

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

Предмет: извештај о поднетој докторској дисертацији кандидата мр Мирка Радуловића.

Одлуком Наставно-научног већа Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу, број 1050/XI-2, одржаној дана 28.12.2011, одређени смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

**»НЕТЕРИНА ТЕОРЕМА И ТЕОРИЈЕ ТИПА
КОРИГОВАНЕ АМОСОВ-ДЕЛОНЕ-КРАЈНОВ ТЕОРИЈЕ«**

кандидата мр Мирка Радуловића, асистента на Природно-математичком факултету у Крагујевцу. Након прегледа докторске дисертације подносимо Научно-наставном већу Природно-математичког факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

Докторска дисертација кандидата мр Мирка Радуловића изложена је на 111 страна, и садржи повету, предговор, садржај, summary, сепарате свих публикованих радова кандидата у вези с докторском дисертацијом, као и пет поглавља:

1. Преглед области
2. О Нетериној теореме
3. О АДК теорији
4. Королар Нетерине теореме за теорије типа кориговане АДК теорије
5. Закључак
6. Литература.

Дисертација садржи 15 слика, 478 формула и 74 литературне јединице.

Преглед садржаја урађене дисертације

Текст дисертације грубо може бити подељен на два дела, од којих се први (поглавља 1 и 3) уопштено говорећи тиче Амосов-Делоне-Крајнов теорије (надаље: АДК теорија!), док се други (поглавља 2 и 4) односи на поступак добијања королара Нетерине теореме који је од значаја при разматрањима закона одржања у теоријама које методолошки комбинују квантни и класични приступ (чији би типичан представник била управо АДК теорија).

У првом поглављу дат је концизно изложен историјски преглед развоја експериментално богате области интеракције ласерских поља са атомима. Такође су укратко представљени и најзначајнији теоријски модели којима се описују експериментално добијени резултати, а као величина од посебног интереса издваја се брзина јонизационе вероватноће. Посебан акценат стављен је на појаве вишефотонске јонизације и тунелне јонизације, као два међусобно конкурентна процеса; који ће се од њих одвијати одређено је Келдишовим параметром адијабатичности, чија вредност зависи од карактеристичних параметара система атом + поље (фреквенција и јачина ласерског поља, уз енергију јонизације датог атома).

У другом поглављу кандидат се позабавио детаљним извођењем општег облика Нетерине теореме, заснованим не на Хамилтоновом (као уобичајеном) већ на Лагранжовом формализму (чиме се обезбеђује релативистичка инваријантност теорије од самог почетка), будући да се представљено извођење односи на континуална поља у четвородимензионалном простор-временском континууму. Поступак се заснива на увођењу континуалних трансформација координата (припадају Поенкареовој групи непрекидних трансформација), а које ће за последицу имати континуалне трансформације функција поља (које зависе од одређеног броја параметара), као и на коришћењу принципа минимума дејства, чиме је добијен тензорски исказан општи облик Нетерине теореме, да поменути трансформацијама одговара одређен број динамичких инваријанти (закони одржања).

У трећем поглављу, прво су наведене основне поставке адијабатског принципа, на коме се, као теоријској основи, базира Ландау-Дихнеова теорија адијабатске апроксимације. Применом њених метода одређена је вероватноћа оних јонизационих процеса за које се претпоставља да врло дуго трају, позната под називом вероватноћа Ландау-Дихнеове адијабатске апроксимације.

Као следећи корак, кандидат је показао да се основни резултат (израз за вероватноћу јонизације) парадигматске Келдишове теорије може на знатно једноставнији начин добити коришћењем метода Ландау-Дихнеове теорије адијабатске апроксимације, прво у случају нултог иницијалног импулса електрона избаченог из атома ласерским пољем, а потом у случају када је тај импулс различит од нуле.

Након овога је наведен први оригинални допринос кандидата поступку добијања коригованог облика АДК теорије: испитано је на који начин утичу додатни чланови у степену развоју функција (које се нужно јављају применом Ландау-Дихнеовог адијабатског метода) на Келдишов израз за вероватноћу јонизације.

Следи одређивање кључног израза АДК теорије: израза за вероватноћу тунелне јонизације, добијеног применом метода Ландау-Дихнеове адијабатске теорије на систем у коме је

сада укључена Кулонова интеракција у процес ослобађања електрона из атома, при чему је примењена апроксимација јаког поља.

