

АКТИВНА ГАЛАКТИЧКА ЈЕЗГРА И ДОПРИНОС МИЛАНА С. ДИМИТРИЈЕВИЋА

ЛУКА Ч. ПОПОВИЋ

Апстракт. Активна галактичка језгра представљају најлуминозније објекте у Васиони, чија светлост долази са великих удаљености, тако да нам доносе информације о развоју нашег Универзума. У овом тексту ћемо се осврнути на природу активних галактичких језгара, где ће бити представљен и научни рад М. С. Димитријевића у овој области, са посебним освртом о проучавању физике у широколинијском емисионом региону који се налази у близини супермасивне црне рупе, а која се налази у центру активних галактичких језгара

Кључне речи: Активна галактичка језгра, вангалактичка астрономија, квазари

УВОД - ШТА ЈЕ АКТИВНО ГАЛАКТИЧКО ЈЕЗГРО?

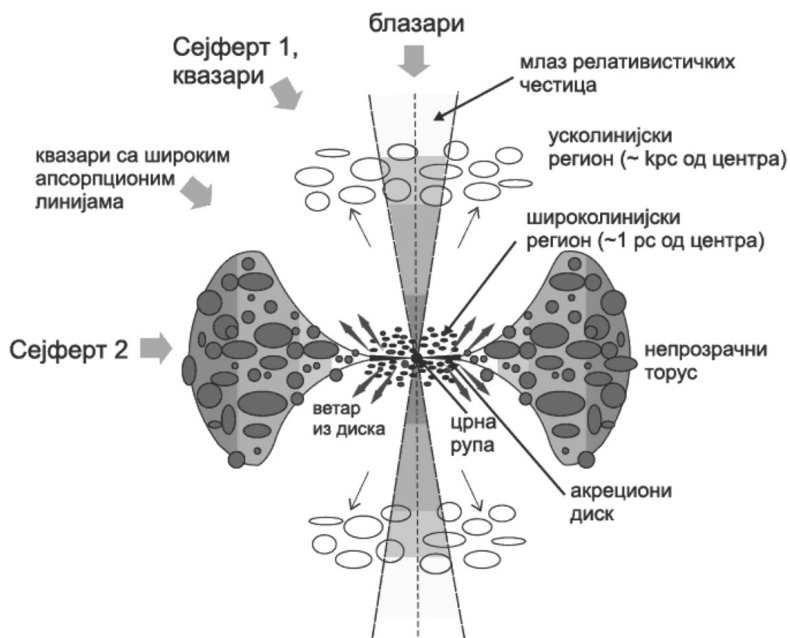
Развојем науке и технологије, а посебно астрономије дошли смо до могућности да учимо нове, до тада још непознате објекте на небу, тако да смо 60-тих година прошло-

га века открили квазаре (квазизвездане објекте који немају спектар звезда)¹. Но 20 година пре тога Карл Сејферт уочава да код поједних галаксија постоји појачано зрачење из центра које 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. Двадесет година касније, уочава се да тек откривени квазари емитују спектар који је сличан Сејфертовим галаксијама, с тим да су по правилу њихове емисионе линије шире. Касније су откривени слични објекти који имају јако радио зрачење и континуум, брзо мењају сјај, немају линије, светлост им је у великом проценту поларизирана и личе на квазаре, па су добили име блазари.

Да се ради о објектима који имају сличну природу уочило се 80-тих година прошлог века, тако да су поменути објекти добили заједничко име активна галактичка језгра. Типична структура активног галактичког језгра (АГЈ) је приказана на Слици 1 (више детаља на српском може се наћи у Поповић и Илић 2017; Поповић 2017). 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

1 Назив квазар потиче од скраћенице првобитног назива «квази звездани објект» (quasi stellar object – quasar).

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 емисија линија из забрањених прелаза. Ове области, по карактеристикама њихових емисионих линија, називамо широколинијска и усколинијска област (види Слику 1). 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 1. 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 (слика преузета из Поповић и Илић 2017).

Горе описани модел се назива Обједињени модел АГЈ. Помоћу овакве структуре можемо објаснити различите типове АГЈ. Ако посматрамо у равни торуца (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.

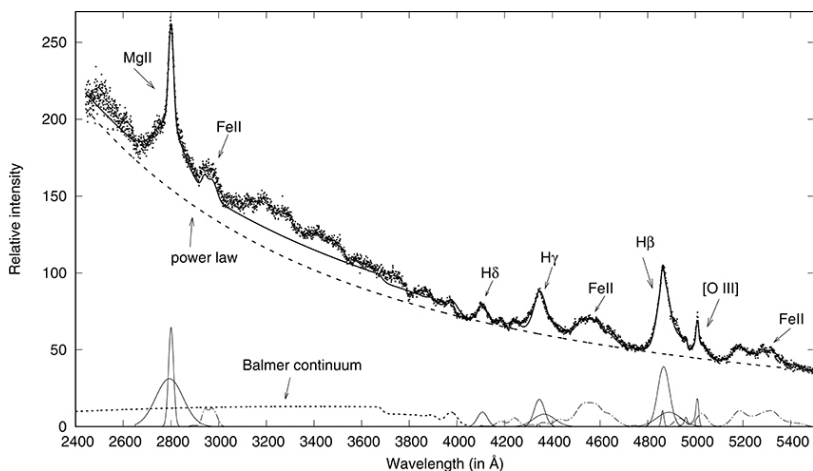
Иако се АГЈ изучавају више од 50 година, постоји низ отворених питања у вези њихове природе, тако да су истраживања у овој области веома актуелна, пре свега одређивање масе и спина централне супермасивне црне рупе, али и истраживања везана за унутрашњу структуру ових објеката. Унутрашња структура је битна из више разлога, а два су основна: а) Изучавање физике и кинематике емисионих области блиских црној рупи да би се сазнало о стању материје близу црне рупе и б) Одређивање кинематике како би се проценила маса црне рупе која доста утиче на укупну еволуцију галаксије домаћина.

