

Током вишедеценијског научно-стваралачког рада Милан С. Димитријевић је успостављао широку и свестрану сарадњу са бројним научним институцијама како у земљи тако и у европским – светским студијским истраживачким центрима. При том, веома активно је успостављао веома разноврсну и делотворну комуникацију са најафирмисанијим научним личностима у том периоду. Наредна два илустративна фрагмента недвосмислено указују на специфичну природу и карактер врло богате, стваралачке сарадње са: Сахал Брешо и Џилијен Пич, што су представљале изузетно висок научно-студијски ниво. Ови изворни текстови сведоче о обиму, видовима делатности и особеностима разноликих аспеката узајамне креативне активности:

I

САРАДЊА ИЗМЕЂУ ПАРИСКЕ И БЕОГРАДСКЕ ОПСЕРВАТОРИЈЕ НА НАУЧНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА СПЕКТРАЛНИХ ЛИНИЈА⁴⁰⁰

SYLVIE SAHAL-BRÉCHOT

Осврнућу се на моју научну сарадњу са Миланом Димитријевићем, која траје скоро 40 година. Заједнички рад Милана са осталим лабораторијама Париске опсерваторије изван је ове теме.

Предмет наше сарадње односи се на Штарково ширење и помак „изолованих“ спектралних линија неутралних и јонизованих атома (суседни нивои линије се не преклапају, електрони и позитивни јони средине пертурбују линије) у оквиру семикласичне пертурбационе теорије.

Ову теорију развила сам за докторску дисертацију, коју сам одбранила 1969, и направила сам фортран програм за одговарајуће прорачуне, назван SCP. Резултати дају ширину и помаке линија као функцију температуре и густине електрона у медијуму. Побољшали смо програм и користили га у нашој сарадњи. Рад је намењен спектроскопској дијагностици и моделирању у астрофизици (посебно у физици звезда), лабораторијској и технолошким плазмама (магнетне клопке и токамаци, фузија ласерска и фузија јонским снопом, извори светлости ...). Постигнути резултати довели су до више од 150 публикација у часописима са рецензијом, до многих предавања по позиву, усмених излагања и постера, на међународним и националним конференцијама и скуповима, и до више од 1500 цитата у ADS-у⁴⁰¹ за целокупни рад. Надаље, створили смо интернетску базу података са слободним приступом, која окупља резултате садржане у нашим публикацијама.

400 За седамдесети рођендан Милана С. Димитријевића. Говор на седници посвећеној М. С. Димитријевићу на XI српској конференцији о облицима спектралних линија у астрофизици, у Шапцу, 24. августа 2017. године.

401 Astrophysics Data System – on line база података коју су основали Смитсонијанска астрофизичка опсерваторија и НАСА. Садржи више од осам милиона научних радова из астрономије и физике и непрекидно се допуњује.

Сарадња је започета 1978. године, захваљујући проф. Петру Грујићу, који је написао писмо Анрију ван Регемортеру, директору наше лабораторије DAMAP⁴⁰² (Париска опсерваторија, Медон, Француска), и још једно мени, пошто је Милан желео да проведе неко време у нашој лабораторији да би радили на теорији ширења линија. У ствари, после тезе, сам применила свој SCP програм на само неколико случајева намењених спектроскопској дијагностици од астрофизичког интереса, а такође сам померила своја истраживања ка атомској поларизацији и сударној деполаризацији, имајући у виду спектрополариметријску дијагностику магнетних поља у сунчевој корони и протуберанцама.

