

ОД СУНЧЕВОГ СИСТЕМА ДО ГРАНИЦА ВАСИОНЕ

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

---

LECTURE SERIES

Book III

FROM THE SOLAR SYSTEM  
TO THE FRONTIERS  
OF THE UNIVERSE

Accepted at the 9<sup>th</sup> meeting of the Department of Mathematics,  
Physics and Geo-Sciences on December 23<sup>rd</sup>, 2016

Editor

Academician  
ZORAN KNEŽEVIĆ

BELGRADE 2017

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

---

ЦИКЛУС ПРЕДАВАЊА

Књига III

# ОД СУНЧЕВОГ СИСТЕМА ДО ГРАНИЦА ВАСИОНЕ

Примљено на IX скупу Одељења за математику,  
физику и гео-науке од 23. децембра 2016. године

Уредник

академик

ЗОРАН КНЕЖЕВИЋ

БЕОГРАД 2017

Издаје  
*Српска академија наука и уметности*  
Кнеза Михаила 35, Београд

Технички уредник  
*Мира Зебић*

Лектор и коректор  
*Снежана Крсчић-Букарица*

Тираж  
400

Штампа  
*Службени гласник*

САДРЖАЈ  
CONTENTS

*Предговор* – Зоран Кнежевић

Бојан Новаковић, *У нашем суседству: мала тела Сунчевог система* . . . . . 1  
Bojan Novaković, *In our neighborhood: small solar system bodies* . . . . . 14

Слободан Јанков, *Висока просторна резолуција: нови прозор  
за сагледавање тајни васионе* . . . . . 15  
Slobodan Jankov, *High spatial resolution: new window to view  
the secrets of the Universe* . . . . . 23

Оливера Латковић, *Шта се крије у светлости звезда?* . . . . . 25  
Olivera Latković, *What is hiding in the starlight?* . . . . . 39

Дејан Урошевић, *Остаци супернових: најмоћнији акцелератори  
у Галаксији* . . . . . 41  
Dejan Urošević, *Supernova remnants: the most powerful accelerators  
in the Galaxy* . . . . . 53

Лука Ч. Поповић, *Најсјајнији објекти у васиони: активна  
галактичка језгра и гама бљескови* . . . . . 55  
Luka Č. Popović, *The brightest objects in the Universe: active  
galactic nuclei and gamma ray bursts* . . . . . 65

Милан М. Ћирковић, *Симпсон, Кардашев и пола века еволуционог  
промишљања астробиологије и SETI пројеката* . . . . . 67  
Milan M. Ćirković, *Simpson, Kardashev and half a century  
of the evolutionary deliberation of astrobiology and SETI projects* . . . . . 75



## ПРЕДГОВОР

У склопу обележавања 175. годишњице свог континуитета, Српска академија наука и уметности је почев од 2016. године покренула неколико нових облика активности, с циљем успостављања боље комуникације с јавношћу и приближавања рада Академије и њених чланова широкој публици. Покретањем серије циклусних пројеката, од којих се сваки састоји од више предавања наших еминентних научника посвећених истраживањима у некој области науке присутној у Академији, жеља је била да се ове области представе кроз сагледавање њиховог садашњег стања и праваца будућег развоја у свету, али и са аспекта положаја и улоге наше науке у савременим научним токовима. Пројекте осмишљавају и припремају чланови Академије, а предавања се одржавају у њеним просторијама.

Припала ми је част да организујем други по реду циклусни пројекат у овој серији, „Од Сунчевог система до граница васионе”, посвећен астрономији. Идеја са којом сам ушао у овај захтевни подухват била је да се што целовитије и приступачније, али и без претераног поједностављивања, представе савремена астрономска истраживања у свету и код нас, да се сложени феномени физичког света који нас окружује и чији смо само мајушни део на разумљив начин представе радозналом посетиоцу. Пошли смо, стога, на пут од непосредног нам космичког суседства и стигли до најудаљенијих кутака васионе, чули смо одговор савремене науке на питања о томе како је настала наша планета Земља, а како васиона у целини, шта су звезде, далеке галаксије и други тајновити васионски становници, какви процеси се на њима одвијају, најзад, да ли смо сами у свемиру? На крају тог пута стоји овај зборник који са великим задовољством предајемо читаоцу.

Циклусни пројекат не било могуће организовати без драгоцене сарадње мојих колега са Астрономске опсерваторије у Београду и Катедре за астрономију Математичког факултета Универзитета у Београду, чија предавања у оквиру пројекта сте могли да чујете и чије прегледне радове можете да

## VIII

прочитате на страницама овог зборника. На томе им се Српска академија наука и уметности и ја најтоплије захваљујемо.

