

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
ТЕОДОРЕ ГАЈО

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду на својој 22. седници одржаној 17. 11. 2016. године именовало је комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Теодоре Гајо под називом „Померај спектралних линија хелијума у густој нискотемпературској плазми“</p>
<p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. Др Зоран Мијатовић, редовни професор, Физика атома, молекула и јонизованог гаса, 24. 01. 2006, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду</p> <p>2. Др Миљивоје Ивковић, виши научни сарадник, Природно-математичке науке-физика, 25.05.2011., Институт за физику, Универзитет у Београду, Београд</p> <p>3. Др Милорад Кураица, редовни професор, Физика јонизованих гасова и плазме, 20. 03. 2013, Физички факултет Универзитета у Београду</p> <p>4. Др Игор Савић, ванредни професор, Физика атома, молекула и јонизованог гаса, 11. 09. 2014, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Теодора, Иштван, Гајо</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 07. 01. 1981., Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија и стечени стручни назив: Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду, Физика – модул Дипломирани физичар - Основне академске студије физике, Дипломирани физичар</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2013, Докторске академске студије физике</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Природно-математички факултет, Нови Сад, „Штарково ширење спектралних линија јонизованог аргона у плазми“, Физика атома, молекула и јонизованог гаса, 27.06.2013.</p>

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
Физика атома, молекула и јонизованог гаса

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

„Померај спектралних линија хелијума у густој нискотемпературској плазми“

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација Теодоре Гајо је написана на 108 стране, плус 4 уводне стране, 4 стране садржаја и 6 страна прилога. Текст дисертације је подељен у 4 поглавља и садржи 55 слика и графикана и 30 табела. У списку литературе је неведено 80 јединица.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и одражава текст и садржај истраживања.

У Уводу је наведен општи значај спектроскопских истраживања. Укратко је објашњен појам плазме, као и ефекти карактеристични за ову средину. Посебно је дат осврт на најзначајније теоријске приступе који изучавају Штарково ширење спектралних линија емитованих из плазме. Укратко су описане главне примене хелијума у индустрији и астрофизици као и значај мерења помераја спектралних линија емитованих из плазме. Наведене су различите методе мерења овог параметра. Истакнут је могући значај Дебајевог екранирања при већим вредностима електронске концентрације плазме. Дефинисан је циљ рада и дат је опис садржаја дисертације.

У првој Глави је изложен теоријски основ узрока ширења спектралних линија у плазми. Укратко су описане појаве природног, Доплеровог, резонантног и ван дер Валсовог ширења спектралних линија. Штарково ширење је детаљније описано јер је овај механизам ширења од највећег значаја у плазми и приказане су главне теорије које се баве том проблематиком. Ови теоријски приступи обухватају квантно-механичку и квантно-статистичку теорију ширења, као и теоријски приступ базиран на молекуларно-динамичким симулацијама. Дате су релације које ће се користити у даљем тексту приликом израчунавања теоријских вредности помераја и доприноса Дебајевог екранирања.

У другој Глави је описан извор плазме, линеарни импулсни лук. Конструкција извора плазме обезбеђује формирање плазме велике густине као и мерење помераја спектралних линија методом који не захтева одвојено снимање референтне и испитиване линије. Дат је опис електричног система за пражење и главних карактеристика коришћеног извора плазме. Детаљно је описан оптички систем који омогућава два начина снимања спектра зрачења плазме. Са једне стране је систем са монохроматором и фотомултипликатором, а са друге спектрометар опремљен ICCD камером. Објашњен је принцип снимања спектра зрачења плазме. Опис и примена извора плазме и пратећих система, као и пример снимљене спектралне линије овим системом је објављен у међународном часопису категорије M21.

У трећој Глави су описани методи одређивања електронске температуре и електронске концентрације плазме. Електронска температура плазме је одређена методом Болцмановог плота осам снимљених линија Si II. Електронска концентрација плазме је одређена на основу растојања између максимума дозвољене и забрањене компоненте линије He I 447.15 nm. Вредности електронске концентрације су проверене помоћу водоникове H_{β} линије, мерећи растојања између карактеристичних максимума. Вредности електронске концентрације плазме произведене у овом експерименту далеко надмашују вредности у до сада објављеним експериментима у којима је

проучаван померај линија хелијума. Ова чињеница омогућила је изучавање ефеката који се јављају при високим електронским концентрацијама као што је Дебајев ефекат.

