе међународне посматрачке кампање оваквих објеката.

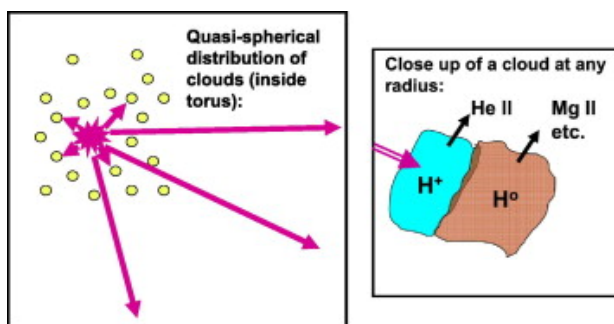


Слика 12: Проф. др Мартин Гаскел свира оргуље у Лутеранској цркви за време екскурзије у Ковачици. Проф. Гаскел је и композитор хришћанске духовне музике (<http://www.as.utexas.edu/~gaskell/>).

Мартин Гаскел (Gaskell, 2009) је дао преглед напретка који је начињен у разумевању природе широколинијског региона АГЈ као и његове улоге.

Реверберационо мапирање је показало да поменути регион има предоминантно Кеплерово кретање са јаком турбуленцијом и значајним

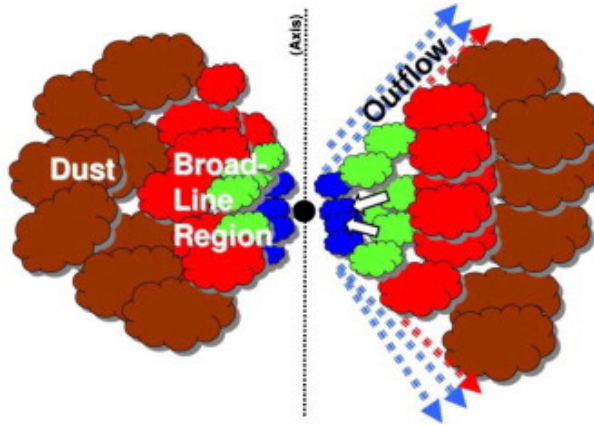
падањем материје ка црној рупи (акреција). Стопа акреције је довољна да обезбеди неопходну енергију која се израчи из АГЈ. Пошто су кретања у широколинијском региону гравитационо доминантна, и његова структура је веома слична код већине АГЈ, може се одредити маса црне рупе. Добра корелација између ових маса и маса добијених на основу луминозности звезданог овала галаксије обезбеђују јаку подршку коректности слике коју имамо о широколинијском региону (Слика 13). Иако постоје још многе мистерије око детаља како функционишу АГЈ, општа слика торуса и широколинијског региона су јасне (Слика 14). По мишљењу проф. Гаскела међузвездани материјал који прилази језгру распоређује се у раван танак торус. Материјал губи угаони момент због магнетно ротационе нестабилности и постепено се спирално увија према унутрашњости. Када материјал торуса досегне сублимациони радијус прашине, она испарава и тако настаје широколинијски регион. Турбулентни широколинијски регион наставља да се спирално увија према црној рупи где се евентуално догађа акреција. Степен јонизације се повећава како се гас све више приближава. Оптички провидан материјал, који има тенеденцију да се накупља према средишњој равни производи непрекидно зрачење, док онај који је више оптички танак продукује широколинијски регион. Не учествује сав широколинијски регион у акрецији. Један његов део се уклања са површине торуса великом брзином, разређеним ветром, као што је показано у свим магнетнохидродинамичким симулацијама и посматрањима. Међутим, проф. Гаскел је истакао да ова слика коју имамо мора добро да се провери да би се видело да ли описује све објекте а не само неколико добро посматраних као што је NGC5548.



Слика 13: Лево је приказан традиционалан модел широколинијског региона. Десно је схематски приказ сваког облака.

