

НАСТАВНИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ПРОФЕСОРКЕ МИРЈАНЕ ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН (1933-2020) РАЗВОЈУ БЕОГРАДСКЕ ШКОЛЕ АСТРОФИЗИКЕ

ОЛГА АТАНАЦКОВИЋ¹ и ИШТВАН ВИНЦЕ²

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

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

E-mail: olga@matf.bg.ac.rs, ivince@matf.bg.ac.rs

Резиме: У раду је приказан допринос професорке Мирјане Вукићевић – Карабин (1933-2020) развоју наставе астроfizике на београдском Универзитету и научним истраживањима у области физике Земљине јоносфере и Сунца. Уз дату библиографију њених радова овај преглед сведочи о значајној улози коју је професорка имала у развоју астроfizике код нас.

Кључне речи: историја астрономије, Мирјана Вукићевић Карабин

1. УВОД

До развоја астроfizике у свету дошло је 60-их година XIX века пошто је метод спектралне анализе примењен у класификацији звезданих спектара. Прве научне радове из астроfizике у Срба објавио је Ђорђе Станојевић (1858-1921) у току свог боравка у Француској, у периоду 1885-1889, у издањима Париске академије наука (Communication a l'Académie des Sciences de Paris).¹ Према нашим сазнањима прва наредна астроfizичка истраживања у нашој земљи вршена су на Астрономској опсерваторији у Београду (АОБ) 1950-их. То су била посматрања променљивих звезда, праћење Сунчеве активности, као и повремена радио-астрономска посматрања Сунца. Настава из астроfizике је уведена као природна последица ових активности, али и све убрзанијег развоја астроfizике у свету.

¹ Радећи у Медону код чувеног астроfizичара Жила Жансена (Jules Janssen, 1824-1907), Станојевић је објавио неколико научних радова из области физике и спектроскопије Сунца (Димитријевић, 1997).

Улогу и допринос професорке Мирјане Вукићевић-Карабин развоју астрофизике код нас најбоље ћемо сагледати ако је посматрамо у контексту првих астрофизичких истраживања и самих почетака наставе астрофизике у Србији средином XX века.

2. ПОЧЕЦИ АСТРОФИЗИЧКИХ ИСТРАЖИВАЊА

Астрофизичка истраживања је у некадашњој Југославији започео Василије Оскањан (1921-1989) на Астрономској опсерваторији у Београду. Као дипломирани астроном (1949) на Катедри за астрономију Природно-математичког факултета у Београду (ПМФ), Оскањан се 1950. године запослио на АОБ где је започео фотометријска посматрања променљивих звезда (Арсенијевић, Кубичела и Оскањан, 1997). Током 1950-их се на Опсерваторији запошљавају и студенти астрономије, Јелисавета Арсенијевић (1931-2015) и Александар Кубичела (1930-2017), са задатком да учествују у програму посматрања Сунца у оквиру Међународне геофизичке године, научног пројекта који је трајао од 1. јула 1957. године до 31. децембра 1958. године. Јелисавета Арсенијевић је дипломирала априла 1958. године, а Александар Кубичела септембра 1962. године. По повратку са специјализације у Јерменији 1959. године, Василије Оскањан започиње полариметријска истраживања звезда типа UV Ceti, област из које је одбранио докторску дисертацију 1961. године (Dimitrijević i Oskanjan, 2000). Он је и формално 1960. године на АОБ основао Астрофизичку групу, чији је био шеф. У тој групи су се проучавале променљиве звезде и Сунце и пратила Сунчева активност. Оскањан је током две године (1964-65) био и директор АОБ. Године 1964. био је изабран за доцента на Катедри за астрономију где је почео да предаје на тек формираној студијској групи за астрофизику. Међутим, већ 1966. године, у току специјализације у Јерменији одлучује да се више не врати у Србију. По његовом одласку, астрофизичку групу успевају да очувају Јелисавета Арсенијевић (магистрала 1977) и Александар Кубичела (докторирао 1973), који настављају да раде у области физике Сунца и променљивих звезда (In memoriam, 2015; Popović i Vince, 2018). У астрофизичкој групи се 1972. године запошљава Иштван Винце, а од 1980-их Група се кадровски и тематски убрзано развија. Данас се око 80% истраживача запослених на АОБ бави истраживањима у астрофизици.

3. ПОЧЕЦИ НАСТАВЕ АСТРОФИЗИКЕ

На Физичком одсеку ПМФ-а у Београду се 1950-их појављује неколико студената који ће дати свој значајан допринос развоју астрофизике код нас.

Иван Атанасијевић (1919-1998), који је још као средњошколац објављивао радове у нашем првом часопису за популаризацију астрономије „Сатурн“, дипломирао је 1947. године на Групи за примењену математику. Према његовим речима, ова група му је, са Рационалном механиком,

Небеском механиком и Теоријском физиком као главним предметима, изгледала најближа астрофизици (Dimitrijević, 1998). После већег броја боравака на разним институтима и опсерваторијама у Француској, Атанасијевић је 1956. године одбранио докторат из радио-астрономије („Зрачење Млечног пута на таласној дужини 117 cm“) на Одсеку за физику ПМФ-а. Потом је као доцент предавао и тек уведено астрофизику. Његова студенткиња, иначе од малих ногу заљубљена у астрономију, била је Јелена Милоградов-Турин (1935-2011). Преласком доцента Атанасијевића школске 1958/59. године на Катедру за механику и астрономију ПМФ-а, на астрономској групи је уведена астрофизика као посебан предмет. Пошто је дипломирала на Одсеку за физику 1959. године, Јелена Милоградов-Турин се 1960. године запошљава као асистент на Катедри за механику и астрономију. Тако се полако стичу услови да се 1962. године оснује и нови смер – астрофизика. Исте те године се од Катедре за механику и астрономију формирају две независне катедре. Године 1964. и Василије Оскањан прелази на Катедру за астрономију за доцента, док Иван Атанасијевић постаје ванредни професор. Професор Атанасијевић и Јелена Милоградов су написали скрипта „Изабрана поглавља звездане астрономије“, која су имала три издања - 1968, 1974, 1997 (Dimitrijević, 1998). Међутим, већ почетком 1966. године оба наставника астрофизике, у току својих стручних усавршавања у иностранству (Атанасијевић у Холандији, а Оскањан у Јерменији), одлучују да се не врате у Србију. Штавише, и асистент Јелена Милоградов-Турин добија трогодишњу стипендију (1966-1968) Универзитета у Манчестеру за израду магистарске тезе из области радио-астрономије (In memoriam, 2011). Исте те године (1966) почињу и последипломске студије астрономије и астрофизике и бивају уписани први студенти, а Катедра остаје и без наставника и асистента за новоуведене астрофизичке предмете. Астрофизичари, Јелисавета Арсенијевић и Александар Кубичела, који раде на Опсерваторији још увек немају формалне услове да би били ангажовани као предавачи.