У четвртој Глави су приказани резултати мерења Штаркових помераја спектралних линија неутралног хелијума. Описан је метод мерења помераја максимума испитиваних спектралних линија и процењена је електронска концентрација млаза плазме као извора референтних спектралних линија. Описан је процес одређивања теоријских вредности помераја на максимуму испитиваних спектралних линија на основу семикласичне теорије, као и утицаја Дебајевог екранирања и утицаја динамике јона на померај. Приказани су резултати Штаркових параметара испитиваних линија добијених у различитим експериментима других аутора. Ови експерименти су укратко описани у смислу извора плазме, методе одређивања електронске температуре и концентрације плазме, гасне температуре и Штаркових параметара, као и провере и елиминације осталих утицаја на облик профила линија. Сви експериментални подаци су приказани табеларно и графички. Подаци приказани у овој дисертацији су упоређени са свим доступним експерименталним резултатима у литератури. На основу тога је показано да је слагање експерименталних података релативно добро при нижим вредностима електронске концентрације. При вишим вредностима концентрације се, због недостатка довољног броја мерења, није могао извести никакав значајнији закључак у вези слагања експерименталних података. Ова чињеница указује на потребу даљих мерења Штарковог помераја при већим вредностима електронске концентрације. На основу експерименталних података за линију He I 706.52 nm предложена је функција која повезује померај са електронском концентрацијом. За линију He I 728.14 nm проверено је слагање експерименталних вредности помераја са већ постојећом релацијом између помераја и електронске концентрације и њено важење је умерено на веће вредности електронске концентрације. Ове релације се могу користити било за дијагностичке сврхе било за упоређивање са новим или постојећим теоријским подацима. Приказани резултати као и резултати других аутора су упоређени са одговарајућим теоријским прорачунима семикласичне теорије као и са резултатима теоријских приступа заснованих на квантној статистици и на молекуларно-динамичким симулацијама. Најбоље слагање измерених вредности помераја је са резултатима семикласичне теорије. Анализа слагања мерених и вредности помераја добијених применом семикласичне теорије је довела до закључка да је потребно кориговати теоријске вредности сударне полу-полуширине и помераја. За сваку испитивану линију су предложени одговарајући корекциони фактори. Испитан је утицај Дебајевог екранирања на померај испитиваних линија при већим вредностима електронске концентрације и указано је на потребу поправке семикласичних теоријских вредности помераја урачунавањем овог утицаја. Резултати су публиковани у међународном часопису категорије M21.

У Закључку су јасно сумирани резултати и анализе.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. M. Ivković, T. Gajo, I. Savić, N. Konjević, The discharge for plasma Stark shift measurement and results for He I 706.522 nm line, *J. Quant. Spectr. Radiat. Transfer*, 161, 197-202 (2015). M21

2. T. Gajo, M. Ivković, N. Konjević, I. Savić, S. Djurović, Z. Mijatović and R. Kobilarov, Stark shift of neutral helium lines in low temperature dense plasma and the influence of Debye shielding, *MNRAS*, 455, 2969–2979 (2016). M21

3. T. Gajo, M. Ivković, I. Savić, Z. Mijatović, S. Djurović and N. Konjević, The influence of Debye screening on the shift of the He I 706.52 nm spectral line, *Contributed papers of the 28th International Symposium on the Physics of Ionized Gases*, Belgrade, p. 232-235 (2016). M33

4. Teodora Gajo, Experimental study of the influence of Debye shielding on the Stark shift of neutral helium lines in dense plasmas, *Progress Report, Contributed papers of the 28th International Symposium on the Physics of Ionized Gases*, Belgrade, p. 217 (2016). M32

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У овом раду су приказани резултати Штаркових помераја за осам спектралних линија неутралног хелијума при електронским концентрацијама од $6.2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ до $70 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$. Један од главних циљева рада на овој теми је експериментално испитивање утицаја Дебајевог екранирања на померај ових линија. Потреба за овим испитивањима је проистекла првенствено из малог броја експерименталних података о Штарковом померају при већим електронским концентрацијама када утицај Дебајевог екранирања може да буде знатан. Други разлог за ова мерења је провера постојећих теорија Штарковог ширења од којих неке у својим прорачунима укључују Дебајево екранирање, док га други занемарују.

Као извор плазме је коришћен линеарни импулсни лук који омогућава формирање плазме високе електронске концентрације. Вредности електронске концентрације плазме произведене помоћу овог извора далеко надмашују вредности у до сада објављеним експериментима у којима је проучаван померај линија хелијума.

Приказан је метод одређивања помераја максимума испитиваних спектралних линија који, због специфичне конструкције извора плазме, не захтева одвојено снимање референтне и испитиване линије, као ни компликованију обраду података. Да би се добили поуздани експериментални подаци, посебна пажња је посвећена сваком делу експерименталног рада, извору плазме, условима у плазми, начину прикупљања експерименталних података, као и дијагностици плазме.

Добијени резултати Штарковог помераја су упоређени са резултатима објављених од стране различитих аутора, као и са теоријским вредностима добијених на основу три различита приступа. На основу свих експерименталних података за линију He I 706.52 nm предложена је функција која повезује померај са електронском концентрацијом. За линију He I 728.14 nm проверено је слагање експерименталних вредности помераја са већ постојећом релацијом између помераја и електронске концентрације и њено важење је померено на веће вредности електронске концентрације. Ове релације се могу користити било за дијагностичке сврхе било за упоређивање са новим или постојећим теоријским подацима. Указано је, такође, и на потребу даљих мерења Штарковог помераја при још већим вредностима електронске концентрације.