Треба још рада уложити у испитивање да ли диск модел (који је главни ривал приказаном моделу) може да објасни све појаве код ових објеката. Знамо да је тамо гас који отиче као и онај који је у акрецији око црне рупе. Питање је колико од овог доприноси широколинијским профилима. Ilić et al. (2008) показали су да отицање може да се повеже са неким од

широколинијских региона, тако да је одређивање релативног доприноса само на основу фитовања профила линија веома тешко. По мишљењу проф. Гаскела реверберационо мапирање и спектрополариметрија могу да дају најбољи одговор. Kollatschny (2003) је нашао извесне доказе за отицање материје у Mrk110, док су Denney et al. (2009) добили јаснији доказ постојања компоненте отицања материје у реверберационом мапирању NGC 3227. Проф. Гаскел сматра да NGC 3227 не представља главни проблем за фаворизован модел.



Слика 14: Схематски приказ широколинијски регион и торус АГЈ у равни.

Оно што би представљало проблем је уколико планирана посматрачка кампања за овај објекат потврди отицање гаса из широколинијског региона. Ово нас може упозорити на чињеницу да се АГЈ могу разликовати по доминацији утицања или отицања гаса у овом региону. Иако је проф. Гаскел у свом излагању указивао на сличности међу АГЈ и које све последице могу настати, постоје и разлике у широколинијском региону. Највеће разлике су у емисији оптичких Fe II линија. У моделу широколинијског региона који је дискутовао проф. Гаскел, оптичка емисија Fe II настаје у спољном делу овог региона унутар торуса али то не објашњава зашто су оптичке FeII линије толико изражене код неких објеката у односу на друге. Још једна мистерија коју је истакао проф. Гаскел је јачина емисије усколинијског региона и то је у јакој антикорелацији са Fe II емисијом. Комплетан модел АГЈ морао би објаснити ова два региона и њихову интеракцију.

Ала Шаповалова (Слика 15), једна од најистакнутијих посматрача и организатора посматрачких кампања АГЈ у свету, представила је резултате посматрачког програма (око 10 година) широких линија и континуума три АГЈ: 3C390.3, NGC4151 и NGC5548 (Shapovalova et al, 2009).

Њен тим истарживао је променљивост у H β и H α линијама, као и корелације између линија и континуума.

За објекат NGC5548 је добијено да широке Балмерове линије настају у турбулентном акреционом диску, који је способан и да репроцесира централни континуум.

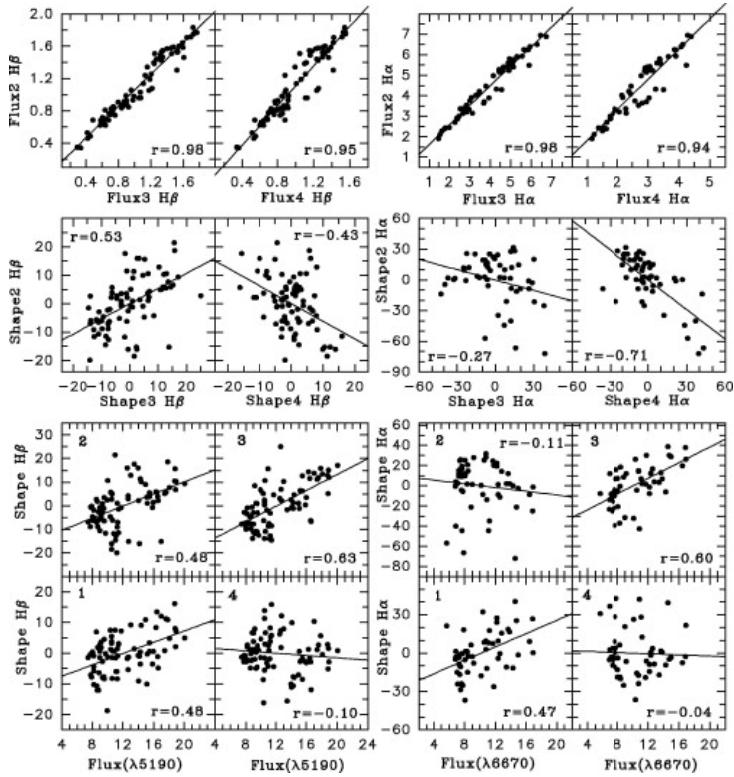


Слика 15: Ала Шаповалова, један од најистакнутијих у свету организатора посматрачких кампања АГЈ, излаже рад на Конференцији.