Београд, 23. фебруара 2017. године

Зоран Кнежевић



ЛУКА Ч. ПОПОВИЋ\*

## НАЈСЈАЈНИЈИ ОБЈЕКТИ У ВАСИОНИ: АКТИВНА ГАЛАКТИЧКА ЈЕЗГРА И ГАМА БЉЕСКОВИ

**А п с т р а к т.** – Активна галактичка језгра и гама бљескови представљају најмоћније изворе електромагнетног зрачења у васиони, што омогућава да их посматрамо на великим космолошким растојањима. Због тога су истраживања ових објеката од посебног значаја, не само за еволуцију галаксија и космологију, него и за истраживања материје у екстремним условима, као нпр. плазме у близини супермасивне црне рупе или релативистичких ударних таласа.

У овом раду осврнућемо се на природу активних галактичких језгара и гама бљескова, пре свега на извор њихове велике луминозности и њихову улогу у еволуцији галаксија и космолошки значај. Посебно ћемо дискутовати о неким отвореним питањима у вези са природом ових објеката, и представити допринос српских истраживача у истраживањима природе и структуре активних галактичких језгара и гама бљескова.

### УВОД

У астрономији разликујемо привидни и прави сјај небеског објекта. Сјај објекта опада са квадратом растојања, тако да, за нас на Земљи, најсјајније небеско тело је Сунце, иако се ради о осредњој звезди која, на пример, не би ни била видљива голим оком да је удаљена од нас као Северњача. Када погледамо у звездано небо, голим оком можемо да видимо углавном звез-

---

\* Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11000 Београд, Србија, e-mail: lpopovic@aob.rs.

де, не зато што су оне најсјајнији објекти у васиони, него зато што су нам релативно близу. Зато се у астрономији дефинише апсолутни сјај објекта, а то је онај сјај који би објекат имао на растојању од 10 парсека (1 парсек представља растојање које светлост прелази за око 3,26 година крећући се брзином од око 300.000 км/с). Када скалирамо све објекте на апсолутни сјај, онда добијамо да су изузетно сјајне галаксије, а посебно једна група галаксија које називамо галаксије са активним галактичким језгром или, скраћено, активна галактичка језгра (АГЈ). Ове објекте карактерише веома велика израчена енергија из веома мале запремине у њиховом центру, при чему спектар активних галактичких језгара нема особине звезданог спектра, а енергија је много већа него она која се може створити у термонуклеарним реакцијама (што се дешава у звезданој унутрашњости), што наводи на закључак да створена енергија потиче од процеса акреције који се дешава у околини супермасивне црне рупе.

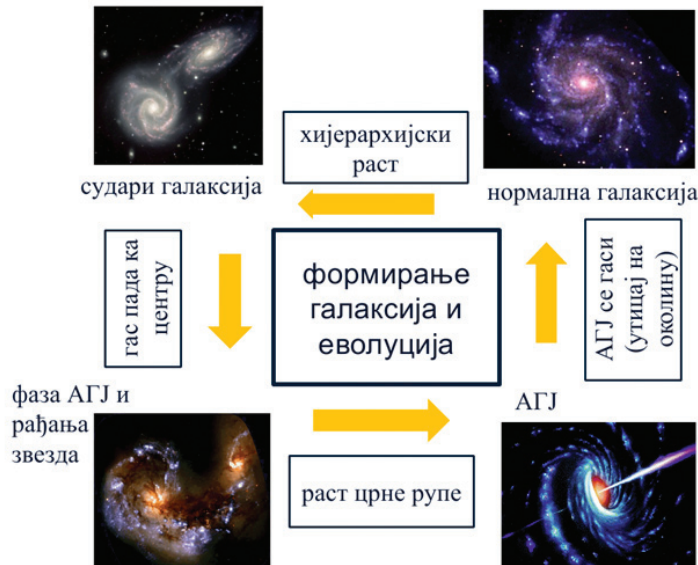
Активна галактичка језгра зраче у дужем временском периоду и то у читавом опсегу таласних дужина (од гама зрака до радио-таласа), док други тип најсјајнијих објеката и најмоћнијих извора енергије у васиони, такозвани гама бљескови (ГБ), представљају транзитне објекте који у кратком времену зраче огромну енергију и то углавном високоенергетске гама зраке. Гама бљескови трају неколико секунди, а при том је енергија која се зрачи упоредива са претварањем масе мањег тела (мање него што је маса Земље) у енергију. Због те чињенице, неки сматрају да овај феномен може бити узрокован испаравањем примордијалних, малих црних рупа. Гама бљескови су добили име пре свега по томе што интензивно зраче у гама области, али после фазе бурног гама сјаја, њихов сјај често остаје у тзв. фази после гама бљеска (*afterglow*), и тада се детектује зрачење фотона мањих енергија.

