

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на IV седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 25. јануара 2017. одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду "ИСПИТИВАЊЕ РЕГУЛАРНОСТИ ШТАРКОВОГ ШИРЕЊА КОД ИЗОЕЛЕКТРОНСКИХ НИЗОВА ЛИТИЈУМА И НАТРИЈУМА" из научне области физике јонизованог гаса и плазме, коју је кандидат Иринел Тапалага предао Физичком факултету у Београду дана 15. јануара 2017, подносимо следећи

РЕФЕРАТ

1. Основни подаци о кандидату:

1.1. Биографски подаци

Тапалага Иринел, дипломирани физичар, рођен је 30.4.1978. године у Панчеву, где је завршио основну и средњу школу. Дипломирао је на Физичком факултету у Београду 2009. године на смеру Теоријска и експериментална физика са просечном оценом 8,12. Колега Тапалага је тренутно студент треће године докторских студија на Физичком факултету на смеру Физика јонизованог гаса, плазме и технологија плазме са просечном оценом 10,00.

1.2. Наставна активност

Кандидат је од 2012. до 2014. ангажован на извођењу лабораторијских вежби из предмета Физика за студенте прве године Хемијског факултета. Поред тога, током 2014. године кандидат је држао лабораторијске вежбе из Физике за студенте прве године Факултета за физичку хемију. Колега Тапалага је две године предавао физику у Регионалном центру за таленте „Михајло Пупин“ из Панчева ученицима трећег и четвртог разреда. Учествовао је неколико година у припремама олимпијског тима Србије за међународну олимпијаду из физике.

1.3. Научна активност

Од 1. јуна 2011. запослен је као истраживач-приправник на Физичком факултету у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја "Дијагностика и оптимизација извора плазме значајних за примене" (ев. бр. 171034) под руководством проф. др Милорада Кураице. До сада има седам радова објављених у међународним часописима са SCI листе.

2. Опис предатог рада:

2.1. Основни подаци

Руководилац докторске дисертације је проф. др Иван Дојчиновић, ванредни професор Физичког факултета. Проф. Дојчиновић је аутор 31 рада који су публиковани у међународним часописима са SCI листе, а од тога 7 је публиковано у последњих пет година и тиме испуњава све предвиђене услове за ментора. Поред кандидата и ментора, сарадници у раду су проф. др Јагош Пурић и Нора Тркља. Комплетна истраживања везана за предату дисертацију су обављена на Физичком факултету Универзитета у Београду у Лабораторији за физику атома и у Лабораторији за физику и технологију плазме.

Докторска дисертација “Испитивање регуларности Штарковог ширења код изоелектронских низова литијума и натријума” је написана ћирилицом на српском језику. Састоји се од шест глава, са додатком списка литературе и прилозима. Дисертација је написана на 170 страна, има 79 слика и графика, 20 табела и 128 референци.

2.2. Предмет и циљ рада

Циљ обављеног истраживања је проналажење теоријског модела који би омогућио одређивање вредности Штарковог ширења за различите спектралне линије емитера (атома и јона) и параметре плазме (различите концентрације и температуре), које до сада нису мерене нити рачунате, као и утврђивање функционалне зависности Штаркове ширине, како од параметара плазме, тако и унутрашње структуре атома. Предложени метод омогућује одређивање Штаркове ширине са минимумом потребних атомских параметара. Провера поузданости постојећих резултата је веома битна због чињенице да не постоји егзактан теоријски модел и да постоји низ проблема у експерименталном одређивању Штаркове ширине, као и недовољно експерименталних података. Критички гледано, Штаркова ширина се и до сада одређивала са већом грешком, те је неопходно развијати нове методе. Предложени приступ омогућује критичку анализу великог броја доступних вредности Штаркових параметара.

Модел који се користи у раду је добијен квантномеханичким израчунавањем Штарковог ширења у плазми, при чему је коришћено неколико апроксимација, али његов коначан облик има структуру у којој Штарково ширење зависи од потенцијала јонизације са горњег нивоа електрона у прелазу и наелектрисања емитера које види електрон у прелазу. Ово је директна последица Штарковог ефекта, код којег дегенерација енергије зависи од електричног поља. Ширина линије, која је изражена у радијанима по секунди, представља распон поправке енергије узроковане Штарковим ефектом, односно пертурбацијом у електричном пољу плазме.