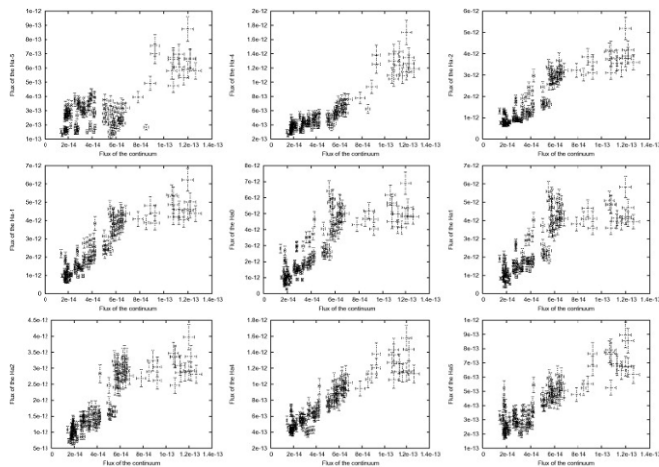
На Слици 16 приказано је како изгледају флуks–флуks, облик–облик линија и континуум флуks–облик линија корелације за различите сегменте линија $H\alpha$ и $H\beta$ за објекат NGC5548.

Широколинијски регион NGC4151 је много комплекснији. Линије настају у најмање два или три удаљена региона (један је фотојонизован са централним извором АГЈ а други је загреван ударним таласима). На Слици 17 приказана је зависност флуksева различитих сегмената широких линија од континуума флуksа.

У случају 3C390.3 широке линије са два врха јасно указују на емисију диска. Променљивост у профилима линија могу се објаснити као поремећај у акреционом диску (детаљније видети у Šapovalova et al, 2010).

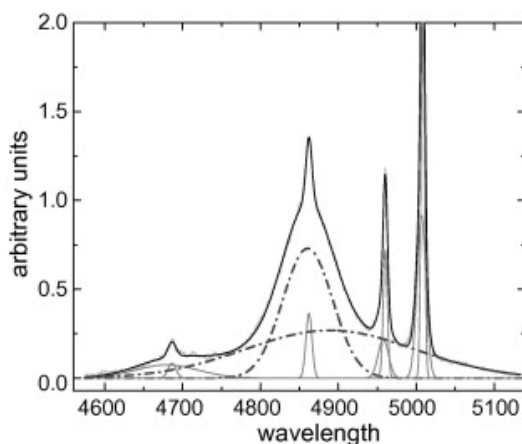


Слика 16: Флуks–флуks, облик–облик линија и континуум флуks–облик линија корелације за различите сегменте H α и H β за NGC5548. Број сегмената је дат у горњем левом углу док је корелациони коефицијент приказан на десном делу слике.



Слика 17: Флуksеви различитих сегмената широких линија као функције континуума флуksа NGC4151.

Џек Сулентик, (Sulentic et al., 2009) представио је 4D Eigenvector 1 (4DE1) простор који служи као сурогат H-R дијаграма за квазаре. То омогућује опис и унифицирање разлика међу свима широколинијским АГЈ. Спектар квазара може се усредњити коришћењем 4DE1 вектора баш као и звездани спектри што се усредњавају са OBAFGKM класификационим низом. Сулентик је пронашао да квазари са $\text{FWHM H}\beta < 4000 \text{ km s}^{-1}$ (популација А) и $\text{FWHM H}\beta > 4000 \text{ km s}^{-1}$ (популација Б) приказују многе значајне разлике које могу указати на актуелну дихотомију. Мерења широких линија и фитовање оснажују идеју дихотомије јер су фундаментално различите. Наиме, линије популација А имају Лоренцов облик а линије код популација Б добро се фитују са двоструким Гаусијаном. Ове разлике имају утицај на одређивање масе црне рупе као и на закључке о структури извора и кинематике. Слика 18 представља најснажнији доказ до сада за широколинијску и веома широку линијску интерпретацију $\text{H}\beta$ линије у популацији Б (то су углавном RL квазари и 25% од RQ). На тој слици је приказан средњи композитни спектар за око 130 квазара, као што се види двоструки Гаусов фит лепо опсиује профил $\text{H}\beta$ у SDSS композитном спектру.