Оно што везује ова два типа објеката је да и код неких активних галактичких језгара често можемо да уочимо краткотрајну емисију у гама зрачењу, а оно што је најинтересантније јесте да је њихов велики сјај узрокован објектима који су „најмрачнији” у васиони, а то су црне рупе, које не дозвољавају да светлост напусти простор унутар њиховог хоризонта догађаја. Код гама бљескова, можда и није у позадини црна рупа, али је иницијални извор углавном везан са избацивањем материје и није уочљив пре самог догађаја гама бљеска.

У овом тексту ћемо се ближе упознати са најсјајнијим објектима у васиони, са активним галактичким језгрима и гама бљесковима, а при том ћемо се посебно осврнути на одређена отворена питања у вези са овим објектима и скорашњим истраживањима која се изводе у Србији, пре свега у Астрономској опсерваторији, али и на Катедри за астрономију Математичког факултета, Природноматематичком факултету у Крагујевцу и Институту за физику у Земуну.

## УЛОГА СУПЕРМАСИВНИХ ЦРНИХ РУПА У РАЗВОЈУ ГАЛАКСИЈА И ВАСИОНЕ

Опште је прихваћено да се у центрима галаксија налазе супермасивне црне рупе, чија се маса креће од неколико стотина хиљада до неколико милијарди Сунчевих маса. На пример, у центру наше галаксије, Млечног пута, налази се омања супермасивна црна рупа која има масу од око четири милиона Сунчевих маса. Питање је како настају овако масивне црне рупе? Постоје два механизма њиховог настанка, а то су акреција (скупљање околне материје) или у сударима. Акреција је мање ефикасан механизам него што су судари две црне рупе, тако да се у сударима галаксија стварају масивније црне рупе, али и масивније галаксије. Другим речима, у еволуцији васионе долази до сталних судара галаксија при чему настају масивније црне рупе (и галаксије), које опет имају утицаја на структуру новонастале галаксије. Илустрација таквог процеса је приказана на слици 1. По овом сценарију имамо четири карактеристичне фазе: прва, која је предсударна, када се могу посматрати две одвојене галаксије (као што је приказано на горњем левом панелу), затим следи друга фаза – процес спајања две галаксија. Трећа фаза је окарактерисана појачаном активношћу језгра, док у четвртој фази галаксија поново поприма уобичајену структуру и спремна је за нови судар. Из овог следи да супермасивне црне рупе и њихови судари имају важну улогу у развоју галаксија, а тиме и целе васионе.



Слика 1. Коеволуција галаксија и централних црних рупа. Показане су четири фазе: судар галаксија (горе–лево), фаза спајања две галаксије (доле–лево), фаза после судара – АГЈ (доле–десно) и фаза нормалне галаксије (горе–десно) (преузето из Поповић и Илић 2017)

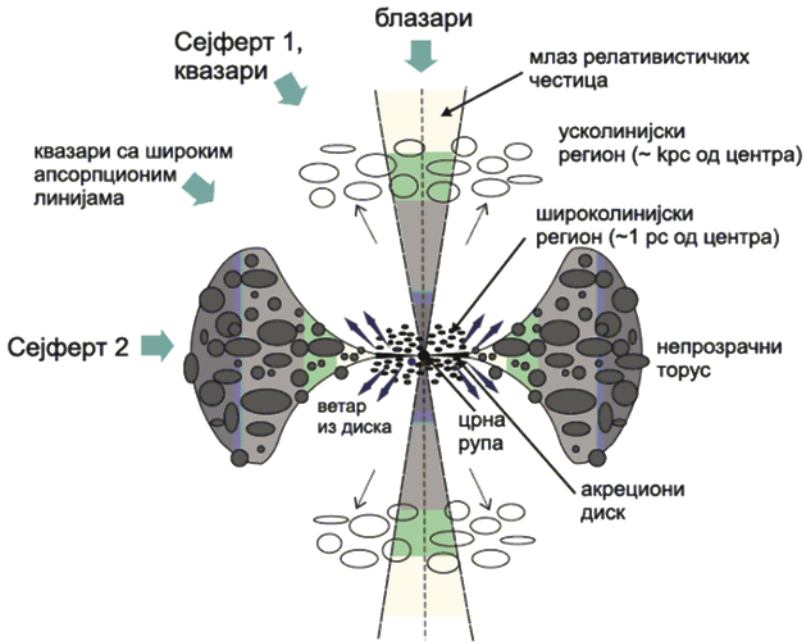
Један од задатака савремене астрономије је проучавање супермасивних црних рупа које се налазе у центрима галаксија. По природи, црна рупа не може да емитује електромагнетно зрачење, напротив, светлост не може да напусти црну рупу, па се поставља питање како изучавати ове објекте, посебно на различитим скалама космолошког растојања? Одговор је: проучавајући активна галактичка језгра. Као што се види на слици 1 (доњи десни панел), може се очекивати да све галаксије пролазе кроз фазу појачане активности језгра или АГЈ фазу, где после судара две црне рупе долази до настанка масивније црне рупе која се налази у резервоару гаса. Гас има одређени момент кретања и почиње да пада ка црној рупи у форми акреционог диска. У том случају можемо рећи да „црна рупа засветли”, тј. долази до зрачења акреционе плазме око црне рупе, чије кинетичке и физичке карактеристике зависе од особина централне црне рупе.