Тако професор Бранислав Шеварлић, тадашњи шеф Катедре за астрономију, позива др Мирјану Вукићевић-Карабин, која је 1965. одбранила докторску дисертацију о утицају Сунчевих ерупција на поремећаје у Земљиној јоносфери, да из института „Михајло Пупин“ пређе на Катедру као доцент и једини наставник астрофизике.² Њеним ангажовањем на ПМФ-у почео је развој, у свету цењене, београдске школе астрофизике.

² О нашим првим астрофизичаркама (Мирјани Вукићевић-Карабин, Јелени Милоградов-Турин и Јелисавети Арсенијевић) може се прочитати више у раду објављеном у Зборнику са конференције „Научнице у друштву“, коју је организовао Етнографски институт САНУ (Atanacković, 2020).

4. КРАТКА БИОГРАФИЈА ПРОФ. МИРЈАНЕ ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН

Професорка Мирјана Вукићевић-Карабин је рођена 25. новембра 1933. године у Скопљу, где је њен отац радио као водећи инжењер на изградњи хидроелектране. Одрасла је у хармоничној породици као једино и вољено дете мајке Соње и оца Михаила. Из њихове љубави и подршке црпла је снагу и стабилност, који су јој били потребни у животу. Уз урођени оптимизам, постала је сталожена и пријатна, али и веома одлучна особа.



Слика 1: Мирјана Вукићевић-Карабин.

Основну школу и гимназију завршила је у Београду са одличним успехом. Студије физике на Природно-математичком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 1952/53. године. При крају студија, у мају 1956. године, запослила се као сарадник у институту „Михајло Пупин“ у Београду, у групи за проучавање јоносфере. После дипломирања у фебруару 1957. године (са просечном оценом 9,0), радила је у Институту најпре као асистент, а затим као научни сарадник. Као стипендиста индијске владе, провела је школску 1962/63. годину на усавршавању у Индији, у Националној физичкој лабораторији (National Physical Laboratory - NPhL) у Њу Делхију. Радила је на докторској дисертацији о утицају Сунчевих ерупција, али и нуклеарних проба на Земљину јоносферу под менторством професора Ашеш Просад Митре (Ashesh Prosad Mitra). Нарочито је цењен и веома цитиран њен рад о јоносферским ефектима који прате удаљене нуклеарне детонације објављен 1963. године у часопису *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*.

Цитиран је и у Резолуцији Унеска о забрани нуклеарних проба у Земљиној атмосфери. У њему су изложени резултати мерења (у Њу Делхију) поремећаја у јоносфери проузроковани нуклеарном експлозијом, која је извршена у атмосфери над архипелагом Нова Земља (Новая Земля) на удаљености од 12000 km од Њу Делхија. Докторску дисертацију „Изненадни јоносферски поремећаји – СИД и методе њихове детекције и проучавања“ одбранила је 1965. године на ПМФ-у у Београду. Јануара 1966. године изабрана је за саветника у институту „Михајло Пупин“ (Атанацковић, 2013).

Њен професионални пут је убрзо потом кренуо сасвим другачијим током. Године 1966. године јој је понуђено да пређе на Катедру за астрономију као доцент на недавно основаној студијској групи за астрофизику (1962) Београдског универзитета. Већ 1968. године је упловила у универзитетске воде и свој преостали радни и животни век посветила развоју студија астрофизику. Те године је изабрана за доцента за Општу астрофизику и Теоријску астрофизику, али је предавала и остале астрофизичке предмете предвиђене статутом. Програми предмета у писаном облику нису постојали, па је пред Мирјаном, која је по образовању била физичар и те предмете никада није слушала, стајао тежак задатак и огроман изазов. Тај изазов не само што је храбро савладала него је, уз велики труд и ангажовање у формирању астрофизичких курсева и на редовним и на последипломским студијама развила Катедру за астрофизику и утрла пут, у Европи и свету, веома цењеној београдској школи астрофизику. Била је прва професорка астрофизику, самим тим и астрономије на Београдском универзитету.

У дефинисању програма за редовне и тек уведене (1966) последипломске студије астрофизику имала је значајну помоћ највећих имена француске астрофизику, пре свега академика и професора Жан-Клод Пекера (J-C. Pecker), али и професора Шацмана (E. Schatzman), Хејвертса (J. Heuvaerts), Мејна (P. Mein) и Лена (P. Léna). Професора Пекера, чувеног професора на Катедри за теоријску астрофизику Колеж д Франса (Collège de France), директора Опсерваторије у Ници и Института за астрофизику у Паризу, генералног секретара МАУ и члана Француске Академије наука, упознала је присуствујући његовом предавању о Сунцу у физичком амфитеатру ПМФ-а у Београду. После предавања му је пришла да би га, као тек изабрани доцент, питала за савет о програму астрофизичких предмета које је требало да предаје. На позив професора Пекера боравила је недељу дана у Паризу. Од професора Шацмана и Пекера, који су 60-их година XX века поставили темеље наставе астрофизику у Француској, добила је програме астрофизичких предмета и потребну литературу. Тако су програми два најлепша астрофизичка предмета на Катедри за астрономију састављени по узору на програме једног од најелитнијих светских универзитета. Ова, најпре неформална, сарадња прерасла је у институционалну потписивањем билатералног уговора о научној сарадњи између Југославије и Француске. У оквиру тог уговора (1981-1991) многи студенти, а и сарадници АОБ добијали су стипендије за научно усавршавање у Француској. Захваљујући

пријатељству професорке Мирјане и професора Пекера, и југословенски астрономи су у професору Пекеру нашли великог пријатеља (Атанацковић, 2020).