Слика 18: *Композитни средњи спектар извора објеката популације Б. Профил нацртан цртицом-тачком указује на два Гаусијана (широколинијски регион и веома широколинијски регион са црвеним помаком) за $\text{H}\beta$.*

Сулентик је у закључку истакао да можемо идентификовати три класе модела који могу објаснити веома широколинијски регион: а) гравитација (којим се могу објаснити карактеристике овог региона да је веома широк и са великим црвеним помаком) б) утицање материје (којим се такође може објаснити високи црвени помак) г) померање фотона процесом расејања (овим се могу објаснити особине да је регион веома широк, његов црвени помак велик, и да постаје проминентнији на већој луминозности. Израчунате масе црних рупа нису довољно велике да би потврдиле настанак веома

широког линијског региона у њиховој близини. То је такође подржано чињеницом да се линије из тог региона могу добро фитовати симетричним Гаусијаном. Сулентик подржава модел б) и г) и сматра да треба наставити истраживања у том смеру.

На Конференцији су Јовановић, Поповић и Симић (2009) представили утицај гравитационих микросочива на широке линије квазара, са посебним освртом на Fe K α линију, користећи модел акреционог диска покривеног апсорпционим регионом. Они су се у свом истраживању фокусирали на питање колико комбиновани утицај унутрашње апсорпције и гравитационог микросочива може променити Fe K α профиле, емитоване из нискојонизованог широколинијског региона икс зрачења код квазара (LoB-AL). Аутори су развили модел рентгенског апсорпционог/потамњујућег региона који може да опише посматране (Done et al 2007) P Cygni профиле Fe K α линија. Модел (Jovanović, Popović 2007) који су аутори користили, подразумева да се апсорпциони регион састоји од великог броја појединачних сферних апсорпционих облака (истог малог радијуса), расејаних у простору тако да пројекције њихових центара на посматрачеву небеску раван (X_i, Y_i) има двокомпонентну нормалну дистрибуцију $N(\mu, \Sigma)$, где је $\mu = [\mu_X, \mu_Y]^T$

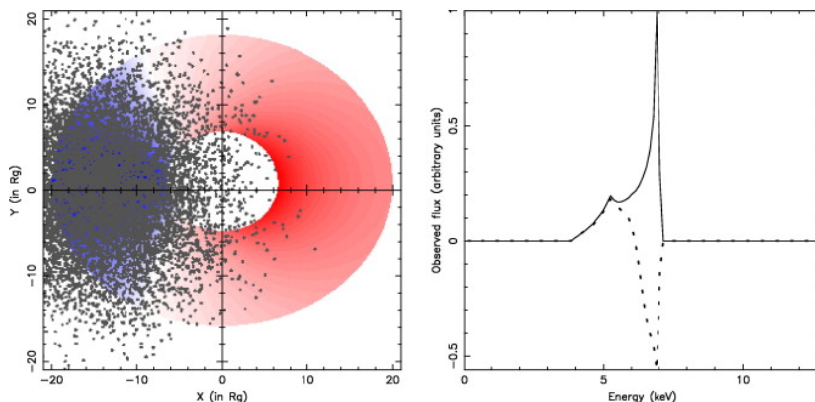
$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \rho\sigma_X\sigma_Y \\ \rho\sigma_X\sigma_Y & \sigma_Y^2 \end{bmatrix}$$

Овде су μ_X , μ_Y средње вредности координата X_i, Y_i, док су σ_X , σ_Y њихове стандардне девијације и ρ је корелација међу њима. Коришћене су следеће вредности параметара у нумеричким симулацијама: $\rho=0$, $\mu_X=X_A$, $\mu_Y=Y_A$ и $\sigma_X=\sigma_Y=R_A$, где је X_A, Y_A центар а R_A је радијус пројекције целог апсорпционог региона. Апсорпциони коефицијент A(X,Y) за сваки сферни облак у апсорпционом региону је дат са (Jovanović, Popović 2007)

$$A(X, Y) = (1 - I_A(X, Y)) \cdot e^{-\left(\frac{g(X, Y) E_0 - E_A}{\sigma_E}\right)^2}$$

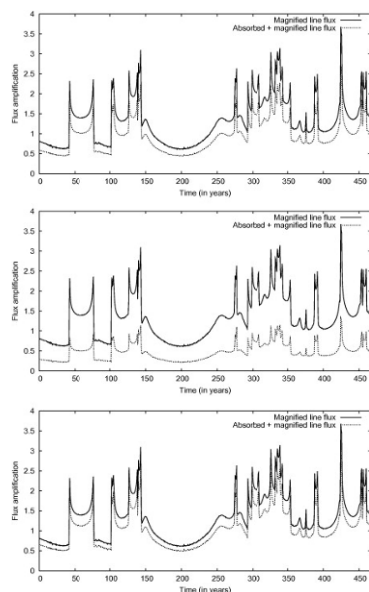
где коефицијент интензитета апсорпције I_A(X,Y) описује дистрибуцију апсорпције у целом региону, E_A је централна енергија апсорпције и σ_E ширина апсорпционог опсега (дисперзија брзина).