Показано је да се резултати теоријског приступа добијених применом квантне статистике добро слажу са резултатима овог рада при ниским електронским концентрацијама, док при вишим долази до великог одступања у случају када је урачунат утицај Дебајевог екранирања. Овакв резултат указује на потребу даљег развијања теорије, као и на потребу прикупљања нових експерименталних података при већим вредностима електронске концентрације. Слагање мерених вредности са резултатима теоријског приступа који се базира на молекуларно-динамичким симулацијама је добро за четири испитиване линије, за три линије је одступање веће од 50 %, док за једну линију нису дати подаци. Услед овако разноликог резултата није се могао донети конкретнији закључак о ваљаности овог приступа. Детаљан теоријски прорачун је урађен на основу семикласичне теорије. Посебно су израчунате вредности Штарковог помераја сваке линије, проверен је утицај јона на померај, док је утицај Дебајевог екранирања одређен додатно као корекција на укупни померај. Упоређивањем мерених вредности помераја са резултатима ове теорије са и без урачунате корекције на екранирање је проверен да ли, и при којим концентрацијама Дебајево екранирање долази до изражаја. Закључено је да при вишим концентрацијама неопходно урачунати утицај Дебајевог екранирања на померај, као и да се теоријске вредности електронске полу-полуширине и помераја морају кориговати одговарајућим корекционим факторима који су дати у овом раду за сваку линију.

Приказани резултати Штаркових помераја спектралних линија неутралног хелијума су од великог значаја, како за дијагностику лабораторијских тако и астрофизичких плазми. Овим резултатима проширена је и унапређена постојећа база експерименталних података. Осим тога ови подаци могу бити од користи за тестирање постојећих и нових теоријских прорачуна.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА
Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидат је обавио истраживања у складу са планом датим у пријави теме докторске дисертације. Текст тезе на јасан и разумљив начин приказује резултате рада са свим неопходним техничким и теоријским детаљима. Извршено је упоређивање добијених резултата са постојећим резултатима, као и њихово упоређивање са теоријским предвиђањима. Значај резултата је посебно истакнут.

Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата ове докторске дисертације.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Докторска дисертација је у потпуности у складу са текстом у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Дисертација садржи све битне елементе, теоријски увод, опис експеримента, приказ и анализу резултата као и закључак и списак одговарајуће литературе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци
Дисертација садржи оригинални и врло значајан допринос науци са више аспеката. Свакако најважнији аспект се односи на ефекат Дебајевог екранирања као једног од фундаменталних ефеката у физици. Дебајево екранирање, као ефекат који се појављује у различитим срединама и стањима материје, је битан ефекат који утиче на међучестичне и колективне интеракције. У плазми, која се великим делом састоји од слободних наелектрисаних честица, екранирање емитера зрачења облаком електрона утиче на вредност укупног електричног поља у којем се налази емитер (атом или јон). Ефекат првог реда, који утиче на емисију зрачења емитера, је утицај електричног микропоља у плазми које потиче од свих присутних наелектрисаних честица у плазми. Утицај овог поља на линијско зрачење атома или јона се огледа у значајном ширењу и померају спектралних линија, као и појави додатних ефеката, као што је појава асиметрије емитованих линија. Величина ширења и помераја емитованих линија је у уској вези са јачином електричног микропоља у плазми и на основу вредности ширина и помераја спектралних линија, могуће је одредити електронску концентрацију плазме, као један од најважнијих параметара плазме. Ефекат другог реда који утиче на ширину и померај линија емитованих из плазме је утицај Дебајевог екранирања. Теоријски је овај ефекат подробно истражен и експериментални резултати су до сада били кориговани на основу теоријских претпоставки, али експерименталних доказа и резултата који се односе на величину овог ефекта у плазми није било. У овом раду су мерени помераји спектралних линија емитованих од стране атома хелијума из плазме високе густине. На основу добијених експерименталних резултата доказано је, не само постојање ефекта Дебајевог екранирања, него први пут експериментално и његова квантификација. Квантификација овог ефекта значајно доприноси тачности метода одређивања електронске концентрације у плазми које се заснивају на померају спектралних линија, али и на њиховом ширењу.

Други изузетно важан научни допринос је доказивање важности експерименталних мерења помераја и ширења спектралних линија из овог рада која су се вршила током претходних деценија.

Наиме, корекција резултата добијених у овом раду, користећи резултате претходних, бројних мерења, омогућила је доказивање постојања ефекта Дебајевог екранирања и његову квантификацију.

Трећи допринос су резултати мерења помераја спектралних линија неутралног хелијума на високим електронским концентрацијама.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Комисија није уочила недостатке који би утицали на резултате истраживања или на изведене закључке.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

да се докторска дисертација „Померај спектралних линија хелијума у густој нискотемпературској плазми“ прихвати и да се кандидату Теодори Гајо одобри одбрана.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

У Новом Саду

24. 11. 2016.

Др Зоран Мијатовић,
Редовни Професор, ПМФ, Нови Сад
Председник

Др Миливоје Ивковић,
Виши научни сарадник, Институт за физику,
Универзитет у Београду, Београд
Ментор

Др Милорад Кураица,
Редовни Професор,
Физички факултет, Београд
Члан

Др Игор Савић,
Ванредни Професор, ПМФ, Нови Сад
Ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.