Жеља Петра Грујића и Милана ме је веома заинтересовала и предложила сам као тему поређење између судара са електронима у квантној теорији блиске спреге и SCP прорачуна, у случају резонантне линије неутралног литијума проширене и помакнуте сударима са електронима. Штавише, у Београду су управо извођени нови експерименти на ову тему. Никол Фотрије (Nicole Feautrier), такође из наше лабораторије, имала је копију квантно-механичког програма блиске спреге, погодног за електронско-литијумске сударе. Милан је долазио два пута у Медон-DAMAP 1978. године, затим још неколико пута, а први рад из наше започете сарадње објављен је у J. Phys. B (14, 2259-2568, 1981).⁴⁰³

Милан је неколико пута боравио у Медону, и наша сарадња се развијала. У ствари, у осамдесетим се одвијала широка експанзија истраживања о ширењу линија, како теоријских, тако и експерименталних, посебно Штарковог ширења. Истовремено, брзо су расле потребе за атомским подацима, због звездане спектроскопске дијагностике. Дала сам све компјутерске програме Милану, а он је добио добру идеју да их повеже са подпрограмом према методу Бејтса и Дамгардове за добијање потребне атомске структуре и да унесе списак енергетских нивоа, идентификован квантним бројевима, узет из постојеће литературе. Ово је омогућило добијање резултата за велики број линија једним пуштањем програма, за низ температура и једну густину, у првој верзији овог новог кода. Два фундаментална рада (JQSRT, 31, 301-313, 1984⁴⁰⁴ и A&A, 136, 289-298, 1984⁴⁰⁵) означила су почетак бројног низа радова и активног учешћа на многим Конференцијама и радионицама (позвана предавања, извештаји о напретку, постери ... Први је био постер на 7. ICSLS 11.-15. Јуна, Осуа, Француска, 1984⁴⁰⁶). Следећих година уследило је неколико Миланових посета, што

402 *Departement Atomes et Molecules en Astrophysique (DAMAP)* – Одсек Атоми и молекули у астрофизици.

403 M. S. Dimitrijević, N. Feautrier, S. Sahal-Bréchet: COMPARISON BETWEEN QUANTUM AND SEMICLASSICAL CALCULATIONS OF THE ELECTRON IMPACT BROADENING OF THE Li I RESONANCE LINE, J. Phys. B **14**, (1981), 2559-2668.

404 M. S. Dimitrijević, S. Sahal-Bréchet: STARK BROADENING OF NEUTRAL HELIUM LINES, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer **31**, (1984), 301-313.

405 M. S. Dimitrijević, S. Sahal-Bréchet: STARK BROADENING OF NEUTRAL HELIUM LINES OF ASTROPHYSICAL INTEREST: REGULARITIES WITHIN SPECTRAL SERIES, Astron. Astrophys. **136**, (1984), 289-298.

406 M. S. Dimitrijević, S. Sahal-Bréchet: STARK BROADENING OF HeI LINES OF

је довело до низа публикација, посебно у вези са простим неутралним атомима (један електрон изнад затворене љуске).

SYLVIE SAHAL-BRÉCHOT: Collaboration between Paris and Belgrade Observatories in scientific researches on Spectral Line Shapes

In the following, I will review my scientific cooperation with Milan Dimitrijević which has lasted for almost 40 years. The cooperations of Milan with the other laboratories of the Paris Observatory are outside of the present topic.

The subject of our cooperation concerns Stark broadening and shifts of „isolated“ spectral lines of neutral and ionized atoms (neighbouring levels of the line do not overlap, electrons and positive ions of the medium perturb the lines) within the impact semiclassical perturbation theory.

Крајем осамдесетих година, интересовање се у астрофизици померило према моделирању звезданих унутрашњости и субфотосферских слојева, као и према посматрањима у свим областима таласних дужина. Развој моћних рачунара омогућио је тачнију интерпретацију спектра звезданих атмосфера. Лабораторијска истраживања плазме такође су имала велику експанзију. За све то, био је потребан огроман скуп атомских података, укључујући Штарково ширење. Поред тога, на Генералној скупштини МАУ⁴⁰⁷ 1994, појавило се интересовање за базе података.

За задовољење ових потреба, SCP код је захтевао побољшања и исправке. На пример, што се тиче инфрацрвених линија магнезијума посматраних у сунчевој хромосфери, прелази између високих нивоа су боље третирани побољшаном верзијом. Поред тога, посебно за линије високо наелектрисаних јона, посматране у звезданим УВ спектрима, и за моделирање звезданих унутрашњости, SCP коду су биле потребне друге измене. Направљене су активним и значајним учешћем Вероник Бомие, такође из моје лабораторије.