Професорка Мирјана Вукићевић-Карабин је заједно са професором Шеварлићем организовала билатералну научну сарадњу са Мађарском (Eötvös Loránd University, Будимпешта) и Чехословачком (Ondřejov Observatory, код Прага). На основу свих ових међудржавних уговора, велики број младих истраживача је у иностранству радио на својим магистарским и докторским тезама из, у нас, нових области астрофизике.

Професорка Мирјана је у звање редовног професора изабрана 1983. године. У неколико мандата била је шеф Института за астрономију (Катедра за астрономију је више пута мењала свој назив). Организовала је Катедру за астрофизику (1971) и била њен шеф до одласка у пензију 1996. године. Била је ментор или члан комисија за више магистарских и докторских дисертација. Бринула је о запошљавању дипломираних студената астрономије и радила на ревизији наставних планова како би се дипломираним астрономима омогућило да се запосле као наставници физике и математике. На њену иницијативу су за студенте астрономије уведена предавања из Методике наставе астрономије.

Са колегама из Чехословачке, са проф. В. Петковићем из Загреба и др А. Кубичелом учествовала је у организовању Хварске опсерваторије на коју су студенти астрофизике у оквиру предмета „Практична астрофизика“ касније годинама одлазили на праксу.

Написала је два универзитетска уџбеника: „Теоријска астрофизика“ (1994) као једини аутор и „Општа астрофизика“ (2004, 2010) са Олгом Атанацковић.

Професорка Мирјана Вукићевић-Карабин је са професором Браниславом Шеварлићем уложила велики труд у разне активности у вези са средњошколском наставом астрономије. Просветним властима је стално указивала на неопходност наставе астрономије у средњим школама. Написала је три уџбеника за IV разред гимназије, један са професором Браниславом Шеварлићем и Софијом Сацаков, а два као једини аутор. Учествовала је у популаризацији астрономије бројним предавањима на Коларчевом народном универзитету (КНУ) и за тај допринос је 1984. године награђена Плакетом КНУ.

Била је члан Уређивачких одбора *Публикације Института за астрономију* и заједничког *Билтена* са Астрономском опсерваторијом. Била је председник Ректоратског стручног већа за астрономију, астрофизику и механику, као и члан Комисије за астро-гео науке у Фонду за научни рад Србије.

Главне области њеног истраживања су физика јоносфере и физика Сунца. Објављивала је научне радове у водећим међународним часописима (*Solar Physics, Journ. Atmosph. & Terrest. Physics*) и у монографијама. Руководила је научним пројектом Института за астрономију. Била је члан

Међународне астрономске уније (МАУ) и њених комисија за Сунчеву активност и Зрачење и структуру Сунца. Својим радовима из физике Сунца и Земљине јоносфере одиграла је значајну улогу у развоју ових области код нас. У њеној сарадњи са колегама са АОБ настала је јака група за физику Сунца о чијем ће раду, као и најважнијим резултатима професорке Мирјане бити више речи у поглављу које следи.

5. НАУЧНА АКТИВНОСТ ПРОФ. МИРЈАНЕ ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН

Проф. Мирјана Вукићевић-Карабин је, поред предавачког, односно професорског рада о чему је било речи у првом делу чланка, један део свог радног века посветила и истраживањима (Vince i Atanacković, 2020).

Ако би се о њеном доприносу научно–истраживачкој делатности судило само по сциентометријским параметрима могло би се закључити да он није у самом врху. Међутим, ако се акценат стави на њену улогу у креирању научно–истраживачког рада, као што је нпр. уочавање актуелности неке истраживачке теме у датом тренутку, формулисање истраживачких задатака, избор одговарајућег истраживачког тима за рад на тим задацима, као и прилагођавање задатака нашим посматрачким могућностима, онда се види њен значајан допринос истраживању код нас.

Мирјанина истраживачка делатност се по темама, а делимично и по времену, може поделити у три велике целине: (1) поремећаји јоносфере Земље, (2) кретање материје великих размера на Сунцу и (3) спектрофотометрија Сунца као звезде.

Значај Мирјаниног доприноса истраживачкој делатности може се оценити тек кад се предмет и резултати њених истраживања ставе у дати историјски оквир. Концепција овог дела чланка је управо базирана на том принципу. Њена научна интересовања ћемо приказати кроз кратку анализу резултата презентованих у неколико изабраних, репрезентативних чланака у датом историјском периоду.

5.1. Поремећаји јоносфере Земље

Историјски гледано, почетак Мирјаниног истраживачког рада поклапа се са њеним запослењем у институту „Михајло Пупин“ у Београду 1956. године, где се бавила изучавањем утицаја Сунчеве активности на јоносферу Земље. Шест година касније одлази на студијски боравак у Индију, где ради на истраживању Земљине јоносфере под менторством проф. Митре (Ashesh Prosad Mitra), чувеног Индијског научника у тој области науке. Мирјана је са индијским колегама (слика 2) учествовала у истраживању јоносферских поремећаја у Националној физичкој лабораторији (National Physical Laboratory) у Њу Делхију, а резултат тога су два чланка објављена у часопису *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* (JATPh). Та два чланка се могу сматрати репрезентативним за њен истраживачки рад на

јоносферским проблемима. Осим тога, по повратку из Индије у Београд, из те области је одбранила и докторску дисертацију (1965. године).



Слика 2: Мирјана Вукићевић-Карабин (трећа са леве стране) у друштву индијских колега (други са десне стране је професор Митра).

Прво ћемо се осврнути на чланак који се бави јоносферским поремећајима изазваним удаљеним експлозијама атомских бомби – пробних нуклеарних експеримената (референца бр.4 у одељку 7.1). Ова истраживања су тек почињала у свету, подстакнута знатним повећањем броја нуклеарних експеримената у то време изведених од стране тадашњих великих војних сила. Баш у време Мирјаниног боравка у Делхију број тих експеримената је достигао свој историјски максимум (видети графикон на слици 3, који је преузет са интернет странице: <https://diana-mihailova.livejournal.com/5084468.html>).



Слика 3: Број изведених нуклеарних проба од 1945. до 2018. године.