Основна примена резултата оваквог истраживања је у дијагностици плазме. Профили спектралних линија које емитују атоми су одређени параметрима плазме и структуром емитера, па се анализом тих профила може доћи до информација о њиховом узроку, односно о параметрима плазме. Чак и сама ширина спектралне линије носи мноштво информација о свом окружењу. У општем случају, ширина спектралне линије је повезана са параметрима плазме, из чега се види да се електронска концентрација може одредити поређењем профила спектралне линије у непознатим условима са профилем добијеним у познатим условима. Функционална зависност Штарковог ширења од електронске концентрације, је по правилу, за

вишеелектронске атоме линеарна, међутим постоје одступања од овог правила и та одступања су детаљно анализирана у овом раду. Функционална зависност од температуре је сложенија и такође је предмет предложеног истраживања. На основу података који су доступни види се да Штарково ширење опада са температуром за неке атомске прелазе, а расте за друге. Иако се у литератури наводи да је ова зависност увек монотono опадајућа или растућа за доступни температурни интервал, уочени су примери код којих је изражен максимум Штаркове ширине за одређену температуру. У раду су испитани ови примери и пронађен је модел који објашњава овакву зависност. С обзиром да потребни подаци нису доступни у одговарајућем броју, биће неопходно измерити ширине спектралних линија на потребним условима или теоријски израчунати помоћу неке од коришћених квантномеханичких апроксимација.

У анализи функционалне зависности су коришћени подаци о 44 експериментално измерених и 574 теоријски израчунатих ширина спектралних линија прикупљених из литературе и 52 спектралне линије за које је израчуната ширина у овом раду. На основу тих података је истражена могућност да се јединственом формулом опишу и линије неутрала и јона, што није био случај у ранијим радовима који се баве овом темом.

Посебан квалитет овом раду даје чињеница да је развијен приступ базама атомских података, као и података везаних за одговарајуће процесе (ефикасни пресеци). Обрада великог броја параметара је захтевала развој одговарајућих алгоритама који, с једне стране, омогућују брзу обраду података, а са друге стране омогућују квалитетну контролу и проверу процедуре и добијених резултата.

2.3. Публикације

Кандидат до сада има седам радова објављених у међународним часописима са SCI листе које се баве темом дисертације.

Вредно је споменути и неколико занимљивих чињеница које су уочене у овим радовима. Уочено је да, код система који имају синглетне и триплетне спектралне прелазе, постоји изражена разлика у понашању те две групе спектралних линија. Све ширине триплетних спектралних линија су веће од ширина синглетних спектралних линија. Све триплетне линије неког емитера које имају исти потенцијал јонизације са горњег нивоа, такође имају и готово исту ширину. Код синглетних линија то је још израженије те се зависност вредности Штарковог ширења своди на зависност од потенцијала јонизације са горњег нивоа, без изражене структуре терма који описује дати ниво. У дисертацији утицај терма није дискутован зато што су све линије литијумског и натријумског изоелектронског низа биле дублети.

Код елемената прве и друге периоде Менделејевог система елемената, уочено је да при повећању температуре, ширина спектралних линија почиње да зависи искључиво од потенцијала јонизације са горњег нивоа, односно зависност је иста код свих серија. Овај ефекат је назван преклапање серија на вишим температурама.

Код великог броја серија, ширина прелаза који има најмањи главни квантни број горњег нивоа је знатно мања од вредности која би се могла очекивати на основу података о ширинама осталих прелаза у серији. Овај ефекат је објашњен недостатком блиског пертурбујућег нивоа и прихваћен је као чињеница, па због тога такви прелазни нивои нису коришћени у даљој анализи регуларности. Тиме се постиже боља прецизност у одређивању ширина прелаза који имају велике главне квантне бројеве горњег нивоа.

2.4. Преглед научних резултата изложених у тези

На основу података о 618 спектралних линија прикупљених из литературе и 52 спектралне линије за које је израчуната ширина у овом раду, испитана је регуларност Штарковог ширења емитера који припадају литијумском и натријумском изоелектронском низу. У раду је по први пут изучавана регуларност линија ових изоелектронских низова уз коришћење података за спектралне линије и јона и неутрала одговарајућег низа. До сада је у литератури изучавање Штаркове ширине линија неутрала било издвојено од проучавања регуларности јона који су њему слични. У раду је показано да је могућ јединствен приступ у обради Штаркових ширина јона и неутрала.

