

АТОМСКИ И МОЛЕКУЛАРНИ ПРОЦЕСИ У КОСМИЧКИМ ПЛАЗМАМА

ВЛАДИМИР А. СРЕЋКОВИЋ

Апстракт: Ефикасност теоријске анализе, и моделирања различитих окружења зависи од атомских података и њихових извора. Конкретно, за моделирање различитих атмосферера и прорачун непрозрачности потребан је велики број атомских и молекулских података, пошто не знамо *a priori* њихов хемијски састав. У овом кратком раду ће бити представљен научни рад М. С. Димитријевића у овој области, са посебним освртом о проучавању атомских и молекуларних процеса у космичким плазмама.

Кључне речи: астрофизика, атомски процеси, звезда астрономија, вангалактичка астрономија, звездане атмосфере, астроинформатика, базе података, историја астрономије

1. УВОД

Рад Милана Димитријевића у области атомских сударних процеса у слабо јонизованим плазмама, а посебно у плазмама

звезданих атмосфера траје од 1980(5). године (скоро 40 година). У оквиру ових истраживања у области атомских сударних процеса у лабораторијским плазмама и плазмама звезданих атмосфера, публиковано је више од стотину научних радова у међународним часописима цитираних више стотина пута (извор SAO/NASA ADS)². Од тога броја више од половине научних радова су публиковани у међународним астрономским часописима, обично највишег ранга. У овим научним радовима анализирани су утицаји различитих атомских сударних процеса на зрачење код Сунца, хладних звезда и белих патуљака – једне од завршних фаза у развоју звезда а такође и на физику Активних галактичких језгра (АГЈ). Исто тако ова истраживања су веома важна за изучавање плазми добијених у лабораторијским условима. У овим истраживањима тј. горе поменути научним радовима вршена је анализа утицаја као и моделовање коришћењем доступних различитих софтверских пакета. Такође рађено је на креирању базе података која укључује ове процесе.

2. ИСТРАЖИВАЧКА АКТИВНОСТ

Основни научни циљ Милановог рада је био истраживање утицаја различитих атомских сударних процеса на зрачење код Сунца, хладних звезда и белих патуљака – једне од завршних фаза у развоју звезда а такође и на физику Активних галактичких језгра (АГЈ). Исто тако ова истраживања су веома важна за изучавање плазми добијених у лабораторијским условима.

2.1 Хеми-јонизациони и хеми-рекомбинациони процеси у слабо-јонизованим астрофизичким/лабораторијским плазмама

У оквиру ове теме М.С. Димитријевић и сарадници су се бавили истраживањима једне групе хеми-јонизационих и хе-

2 http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

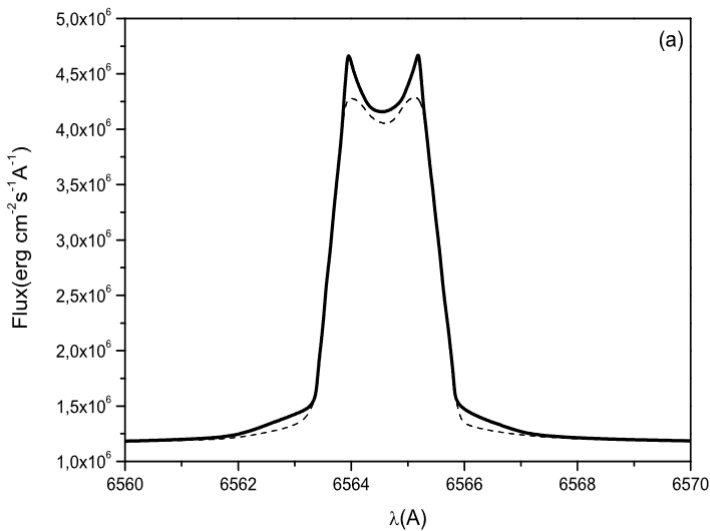
ми-рекомбинационих процеса у слабо-јонизованим лабораторијским и астрофизичким плазмама где посматрани процеси играју посебно важну улогу. Израчунати су одговарајући рејт коефицијенти и резултати упоређени са доступним подацима из литературе. У радовима представљени су основни механизми, критички осврт, као и примена хеми-јонизационих процеса. Затим, испитан је утицај ових процеса на популацију побуђених стања водоникових атома у фотосфери Сунца и атмосфери белих патуљака као и у слабо-јонизованим областима Активних галактичких језгра (AGN). Испитиван је њихов однос са конкурентским електрон-атом и електрон-јон јонизационим/рекомбинационим процесима. Такође, показано је да хеми-јонизациони и хеми-рекомбинациони процеси утичу на облик спектралних линија у звезданим атмосферама. На пример у раду Srećković et al. (2018) циљ је био да се иде дубље у физику AGN-а, да се истраже неки атомски процеси као што су сударни атом-Ридберг атом процеси, тј. хемијонизација/рекомбинација и n - n' -mixing и ревидира њихова улога. Другим речима то значи да сазнамо при којим условима у плазми одређени атомски процеси постају важни, и где могу ови процеси бити од користи за дијагностику, нумеричке симулације и моделовање те да се може објаснити постојање AGN области са таквим карактеристикама. Резултати истраживања приказани су нпр. у следећим радовима:

