

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 9th meeting of the Department of Mathematics,
Physics and Geo-Sciences on December 23rd, 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 радозналном 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

СЛОБОДАН ЈАНКОВ*

ВИСОКА ПРОСТОРНА РЕЗОЛУЦИЈА: НОВИ ПРОЗОР ЗА САГЛЕДАВАЊЕ ТАЈНИ ВАСИОНЕ

А п с т р а к т. – За боље разумевање васионе потребно је добијање и проучавање врло оштре слике небеских објеката, а да би се то остварило, неопходно је коришћење великих астрономских телескопа. Међутим, изградња и употреба таквих телескопа није довољна зато што на површини Земље суштинско ограничење за постизање високе просторне резолуције неба представља постојање атмосфере наше планете. Ипак, убрзани развој науке и технологије омогућио је превазилажење те препреке, тако да је недавно отварање новог прозора пружило много јаснију слику васионе. Тему овог рада чине савремене технике које се користе за остваривање тог циља, а филм снимљен на највећем светском оптичком телескопу сликовито приказује како се ове технике примењују у пракси.

УВОД

Нова генерација земаљских и космичких инструмената за високу просторну резолуцију доноси квалитативно богатију информацију за наше разумевање васионе поређењем посматрачких резултата са теоретским моделима. Циљ овог излагања је кратки преглед достигнућа која су недавно постигнута на овом пољу заједничким развојем технологије, информатике и научне теорије. Излагање је подељено на четири секције којима се илуструје методологија за постизање ових достигнућа:

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

- космичке опсерваторије
- индиректне методе
- директне методе
- филм о опсерваторији Паранал

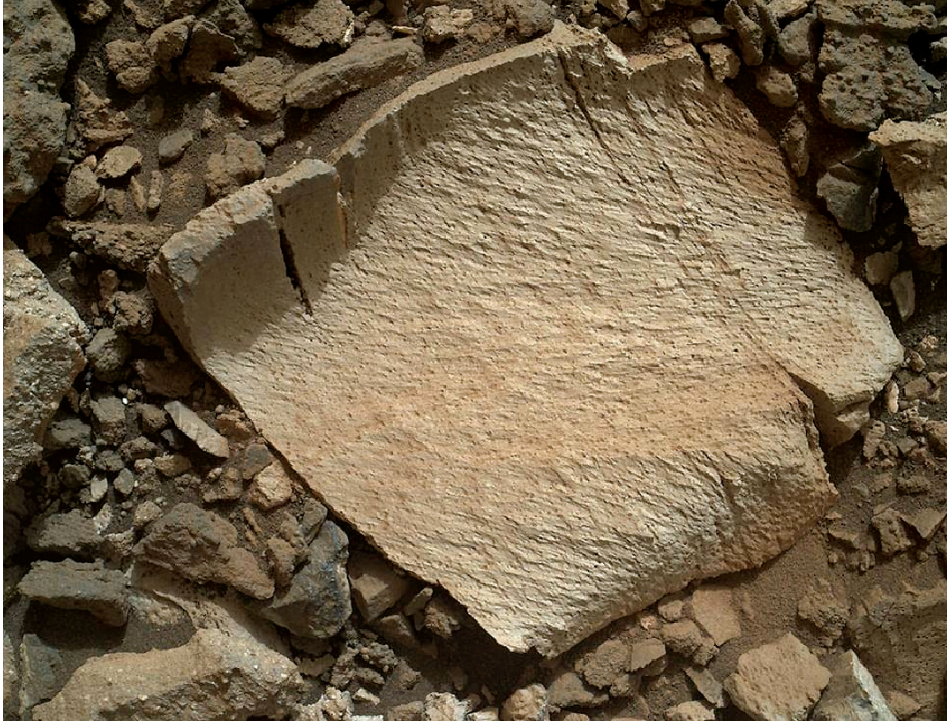
КОСМИЧКЕ ОПСЕРВАТОРИЈЕ

Друга половина XX и почетак XXI века обележени су космичким истраживањима која су омогућила врло високу просторну резолуцију небеских тела у ближњем окружењу помоћу космичких сонди које су се тим телима изузетно приближиле (укључујући и спуштање на површину неких од њих), као и радом космичких телескопа чији су врхунски резултати постигнути због одсуства ефеката замућивања и кривљења слике изазваних присуством Земљине атмосфере.