Мирјанина истраживања су такође била подстакнута и недоумицама у објашњењу неких мерних података о јоносферским поремећајима, који су добијени разним методама и техникама јоносферских истраживања. Тако је, на пример, 1962. године објављено неколико чланака који указују на појаву необичних феномена у јоносфери који се могу приписати утицају нуклеарних експлозија. На предлог проф. Митре, Мирјана и њени индијски сарадници су ради проучавања тих феномена извршили анализу мерених података добијених у Њу Делхију. У поменутом чланку су представљени прелиминарни резултати анализе посматрања промена у јоносфери изазваних са једанаест експлозија атомских бомби на острву Нова Земља у Русији. Поремећаји су детектовани у Њу Делхију јоносферским сондирањем, мерењем нивоа атмосферског шума на 27 kHz и 100 kHz, мерењем јачине (релативне амплитуде) сигнала Радио Ташкента на 164 kHz и мерењем космичког радио-шума на 22.4 MHz. Мерени подаци јоносферских поремећаја добијени тим методама су веома слични онима који су изазвани флеровима на Сунцу. Значајан резултат тих истраживања је био доказ да у случају методе мерења атмосферског шума постоји јасна разлика у току поремећаја изазваних тим феноменима. Наиме, уочена је инверзија повећања магнитуде атмосферског шума измерених радио-сигнала на 27 kHz и 100 kHz након нуклеарне детонације у поређењу са посматраним величинама, које су узроковане Сунчевим флеровима средњег интензитета (класе/бала 2). То је било веома важно откриће, јер су се на тај начин могли разликовати поремећаји у јоносфери изазвани нуклеарним пробама од догађаја који су настали због флерова на Сунцу. У време тог истраживања (у ери интензивних нуклеарних проба), таква могућност дискриминације утицаја атомских експлозија од утицаја Сунчевих флерова спадала је у пионирске резултате.

Горе изнети резултати су резултати првих изучавања јоносферских поремећаја изазваних нуклеарним експлозијама са неупоредиво мањом количином информација у односу на оно што је данас могуће добити, али су препознатљиви као основни за ту област истраживања, која су почела 60-тих година прошлог века. Вредно је напоменути да је недавно предложено да се метода регистрације јоносферских поремећаја укључи у Међународни систем праћења и откривања непријављених нуклеарних експлозија.

5.2. Утицај флерова на Сунцу на јоносферу

Друга истраживачка тема, такође актуелна 60-тих година прошлог века, бави се поређењем веза између три феномена: флерова краткоталасног електромагнетног зрачења (гама-, X/рентген-, UV- и видљиво зрачење) на Сунцу, флерова у области радио-зрачења (радио-флерови) на Сунцу и појаве изненадног јоносферског поремећаја (Sudden Ionospheric Disturbances - SID). Суштину Мирјаниних истраживања у тој области приказаћемо кроз анализу

разултата објављених са коауторима у једном чланку (референца бр. 5 у одељку 7.1).

Већ до 60-тих година XX века установљена је строга корелација између флерова класе (бала) 3, радио-флерова и SID -ова, као и слабљење ове корелације са опадањем јачине флера. У горе поменутом чланку Мирјана је са индијским колегама анализирала слабљење корелације између броја флерова на Сунцу и броја пратећих SID -ова детектованих разним методама. У раду је на узорку од 490 флера класе-2 и веће, прикупљених у току Међународне геофизичке године (од 1. 7. 1957 до 31. 12. 1958. године) показано да у 140 случајева флер није био праћен радио-флером у центиметарском подручју. Поред тога, откривена је веома важна чињеница да су у тих 140 случајева изостали SID -ови. Установљено је да се SID јавља само у случају када општи ниво флуksа радио-зрачења Сунца прелази одређени праг, иако се може оптички регистровати флер на Сунцу. У случају зрачења на 3 GHz одређен је праг од 220 SFU ($1\text{SFU}=10^{-22} \text{ W Hz /m}^2$). Тиме је показана ограниченост методе детекције флерова на Сунцу помоћу SID-ова, који су тада били сматрани добрим индикаторима степена Сунчеве активности.

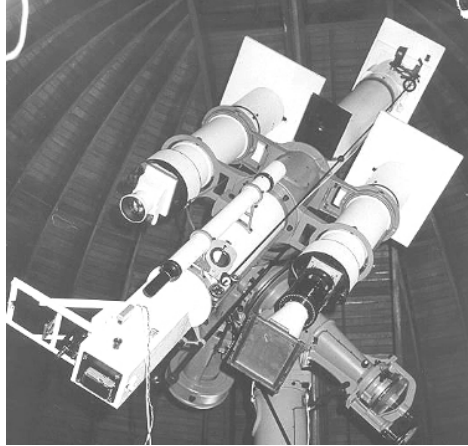
Спорадично, када су се стекли услови, поред истраживања утицаја Сунчеве активности и атомских проба на поремећаје у јоносфери, Мирјана је проучавала промене јоносферских параметара током помрачења Сунца. На пример, током потпуног помрачења Сунца 15. фебруара 1961. године, учествовала је у сондирању јоносфере изнад Београда (само се делимично помрачење могло видети из Београда). Такође, на основу јоносферских података прикупљених током прстенастог помрачења Сунца 20. маја 1966, одредила је интензитет сунчевог X- и UV- зрачења.

5.3. Брзинска поља великих размера на Сунцу

Преласком др Мирјане Вукићевић-Карабин на Катедру за астрономију и премештањем посматрачке јоносферске опреме из института „Михајло Пупин“ у Геомагнетски завод, њен истраживачки интерес се усмерава ка Сунцу. Њен последњи експеримент из области јоносфере датира из 1972. године.

У области истраживања Сунца код нас, стекли су се услови за нов истраживачки подухват, јер је тада на Астрономској опсерваторији у Београду завршена реконструкција двоструког астрографа (слика 4) у спектрограф за посматрање брзине кретања материје на Сунцу Доплеровом методом. Осим тога, 70-тих година прошлог века било је јасних наговештаја истраживача у свету да на Сунцу постоје структуре брзинског поља малих брзина (неколико десетина m/s) али огромних размера, реда његовог полупречника. Сама идеја о постојању таквих кретања датира с почетка прошлог века. Наиме, код мерења ротационе брзине Сунца на његовом екватору Доплеровом методом примећена је већа варијација измерене

ротационе брзине са временом од случајне грешке мерења. То је протумачено тиме да поред ротације постоје још нека глобална кретања материје на Сунцу.