- Srećković V.A., Dimitrijević M.S., Ignjatović L.M., Atom-Rydberg atom chemi-ionization/recombination processes in the hydrogen clouds in Broad Line Region of AGNs *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **480(4)**, 5078–5083 (2018).
- Mihajlov Anatolij A., Srećković Vladimir A., Ignjatovic Ljubinko M., Dimitrijevic Milan S., Atom-Rydberg-atom chemi-ionization processes in solar and DB white-dwarf

- atmospheres in the presence of (n - n')-mixing channels, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **458(2)**, 2215-2220 (2016).
- Mihajlov Anatolij A., Srećković Vladimir A., Ignjatovic Ljubinko M., Klyucharev A.N., Dimitrijevic Milan S., Sakan Nenad M., Non-Elastic Processes in Atom Rydberg-Atom Collisions: Review of State of Art and Problems, *J. Astrophys. Astron.*, **36(4)**, 623-634 (2015).
 - Arefieff K.N., Miculis K., Bezuglov N.N., Dimitrijevic Milan S., Klyucharev A.N., Mihajlov Anatolij A., Srećković Vladimir A., Dynamics Resonances in Atomic States of Astrophysical Relevance, *J. Astrophys. Astron.*, **36(4)**, 613-622 (2015).
 - Bezuglov, N. N., Klyucharev, A. N., Mihajlov, A. A., Srećković, V. A., Anomalies in radiation-collisional kinetics of Rydberg atoms induced by the effects of dynamical chaos and the double Stark resonance, *Advances in Space Research*, **54(7)**, 1159-1163 (2014).
 - Srećković, V.A., Mihajlov, A.A., Ignjatović, Lj. M., Dimitrijević, M.S., Excitation and deexcitation processes in atom-Rydberg atom collisions in helium-rich white dwarf atmospheres, *Astronomy & Astrophysics*, **552**, A33 (2013).
 - Mihajlov, A.A., Ignjatović, Lj. M., Srećković, V. A., Dimitrijević, M. S., (2011) Chemi-ionization in Solar Photosphere: Influence on the Hydrogen Atom Excited States Population, *Astrophysical Journal Supplement Series*, **193(1)**, 2 (2011).
 - Mihajlov, A.A., Ignjatović, Lj. M., Srećković, V. A. and Dimitrijević, M. S (2011) The Influence of Chemi-Ionization and Recombination Processes on Spectral Line Shapes in Stellar Atmospheres, *Baltic Astronomy*, **20**, 566-571 (2011).

2.2 Несиметрични јон-атомски радијативни процеси у астрофизичким плазмама

У оквиру ове теме М.С. Димитријевић са сарадницима се бавио истраживањима утицаја јако несиметричних јон-атом радијативних процеса у атмосферама Сунца (мирно Сунце, Сунчеве пеге) и белих патуљака (White dwarf) као и утицај ових процеса у лабораторијским и стеларним плазмама. Главни циљ је био указивање на чињеницу да су испитивани процеси важни и незаобилазни приликом описивање оптичких својстава посматраних плазми. Резултати ових истраживања су презентовани у неколико публикација од којих издајамо:



СЛИКА 1. Профили линија са (пуна линија) и без (тачкаста линија) укључивања процеса хеми-јонизације и хеми-рекомбинације за H алфа линију

- Ignjatović, Lj. M., Mihajlov, A. A., Srećković, V. A., Dimitrijević, M. S., The ion-atom absorption processes as one of the

- factors of the influence on the sunspot opacity, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **441(2)**, 1504-1512 (2014).
- Srećković, V. A., Mihajlov, A. A., Ignjatović, Lj. M., Dimitrijević, M. S., (2014) Ion-atom radiative processes in the solar atmosphere: quiet Sun and sunspots, *Advances in Space Research*, **54(7)**, 1264-1271 (2014).
 - Ignjatović, Lj. M., Srećković, V. A., Mihajlov, A. A., Dimitrijević, M. S., (2014) Absorption non-symmetric ion-atom processes in helium-rich white dwarf atmospheres, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **439(3)**, 2342-2350 (2014).
 - Mihajlov, A. A., Ignjatović, Lj. M., Srećković, V. A., Dimitrijević, M. S., Metropoulos, A., The non-symmetric ion-atom radiative processes in the stellar atmospheres, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **431(1)**, 589-599 (2013).