Сада је ажурирани SCP код могао да се користи за велике прорачуне. Међутим, обимне листе података које су произашле из наших калкулација проузроковале су извесне потешкоће око објављивања у часописима са рецензијом, и морала сам да одређено време посветим размени писама са једним уредником да бих одбранила значај објављивања дугачких табела. У ствари, у то време постојали су само штампани часописи. Папир је био скуп, а велике таблице су заузимале пуно простора. Срећом, Интернет је растао, а родио се и ftp.⁴⁰⁸ Дакле, наше обимне табеле би могле бити објављене на мрежи и преузете. Али само за оне који су имали приступ интернету! Поред тога, оне су такође објављене у штампаним примерцима у Bulletin de l'Observatoire Astronomique de Belgrade (BOAB).

ASTROPHYSICAL INTEREST: REGULARITIES WITHIN SPECTRAL SERIES AND INFLUENCE OF DEBYE SHIELDING, VII Int. Conf. Spectr. Line Shapes, Aussois (1984), A 10 (1-2).

407 Међународна астрономска унија.

408 File Transfer Protocol – протокол за пренос датотека између два рачунара на мрежи.

Затим, због рата, наша сарадња могла је да се настави само путем интернета, е-мејла и факса. Милан није могао да путује и посети нашу лабораторију у Француској до почетка новог века.

Њега су обележиле (из мог угла) две важне еволуције:

– Развијање интердисциплинарних истраживања између нуклеарне физике и астрофизике, посебно у циљу разумевања стварања тешких (тежих од гвожђа) елемената и атома ретких земаља, помоћу захвата неутрона, а не нуклеосинтезом. Дакле, била је потребна прецизна спектроскопска дијагностика за утврђивање обилности, јер су линије од интереса слабе.

Све већи развој виртуелних опсерваторија и база података, због велике количине резултата које је требало повезати. Интероперабилна е-инфраструктура била је хитно потребна.

Управо у том контексту Милан је могао опет да дође 2003. године у нашу лабораторију, која је две године раније постала део шире лабораторије у Париској опсерваторији, под називом LERMA⁴⁰⁹. До данас су уследиле бројне Миланове посете, једна или понекад две годишње.

У то време, Виртуелна опсерваторија и стварање база података постали су приоритет Париске опсерваторије. Основан је VO-PADC (Virtual Observatory Paris Data Center) за организовање база података и сервиса. LERMA је запослила инжењере и техничаре, а Мари-Лиз Диберне (Marie-Lise Dubernet) ангажована је као научник-истраживач астроном преласком са Универзитета Франш Комте (Француска).

LERMA нас је охрабрила и помогла нам да све наше бројне табеле резултата организујемо као базу података. Године 2005, ставила нам је на располагање техничара за скенирање најстаријих резултата, а затим инжењера (Никола Моро – Nicolas Moreau) за све техничке аспекте (конструкција и развој базе података и веб странице).

Тако је настао STARK-B (<http://stark-b.obspm.fr>) отворен у јесен 2008. године у оквиру база података LERMA-Париске опсерваторије, са везом на Српској виртуелној опсерваторији (<http://servo.aob.rs>). Данас су сви наши објављени SCP подаци имплементирани, а ускоро ће бити завршен и унос резултата добијених Модификованом семиемпиријском методом MSE (MSE – Modified-Semi-Empirical).

Године 2010, огромним напором Марти-Лиз Диберне, настао је европски пројекат VAMDC (Virtual Atomic and Molecular Data Center – <http://www.vamdc.eu>) и то нам је пуно помогло.

STARK-B је чвор VAMDC-а. Прати његове стандарде и оне Виртуалних опсерваторија. Милан и ја смо одговорни научници, а Никола Моро је задужен за све техничке аспекте. База је представљена на више међународних и националних конференција.