На слици 19 (десно) приказана је деформација Fe K α линије због апсорпционог региона који покрива приближавајућу страну диска (слика 19 лево). Добијени профил P Cygni за Fe K α има емисиону компоненту на 5 KeV и апсорпциону на 7 KeV (што се слаже са посматрањима Done et al 2007).

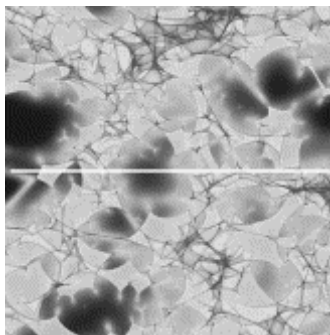


Слика 19: Моделовани акрециони диск покривен врелом апсорпционом материјом (лево) и одговарајућа апсорпција FeKa, приказана испрекиданом линијом (десно), континуална крива представља FeKa без апсорпције.

Ширина и дубина апсорпционе компоненте зависи од пројекције овог региона на акрециони диск. Аутори су такође показали да комбиновани утицај апсорпције и гравитационог микросочива може објаснити посматране варијације Fe Ka линије у случају објекта H1413+117.



Слика 20: Поређење између симулираних кривих неапсорбоване (континуална крива) и апсорбоване Fe Ka (испрекидана линија). Симулације су рађене за акрециони диск који пролази дуж хоризонталне путање у мапи увећања слике A квазара H1413+117 (слика 21).



Слика 21: *Мапа гравитационог увећања квазара H1413+117 слика А. Бела линија представља анализирану путању центра акреционог диска.*

Јовановић, Поповић и Симић успели су да направе мрежу модела за променљивост Fe K α апсорпционе линије квазара H1413+117A (Слике 20 и 21) узроковану гравитационим микросочивом, што се може користити за поређење са посматраним варијацијама. Такође се ови резултати могу користити за тестирање карактеристика како апсорпционог региона тако и акреционог диска у случајевима утицаја сочива на квазаре са Fe K α апсорпционом компонентом.

4. ПОСТЕР СЕКЦИЈА

На Конференцији се такмичило 18 аутора за најбољи постер. Жири у саставу Џилијен Пич, Кристијан Дамијан и Мартин Гаскел, после петоминутних презентација и разгледања постера одлучио је да додели награду најбољем (Слике 22 и 23) *Van der Waals broadening in atmospheric pressure surface wave discharges sustained in rare gases* чији су аутори José Muñoz, Cristina Yubero, Milan S. Dimitrijević и María Dolores Calzada. Истраживања Ван дер Валсовог ширења су тренутно једна од веома важних области у спектроскопији јер се вредности овог параметра могу повезати преко Линдхолм-Фоли теорије са температуром гаса, што је важно за дијагностику плазме и одређивање кинематичких карактеристика тешких честица. Аутори су анализирали профиле неколико атомских линија племенитих гасова (које настају под утицајем микроталаса, 2.45GHz) на атмосферском притиску у циљу одређивања најпогоднијих за мерење температуре гаса. Посебна пажња је дата утицају Штарковог ширења на Лоренцову ширину, из које се добија и Ван дер Валсово ширење.