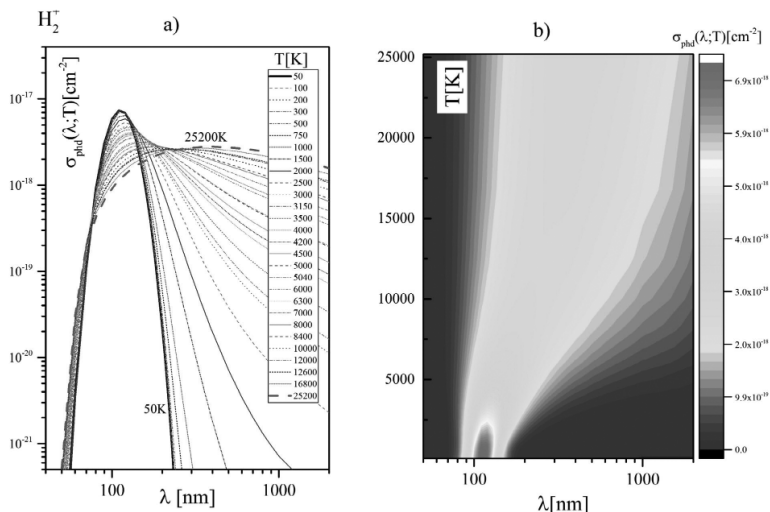
2.3 Атомски сударни и радијативни процеси и базе (VAMDC)

Последњих неколико година активност је усмерена и на раду везаном за атомске/молекулске базе података (<http://servo.aob.rs/mold/>) у оквиру Европског виртуалног центра за атомске и молекулске податке (<http://vamdc.org>; https://portal.vamdc.eu/vamdc_portal/nodes.seam). Сама проблематика је од стратешког значаја за Европску унију и широку научну заједницу како итиче European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) у свом извештају Strategy Report and Roadmap 2018.

Резултати ових истраживања приказани су на неколико конференција и радионица као и у следећим радовима:

- Bratislav P. Marinković, Darko Jevremović, Vladimir A. Srećković, Veljko Vujčić, Ljubinko M. Ignjatović, Milan S. Dimitrijević, Nigel J. Mason, BEAMDB and Mold –

databases for atomic and molecular collisional and radiative processes: Belgrade nodes of VAMDC, *European Physical Journal D*, **71(6)**, 158 (2017).



СЛИКА 2. (а) Понашање усредњеног пресека за фото-дисоцијацију молекуларног јона водоника у функцији таласне дужине и температуре. (б) Површинска расподела средњег пресека у функцији таласне дужине и температуре

- Vujcic Veljko, Jevremovic Darko M, Mihajlov Anatolij A, Ignjatovic Ljubinko M, Srećković Vladimir A, Dimitrijevic Milan S., Malovic Miodrag, MOL-D: A Collisional Database and Web Service within the Virtual Atomic and Molecular Data Center, *J. Astrophys. Astron.*, **36(4)**, 693-703 (2015).

Техничка решења у организовању велике количине података тј. MolD базе података (<http://servo.aob.rs/mold/>) приказани су и у два техничка решења РБ 1612 и РБ 1764 <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2016/04/ТЕХНИЧКА-RESENJA-2011-2015-10-april.xls>

2.4 Моделирање континуалне апсорпције електромагнетног зрачења у густој лабораторијској и астрофизичкој плазми

У оквиру ове теме, М.С. Димитријевић са сарадницима се бавио истраживањима процеса континуалне апсорпције у области од делимично до јако јонизованих плазми у опсегу електронских концентрација од 10^{14} cm^{-3} па до 10^{20} cm^{-3} и температура 6000 К до 300 000 К. Главни циљ је био постављање новог модела за прорачун процеса континуалне апсорпције електромагнетног зрачења. Он је примењен и проверен за ЕМ спектар таласних дужина $10 \text{ nm} < \lambda < 3000 \text{ nm}$ у опсегу електронских концентрација до 10^{19} cm^{-3} и температура око 6000 К. Приказани резултати имају примену како на опис лабораторијских, тако и на плазме у атмосферама звезда. Резултати су представљени у неколико радова као и на неколико конференција:

- V. A. Srećković, N. Sakan, D. Šulić, D. Jevremović, Lj. M. Ignjatović, M. S. Dimitrijević, Free-free absorption coefficients and Gaunt factors for dense hydrogen-like stellar plasma, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **475(1)**, 1131-1136 (2018).
- M. S. Dimitrijević, V. A. Srećković, N. M. Sakan, N. N. Bezuglov, A. N. Klyucharev (2018) Free-Free Absorption in Solar Atmosphere, *Geomagnetism and Aeronomy*, **58(8)**, 1067-1072 (2018).

3. БИБЛИОГРАФИЈА РАДОВА У МЕЂУНАРОДНИМ ЧАСОПИСИМА (Извор SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS))

1. Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. The collisional atomic processes of Rydberg alkali atoms in