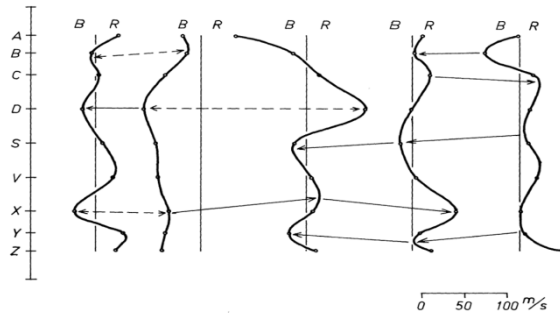
Слика 4: Двоструки астрограф у улози сунчевог спектрографа.

Међутим, тек 70-тих година прошлог века су уведене нове методе и усавршене технике мерења до одговарајуће тачности, тако да су се те мерене варијације брзине ротације могле приписати појавама на Сунцу, а не неким неотклоњеним систематским грешкама мерења. Једно од могућих објашњења те варијације ротације Сунца је било постојање кретања материје слично гранулацији или супергранулацији, али знатно већих размера и дужег живота (неколико дана) са брзинама од неколико десетина метара у секунди. О постојању и узроку настанка ових огромних ћелија (називаних и супер-супер гранулама, па и гиганским ћелијама) изнете су разне хипотезе.

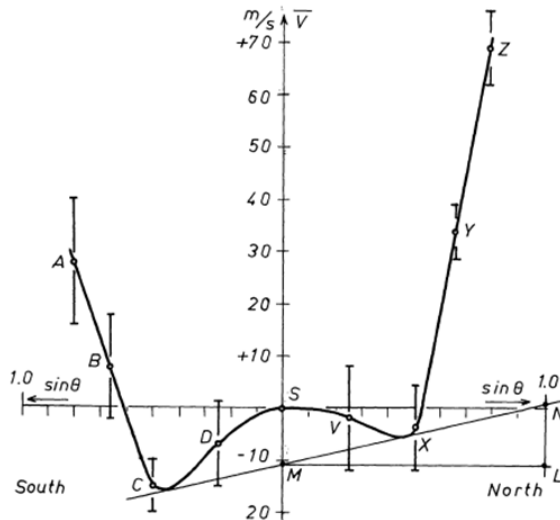
У циљу посматрачке потврде постојања ових гиганских ћелија и њихових кинематичких карактеристика Мирјана Вукићевић-Карабин и Александар Кубичела су организовали дугорочни спектроскопски посматрачки програм на Астрономској опсерваторији у Београду. Њихова метода посматрања се заснивала на претпоставци да те гиганске ћелије, ако су конвективног карактера, постоје не само на екватору него свуда по површини Сунца, па су њихова мерења вршена у тачкама на централном меридијану и њему паралелним правцима на Сунцу, уместо на његовом екватору како је до тада било уобичајено. Тиме су избегнути утицаји евентуалне варијације саме ротације Сунца на мерене вредности радијалних брзина, али је метода била осетљива само на радијалне брзине кретања материје у хипотетичким гиганским ћелијама.

Након неколико година посматрања и анализе стигли су и први резултати, који су објављени у часопису *Solar Physics* (референца бр. 20 у одељку 7.1). Нађене су промене структуре расподеле мерених радијалних брзина дуж централног меридијана Сунца у току времена (слика 5), што би

се могло приписати постојању брзинског поља великих размера и протумачити као резултат кретања материје у гигантским ћелијама. Осим тога Мирјана и Кубичела су, приликом анализе тих резултата, истакли две неочекиване карактеристике средње вредности мерених расподела радијалних брзина дуж централног меридијана (видети слику 6): (1) немонотона промена радијалне брзине у зависности од хелиоцентричног угла, што одступа од стандардне расподеле (тзв. лимб-ефеката) која је обично узет да је “параболичног” облика и (2) асиметрија север-југ средње криве мерених радијалних брзина.



Слика 5: Мерена фотосферска кретања великих размера у 9 тачака (A-Z) централног Сунчевог меридијана током пет узастопних дана (B-плави помак, R-црвени помак).



Слика 6: Немонотона промена средње вредности мерених радијалних брзина дуж централног меридијана Сунца.

Могуће објашњење немонотоне расподеле, по њима, може бити присутност фотосферног меридионалног кретања на обе хемисфере Сунца. Кретање на вишим хелиографским ширинама је хоризонтално и усмерено ка екватору, а ближе екватору је вертикално, усмерено према унутрашњости Сунца.

На први поглед, север-југ асиметрија сугерише постојање кретања материје фотосфере од јужног до северног руба Сунчевог диска константном брзином од око 12 m/s. Међутим, претпоставка постојања таквог кретања није имала реалне физичке основе. Мирјана и Кубичела су објаснили север-југ асиметрију као резултат неуклоњене систематске грешке мерења која потиче од привидне годишње прецесије Сунчевог глобуса. Касније су детаљно описали ову појаву. Уочивши да у мерењима радијалне брзине кретања материје на Сунцу са тачношћу од неколико m/s, утицај привидне годишње прецесије Сунца уноси незанемарљиву систематску грешку (до ± 18 m/s), разрадили су и објавили једноставну методу за отклањање те систематске грешке са тачношћу од $\pm 3.5\%$.

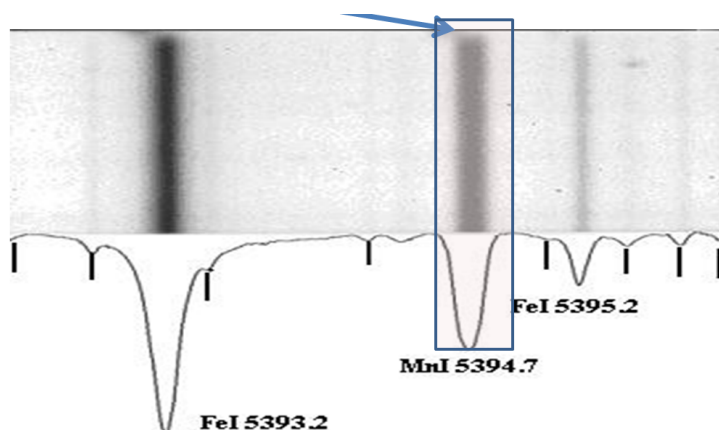
5.4. Сунце као променљива звезда

Истраживања у области Сунца као звезде 1980-их година су постала толико актуелна да су била повод за нагли престанак интересантних и вероватно плодноних истраживања кретања великих размера на Сунцу која су до тада вршена на Астрономској опсерваторији.