Слика 1. 120 км површине Плутона на којој се виде детаљи до 270 м (NASA's New Horizons), јул 2015. године

Уопштено можемо рећи да се сада у Сунчевом систему просторна резолуција може изразити у милиметрима на његовим далеким границама (слика 1), и у центиметрима на нама најближим планетама (слика 2).



Слика 2. Камен величине 10 цм на површини Марса (NASA's Curiosity Rover), јул 2015. године

А што се тиче нама најближег небеског тела, доношење узорака са површине Месеца на Земљу омогућило је чак и истраживања на микроскопском нивоу!

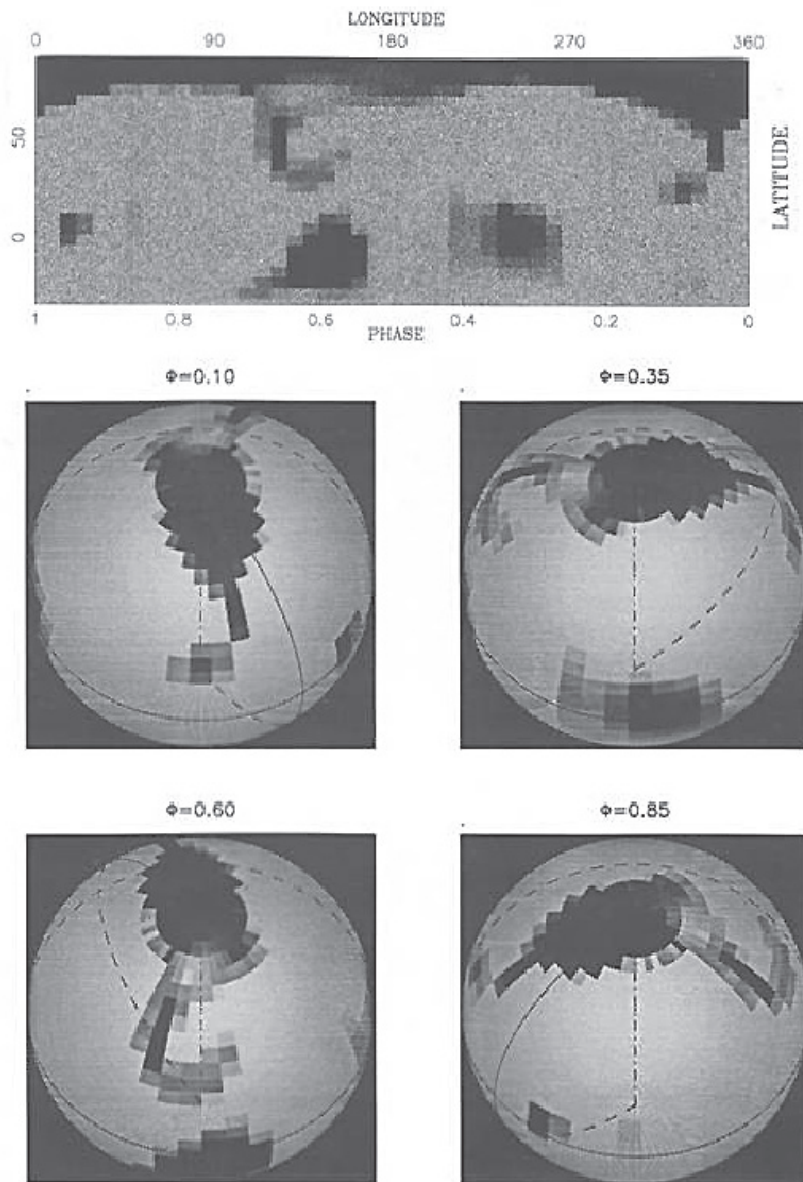
Просторна резолуција космичких телескопа се и даље изражава класичним астрономским (лучним) јединицама, а до данас најважнији космички телескопи су:

- *Hubble Space Telescope* (1990–) који се налази у Земљиној орбити на висини од 600 километара, а постигнута просторна резолуција је реда вечине 0,05 лучних секунди.