- geo-cosmical plasmas. *MNRAS* 2019, 483, 4202–4209, [arXiv:astro-ph.SR/1812.00180]. doi:10.1093/mnras/sty3294.
2. Dimitrijević, M.S.; Srećković, V.A.; Zalam, A.A.; Bezuglov, N.N.; Klyucharev, A.N. Dynamic Instability of Rydberg Atomic Complexes. *Atoms* 2019, 7, 22. doi:10.3390/atoms7010022.
 3. Marinković, B.; Srećković, V.; Vujčić, V.; Ivanović, S.; Uskoković, N.; Nešić, M.; Ignjatović, L.; Jevremović, D.; Dimitrijević, M.; Mason, N. BEAMDB and MOLD-Databases at the Serbian Virtual Observatory for Collisional and Radiative Processes. *Atoms* 2019, 7, 11. doi:10.3390/atoms7010011.
 4. Dimitrijević, M.S.; Srećković, V.A.; Sakan, N.M.; Bezuglov, N.N.; Klyucharev, A.N. Free-Free Absorption in Solar Atmosphere. *Geomagnetism and Aeronomy* 2018, 58, 1067–1072. doi:10.1134/S0016793218080054.
 5. Srećković, V.; Dimitrijević, M.; Bezuglov, N. Special Issue on Atomic and Ionic Collisions with Formation of Quasimolecules. *Atoms* 2018, 7, 3. doi:10.3390/atoms7010003.
 6. Dimitrijević, M.S.; Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M. The (n-n')-mixing processes in the Broad Line Region of AGNs: rate coefficients needed for spectroscopy diagnostics. *arXiv e-prints* 2018, [1812.09488].
 7. Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M. Atom-Rydberg atom chemi-ionization/recombination processes in the hydrogen clouds in broad-line region of AGNs. *MNRAS* 2018, 480, 5078–5083. doi:10.1093/mnras/sty2256.
 8. Sakan, N.M.; Srećković, V.A.; Simic, Z.; Dimitrijević, M.S. The spectral coefficients of absorption processes in dense strongly ionized astrophysical plasmas. *Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd* 2018, 98, 325–328.

9. Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Jevremovic, D.; Vujcic, V.; Dimitrijević, M.S. Radiative and collisional atomic/molecular data for astrophysics. *Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd* 2018, 98, 195–202.
10. Srećković, V.; Dimitrijević, M.; Ignjatović, L.; Bezuglov, N.; Klyucharev, A. The Collisional Atomic Processes of Rydberg Hydrogen and Helium Atoms: Astrophysical Relevance. *Galaxies* 2018, 6, 72. doi:10.3390/galaxies6030072.
11. Dimitrijević, M.S.; Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M. Chemi-ionization processes in Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies. *Revisiting Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and their Place in the Universe*, 2018, p. 49.
12. Srećković, V.A.; Sakan, N.; Šulić, D.; Jevremović, D.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Free-free absorption coefficients and Gaunt factors for dense hydrogen-like stellar plasma. *MNRAS* 2018, 475, 1131–1136. doi:10.1093/mnras/stx3237.
13. Sakan, N.; Srećković, V.; Simić, Z.; Dimitrijević, M. The Application of the Cut-Off Coulomb Model Potential for the Calculation of Bound-Bound State Transitions. *Atoms* 2018, 6, 4. doi:10.3390/atoms6010004.
14. Jevremović, D.; Vujčić, V.; Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. The MOL-D database VAMDC node for molecular collisional and radiative processes. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2018, 30, 337–342.
15. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Sakan, N.M.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S.; Jevremović, D.; Vulčić, V. HF electric properties of the astrophysical plasmas. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2018, 30, 307–314.
16. Arefieff, K.N.; Bezuglov, N.N.; Dimitrijević, M.S.; Klyucharev, A.N.; Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Chirtsov,

- A.S. On the anomalous low spontaneous emission rates for p-series of sodium due to the effect of natural Förster resonance. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2018, 30, 299–306.
17. Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Sakan, N.M.; Dimitrijević, M.S. Inverse bremsstrahlung in dwarf atmospheres: the absorption coefficients and Gaunt factors. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2018, 30, 291–298.
 18. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Atom-Rydberg atom processes in the stellar atmospheres: DB white-dwarf atmospheres and solar atmosphere. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2018, 30, 281–290.
 19. Srećković, V.; Ignjatović, L.; Dimitrijević, M. Symmetric Atom-Atom and Ion-Atom Processes in Stellar Atmospheres. *Atoms* 2017, 6, 1. doi:10.3390/atoms6010001.
 20. Efimov, D.; Bruvelis, M.; Bezuglov, N.; Dimitrijević, M.; Klyucharev, A.; Srećković, V.; Gnedin, Y.; Fuso, F. Non-linear Spectroscopy of Alkali Atoms in Cold Medium of Astrophysical Relevance. *Atoms* 2017, 5, 50. doi:10.3390/atoms5040050.
 21. Ignjatović, L.; Srećković, V.; Dimitrijević, M. The Screening Characteristics of the Dense Astrophysical Plasmas: The Three-Component Systems. *Atoms* 2017, 5, 42. doi:10.3390/atoms5040042.
 22. Srećković, V.; Ignjatović, L.; Jevremović, D.; Vujčić, V.; Dimitrijević, M. Radiative and Collisional Molecular Data and Virtual Laboratory Astrophysics. *Atoms* 2017, 5, 31. doi:10.3390/atoms5030031.
 23. Srećković, V.A.; Jevremović, D.; Vujčić, V.; Ignjatović, L.M.; Milovanović, N.; Erkapić, S.; Dimitrijević, M.S. Mol-D a Database and a Web Service within the Serbian Virtual Observatory and the Virtual Atomic and Molecular Data Centre. *Astroinformatics*; Brescia, M.; Djorgovski,