Испитивана је веза између Штарковог ширења и параметара плазме (електронске концентрације и температуре) и атомских параметара. Функционална зависност Штарковог ширења од електронске концентрације, је по правилу, за вишеелектронске атоме линеарна, међутим постоје одступања од овог правила и та одступања су детаљно анализирана. Функционална зависност од температуре је знатно сложенија. На основу података који су доступни види се да Штарково ширење монотono опада са температуром за неке атомске прелазе, а расте за друге. Иако се у литератури наводи да је ова зависност увек монотона за доступни температурни интервал, уочени су примери код којих је изражен максимум Штаркове ширине за одређену температуру. Предложен је модел који квалитативно објашњава овакву зависност на основу анализе ефикасних пресека за побуду и одговарајуће расподеле електрона по енергијама.

Утврђена је функционална зависност Штарковог ширења од потенцијала јонизације са горњег нивоа и наелектрисања емитера које види електрон у прелазу. Корекцијом на поменуто наелектрисање могу се јединствено проучавати вредности Штарковог ширења за различите јоне који припадају датом изоелектронском низу. Утврђена је регуларност вредности Штарковог ширења у оквиру појединачних спектралних серија, али и у оквиру свих прелаза везаних за одговарајући изоелектронски низ.

Критички су анализирани вредности Штарковог ширења проучаваних спектралних линија. Провера поузданости постојећих резултата је веома битна због чињенице да не постоји егзактан теоријски модел и да постоји низ проблема у емпиријском одређивању Штаркове ширине, као и недовољно експерименталних података.

На основу модификоване семиемпиријске формуле, израчунате су ширине спектралних линија које припадају проучаваним изоелектронским низовима, а нису раније израчунате у литератури, нити су експериментално измерене. Тиме је допуњен скуп података чије су регуларности проучаване. Утврђено је да су се овако израчунати подаци добро слагали са подацима преузетим из литературе.

На основу утврђених регуларности успостављен је метод који омогућава да се одреди Штарково ширење спектралних линија са минимумом потребних атомских параметара. Ширине тих линија нису могле бити израчунате применом било којег другог теоријског модела, односно апроксимативних формула које се иначе користе у литератури. Израчунате ширине линија припадају јонима високог степена јонизације, па због тога нису ни експериментално мерене.

Утврђена је јединствена функционална зависност Штаркових ширина линија изоелектронских низова литијума и натријума, како од параметара плазме, тако и унутрашње структуре атома а посебно од потенцијала јонизације са горњег нивоа и наелектрисања емитера које види електрон у прелазу. На тај начин је могуће

одредити Штарково ширење за било коју спектралну линију емитера који је део изоелектронских низова литијума и натријума. Утврђено је да је однос Штарковог ширења спектралних линија изоелектронских низова, које је преузето из литературе, и Штарковог ширења које предвиђа понуђена формула, мањи од 2 за 88% спектралних линија. Уколико је одступање линија неке серије систематско, оне се могу анализирати одвојено.

Посебан квалитет овом раду даје чињеница да је развијен приступ базама атомских података, као и података везаних за одговарајуће процесе (ефикасни пресеци). Обрада великог броја параметара је захтевала развој одговарајућих алгоритама који, с једне стране, омогућују брзу обраду података, а са друге стране омогућују квалитетну контролу и проверу процедуре и добијених резултата.

Значај утврђених регуларности и израчунатих ширина спектралних линија је у дијагностици плазме која се на основу ових података може извршити, као и у могућности да се на основу тога утврде особине астрофизичких објеката који су често извори оваквих спектралних линија.

3. СПИСАК ПУБЛИКАЦИЈА КАНДИДАТА

3.1. Радови у међународним часописима

1. Tapalaga I., Dojčinović I.P., Purić J., „*Stark width regularities within magnesium spectral series*“, Mon. Not. R. Astron. Soc. (2011) 415, 503–512
2. Dojčinović I.P., Tapalaga I., Purić J., “*Stark Width Regularities within Beryllium Spectral Series*” Publications of the Astronomical Society of Australia (2011) 28(4) 281-289
3. Dojčinović I.P., Tapalaga I., Purić J., “*Stark Parameters Regularities Of Neutral Helium Lines Within Different Spectral Series*” Mon. Not. R. Astron. Soc., (2012) 419, 904–912
4. Tapalaga I., Dojčinović I.P., Milosavljević M.K., Purić J., “*Stark Width Regularities Within Neutral Calcium Spectral Series*” Publications of the Astronomical Society of Australia (2012), 29(1) 20-28
5. D. Jevtić, I.P. Dojčinović, I. Tapalaga, J. Purić, “*Stark width regularities of neutral potassium lines within different spectral series*” Bulletin of the Astronomical Society of India (2012) 40, 151–160
6. Dojčinović I.P., Tapalaga I., Purić J., “*Stark-width regularities of neutral lithium lines within different spectral series*” Mon. Not. R. Astron. Soc., (2013), 429, 2400-2406
7. Dojčinović I.P., Tapalaga I., Purić J., “*Stark width regularities within homologous spectral series of alkaline earth metals*” Bulletin of the Astronomical Society of India, (2013), 41, 281-289