У горњем поступку се у оригиналном извођењу теорије поткрала једна недоследност: Кулонова интеракција није била укључена у све фазе развоја АДК теорије - била је занемарена у поступку израчунавања повратне тачке. Кандидат је стога укључио поменућу интеракцију у све фазе формирања АДК теорије, чиме је добио кориговани облик формуле за вероватноћу тунелне јонизације. Постепено стицање увида у све последице добијене формуле које следе њеном применом на различите експерименталне поставке које се срећу у пракси, резултирало је објављивањем радова кандидата означеним бројевима [2-6], наведеним ниже.

Четврто поглавље докторске дисертације директна је последица радова означених бројевима [1, 7], који су довели до формулисања королара Нетерине теореме. Прво је наведено на који се начин применом наведеног королара може одредити зашто долази до размимоилажења у два могућа интерпретацијама славног Штерн-Герлаховог експеримента, од којих она историјски старија говори о путањама електрона након проласка кроз нехомогено магнетно поље, док новија тврди да се о путањама електрона уопште и не може говорити. Овај део поглавља заснован је на раду [7]. Потом је дат (сасвим генералан) поступак добијања закона одржања квадри-вектора енергије-импулса при трансформацији транслације координата, као и закон одржања тензора момента импулса/спина при трансформацији ротације координата. Затим је на основу њих изведен королар Нетерине теореме, који даје важну информацију о границама применљивости теорија које методолошки комбинују квантни и класични приступ (каква је коригована АДК теорија). Наиме, испоставило се да квадри-ротације доводе до одржања квадри-вектора момента импулса (тродимензионални момент импулса плус спин), премда ово не може важити за теорије које комбинују квантни и класични приступ, пошто би све вредности момента импулса у оном делу теорије у коме се поље третира класично имале вредности из континуалног, док би у оном њеном делу који атом третира квантно оне морале припадати дискретном делу спектра.

Последица је измена типа непрекидности параметара: у класичном случају користе се непрекидне функције, док се у квантном користе оператори који нису непрекидни, већ затворени. Затвореност је особина оператора неопходна да би се они могли користити у квантно-механичком формализму ако нису ограничени, а самим тим ни непрекидни. Управо је то случај са највећим бројем основних квантно-механичких оператора, укључујући и оператор момента импулса. Последица свега овога јесте да нема глатке повезаности између класичног и квантног дела мешовитих теорија, те да се закључци таквих теорија, а који се односе на све што се може довести у везу са моментом импулса, морају сматрати непоузданим.

У закључку је дат сажет преглед главних резултата докторске дисертације. Такође је наведено на којим се основама електромагнетно поље ласера може третирати као класично: зато што је у процесима нелинеарне оптике по дефиницији потребан огроман број фотона за јонизацију атома, што представља одавно познати услов за прелазак са квантног на класични формализам: број честица који се у систему разматра тежи бесконачности.

Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

У докторској дисертацији кандидата Мирка Радуловића добијен је кориговани облик АДК теорије, који укључује Кулонову интеракцију и у оне фазе развоја теорије где је она била потпуно занемаривана раније. Такође је кандидат, применом метода тензорске анализе, добио королар Нетерине теореме, који представља (за сада додуше само квалитативно) мерило оцењивања поузданости резултата теорија које комбинују квантни и класични приступ (а чији је типичан представник управо АДК теорија).

Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Имајући увид у актуелно стање у изучавању интеракције јаких ласерских поља са атомима, комисија закључује да докторска дисертација кандидата Мирка Радуловића садржи оригиналне научне резултате који нису били предмет ниједног до сада објављеног истраживања у овој области. Наведени королар Нетерине теореме представља први покушај коришћења Нетерине теореме за проверу поузданости резултата одређеног типа теорија.

Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Кандидат Мирко Радуловић бави се научним радом у области интеракције атома са јаким ласерским пољима дужи низ година, о чему сведочи и већи број радова наведених ниже. Такође, кандидат је био учесник у два домаћа научна пројекта.

Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Предати рукопис »Нетерина теорема и теорије типа кориговане Амосов-Делоне-Крајнов теорије« кандидата мр Мирка Радуловића у потпуности и по обиму и по квалитету испуњава првобитно постављене захтеве приликом пријављивања теме докторске дисертације.