Тако су историјске околности истраживања Сунца крајем 70-тих и почетком 80-тих година прошлог века поново промениле ток његовог изучавања код нас. Наиме, у првој половини 80-их година су сателитска посматрања дефинитивно и недвосмислено показала да у опадајућој фази Сунчеве активности (1980-1986) Сунчева константа, супротно очекивањима, опада. Каснија посматрања су потврдила да промена вредности Сунчеве константе прати циклус Сунчеве активности у супротној фази. То је отворило више питања и појаву разних претпоставки. Између осталог, тражио се и узрок и место настанка таквих промена Сунчеве константе. Због релативно кратког периода промене (око 11 година) претпостављено је да се узрок налази у промени параметара материје у релативно танком слоју Сунца. Једно од могућих објашњења било је да је то изазвано глобалном променом неких физичких параметара фотосфере у целини у току циклуса Сунчеве активности. Истраживаче је интересовао одговор на питање: који се параметри фотосфере мењају у ритму циклуса активности Сунца? За налажење одговора била су потребна мерења „осумњичених“ параметара фотосфере (нпр. температуре, општег магнетног поља, конвективног преноса енергије итд.) по могућности на различитим висинама тог слоја атмосфере Сунца. Фраунхоферове спектралне линије које се углавном формирају у том слоју су добри кандидати да дају одговор на то питање!

У тај истраживачки подухват убрзо се укључила и Астрономска опсерваторија у Београду. Године 1986. Мирјана Вукићевић-Карабин као познавалац Сунца и Јелисавета Арсенијевић као познавалац прилика на променљивим звездама предложиле су проучавање флукса Сунца у спектралним линијама по узору на таква истраживања код звезда. Убрзо се формирао истраживачки задатак и посматрачки тим тако да је 1987. године почео дугорочни спектрофотометријски програм посматрања Сунчевог флукса или, како смо то популарно назвали, посматрање „Сунца као звезде”. Литгов спектрограф Астрономске Обсерваторије у Београду је прилагођен посматрачком програму, који је званично назван „Belgrade Program for Monitoring of Activity-sensitive Spectral lines of the Sun-as-a-star”. Изабране су спектралне линије за посматрање, њих око 30, чији су профили по нашим проценама били осетљиви на промену одабраних параметара. Тако је напр. у посматрачки програм укључена температурски-осетљива спектрална линија $C\ I\ 530\ \text{nm}$, која се може користити као нека врста термометра дубоких слојева атмосфере Сунца. Такође је укључена и линија $Mn\ I\ 539\ \text{nm}$ необичног профила, која је захваљујући својој финој и хиперфиној структури, како се касније показало, осетљива на концентрацију снопова/цеви магнетних флуксева у факуларним мрежама на диску, плажама и факулама близу ивице Сунчевог диска, те може да се искористи као нека врста магнетометра за мерење концентрације магнетног поља у тим структурама.

На Астрономској опсерваторији се доплерметар претвара у монохроматски флуксметар методом камере обскуре, тј. у мерач интегралне енергије Сунца унутар профила спектралних линија, а Сунце се једним оптичким триком, камером обскуром, претвара у квази тачкасти извор зрачења, тј. у звезду. Мерили смо еквивалентну ширину линија, тј. енергију унутар профила спектралних линија у јединицама флукса континуалног зрачења фотосфере. Неке изабране линије нису показале промене, код других је нађен пораст, а код трећих опадање еквивалентне ширине са порастом степена активности. Већ поменута необична линија по облику профила (видети слику 7), линија атома мангана таласне дужине $539\ \text{nm}$ показала је опадање еквивалентне ширине са растом активности Сунца. Професорка Мирјана Вукићевић-Карабин је учествовала у анализи добијених података до 1993. године, када је са коауторима објавила свој последњи чланак у тој области.



Слика 7: Спектрограм из околине манганове спектралне линије таласне дужине око 539 nm.

Током око две деценије двадесетак наших истраживача и студената радило је на истраживању Сунца као звезде, док је та манганова линија необичног профила остала предмет нашег истраживања око три деценије! Последњи резултати истраживања везаних за ову линију су објављени 2016. године. Неки наши истраживачи су допринели и помогли да се та истраживања пренесу у десетак опсерваторија у свету привлачећи и друге иностране истраживаче да сарађују са нама у проучавању Сунца као звезде.

Осим посматрачких, спроведена су и теоријска истраживања како би се пронашли они променљиви параметри фотосфере који су одговорни за посматране промене профила спектралних линија.

Резултати истраживања Сунца као звезде су објављени у многобројним чланцима у разним часописима и изложени су на конференцијама широм света.

Надамо се да ови примери јасно сведоче о томе да је професорка Мирјана Вукићевић-Карабин увек пратила модерне трендове истраживања и да се трудила да одабере оне проблеме, чија су решења била значајна за разумевање проучаваног феномена у датом тренутку.

6. ЗАКЉУЧАК

У овом чланку смо укратко представили најзначајније резултате наставне и истраживачке активности професорке Мирјане Вукићевић-Карабин. Њен пионирски рад на развоју наставе астрофизике на београдском универзитету био је од изузетног значаја и за развој ове научне области код нас. Бројне генерације њених студената ће је сасвим сигурно памтити по занимљивим предавањима, по виспреном и ведром духу, одмерености, одлучности и истрајности да се избори за оно што је сматрала правичним, по драгоценим саветима и бризи за своје студенте. Кроз неколико одабраних научних

резултата покушали смо да илуструјемо њен истраживачки дух и карактер, али и да истакнемо њен значајан допринос у праћењу најсавременијих токова истраживања, креирању одговарајуће стратегије истраживања, њеној имплементацији и реализацији код нас.