Слика 22: *José Muñoz излаже најбољи постер на Конференцији.*



Слика 23: *Доц. др Драгана Илић, копредседник ЛОК, додељује награду за најбољи постер на свечаној вечери Конференције.*

5. УМЕСТО ЗАКЉУЧКА, ПОГЛЕД УНАПРЕД

На Конференцији су приказани нови резултати, који су унапредили наше актуелно знање о АГЈ. Настанак и еволуција супермасивних црних рупа је главно отворено питање вангалактичке физике. Раст масе црне рупе и повратни утицај АГЈ на галаксију домаћина су два кључна процеса који могу утицати на еволуциони модел галаксија. Оно што нас очекује у блиској будућности су интерферометријска посматрања унутрашњег акреционог протока око Sgr A (ово нам је најближе галактичко језгро) као и

спектроскопска посматрања релативистичког ширења линија гвожђа у АГЈ што ће дати могућност за мапирање простор-времена астрофизичких црних рупа. Ова могућност биће реализована само ако се зрачење из унутрашњег акреционог протока може идентификовати и раздвојити од емисије или од млазева и отицања. За то ће бити коришћена нова техника која филтрира добијене слике и спектре засноване на кинематичким својствима флуидних елемената у унутрашњем акреционом току као и на својствима јаких гравитационих сочива у Керовом простор-времену. Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik има у плану изградњу инструмента GRAVITY са адаптивном оптиком (<http://www.mpe.mpg.de/ir/gravity/index.php>). Са тачношћу од 10 лучних микросекунди, овај инструмент ће моћи да изучава кретање унутар растојања од неколико пута величине хоризонта догађаја масивне црне рупе и потенцијално тестирати Општу релативност на самој граници. Овај инструмент имаће за циљ и одређивање величине и састава широколинијског региона АГЈ, турса прашине и кондензационог региона. Због своје велике осетљивости и инфрацрвених сензора, ова научна мисија прошириће скуп доступних објеката (у односу на друге VLTI инструменте), обезбеђујући већи варијетет геометрија, што је кључ у дискусији унифицираног модела.



Слика 24: ДВД издање материјала са Конференције. Слика која покрива ДВД је уједно и званична Конференцијска слика: у првом реду стоје (слева на десно) Мартин Гаскел, Лука Ч. Поповић, Милан С. Димитријевић, Тамара Богдановић, Мајкл Ераклеус, Драгана Илић и Џорџ Чартас.

Можемо слободно рећи, да је Конференција посвећена темама које ће бити актуелне и у будућности и од којих се очекује велики пробој. Апстракти, програм и фотографије са Конференције доступни су у електронском виду (Popović, Dimitrijević, Jevremović, Ilić 2009) (Слика 24).

Захвалница

Овај рад је урађен у оквиру пројекта 146001 *Утицај сударних процеса на спектре астрофизичке плазме*, пројекта 146002 *Астрофизичка спектроскопија вангалактичких објеката* и пројекта 146022 *Историја и епистемологија природних наука*, код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.

Литература

- Ben Nesib, N.: 2009 “Ab initio calculations of Stark broadening parameters”, *New. Astron. Rev.*, **53**, 255-258.
- Danezis, E., Lyrazi, E., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., Antoniou, A.: 2009, “Interpreting the complex line profiles in the stellar spectra”, *New Astron. Rev.*, **53**, 214-221.
- Danezis, E., Theodossiou, E., Laskarides, P.: 1991, “The far UV spectrum of the Be star AX Monocerotis”, *Astrophysics and Space Science*, **179**, 111-139.
- Denney, K. D. et al.: 2009, “A revised broad-line region radius and black hole mass for the narrow-line Seyfert 1 NGC 4051”, *ApJ*, **702**, 1353-1366.
- Dimitrijević, M. S., Konjević, N.: 1980, “Stark widths of doubly- and triply-ionized atom lines”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **24**, 451-459.
- Dimitrijević, M. S., Djeniže, S., Srećković, A., Platiša, M.: 1996, „On the S III and S IV Spectral Line Stark Broadening Parameters“, *Physica Scripta*, **53**, 545-548.
- Димитријевић, М. С.: 2008, “Шеста српска конференција о облицима спектралних линија у астрофизици”, *Зборник радова конференције “Развој астрономије код Срба I”*, Београд, 18-22. Април 2008, Публикације Астрономског друштва “Руђер Бошковић”, **8**, 829-846.
- Dimitrijević, M. S., Popović, L. Č., Jevremović, D., Ilić, D.: 2009, “VII Serbian Conference On Spectral Line Shapes In Astrophysics: Abstracts, Program and Photos”, DVD, Eds. Serbian astronomical society and Astronomical Observatory Belgrade, ISBN978-86-80019-34-5.
- Djeniže, S., Srećković, A., Platiša, M., Konjević, R., Labat, J., Purić, J.: 1990, *Phys. Rev. A*, **42**, 2379.
- Done, C., Sobolewska, M., Gierliński, M., Schurch, N.: 2007, “The iron K feature in narrow line Seyfert 1 galaxies: evidence for a P Cygni profile?”, *MNRAS*, **374**, L15-L19.
- Elabidi, H., Ben Nessib, N., Sahal-Bréchet, S.: 2004, “Quantum mechanical calculations of the electron-impact broadening of spectral lines for intermediate coupling”, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **37**, 63-71.
- Gaskell, M.: 2009, “What broad emission lines tell us about how active galactic nuclei work”, *New Astron. Rev.*, **53**, 140-148.