Сарадња је обogaћена сарадњом са Тунисом. У ствари, деведесетих ми је професор Зохра бен Лакхдар са Универзитета у Тунису послала Небила Бен

409 LERMA (Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères) – Лабораторија за проучавање зрачења и материје у астрофизици и атмосфери.

Несиба. Тако је дошао у DAMAP-Медон да би завршио тезу о Штарковом ширењу и помаку. Применио је SCP теорију на неке линије кисеоника. Такође је проширио семикласичне сударне функције на неидеалне плазме. Нешто после тога, Нејла Ларби-Терзи, из исте туниске лабораторије, дошла је у DAMAP-Медон, такође да заврши тезу, и применила је SCP теорију на поједине инфрацрвене хелијумове линије, од интереса за вруће звезде раног типа.

Небил је добио место професора на Универзитету Картагине у Тунису и могао је да ангажује младе студенте који су припремали тезу о Штарковом сударном ширењу. Заправо, Небил такође сарађује са Миланом од 1989. године, што је довело до неколико презентација на научним скуповима и конференцијама. Потом су се две сарадње, Тунис-LERMA и Тунис-АОБ (Астрономска опсерваторија Београд), спојиле. Конкретно, учешће на српским конференцијама о облицима спектралних линија у астрофизици (SCSLSA⁴¹⁰) допринело је јачању веза. У ствари, Небилови сарадници и студенти (сада сениори!) придружили су се сарадњи. Један од њих, Хајкел Елабиди, управо је добио положај професора у Бизерти. Он је за своју тезу развио квантни програм за добијање ширина линија јонизованих атома (Superstructure and Distorted wave за разматрање судара) и применио га на бројне јоне. Хедија бен Шауаша је развила нове изразе за семикласичне сударне функције за јако корелиране плазме и применила их на поједине изоловане линије неутралног хелијума. Рафик Хамди је за своју тезу спојио SPC код са тачним Ковановим програмима за прорачун атомске структуре, веома корисним за сложене неутралне и јонизоване атоме и за добијање великог броја података у истом пуштању програма. Применио га је на неколико јона. Теза Бесме Змерли односила се на неутрални бакар, важан за технолошку примену. Валид Махмуди је за своју тезу развио корисне изразе намењене веома сложеним атомима. Поред тога, Небил је спојио SCP код са ТОПбазом (резултати добијени тачним атомским структурним кодом са R матрицом), што је такође корисно за добијање великог броја података у истом пропуштању програма. Ово је примењено са Нејлом на C II линије од интереса за беле патуљке. Сви ови радови довели су до великог броја чланака; немогуће их је овде све навести. Штавише, Небил је добио есенцијалне формуле за фитовање са температуром за STARK-B, које су биле хитно потребне за моделирања у физици звезда.

Неколико српских научника са Астрономске опсерваторије у Београду такође ефикасно учествује у нашој сарадњи: Анђелка Ковачевић, Ненад Миловановић, Зоран Симић, као и Магдалена Христова, из Бугарске (која је сада професор у Софији). Бројне публикације и учешћа на научним скуповима и конференцијама одражавају њихово интересовање и учешће у овој теми.

А сада, каква ће бити будућност?

Краткорочно и средњорочно планирамо:

- извести нове прорачуне ширина и померања линија за потребе моделирања и спектроскопске дијагностике и имплементацију објављених података у STARK-B,

410 Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics.

- имплементирати наше објављене квантне резултате у STARK-B,
- развити друге формуле за фитовање (на бази регуларности, систематских трендова) за STARK-B,
- побољшати израчунавање помака.

Дугорочно се надамо да ће нова генерација, научници и њихови студенти, садашњи и они који долазе, који ће нас заменити, бити заинтересовани да модернизују и ажурирају методе и програме.

Хвала, Милане, на изузетно плодној сарадњи, која је довела до тако великог броја публикација и до STARK-B, базе података. Надам се да ће се тако наставити што дуже.