3.2. Радови у зборницима међународних конференција

1. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić, “*Stark Broadening Regularities within Several Spectral Series of Neutral Magnesium*”, VII International Conference- Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT-7), September 17 – 21, 2012, Minsk, Belarus.
2. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić, “*Stark Broadening Regularities within Several Spectral Series of Neutral Helium*”, VII International Conference- Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT-7), September 17 – 21, 2012, Minsk, Belarus.

3. D. Jevtić, I. P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić, "Stark Broadening Regularities Within Neutral Sodium Spectral Lines", 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, August 27-31, 2012, Zrenjanin, Serbia.
4. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga, M. Šćepanović and J. Purić, "Stark Broadening Within 3s-np and 3d-np Spectral Lines Of Neutral Lithium", 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, August 27-31, 2012, Zrenjanin, Serbia.
5. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić, "Stark Broadening Regularities within Several Spectral Series of Neutral Potassium", 9th Symposium on Physics and Diagnostics of Laboratory and Astrophysical Plasma, Minsk 2012, Belaru.
6. J. Purić, I.P. Dojčinović and I. Tapalaga, "Stark Width Regularities within Spectral Series of Neutral Alkaline and Alkaline Earth Metals", 9th Symposium on Physics and Diagnostics of Laboratory and Astrophysical Plasma, Minsk 2012, Belarus.
7. M. I. Šćepanović, P. Dojčinović, I. Tapalaga, M. K. Milosavljević and J. Purić, "Stark Parameters Dependences on the Emitter Rest Core Charge within Transition Arrays of Multiply Charged Ions", VII International Conference- Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT-7), September 17 – 21, 2012, Minsk, Belarus.
8. M. Šćepanović, I. P. Dojčinović, I. Tapalaga, M. K. Milosavljević and J. Purić, "Stark Parameters Regularities within Transition Arrays of Multiply Charged Ions", 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, August 27-31, 2012, Zrenjanin, Serbia.
9. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga, M. Šćepanović and J. Purić, "Stark Broadening within 3s-np and 3d-np Spectral Lines of Neutral Lithium", 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, August 26-29, 2014, Zrenjanin, Serbia.
10. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga, M. Šćepanović and J. Purić, "Stark width regularities within spectral series of neutral atoms", IX Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, May 13-17, 2013, Banja Koviljača, Serbia.
11. I. P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić, "Stark broadening of spectral lines within Li isoelectronic sequence", 11th Symposium on Physics and Diagnostics of Laboratory and Astrophysical Plasma, Minsk 2016, Belarus.

4. ЦИТАТИ

1. Koryukina, E. V. and Koryukin, V. I., "Regularities in the Behaviour of Transition Probabilities in the Emission Spectrum of Argon in An Alternating Electric Field", Russian Physics Journal (2015), Volume 57, Issue 11, pp.1511-1517
2. Peach, Gillian and Dimitrijevic, Milan S., "Triennial report 2009-2012", Transactions IAU (2012), Volume 7, pp. 371-384
3. Burger, Miloš and Hermann, Jörg, "Stark broadening measurements in plasmas produced by laser ablation of hydrogen containing compounds", Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy (2016), Volume 122, pp. 118-126.
4. Peach Gillian, Dimitrijevic Milan S. and Barklem Paul S., "Triennial report 2012-2015", Transactions IAU (2015), Volume 29A, pp. 120-136

ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног, комисија је закључила да докторски рад "ИСПИТИВАЊЕ РЕГУЛАРНОСТИ ШТАРКОВОГ ШИРЕЊА КОД ИЗОЕЛЕКТРОНСКИХ НИЗОВА ЛИТИЈУМА И НАТРИЈУМА" који је предао кандидат Иринељ Тапалага даје значајан допринос области физике јонизованог гаса и плазме, и да су задовољени сви прописани услови за одобравање одбране тезе. Стога, предлажемо Научно-наставном већу Физичког факултета да одобри њену одбрану.

У Београду, 25. 03. 2017. године

Чланови комисије:

др Иван Дојчиновић, ванредни
професор Физичког факултета

др Јагош Пурић, професор емеритус
Физичког факултета

др Братислав Обрадовић, ванредни
професор Физичког факултета

др Лука Поповић, научни саветник
Астрономске опсерваторије у Београду