- *Hipparcos* (1989–1993) је постигао изузетно високу резолуцију (од приближно 1 мили лучне секунде) упркос чињеници да је радио у врло ексцентричној орбити (200–36.000 километара), за разлику од предвиђене геостационарне орбите (42.000 километара).

- *Gaia* (2013–), која се налази у Лагранжовој тачки „L2” система Сунце–Земља на растојању од 1,5 милиона километара од Земље, омогућава

непревазиђену резолуцију од приближно 1 микро лучне секунде. Узевши у обзир да је класични лимит мерења са Земљине површине одређен турбуленцијом атмосфере (око 1 лучне секунде), уочљиво је побољшање од милион пута!



Слика 3. Реконструкција слике површине звезде HR1088 применом Доплер томографије

ИНДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ

Индијектне методе за остваривање високе просторне резолуције користе принцип томографије. На пример, као што се код медицинске томографије тродимензионална слика органа формира компјутерском синтезом више дводимензионалних слика, тако је и у астрономији могуће формирати дводимензионалну слику објекта компјутерском синтезом више једнодимензионалних слика.

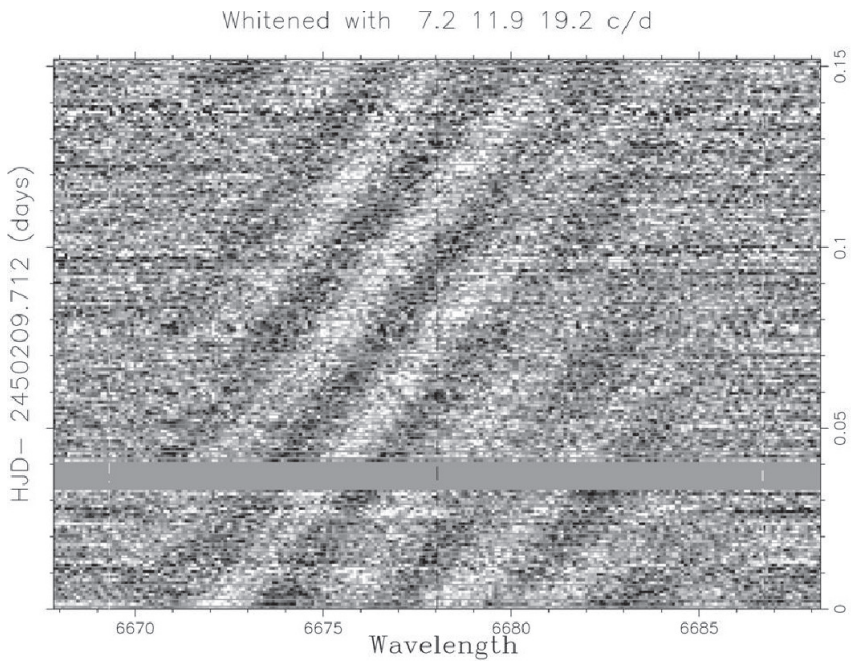
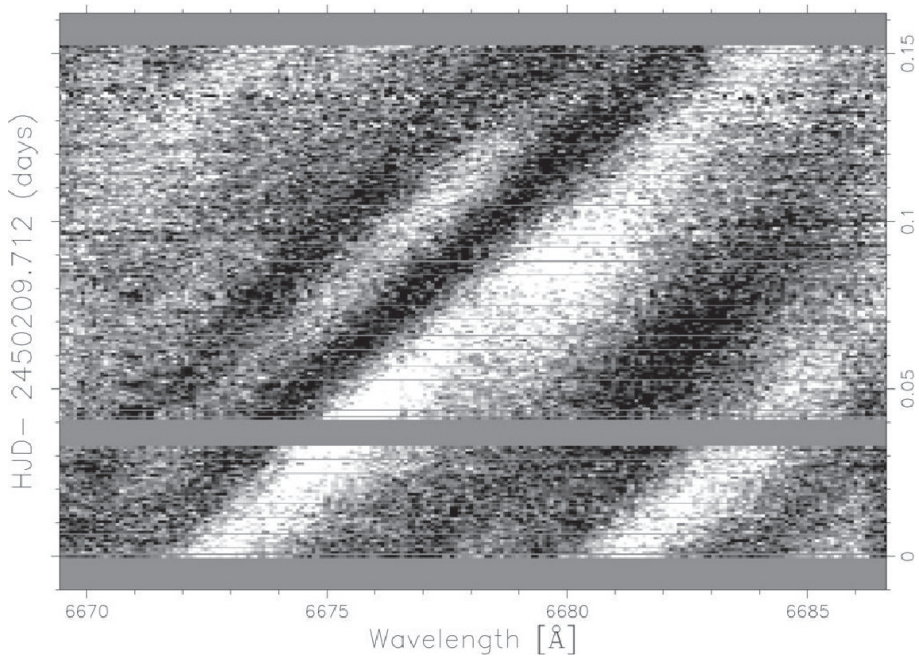
Пошто су небеска тела чије су угловне размере мање од једне лучне секунде (скоро сви објекти у васиони) практично тачкасти објекти када се посматрају са површине Земље, задатак који желимо да остваримо своди се на осликавање површине тачке. Један од начина да се то оствари је принцип Доплер томографије где се врши мапирање високе спектралне и високе временске резолуције у просторну. Практично, једнодимензионални спектри објекта се посматрају са довољном временском резолуцијом (Jankov et al. 1992) да би се извршило мапирање површине тачкастог објекта. Примена такве методе приказана на слици 3 представља прво откриће звезданих пега високе латитуде. Ово у почетку контроверзно откриће је врло брзо теоретски и посматрачки потврђено и допринело је унапређивању теорије магнето-хидродинамике Сунца и звезда.