### ШТА ЈЕ АКТИВНО ГАЛАКТИЧКО ЈЕЗГРО?

Још 40-тих година прошлог века Карл Сејферт је уочио да код поједних галаксија постоји појачано зрачење из центра који нема природу звезданог спектра. У спектру се уочавају широке емисионе линије из дозвољених и забрањених прелаза, које указују на кретање емитујућег гаса брзинама и до неколико 1000 км/с. Ови објекти су названи Сејфертове галаксије и подељени су у два типа, Сејферт 1 и 2, у зависности од ширине линија из дозвољених прелаза. Касније, 60-тих година, долази до открића квазара, објекта који имају изузетан сјај, изгледају као звезде (не види се галактичка структура ових објеката), а имају спектар који је сличан Сејфертовим галаксијама, с тим да су по правилу њихове емисионе линије шире. Назив квазар потиче од скраћенице првобитног назива „квази звездани објект” (*quasi stellar object – quasar*). Касније су откривени слични објекти који имају јако радио зрачење и континуум, брзо мењају сјај, немају линије, светлост им је у великом проценту поларизована и личе на квазаре, па су добили име блазари.

Да се ради о објектима који имају сличну структуру дошло се на идеју 80-тих година прошлог века, тако да су поменути објекти добили заједничко име активна галактичка језгра. Типична структура активних галактичких језгара приказана је на слици 2. У центру ових објеката се налази супермасивна црна рупа (реда величине од неколико милиона до неколико милијарди Сунчевих маса), која је окружена гасом који, преко акреционог диска, пада у црну рупу. Акрециони диск зрачи у свим опсезима таласних дужина и представља извор огромне израчене енергије код ових објеката. Акрециони диск емитује фотоне високих енергија, који су способни да изврше јонизацију гаса у околини црне рупе, тако да, услед рекомбинације, долази до емисије линија из ових области. Ту разликујемо област која је ближа централној црној рупи чија је кинематика условљена масом црне рупе, и која емитује широке емисионе линије (од неколико 1000 км/с – чија ширина потиче од ротационог кретања емисионог гаса око црне рупе) из дозвољених прелаза, и област која је даље, тиме мање густине, емитује уже линије (неколико 100 км/с), а због мале

густине гаса долази до емисије линија из забрањених прелаза. Ове области, по карактеристикама њихових емисионих линија, називамо широколинијска и усколинијска област (види слику 2). Нормално на правац диска се простиру два млаза избачене материје, који углавном имају релативистичко кретање, а у равни диска се налази резервоар гаса, који се слива у акрециони диск и који има облик торуса, па га називамо гасним торусом.



Слика 2. Шематски приказ структуре активног галактичког језгра. По унификационом моделу, АГЈ различитих спектралних карактеристика се виде под различитим углом у односу на раван акреционог диска и торуса (преузето из Поповић и Илић 2017)

Полазећи од овакве структуре, коју називамо обједињени модел активних галактичких језгара, можемо објаснити различита активна галактичка језгра. Ако посматрамо у равни торуса (акреционог диска), видећемо само уске линије, при чему ће сјај бити нешто мањи него када гледамо под већим углом, где можемо видети области акреционог диска и широколинијског региона. У првом случају имамо типичне Сејферт 2 галаксије, а у другом случају Сејферт 1 галаксије и квазаре. Блазаре видимо када посматрамо у правцу релативистичких млазева, где се може видети углавном зрачење млаза, које може бити изузетно јако у гама домену, а понекад се дешавају мини гама бљескови условљени нехомогеностима у релативистичком млазу. Разлика између Сејферт 1 галаксија и квазара је само у јачини њиховог сјаја, сјај квазара је већи тако да се његова галактичка структура не може видети због огромног сјаја језгра, које може имати зрачење веће него хиљаду обичних галаксија.