7. БИБЛИОГРАФИЈА РАДОВА ПРОФ. МИРЈАНЕ ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН

7.1. НАУЧНИ РАДОВИ

1. Vukićević-Karabin, M.: 1962, Results of ionospheric soundings above Belgrade during the solar eclipse of 15-th February 1961, Bulletin Scien. Conceil Acad. R.P.F. Yugoslavie 7, No.6. (coauthor B. Bajić)
2. Vukićević-Karabin, M. 1962, Uticaj nukleranih eksplozija u atmosferi na prostiranje radiotalasa, Zbornik radova VII jugoslovenske konferencije ETAN. (coauthor B. Bajić)
3. Vukićević-Karabin, M.: 1963, Hromosferske erupcije praćene radio zračenjem i njihov uticaj na jonosferu i geomagnetizam, Bilten društva matematičara SR Srbije, 15, No 1-4. (coauthor R. Vojvodić)
4. Saha, A. K.; Karabin, Mirjana; Mahajan, K. K.: 1963, Ionospheric effects following distant nuclear detonations, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, vol. 25, no. 4, pp. 212-218.
5. Mitra, A. P.; Subrahmanyam, C. V.; Karabin, Mirjana: 1964, Level of solar radio flux in the 3000 Mc/s region and its relation to the occurrence of sudden ionospheric disturbances, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, vol. 26, no. 11, pp. 1138-1142.
6. Vukićević-Karabin, M.: 1965, Statistical characteristics of sudden ionospheric disturbances, RPU Sci. Rep. No. 19, New Delhi.
7. Vukićević-Karabin, M.: 1965, Iznenadni jonosferski poremećaji - SID i metode njihove detekcije i proučavanja, PMF - Beograd (doktorska disertacija)
8. Vukićević-Karabin, M.: 1968, Pouzdanost prognoziranja MU frekvencije za jonosferu iznad naše zemlje, Zbornik radova XII Jugoslovenske konferencije ETAN-a, 224-232.
9. Vukićević-Karabin, M.: 1969, Flux of solar XUV radiation inferred from ionospheric variations during the eclipse of 20-th may 1966, Publ. of Dept. of Astronomy, Faculty of Sciences, Beograd, No. 1, 3-7.
10. Vukićević-Karabin, M.: 1970, Low energy particle effects over Belgrade after proton flare of the 7-th July 1966, Publ. of Dept. of Astronomy, Faculty of Sciences, Beograd, No.2, 1-4.
11. Vukićević-Karabin, M.: 1970, Anomalna apsorpcija radio-talasa u jonosferi, Zbornik radova XIV Jugoslovenske konferencije ETAN-a, 117-124.
12. Vukićević-Karabin, M.; Dimitrijević, M.: 1971, The criteria for homologous radio events associated with flares, Publ. Dept. Astron., Univ. Beogr., No.3, 17 - 24.

13. Vukićević-Karabin, M.: 1972, Radio-komunikacije pomoću Es sloja, Zbornik radova XVI Jugoslovenske konferencije ETAN-a
14. Ranzinger, P.; Vukićević-Karabin, M.: 1974, On the structure and development of the sunspot groups, Publ. Dept. Astron., Univ. Beogr., No.5, 9 - 17.
15. Vukićević-Karabin, M.: 1975, Solar flares in August 1972 followed by atmospheric phenomena of the earth, Publ. Obs. Astron. Belgrade, No. 20, p. 55 - 61.
16. Vukićević-Karabin, M.: 1975, Dogadjaji na Suncu avgusta 1972. g. i njihove posledice u Zemljinoj atmosferi, Zbornik I nacionalne konferencije jugoslovenskih astronoma, Publ. Astr. Obs. Beograd, No.20.
17. Vukićević-Karabin, M.: 1975, O nekim nerešenim problemima fizike Sunca, Zbornik VI kongresa MFAJ, Novi Sad, 247.
18. Vukićević-Karabin, M.: 1975, Theoretical investigations in astrophysics, Publ. Obs. Astron. Belgrade, No. 20, p. 105 - 109.
19. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1976, Limb effect along the central meridian of the solar disc, Publ. Dept. Astron. Univ. Beogr., No.6, 9-15.
20. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1977, Some results of the photospheric large-scale velocity research from Belgrade observations, Solar Physics, Volume 52, Issue 1, pp.199-210.
21. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1977, Apparent yearly precession of the Sun, Solar Physics, Volume 54, Issue 2, pp.505-509.
22. Karabin, M.; Kubičela, A.: 1979, Doppler displacements in the middle region of the solar disk, Publ. Obs. Astron. Belgrade, No. 26, p. 157 - 166.
23. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1981. An integral supergranular contribution to the global scale photospheric line-of-sight velocity field, Publications of the Astronomical Observatory of Sarajevo, Vol. 1, No. 1, p. 185 - 189.
24. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1981, Detailed treatment of synodic solar rotation, Publ. Dept. Astron., Univ. Beogr., No. 11, p. 35 - 42.
25. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1982, Line-of-sight Velocity Field of Synodic Solar Rotation, Sun and Planetary System, edited by W. Fricke and G. Teleki. ISBN 90-277-1429-0, 1982. Astrophysics and Space Science Library, Vol. 96, p. 73.
26. Vukićević-Karabin, M.: 1982, Teaching of astronomy at Yugoslav universities (Conference Paper), Hvar Observatory Bulletin, Volume 6, p.137.
27. Kubičela, A.; Karabin, M.: 1983, Another View of Synodic Solar Rotation, Solar Physics, Volume 84, Issue 1-2, pp. 389-393.
28. Kubičela, A.; Karabin, M.; Vince, I.; Ivanović, Z.: 1986, Further Belgrade results of the large-scale photospheric velocity research, Bull. Astron. Belgrade, No. 136, p. 1 - 5.
29. Vukićević-Karabin, M.; Arsenijević, J.: 1986, Solar and stellar activity phenomena, Bull. Astron. Belgrade, No. 136, p. 53 - 60.