- Gnedin, Y., Mihajlov, A., Ignjatović, Lj., Sakan, N., Srećković, V., Zakharov, M., Bezuglov, N., Klycharev, N.: 2009, "Rydberg atoms in astrophysics", *New Astron. Rev.* **53**, 259-265.
- Griem, H. R. : 1964, "Plasma Spectroscopy", McGraw-Hill.
- Ilić, D., Popović L. Č., León-Tavares, J., Lobanov A., Shapovalova A. I., Chavushyan, V.: 2008, "The broad line region in Mrk 668 and NGC 4151: an outflow model" *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, **79**, 1105-1108.
- Jovanović, P., Popović, L. Č., Simić, S.: 2009, "Influence of gravitational microlensing on broad absorption lines of QSOs: The case of the Fe K α line", *New Astron. Rev.*, **53**, 156-161.
- Jovanović, P., Popović, L. Č.: 2007, "The Shape of the FeK α Spectral Line in the Case of Partly Obscured Accretion Disk", *AIP Conf. Proc. Series VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics (VI SCSLSA)*, **938**, 76-81
- Kollatschny, W.: 2003, "Accretion disk wind in the AGN broad-line region: Spectroscopically resolved line profile variations in Mrk 110", *A&A*, **407**, 461-472.
- Kuraica, M. M., Obradović, B., Cvetanović, N., Dojčinović, I., Purić, J.: 2009, "Examples of spectroscopy of laboratory plasma with possible connection to astrophysical plasmas", *New Astron. Reviews*, **53**, 266-271.
- Netzer, H.: 2008, "Ionized gas in active galactic nuclei", *New Astron. Rev.*, **52**, 257-273.
- Peach, G., Whittingham, I.: 2009, "The theory of line shapes relevant to the spectra of cool stars", *New Astron. Rev.*, **53**, 227-230.
- Sahal-Bréchet, S.: 2009, "From collisional line broadening to atomic polarization and collisional depolarization; Astrophysical applications", *New Astron. Rev.*, **53**, 231-239.
- Shapovalova, A., Popović, L. Č., Bochkarev, N., Burenkov, A., Chavushyan, V. Collin, S., Doroshenko, V., Ilić, D., Kovačević, A.: 2009, "Long-term variability of the Broad Emission Line profiles in AGN", *New Astron. Rev.*, **53**, 191-197.
- Shapovalova, A., Popović, L. Č. et al.: 2010, "Spectral optical monitoring of 3C390.3 in 1995-2007: I. Light curves and flux variation of the continuum and broad lines", *A&A*, accepted.
- Simić, Z., Dimitrijević, M. S., Kovačević, A.: 2009, "Stark broadening of spectral lines in chemically peculiar stars: Te I lines and recent calculations for trace elements", *New Astron. Rev.* **53**, 246-251.
- Strateva et al.: 2003, "Double-peaked Low-Ionization Emission Lines in Active Galactic Nuclei", *AJ*, **126**, 1720-1749.
- Sulentic, J. W., Marziani, P., Dultzin-Hacyan, D.: 2000, "Phenomenology of Broad Emission Lines in Active Galactic Nuclei", *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **38**, 521-571.
- Sulentic, J. W., Marziani, P., Zamfir, S.: 2009, "Comparing H β line profiles in the 4D Eigenvector 1 context", *New Astron. Rev.*, **53**, 198-201.

VII SERBIAN CONFERENCE ON SPECTRAL LINE SHAPES IN ASTROPHYSICS

Here we presented a summary of VII Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, which was held in Zrenjanin 15-19.06.2009.