Иако се активна галактичка језгра изучавају више од 50 година, постоји низ отворених питања у вези са њиховом природом, тако да су истраживања у овој области веома актуелна, пре свега одређивање масе и спина централне супермасивне црне рупе, али и истраживања везана за унутрашњу структуру ових објеката. Даље ћемо приказати истраживања у овој области, са освртом на рад наших истраживача, а кренућемо од централне црне рупе.

## КАКО ИЗМЕРИТИ МАСУ И СПИН СУПЕРМАСИВНЕ ЦРНЕ РУПЕ?

Постоји неколико начина за процену масе централне црне рупе код галаксија, али за сада је најпоузданији тзв. *реверберациони метод* који се примењује код активних галактичких језгара. За примену овог метода, потребно је знати физику, кинематику и облик емитујућег гаса који се налази у околини црне рупе. Прво, гас из области блиских црној рупи емитује широке емисионе линије чија ширина одговара брзинама гаса. Ако претпоставимо да је гас гравитационо везан, помоћу виријалне теореме добијамо да је маса црне рупе

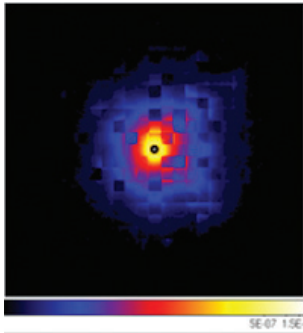
$$M_{BH} = f \frac{v^2 R}{G}$$

где је  $v$  брзина гаса,  $R$  – радијус ове области, а  $G$  је гравитациона константа. Фактор  $f$  зависи од геометрије целе области. Брзину гаса можемо одредити из ширине линије, а да бисмо одредили радијус, потребно је да систематски посматрамо активна галактичка језгра у дужем временском интервалу, како би уочили одзив интензитета линија на промене у широким линијама. Претпостављајући да је извор континуума компактан око црне рупе у односу на област која емитује широке линије, кашњење сигнала (одзив) у широким линијама у односу на континуум даје нам димензије овог региона ( $R$  у горњој једначини), што се још назива и реверберациони метод. За одређивање димензија широколинијског региона, потребно је дугорочно праћење одређеног броја активних галактичких језгара, што ради неколико група у свету. Наши истраживачи су укључени у ова истраживања заједно са колегама из Русије, Мексика и Немачке, а посматрања се изводе на опсерваторијама у Мексику, Специјалној астрофизичкој опсерваторији у Русији и Калар Алто опсерваторији у Шпанији. Детаљнији резултати ових истраживања се могу видети из радова приложених у референцама на крају овог текста (у делу *Реверберација и сиекџирална йроменљивосиј*).

Једна од непознаница, која зависи од геометрије и физичких особина широколинијске емисионе области, јесте фактор  $f$  у горњој једначини. Да би се добиле његове вредности, потребно је изучити геометрију ове области, а то подразумева различите структуре у самом центру активних галактичких језгара, које у екстремном случају могу бити и блиске двојне супермасивне црне рупе. У том делу су српски истраживачи дали одређени допринос (ви-

дети изабране радове приложене у референцама у делу *Двојне сујермасивне црне рупе и геомејрија широколинијског региона*).

За примену горње једначине, од посебног интереса је да се испита важење виријалне теореме код активних галактичких језгара. Да ли је гас углавном гравитационо везан или постоје одређена одступања, може се утврдити изучавајући спектралне карактеристике различитих типова активних галактичких језгара. У суштини се изучавају карактеристике континуума и линијског спектра активног галактичког језгра, и њихове међусобне везе, како би се одредила физика широколинијског региона. Циљ је да се утврди да ли други ефекти, поред гравитационо везаног кретања гаса (нпр. избацивање материје, допринос звезданих експлозија у околини АГЈ итд.), имају утицаја на ширину линије. У овом делу српски истраживачи су дали значајан допринос (видети део *Спектралне особине АГЈ* у референцама).