- S.G.; Feigelson, E.D.; Longo, G.; Cavuoti, S., Eds., 2017, Vol. 325, IAU Symposium, pp. 393–396, [arXiv:astro-ph.IM/1706.05504]. doi:10.1017/S1743921316012643.
24. Marinković, B.P.; Jevremović, D.; Srećković, V.A.; Vujčić, V.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S.; Mason, N.J. BEAMDB and MolD - databases for atomic and molecular collisional and radiative processes: Belgrade nodes of VAMDC. *European Physical Journal D* 2017, 71, 158. doi:10.1140/epjd/e2017-70814-6.
 25. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. Sunspots opacity: the ion-atom absorption processes. *Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd* 2017, 96, 175–178.
 26. Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Sakan, N.M.; Ignjatović, L.M.; Simić, Z.; Dimitrijević, M.S. The inverse bremsstrahlung absorption coefficients and Gaunt factors in astrophysical plasmas. *Journal of Physics Conference Series*, 2017, Vol. 810, *Journal of Physics Conference Series*, p. 012059. doi:10.1088/1742-6596/810/1/012059.
 27. Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Simić, Z.; Dimitrijević, M.S. Influence of Rydberg atom-atom collisional and (n-n')-mixing processes on optical properties of astrophysical and low-temperature laboratory plasmas. *Journal of Physics Conference Series*, 2017, Vol. 810, *Journal of Physics Conference Series*, p. 012058. doi:10.1088/1742-6596/810/1/012058.
 28. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Sakan, N.M.; Ignjatović, L.M.; Jevremović, D.; Vujčić, V.; Dimitrijević, M.S. Astrophysical and laboratory plasmas: HF properties under extreme conditions. *arXiv e-prints* 2016, [arXiv:physics.plasm-ph/1612.04760].
 29. Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Atom-Rydberg-atom chemi-ionization processes in solar and DB white-dwarf atmospheres in the presence

- of (n - n')-mixing channels. *MNRAS* 2016, 458, 2215–2220. doi:10.1093/mnras/stw308.
30. Vujčić, V.; Jevremović, D.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S.; Malović, M. MOL-D: A Collisional Database and Web Service within the Virtual Atomic and Molecular Data Center. *Journal of Astrophysics and Astronomy* 2015, 36, 693–703, [arXiv:astro-ph.IM/1603.08200] doi:10.1007/s12036-015-9344-y.
 31. Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Klyucharev, A.N.; Dimitrijević, M.S.; Sakan, N.M. Non-Elastic Processes in Atom Rydberg-Atom Collisions: Review of State of Art and Problems. *Journal of Astrophysics and Astronomy* 2015, 36, 623–634, [arXiv:physics.atom-ph/1611.06333]. doi:10.1007/s12036-015-9364-7.
 32. Arefieff, K.N.; Miculis, K.; Bezuglov, N.N.; Dimitrijević, M.S.; Klyucharev, A.N.; Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A. Dynamics Resonances in Atomic States of Astrophysical Relevance. *Journal of Astrophysics and Astronomy* 2015, 36, 613–622, [arXiv:physics.atom-ph/1603.07372]. doi:10.1007/s12036-015-9358-5.
 33. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. Ion-Atom and Atom-Atom Collisional Processes and Modeling of Stellar Atmospheres. *Astronomicheskij Tsirkulyar* 2015, 1626, 1–13.
 34. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Helium-rich white dwarf atmospheres: the non-symmetric ion-atom absorption processes. *Journal of Physics Conference Series*, 2014, Vol. 565, *Journal of Physics Conference Series*, p. 012022. doi:10.1088/1742-6596/565/1/012022.
 35. Bezuglov, N.N.; Dimitrijević, M.S.; Klyucharev, A.N.; Mihajlov, A.A. Dynamic Characteristics of Excited Atomic Systems. *Journal of Physics Conference Series*, 2014, Vol. 565, *Journal of Physics Conference Series*, p. 012021. doi:10.1088/1742-6596/565/1/012021.

36. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Ion-atom radiative processes in the solar atmosphere: quiet Sun and sunspots. *Advances in Space Research* 2014, 54, 1264–1271, [arXiv:astro-ph.SR/1312.0094]. doi:10.1016/j.asr.2013.11.017.
37. Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. The ion-atom absorption processes as one of the factors of the influence on the sunspot opacity. *MNRAS* 2014, 441, 1504–1512, [arXiv:astro-ph.SR/1404.0688]. doi:10.1093/mnras/stu638.
38. Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. Absorption non-symmetric ion-atom processes in helium-rich white dwarf atmospheres. *MNRAS* 2014, 439, 2342–2350, [arXiv:astro-ph.SR/1402.6955]. doi:10.1093/mnras/stu058.
39. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S.; Metropoulos, A. The non-symmetric ion-atom radiative processes in the stellar atmospheres. *MNRAS* 2013, 431, 589–599, [arXiv:astro-ph.SR/1302.5912]. doi:10.1093/mnras/stt187.
40. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. The influence of the radiative non-symmetric ion-atom collisions on the stellar atmospheres in VUV region. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2013, 28, 73–79, [arXiv:astro-ph.SR/1311.0409].
41. Srećković, V.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Excitation and deexcitation processes in atom-Rydberg atom collisions in helium-rich white dwarf atmospheres. *A&A* 2013, 552, A33, [arXiv:astro-ph.SR/1302.6188]. doi:10.1051/0004-6361/201220699.
42. Mihajlov, A.A.; Srećković, V.A.; Ignjatović, L.J. M.; Dimitrijević, M.S.; Metropoulos, A. The quasi-molecular absorption bands in UV region caused by the non-symmetric ion-atom radiative processes in the solar photo-