Додатном применом Фуријеове анализе омогућено је откривање и проучавање врло ситних структура проузрокованих нерадијалним пулсацијама звезда раних спектралних типова (Jankov et al. 2000). Спектри високе спектралне резолуције звезде ζ Oph у функцији времена (динамички спектри) приказани су на слици 4 пре (горе) и после (доле) примене методе.

Ово у почетку оспоравано откриће је такође брзо теоретски и посматрачки потврђено и допринело је унапређивању теорије нерадијалних пулсација звезда топлијих од Сунца.

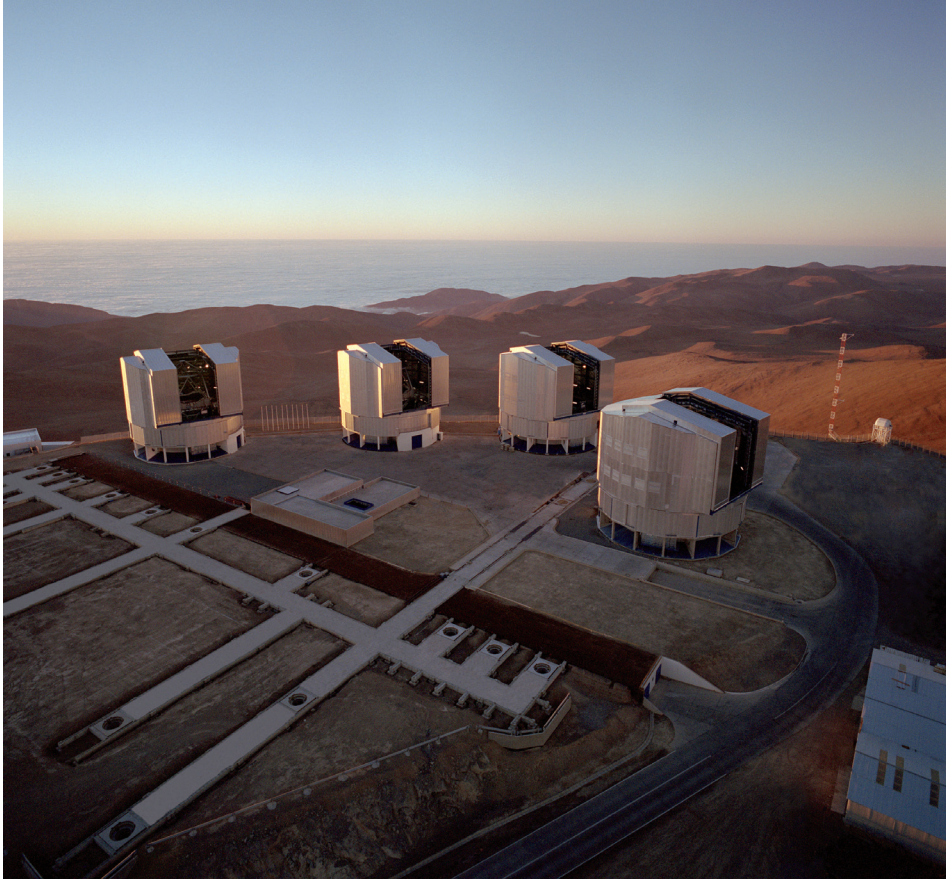
ДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ

Интерферометар је уређај који астрономима омогућава постизање веће просторне резолуције него што је то могуће употребом конвенционалних телескопа. Код оваквог уређаја који се састоји од комбинације два или више телескопа угаона/просторна резолуција је пропорционална растојању између телескопа, а не пречнику објектива као што је то случај код класичних телескопа. Код телескопа који раде у оптичком (видљивом или инфрацрвеном) домену светлосног спектра, објектив чине огледала која тренутно не превазилазе пречнике веће од 10 метара, али растојања у интерферометријском начину рада могу да достигну и неколико стотина метара. Код телескопа који раде на већим таласним дужинама, објектив су антене које могу да имају пречнике неколико стотина метара, а у интерферометријском режиму могу да раде и на глобалном нивоу.



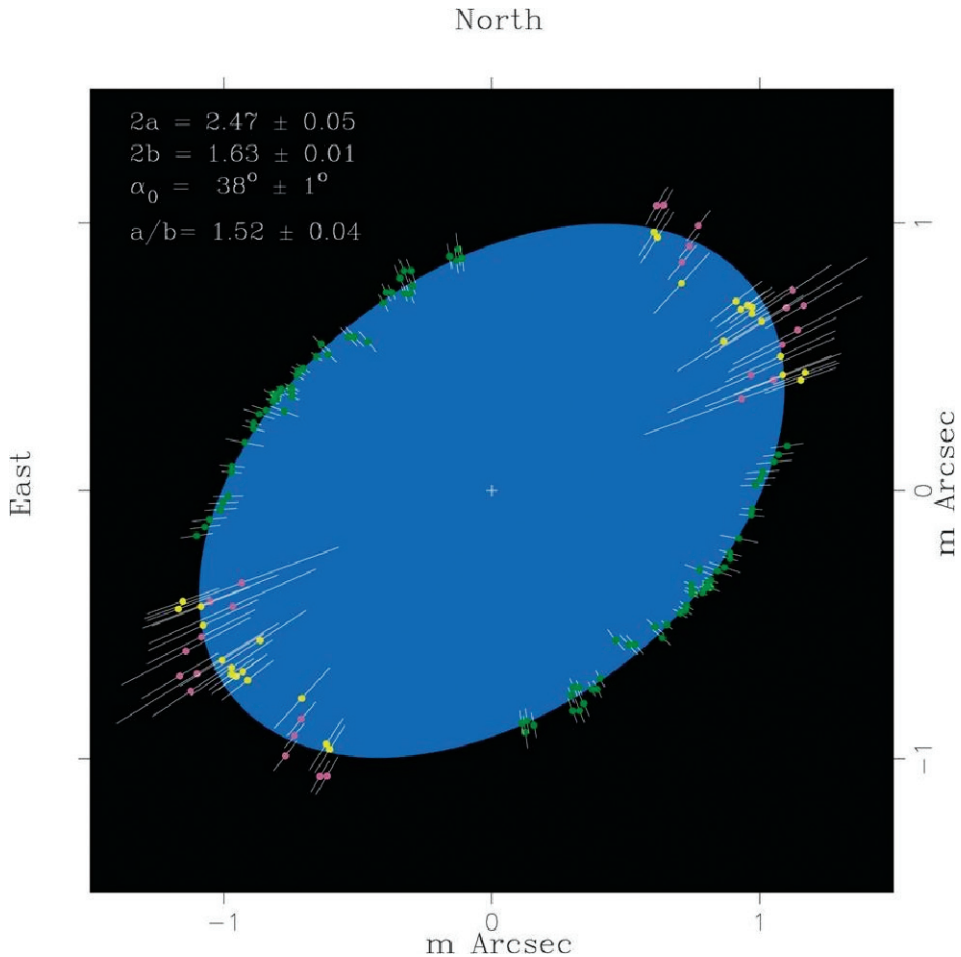
Слика 4. Динамички спектри звезде ζ Орh пре (горе) и после (доле) примене Фурије-Доплер индиректне методе