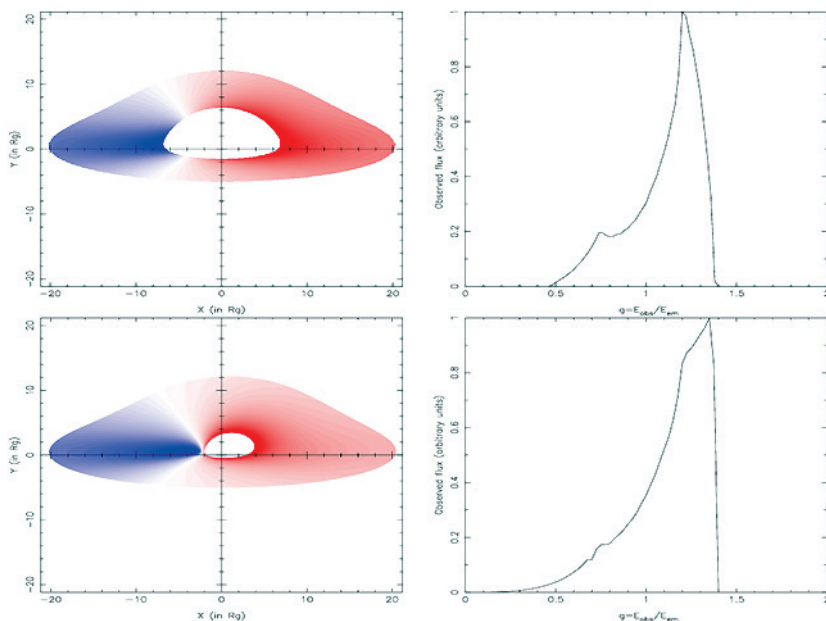
Слика 3. Моделирани изглед торуса у оптичком делу спектра (преузето из Stalevski et al. 2012)

Поред реверберационог метода, постоји и метод који је делимично развијен (и тренутно се развија) од стране наших истраживача, а то је поларизациони метод (види део *Поларизација и тјорус* у списку референци). Овај метод користи посматрану промену угла поларизације у широким линијама, који зависи од кеплеровског кретања гаса у широколинијској области. За коришћење овог метода потребно је познавати унутрашњи радијус торуса на коме се врши екваторијално расејање светлости из области које емитују широке линије. Другим речима, потребно је познавати структуру торуса, што се истражује код нас (види слику 3). Предност овог метода је што нема претпоставке о виријализацији у области емисије широких линија, и облик поларизационог угла (у случају кеплеровског кретања) је специфичан, тако да се директно из посматрања може проценити да ли је емисиони гас виријализован.

И на крају овог дела, осврнимо се на могућност процене ротације (спина) црних рупа. Ово представља прилично велики проблем, јер да бисмо видели ефекте ротације црне рупе, потребно је посматрати зрачење акреционог диска из дела који је близак хоризонту догађаја. Тај део називамо унутрашњи део акреционог диска, и његова емисија је у високоенергетском



рендгенском делу спектра. У том делу спектра, често можемо посматрати линију неутралног гвожђа која има енергију од 6,4 keV, познату као Fe K $\alpha$  линија, чији облик зависи од спина и карактеристика акреционог диска (види слику 4). Да бисмо добили спин црне рупе, раде се фитовања облика ове линије са моделима акреционог диска. Такав један модел је развијен од стране српских истраживача и примењиван је у одређивању параметара акреционог диска и централне супермасивне црне рупе, али и за проблеме ефекта гравитационих сочива код рендгенског зрачења активних галактичких језгара (видети референце у делу *Fe K $\alpha$  линија и акрециони диск*).



Слика 4. Моделирани изглед акреционог диска (лево) и одговарајући облик Fe K $\alpha$  линије (десно), и то за случај неротирајуће (горе) и ротирајуће са максималним спином (доле) црне рупе (преузето из Jovanović and Popović 2009)

## ГАМА БЉЕСКОВИ, ЊИХОВА ПРИРОДА И УТИЦАЈ НА ЗЕМЉИНУ АТМОСФЕРУ

Као што је речено, гама бљескови за веома кратко време зраче огромну енергију. Они су случајно откривени 70-тих година прошлог века, са војног сателита Вела, чији је задатак био да осматра активности у вези са пробама нуклеарних бомби. Тада је примећено да се дешава појачано гама зрачење које није земаљског порекла. Прво се мислило да су гама бљескови везани за процесе који се дешавају у нашој галаксији, међутим, после њиховог дужег посматрања, установљено је да су они вангалактичког порекла.