У ове две области Милан С. Димитријевић је дао допринос о коме више података дајемо даље у тексту.

ДОПРИНОС М.С. ДИМИТРИЈЕВИЋА ИСТРАЖИВАЊУ АГЈ

На слици 2 је приказан један карактеристичан спектар АГЈ у оптичком делу. Поред јаких линија водоника Балмеро-

ве серије, виде се и друге линије, а посебно неправилни облици око $H\beta$ који потичу од *линије гвожђа*.



СЛИКА 2. Типичан оптички спектар АГЈ у блиској ултраљубичастој и оптичком делу спектра. У спектру се виде линије Балмерове серије, јонизованог магнезијума и гвожђа. Испод спектра је декомпозиција спектра када се одузме континуум који долази из акреционог диска, уочава се комплексна структура линија и Балмеров континуум (преузето из рада Kovačević, Popović, Dimitrijević 2010) .

Један од важних задатака у области оптичког спектра је издвојити широку компоненту $H\beta$ компоненте, која се иначе користи за одређивање кинематике широколинијске области, а тиме и одређивање масе супермасивне црне рупе. У овом делу је од наше групе потекла идеја за решавање проблема гвожђа, које је прво било проблем да се отклони од $H\beta$ линије, а други проблем је решавање, где и на који начин се формирају линије гвожђа. У раду Kovačević, Popović, Dimitrijević (2010) дато је оригинално решење за шаблон гвожђа у оптичком делу (види слику 2), који је омогућавао да се добије широка $H\beta$ и да се идентификују прелази код једанпут јонизованог гвожђа, а тиме да се одреди и физика области из које долазе

ове линије. Касније је тај приступ проширен и на линије гвожђа које су око јонизованог магнезијума (Ковачевић & Поповић 2015).

Описана истраживање је доста примећено и цитиратно, тако да је до данас (крај 2022. год), рад цитиран више од 160 пута (без аутоцитата), што говори о важности овог истраживања.

Поред линија гвожђа и Балмерових линија, на слици 2 у десном крилу Н β се виде *забрањене линије два пута јонизованог кисеоника [OIII]* које се налазе на таласним дужинама 4959 и 5007 ангстрама. Ове линије је немогуће добити у лабораторијској плазми и земаљским условима, тако да је њихов однос само теоријски прорачунат. Као искусан спектроскописта М. С. Димитријевић, је уочио проблем и одлучили смо да узмемо један број АГЈ спектра где су ове линије лако издвојиве од Н β и околног гвожђа и мерили њихове односе. Резултати су показани у раду Dimitrijević et al. (2010). Овај рад је цитиран преко 80 пута, што говори о његовом значају

И на крају поменимо рад М. С. Димитријевића са групом аутора из Института за Физику (пре свега са сарадником В. Срећковићем) који се односи на физику широколинијског регион, тј. региона који се налази близу супермасивне црне рупе и емитује широке линије. Последњих година је објављено неколико радова из ове области (видети Srećković et al. 2018, Dimitrijević et al. 2020, 2021), а који се односе на допринос сударних и хемијско-јонизационих процеса у овој области. Другим речима, поред фотојонизације, која је доминантна у формирању широколинијског региона, и потоње рекомбинације и ова два физичка процеса треба да имају значајну улогу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dimitrijević, M. S., Popović, L. Č., Kovačević, J., Dačić, M., Ilić, D., The flux ratio of the [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959 lines in

AGN: comparison with theoretical calculations, *MNRAS*, **374**, 1181 (2007).

2. Dimitrijević, M. S., Srećković, V. A., Ignjatović, Lj. M., Marinković, B. P., The role of some collisional processes in AGNs: Rate coefficients needed for modeling, *New Astronomy*, **84**, 101529 (2021).
3. Dimitrijević, M. S., Srećković, V. A., Ignjatović, Lj. M., Influence of the (n-n')-mixing processes on the optical properties of the hydrogen clouds in the broad-line region of AGNs, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, **50(1)**, 179-186 (2020).
4. Kovačević-Dojčinović, J., Popović, L. Č., The Connections Between the UV and Optical Fe II Emission Lines in Type 1 AGNs, *Astrophysical Journal Supplement Series*, **221**, 35 (2015).
5. Kovačević, J., Popović, L. Č. Dimitrijević, M. S., Analysis of Optical Fe II Emission in a Sample of Active Galactic Nucleus Spectra, *Astrophysical Journal Supplement Series*, **189**, 15 (2010).
6. Поповић, Л. Ч. 2017, Најсјајнији објекти у Вациони: Активна галактичка језгра и гама бљескови, *САНУ циклус предавања "Од Сунчевог система до граница Вационе"* (уредник З. Кнежевић) Књига III.
7. Поповић, Л. Ч., Илић, Д., *Активна галактичка језгра*, уџбеник, Математички факултет Универзитета у Београду, Београд 2017.
8. Srećković, V. A., Dimitrijević, M. S., Ignjatović, Lj. M., Atom-Rydberg atom Chemi-ionization/recombination processes in the hydrogen clouds in broad-line region of AGNs, *MNRAS*, **480**, 5078 (2018).