Конструкција интерферометријских телескопа који раде у оптичком домену је технолошки (и финансијски) много захтевнија, а тренутно највећи телескоп (VLTI/ESO) који се налази на планини Паранал приказан је на слици 5. Поред четири велика (пречник огледала 8,2 метара) и непокретна телескопа, интерферометар се састоји и од више мањих (пречник огледала 1,8 метара), који могу да се крећу по шинама и на тај начин мењају међусобна растојања у распону до неколико стотина метара.



Слика 5. VLT интерферометар (VLTI/ESO) на планини Паранал у Чилеу

У пракси, поред промене међусобних растојања телескопа кретањем по шинама, користи се и ротација Земље тако да је могуће остварити резултате као коришћењем врло великог телескопа са објективом пречника неколико стотина метара. На тај начин је остварено и спектакуларно откриће екстремне спљоштености звезде Ахернар (слика 6)



Слика 6. Спектакуларно откриће екстремне спљоштености звезде Ахернар (Domiciano de Souza et al. 2003)

Ово у почетку оспоравано откриће је врло брзо теоретски и посматрачки потврђено и допринело је унапређивању теорије брзоротирајућих звезда.

ФИЛМ О ОПСЕРВАТОРИЈИ ПАРАНАЛ

На крају овог предавања одржаног у Српској академији наука и уметности у оквиру научног циклуса предавања „Од Сунчевог система до граница васионе“, приказан је филм о тренутно највећем светском оптичком телескопу (VLT/ESO) који се налази на планини Паранал и на коме је остварено спектакуларно откриће екстремне спљоштености звезде Ахернар (слика 6).

Филм приказује целокупни процес посматрања, од боравка на Европској јужној опсерваторији (ESO) у Сантијагу (Чиле), преко путовања до VLT интерферометра, до самог рада на телескопу.

ЛИТЕРАТУРА

- Jankov, S., 2010, Astronomical Optical Interferometry. I. Methods and Instrumentation. *Serbian Astronomical Journal*, vol. 181, pp. 1–17.
- Jankov, S., 2011, Astronomical Optical Interferometry. II. Astrophysical Results *Serbian Astronomical Journal*, vol. 183, pp. 1–35.
- Jankov, S., Cvetković, Z., Pavlović, R., 2014, Binary Star Astrometry with Milli and Sub-Milli Arcsecond Precision. *Serbian Astronomical Journal*, vol. 188, pp. 1–21.
- Jankov, S., Foing, B. 1992, Tomographic imaging of late type stars from spectroscopic and photometric rotational modulation. *Astronomy & Astrophysics*, v. 256, pp. 533–550.
- Jankov S. et al., 2000, Fourier-Doppler Imaging analysis of line profile variations in ζ Oph. *Astrophysical Journal*, v. 540, pp. 535–547.
- Domiciano de Souza, A., Kervella, P., Jankov, S. et al., 2003, The spinning-top Be star Achernar from VLTI-VINCI. *Astronomy & Astrophysics*, v. 407, pp. L47–L50.

Slobodan Jankov

HIGH SPATIAL RESOLUTION: NEW WINDOW TO VIEW THE SECRETS OF THE UNIVERSE

S u m m a r y

For better understanding of the Universe we need to get and analyse a very sharp image of celestial objects, and to accomplish this, it is necessary to make use of large astronomical telescopes. Building and usage of such ground based telescopes turned out not to be sufficient, since on the surface of the Earth the essential limitation to achieve high spatial resolution represents the very existence of our planet's atmosphere.

Still, the accelerated pace at which the science and technology develop enabled us to overcome also this obstacle, so that recent opening of a new window provided a much clearer picture of the Universe. The topic of this presentation are the contemporary techniques used to achieve this goal, and in a movie shot at the world's largest optical telescope it is shown how these techniques are applied in practice.