Природа ових појава још није јасна, мада се засигурно зна да један њихов број потиче из експлозија супернових звезда и активних галаксија (блазара). Наравно, постоје и друге идеје о процесима који леже у позадини овако јаке емисије, а међу њима су судари неутронских звезда, испаравање примордијалних (првобитних) црних рупа мањих маса и процеси који су везани за тамну енергију.

Оно што је актуелно у истраживањима гама бљескова је одређивање физичког механизма њиховог настанка. Невидљиви извор у центру избације релативистичким брзинама материју, која формира ударне таласе. Један такав модел је усавршен и од стране наших истраживача (види део *Гама бљескови* у референцама), где се узимају сферне области материје која има релативистичку брзину и која је избачена из централног извора. Ове сферне љуске материје сустижу једна другу, и у том процесу долази до краткотрајног судара, где настају гама зраци великих енергија и интензитета. Контакт траје веома кратко, од једне секунде до неколико минута, а енергија која се зрачи је огромна.

Гама бљескови су изотропно распоређени и високоенергетски фотони долазе и до Земље. Пионирски рад у области утицаја гама бљескова на део Земљине атмосфере (нижу јоносферу) је урађен од стране српских истраживача, чиме су указали да постоји утицај и да је мерљив. На основу сигнала на ниским фреквенцијама, регистрованих у Београду, а емитованих из Америке, Енглеске и Немачке, уочено је да нижи слојеви јоносфере реагују неколико секунди после догађаја гама бљеска који је забележен на сателиту (видети референце у делу *Гама бљескови*).

## УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Описана истраживања у овом тексту се углавном изводе у оквиру пројекта „Астрофизичка спектроскопија вангалактичких објеката” који је финансиран од стране Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије. У оквиру ових истраживања развијена је широка међународна сарадња, а на ову тему се организују научне конференције у Србији (једна од њих је и Српска конференција о облику спектралних линија у астрофизици). До сада је осам истраживача одбранило докторске тезе из ове области, а у последњем пројектном циклусу (од 2010. године). О горепоменутих темама објављено је укупно (извор ADS) 43 рада са ISI листе (M21–M23), од чега 25 у врхунским научним часописима (M21ab). Само ови радови су позитивно цитирани више од 400 пута. Напред изнесени подаци указују на актуелност области, и потребу да се наставе ова истраживања у будућности. У наставку дајемо неколико (скорашњих) одабраних радова, који могу да послуже заинтересованима да се ближе упознају са истраживањима која се раде код нас.

## ЛИТАРАТУРА

## Уџбеник

Поповић, Л. Ч., Илић, Д.: *Активна галактичка језгра*, уџбеник, Математички факултет Универзитета у Београду, Београд 2017.

*Реверберација и сџектјрална ѓроменљивост*

- Shapovalova, A. I., Popović, L. Č., Chavushyan, V. H. et al. 2016, *First Long-term Optical Spectral Monitoring of a Binary Black Hole Candidate E1821+643. I. Variability of Spectral Lines and Continuum*, The Astrophysical Journal Supplement Series, 222, 25.
- Popović, L. Č., Shapovalova, A. I., Ilić, D., Burenkov, A. N., Chavushyan, V. H., Kollat-schny, W. et al. 2014, *Spectral optical monitoring of the double-peaked emission line AGN Arp 102B. II. Variability of the broad line properties*, Astronomy & Astrophysics, Volume 572, id.A66.
- Popović, L. Č., Jovanović, P., Stalevski, M., Anton, S., Andrei, A. H., Kovačević, J., Baes, M., 2012, *Photocentric variability of quasars caused by variations in their inner structure: consequences for Gaia measurements*, Astronomy & Astrophysics, Volume 538, id.A107.

*Двојне суѓрмасивне црне руѓе и геометјрија широколинијског региона*

- Bon, E., Zucker, S., Netzer, H., Marziani, P., Bon, N., Jovanović, P. et al., 2016, *Evidence for Periodicity in 43 year-long Monitoring of NGC 5548*, The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 225, Issue 2, article id. 29.
- Popović, L. Č., 2012, *Super-massive binary black holes and emission lines in active galactic nuclei*, New Astronomy Reviews, Volume 56, Issue 2–3, p. 74–91.
- León-Tavares, J., Chavushyan, V., Patiño-Álvarez, V., Valtaoja, E., Arshakian, T. G., Popović, L. Č., Tornikoski, M., Lobanov, A., Carramiñana, A., Carrasco, L., Lähteenmäki, A., 2013, *Flare-like Variability of the Mg II  $\lambda$ 2800 Emission Line in the  $\Gamma$ -Ray Blazar 3C 454.3*, The Astrophysical Journal Letters, Volume 763, Issue 2, article id. L36.