- sphere. *Journal of Physics Conference Series*, 2012, Vol. 397, *Journal of Physics Conference Series*, p. 012054. doi:10.1088/1742-6596/397/1/012054.
43. Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Electrical Conductivity of Plasmas of DB White Dwarfs Atmospheres. *Publications of the Astronomical Society “Rudjer Boskovic”* 2012, 11, 331–335.
 44. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. Chemi-ionization in Solar Photosphere: Influence on the Hydrogen Atom Excited States Population. *ApJS* 2011, 193, 2, [arXiv:astro-ph.SR/1105.2134]. doi:10.1088/0067-0049/193/1/2.
 45. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Srećković, V.A.; Dimitrijević, M.S. The Influence of Chemi-Ionization and Recombination Processes on Spectral Line Shapes in Stellar Atmospheres. *Baltic Astronomy* 2011, 20, 566–571, [arXiv:astro-ph.SR/1112.6087]. doi:10.1515/astro-2017-0337.
 46. Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Electrical Conductivity of Plasma in DB White Dwarf Atmospheres. *American Institute of Physics Conference Series*; Werner, K.; Rauch, T., Eds., 2010, Vol. 1273, *American Institute of Physics Conference Series*, pp. 432–435. doi:10.1063/1.3527857.
 47. Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Electrical Conductivity Of Plasmas In Db White Dwarf Atmospheres. *Publications de l’Observatoire Astronomique de Beograd* 2010, 89, 383–386.
 48. Srećković, V.A.; Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Electrical conductivity of plasmas of DB white dwarf atmospheres. *MNRAS* 2010, 406, 590–596, [arXiv:astro-ph.SR/1208.2510]. doi:10.1111/j.1365-2966.2010.16702.x.
 49. Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Metropoulos, A.; Sakan, N.M.; Dimitrijević, M.S. The Contribution of the Absorp-

- tion Processes to the Opacity of DB White Dwarf Atmospheres in UV and VUV Regions. American Institute of Physics Conference Series; Angelopoulos, A.; Fildisis, T., Eds., 2010, Vol. 1203, American Institute of Physics Conference Series, pp. 121–126. doi:10.1063/1.3322343.
50. Klyucharev, A.N.; Zakharov, M.Y.; Matveev, A.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Chemi-ionization - experiment, theories, geocosmical perspectives. Publications of the Astronomical Society „Rudjer Boskovic” 2009, 9, 51–65.
 51. Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Srećković, V.A. The (n-n')-mixing processes in stellar atmospheres. Publications of the Astronomical Society „Rudjer Boskovic” 2009, 9, 25–34.
 52. Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A.; Sakan, N.M.; Dimitrijević, M.S.; Metropoulos, A. The total and relative contribution of the relevant absorption processes to the opacity of DB white dwarf atmospheres in the UV and VUV regions. MNRAS 2009, 396, 2201–2210. doi:10.1111/j.1365-2966.2009.14870.x.
 53. Klyucharev, A.N.; Bezuglov, N.N.; Matveev, A.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Rate coefficients for the chemi-ionization processes in sodium- and other alkali-metal geocosmical plasmas. New.Astr.Rev 2007, 51, 547–562. doi:10.1016/j.newar.2007.05.001.
 54. Mihajlov, A.A.; Jevremović, D.; Hauschildt, P.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Allard, F. The Influence of Chemi-Ionization and Chemi-Recombination Processes on H Lines in M Dwarf Atmospheres. Spectral Line Shapes in Astrophysics; Popovic, L.C.; Dimitrijević, M.S., Eds., 2007, Vol. 938, American Institute of Physics Conference Series, pp. 214–217. doi:10.1063/1.2800132.
 55. Klyucharev, A.N.; Bezuglov, N.N.; Matveev, A.A.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Chemi-ion-

- ization Processes. Alkali-metal Geocosmical Plasmas. Spectral Line Shapes in Astrophysics; Popovic, L.C.; Dimitrijević, M.S., Eds., 2007, Vol. 938, American Institute of Physics Conference Series, pp. 136–141. doi:10.1063/1.2800117.
56. Mihajlov, A.A.; Jevremović, D.; Hauschildt, P.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Alard, F. Influence of chemi-ionization and chemi-recombination processes on hydrogen line shapes in M dwarfs. *A&A* 2007, 471, 671–673. doi:10.1051/0004-6361:20077517.
57. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Sakan, N.M.; Dimitrijević, M.S. The influence of H_2^+ - photo-dissociation and $(H + H^+)$ - radiative collisions on the solar atmosphere opacity in UV and VUV regions. *A&A* 2007, 469, 749–754. doi:10.1051/0004-6361:20077206.
58. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Processes of $(n - n')$ -mixing in collisions of Rydberg $H^*(n)$ atoms with $H(1s)$ in the Solar atmosphere. *A&A* 2005, 437, 1023–1027. doi:10.1051/0004-6361:20052694.
59. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Processes of atom - atom $(n - n')$ -mixing influence on hydrogen atom Rydberg states populations in stellar atmospheres. *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi* 2005, 7, 151.
60. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S.; Djurić, Z. Symmetrical Chemi-Ionization and Chemi-Recombination Processes in Low-Temperature Layers of Helium-rich DB White Dwarf Atmospheres. *ApJS* 2003, 147, 369–377. doi:10.1086/375621.
61. Mihajlov, A.A.; Jevremović, D.; Hauschildt, P.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Alard, F. Influence of chemi-ionization and chemi-recombination processes on the population of hydrogen Rydberg states in atmospheres of late type dwarfs. *A&A* 2003, 403, 787–791. doi:10.1051/0004-6361:20030463.