30. Vukićević-Karabin, M.: 1987, Activity in homologous flares, in Transport of Energy and Masses in Solar Atmosphere (eds. Ph. Lemaire and Z. Mouradian), College de France, Paris.
31. Arsenijević J.; Karabin M.; Kubičela A.; Vince I.: 1987, A Belgrade Program for Monitoring of Activity-sensitive Spectral Lines of the Sun as a Star, in *Solar and Stellar Physics* (Abstracts, Fifth European Meeting on Solar Physics, Titisee, 1987), P5.
32. Arsenijević, J.; Vukićević-Karabin, M.; Kubičela, A.; Vince, I.: 1987, Beginning of a study of long-term changes of selected Fraunhofer spectral lines, II Workshop Astrophysics in Yugoslavia (ed. M. Dimitrijević), Book of abstracts, 31-32.
33. Vukićević-Karabin, M.: 1988, Variations in the solar constant, Publication: Publ. Dept. Astron., Univ. Beogr., No. 16, p. 5 - 18.
34. Karabin, M.; Kubičela, A.; Skuljan, J.; Vince, I.: 1990, Activity Cycle Variation of Some Photospheric Lines, Publication: Publications of Debrecen Heliophysical Observatory, Vol. 7, p. 104 - 105.
35. Dame, L.; Acton, L.; Bruner, M. E.; Connes, P.; Cornwell, T. J.; Curdt, W.; Foing, B. H.; Hammer, R.; Harrison, R.; Heyvaerts, J.; Karabin, M.; Marsch, E.; Martić, M.; Mattic, W.; Muller, R.; Patchett, B.; Roca-Cortes, T.; Rutten, R. J.; Schmidt, W.; Title, A. M.: 1992, Design Rationale of the Solar Ultraviolet Network / Sun, ESO Conference on High-Resolution Imaging by Interferometry II. Ground-Based Interferometry at Visible and Infrared Wavelengths, Proceedings, held in Garching bei Munchen, Germany, October 15-18, 1991. Editors, J.M. Beckers, F. Merkle; Publisher, European Southern Observatory, Garching bei Munchen, Germany, 1992. LC \# QB51.3.E43 N6 1991 pt.1. ISBN \# 3923524420 P. 995.
36. Skuljan, J.; Karabin, M.; Vince, I.; Kubičela, A.: 1992, Solar activity influence on equivalent widths of some photospheric lines, Bull. Astron. Belgrade, No. 145, p. 1 - 7.
37. Karabin, M. : 1992, Magnetic fields in cool stars, Bull. Astron. Belgrade, No. 145, p. 59 - 64.
38. Vince I.; Skuljan J.; Popović L.; Kubičela A.; Karabin M.; Erkapić S. and Jevremović D.: 1993, Long-term changes of some Fraunhofer lines, in *The Sun as a variable star: Solar and stellar irradiance variations*, IAU Colloquium 143 (conference abstracts).
39. Vince, I.; Skuljan, J.; Popović, L.; Karabin, M. : 1993. Long-term changes of some Fraunhofer lines, in *The Sun as a variable star: Solar and stellar irradiance variations*, IAU Colloquium 143, D. Reidel, Dordrecht-Holland
40. Vince, I.; Kubičela, A.; Skuljan, J.; Karabin, M.; Erkapić, S.: 1993, Long-term changes of equivalent widths of ten selected Fraunhofer lines, Meeting of WG 5 at the 24. JOSO Meeting: Solar variability, p. 74 - 77.
41. Karabin, M.: 1993, Oscillations and waves in the Sun and stars, Publ. Obs. Astron. Belgrade, No. 44, p. 7 - 10.

7.2. УЦБЕНИЦИ

1. Шеварлић, Б.М.; Вукићевић-Карабин, М.; Сацаков, С.: 1975, *Астрономија*, уџбеник за IV разред гимназије природно-математичког смера, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
2. Вукићевић-Карабин, М.: 1981, *Астрофизика*, уџбеник за IV разред усмереног образовања, Научна књига, Београд
3. Вукићевић-Карабин, М.: 1990, *Астрономија*, уџбеник за IV разред средњег образовања и васпитања, Научна књига, Београд и Завод за издавање уџбеника, Нови Сад
4. Vukićević-Karabin, M.: 1994, *Teorijska astrofizika*, univerzitetski udžbenik, Naučna knjiga, Beograd
5. Vukićević-Karabin, M.; Atanacković-Vukmanović, O.: 2004, *Opšta astrofizika*, univerzitetski udžbenik, prvo izdanje, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd
6. Vukićević-Karabin, M.; Atanacković, O.: 2010, *Opšta astrofizika*, univerzitetski udžbenik, drugo izdanje, Zavod za udžbenike, Beograd

Литература

- Арсенијевић Јелисавета, Кубичела Александар и Оскањан Армен: 1997, Оскањан – оснивање и рад групе за астрофизику, *Publ. Astron. Obs. Belgrade* **56**, 135-140.
- Атанацковић Олга: 2013. „Вукићевић Карабин, Мирјана“. У *Српска енциклопедија*, том II, 880. Нови Сад: Матица српска – Београд: Српска академија наука и уметности; Завод за уџбенике.
- Atanacković, O.: 2020, *Žene u astrofizici, Radovi sa konferencije "Naučnice u društvu"*, 11-13. februar 2020, SANU, Urednice: Lada Stevanović, Mladena Prelić, Miroslava Lukić Krstanović, Etnografski institut SANU, Beograd 2020, str. 121-130.
- Атанацковић, О.: 2020, In memoriam: Prof. Jean-Claude Pecker (1923-2020), *Васиона* No.4, 108-112.
- Димитријевић, Милан С.: 1997, Ђорђе Станојевић први српски астрофизичар, *Publ. Astron. Obs. Belgrade* **56**, 119-123.
- Dimitrijević, M.S.: 1998, Life and scientific activity of professor Ivan Atanasijević (1919-1998), *Serb. Astron. J.* **158**, 147-156.
- Dimitrijević, M.S., Oskanjan, A.V.: 2000, Life and activities of Vasilije Oskanjan (1921-1989), *Serb. Astron. J.* **161**, 101 – 115.
- In memoriam: 2011, Prof. dr Jelena Milogradov-Turin (1935–2011), *Serb. Astron. J.* **183**, 107-108.
- In memoriam: 2015, Jelisaveta Arsenijević (1931-2015), *Serb. Astron. J.* **190**, 87-88.
- Popović, L.Č., Vince, I.: 2018, Aleksandar Kubičela (1930-2017) - an astrophysical research pioneer at the Astronomical Observatory of Belgrade, *Serb. Astron. J.* **196**, 29-36.
- Vince, I., Atanacković, O.: 2020, Life, educational and scientific activities of professor Mirjana Vukićević-Karabin (1933-2020), *Serb. Astron. J.* **201**, 49-57.

**EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC CONTRIBUTION OF PROFESSOR
MIRJANA VUKIĆEVIĆ-KARABIN (1933-2020) TO THE
DEVELOPMENT OF THE BELGRADE SCHOOL OF ASTROPHYSICS**

We present the contribution of Professor Mirjana Vukićević-Karabin (1933-2020) to the development of astrophysics teaching at the University of Belgrade and scientific research in the field of physics of the Earth 's ionosphere and the Sun. Along with the given bibliography of her works, this review testifies to the significant role that Professor Mirjana Vukićević-Karabin played in the development of astrophysics in our country.

Key words: History of Astronomy, Mirjana Vukićević Karabin