*Сѓектјралне особине*

- Jonić, S., Kovačević-Dojčinović, J., Ilić, D., Popović, L. Č., 2016, *Virialization of the Broad Line Region in Active Galactic Nuclei—connection between shifts and widths of broad emission lines*, Astrophysics and Space Science, 361, 101.
- Kovačević-Dojčinović, J., Popović, L. Č. 2015, *The Connections Between the UV and Optical Fe II Emission Lines in Type 1 AGNs*, The Astrophysical Journal Supplement Series, 221, 35.
- Ilić, D., Popović, L. Č., La Mura, G., Ciroi, S., Rafanelli, P., 2012, *The analysis of the broad hydrogen Balmer line ratios: Possible implications for the physical properties of the broad line region of AGNs*, Astronomy & Astrophysics, Volume 543, id.A142.

*Поларизација и ѓѓорус*

- Afanasiev, V. L., Popović, L. Č. 2015, *Polarization in Lines—A New Method for Measuring Black Hole Masses in Active Galaxies*, The Astrophysical Journal Letters, Volume 800, Issue 2, article id. L35.

- Afanasiev, V. L., Popović, L. Č., Shapovalova, A. I., Borisov, N. V., Ilić, D., 2014, *Variability in spectropolarimetric properties of Sy 1.5 galaxy Mrk 6*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 440, Issue 1, pp. 519–529
- Stalevski, M. Fritz, J., Baes, M., Nakos, T., Popović, L. Č., 2012, *3D radiative transfer modelling of the dusty tori around active galactic nuclei as a clumpy two-phase medium*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 420, Issue 4, pp. 2756–2772.

### *Fe Ka линија и акрециони диск*

- Jovanović, P., Borka Jovanović, V., Borka, D., Popović, L. Č., 2016, *Line shifts in accretion disks—the case of Fe Ka*, Astrophysics and Space Science, 361, 75.
- Jovanović, P., Popović, L. Č., Stalevski, M., Shapovalova, A. I., 2010, *Variability of the H $\beta$  Line Profiles as an Indicator of Orbiting Bright Spots in Accretion Disks of Quasars: A Case Study of 3C 390.3*, The Astrophysical Journal, Volume 718, Issue 1, pp. 168–176.
- Jovanović, P., Popović, L. Č., 2009, *X-ray Emission From Accretion Disks of AGN: Signatures of Supermassive Black Holes*, The chapter of the book “Black Holes: Properties, Formation and Features” published by Nova Science Publishers, Inc.

### *Гама бљескови*

- Nina, A., Simić, S., Srećković, V. A., Popović, L. Č., 2015, *Detection of short-term response of the low ionosphere on gamma ray bursts*, Geophysical Research Letters, Volume 42, Issue 19, pp. 8250–8261.
- Simić, S., Popović, L. Č., 2012, *Physical Parameters of the Relativistic Shock Waves in GRBs: the Case of 30 GRBs*, International Journal of Modern Physics D, Volume 21, Issue 03, id. 1250028-1-1250028-18
- Donnarumma, I., De Rosa, A., Vittorini, V., Miller, H. R., Popović, L. Č., Simić, S., et al., 2011, *The Remarkable  $\gamma$ -Ray Activity in the Gravitationally Lensed Blazar PKS 1830-211*, The Astrophysical Journal Letters, Volume 736, Issue 2, article id. L30.

*Luka Č. Popović*

## THE BRIGHTEST OBJECTS IN THE UNIVERSE: ACTIVE GALACTIC NUCLEI AND GAMMA RAY BURSTS

### S u m m a r y

The Active Galactic Nuclei and Gamma Ray Bursts represent the most powerful sources of electromagnetic radiation in the Universe, allowing their observation at large cosmological distances. Therefore the investigation of these objects is very important, not only for the evolution of galaxies and cosmology, but also for the study of matter under extreme conditions, as, e.g., plasma in the vicinity of a supermassive black hole or relativistic shock waves.

Here we present a brief review of the nature of the Active Galactic Nuclei and Gamma Ray Bursts, paying special attention to the source of their high luminosity and their rôle in the evolution of galaxies and their cosmological significance. In particular, we discuss some open questions regarding their nature, and present the contribution of Serbian scientists to the research of the nature and structure of Active Galactic Nuclei and Gamma Ray Bursts.