62. Mihajlov, A.A.; Jevremović, D.; Ignjatović, M.L.; Hauschildt, P.; Dimitrijević, S.M. The influence of chemical ionization and chemical recombination processes on the plasma parameters in low-temperature layers of stellar atmospheres. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 2003, 22, 513–517. doi:10.1080/1055679031000136445.
63. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.; Dimitrijević, M.S.; Jevremović, D.; Hauschildt, P. Radiation and Chemi-Ionization/Recombination Processes in Atom-Atom and Ion-Atom Collisions in the Modeling of Low-Temperature Stellar Atmospheres. *Modelling of Stellar Atmospheres*; Piskunov, N.; Weiss, W.W.; Gray, D.F., Eds., 2003, Vol. 210, IAU Symposium, p. B2.
64. Dimitrijević, M.S.; Mihajlov, A.A. Influence of Ion-atom Collisional Quasimolecular Complexes on DB White Dwarf Plasma Properties. *Astronomische Gesellschaft Meeting Abstracts*; Schielicke, E.R., Ed., 2001, Vol. 18, *Astronomische Gesellschaft Meeting Abstracts*.
65. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.J.M.; Vasiljević, M.M. Chemi-ionization and chemi-recombination processes in astrophysical plasmas. *Astronomical and Astrophysical Transactions* 1999, 18, 145–149. doi:10.1080/10556799908203047.
66. Mihajlov, A.A.; Djurić, Z.; Dimitrijević, M.S.; Ljepojević, N.N. Collisional He – He*(n) chemi-ionization and dielectronic He – He⁺ – e and He²⁺ – e recombination: Differential and total reaction rate coefficients. *Phys.Scr.* 1997, 56, 631–639. doi:10.1088/0031-8949/56/6/018.
67. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Emission/absorption bands in optical and VUV spectra of partially ionized plasma generated by ion-atom collisions. *Publications de l’Observatoire Astronomique de Beograd* 1997, 57, 9.
68. Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Vasiljevic, M.M.; Dimitrijević, M.S. Processes of H-H⁺-e and H₂⁺-e recombination

- in the weakly-ionized layers of the solar atmosphere. *A&A* 1997, 324, 1206–1210.
69. Dimitrijević, M.S.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, M.; Djurić, Z. The influence of ion - atom complexes on the stellar plasma kinetic and optical characteristics of stellar atmospheres. Joint European and National Astronomical Meeting; Hadjidemetriou, J.D.; Seiradakis, J.H., Eds., 1997, p. 147.
 70. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Vasiljević, M.M. Chemi-ionization and chemi-recombination processes influence on excited atom populations in Solar atmospheres. Joint European and National Astronomical Meeting; Hadjidemetriou, J.D.; Seiradakis, J.H., Eds., 1997, p. 48.
 71. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Vasiljević, M.M. Chemi-ionization and chemi-recombination processes in solar and stellar atmospheres. *Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd* 1996, 54, 35–38.
 72. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Djurić, Z. Rate coefficients of collisional $H - H^*(n)$ ionization and $H - H^+ - e$ and $H_2^+ - e$ recombination. *Phys.Scr.* 1996, 53, 159–166. doi:10.1088/0031-8949/53/2/005.
 73. Mihajlov, A.A.; Djurić, Z.; Dimitrijević, M.S. The influence of $He-He^+-e$ and He_2^+-e recombination and $He-He^*(n)$ ionization on the population of $He^*(n)$ atoms in helium plasma. *JQSRT* 1996, 55, 141–147. doi:10.1016/0022-4073(95)00161-1.
 74. Dimitrijević, M.S.; Djurić, Z.; Ignjatović, L.M.; Mihajlov, A.A. The $He - He^+ - He$ Recombination and $He - He^*(n)$ Ionization in stellar Atmospheres. 2nd Hellenic astronomical conference; Contadakis, M.E.; Hadjidemetriou, J.D.; Mavridis, L.N.; Seiradakis, J.H., Eds., 1996, p. 200.
 75. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Djurić, Z. Radiative $He+(1s) + He(1s\ 2)$ Processes as the Source

- of the DB White Dwarf Atmosphere Electromagnetic Continuous Spectra. *ApJ* 1995, 454, 420. doi:10.1086/176493.
76. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M.; Djurić, Z. The importance of radiative $\text{He}^+(1s)+\text{He}(1s2)$ processes for the DB white dwarf atmosphere EM-continuous spectra. *Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd* 1995, 49, 171–174.
77. Ermolaev, A.M.; Mihajlov, A.A.; Ignjatović, L.M.; Dimitrijević, M.S. Continuous emission due to radiative ion-atom association and charge exchange in weakly ionized plasmas of H, He, Li and Na. *Journal of Physics D Applied Physics* 1995, 28, 1047–1057. doi:10.1088/0022-3727/28/6/005.
78. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M. The influence of ion-atom radiative collisions on the continuous optical spectra in helium-rich DB white-dwarf atmospheres. *A&A* 1994, 287, 1026–1028.
79. Dimitrijević, M.S.; Djurić, Z.; Mihajlov, A.A. Stark broadening of Al III and Cu IV lines for diagnostic of the rail gun arc plasma. *Journal of Physics D Applied Physics* 1994, 27, 247–252. doi:10.1088/0022-3727/27/2/011.
80. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.; Djurić, Z. Spectral coefficients of emission and absorption due to ion-atom radiation collisions in the solar atmosphere. *A&As* 1994, 103, 57–66.
81. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M. The influence of ion-atoms radiative collisions on the opacity in helium-rich D3 white dwarfs. *Chemically Peculiar and Magnetic Stars*; Zverko, J.; Ziznovsky, J., Eds., 1994, p. 149.
82. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.; Djurić, Z. *VizieR Online Data Catalog: Ion-atom collisions in Sun atmosphere (Mihajlov+ 1994)*. *VizieR Online Data Catalog* 1993, 410.

83. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M. Ion-atom radiative collisions and the opacity of the solar atmosphere. *Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd* 1993, 44, 73–76.
84. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ignjatović, L.M. The contribution of ion-atom radiative collisions to the opacity of the solar atmosphere. *A&A* 1993, 276, 187.
85. Mihajlov, A.A.; Ermolaev, A.M.; Dimitrijević, M.S. Continuous emission from a low-temperature helium plasma due to radiative charge exchange and radiative ion-atom recombination. *JQSRT* 1993, 50, 227–232. doi:10.1016/0022-4073(93)90120-7.
86. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Ermolaev, A.M. Radiation Charge Exchange and Radiation Ion-Atom Recombination as a Source of Continual EM Radiation from Astrophysical Plasma. *Planetary Nebulae*; Weinberger, R.; Ack-er, A., Eds., 1993, Vol. 155, IAU Symposium, p. 189.
87. Mihajlov, A.A.; Ljepojević, N.N.; Dimitrijević, M.S. Influence of ion-atom collisions on the recombination of electrons. *Journal of Physics B Atomic Molecular Physics* 1992, 25, 5121–5127. doi:10.1088/0953-4075/25/23/015.
88. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Influence of ion-atom collisions on the absorption of radiation in white dwarfs. *A&A* 1992, 256, 305–308.
89. Mihajlov, A.A.; Ljepojević, N.N.; Dimitrijević, M.S. Ion-atom complexes and the recombination in stellar plasma. *The Atmospheres of Early-Type Stars*; Heber, U.; Jeffery, C.S., Eds., 1992, Vol. 401, Lecture Notes in Physics, Berlin Springer Verlag, p. 365. doi:10.1007/3-540-55256-1_337.
90. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Ion-atom complexes and the absorption of radiation in stellar plasma. *The Atmospheres of Early-Type Stars*; Heber, U.; Jeffery, C.S., Eds., 1992, Vol. 401, Lecture Notes in Physics, Berlin Springer

Verlag, p. 362. doi:10.1007/3-540-55256-1_336.

91. Dimitrijević, M.S.; Mihajlov, A.A.; Djurić, Z.; Grabowski, B. On the influence of Debye shielding on the Stark broadening of ion lines within the classical model. *Journal of Physics B Atomic Molecular Physics* 1989, 22, 3845–3850. doi:10.1088/0953-4075/22/23/008.
92. Dimitrijević, M.S.; Mihajlov, A.A.; Popović, M.M. Stark Broadening Trends Along Homologous Sequences. *A&As* 1987, 70, 57.
93. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S. Influence of ion-atom collisions on the absorption of radiation. *A&A* 1986, 155, 319–322.
94. Mihajlov, A.A.; Dimitrijević, M.S.; Popović, M.M. Determination of Electrical Conductivity of Plasma on the Basis of the Cut-Off Coulomb Potential Model. XVII International Conference on Phenomena in Ionized Gases, held July 8-12, 1985, in Budapest, Hungary. *Contributed Papers, Volume 1. Organizing Committee ICPIG-XVII. 1985.* p. 357; Bokos, J.S.; Sörlei, Z., Eds., 1985, p. 357.

5. ЗАКЉУЧЦИ

Намера овог рада је да упозна научну заједницу са достигнућима створеним током скоро 40 година истраживања М. С. Димитријевић и сарадника.

Основни научни циљ ове сарадње био је а и још увек је истраживање утицаја различитих атомских сударних процеса на зрачење код Сунца, хладних звезда и белих патуљака – једне од завршних фаза у развоју звезда а такође и на физику Активних галактичких језгра (АГЈ). Исто тако ова истраживања су веома важна за изучавање плазми добијених у лабораторијским условима. Поред научних циљева, сарадња има такође за циљ да буде основа за образовање младих научника као и за међународну сарадњу у овој области.