Научни резултати докторске дисертације

Као резултат рада на докторској дисертацији, Мирко Радуловић је као коаутор до сада објавио 7 научних радова у часописима са листе цитираних часописа (SCI):

- [1] V.M. Ristić and M.M. Radulović, »*Corollary to Noether's theorem about the conservation of angular momentum and spin in theories that are dealing with strong laser fields*«,

- [2] V.M. Ristić, **M.M. Radulović** and T.S. Premović, »*Turning point behaviour in tunnel ionization of atoms in super-strong, low-frequency laser fields*«,

- [3] V.M. Ristić, J.M. Stevanović and **M.M. Radulović**, »*Transition rate dependence on the improved turning point in ADK-theory*«,

- [4] V.M. Ristić, T.B. Miladinović and **M.M. Radulović**, »*Transition Rate Dependence on the Non-Zero Initial Momentum in the ADK-Theory*«,

- [5] V.M. Ristić, T.B. Miladinović and **M.M. Radulović**, »*Analyzing the Transition Rates of the Ionization of Atoms by Strong Fields of a CO₂ Laser Including Nonzero Initial Momenta*«,

- [6] V.M. Ristić, T.B. Miladinović and **M.M. Radulović**, »*Calculating Ionization Transition Rate for Circularly Polarized Fields, Including Non-Zero Initial Momentum*«,

- [7] V.M. Ristić, **M.M. Radulović** and T.B. Miladinović, »*Stern-Gerlach Experiment's Interpretations and Noether's Theorem*«, *Int. J. Theor. Phys.*, Vol. **50**, No. **11**, 3602-3609

Резултати представљени у радовима [1, 7] првенствено се односе на формулисање королара Нетерине теореме, као и применом истог на одређивање поузданости резултата добије-

них у теоријама које методолошки комбинују квантни и класични приступ. Резултати радова [2-6] односе се на кориговање оригиналног облика АДК теорије, као и на његову примену у тумачењу добијених експерименталних резултата различитих експеримената.

Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати добијени у овој дисертацији, а који се тичу коригованог облика АДК теорије, могу наћи примену у тренутно актуелним проучавањима интеракције јаких ласерских поља са молекулима. Овде формулисани королар Нетерине теореме може се користити да се одреди који се резултати теорија које комбинују квантни и класични приступ могу сматрати поузданим, а који не.

Начин презентирања резултата научној јавности

Резултати до којих је кандидат дошао представљени су научној јавности кроз публиковане радове у часописима који се налазе на листи цитираних часописа (SCI).

На основу изложеног, Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК

Комисија сматра да приложени текст докторске дисертације кандидата мр Мирка Радуловића под називом »Нетерина теорема и теорије типа кориговане Амосов-Делоне-Крајнов теорије« у потпуности испуњава циљеве постављене у теми коју је прихватило Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Крагујевцу. У процесу истраживања као и при уобличавању и финализацији текста овог рада кандидат је показао да влада потребним теоријским знањима и способностима за самостална истраживања, док систематски приступ као и свестрана анализа указују на то да је кандидат овладао научном облашћу под коју потпада тема докторске дисертације, као и да поседује одговарајућу методолошку стручност и способност. Презентирани рад кандидата мр Мирка Радуловића по квалитету, квантитету као и оствареним резултатима представља значајан научни допринос у области физике, а чињеница да задовољава законске и остале специфичне услове потребне за израду докторске дисертације говори о томе да испуњава највише критеријуме предвиђене за успешну докторску дисертацију.

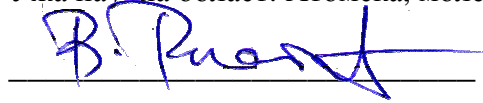
На основу горе изнетих резултата и података о раду »Нетерина теорема и теорије типа кориговане Амосов-Делоне-Крајнов теорије« кандидата мр Мирка Радуловића, као и чињенице да је кандидат објавио седам чланака из овог рада у часописима са SCI листе, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у

Крагујевцу да понуђени рукопис под називом »Нетерина теорема и теорије типа кориговане Амосов-Делоне-Крајнов теорије« коју је поднео кандидат мр Мирко Радуловић прихвати као докторску дисертацију, те да омогући њену јавну одбрану у складу са Законом и нормативним актима Природно-математичког факултета и Универзитета у Крагујевцу.

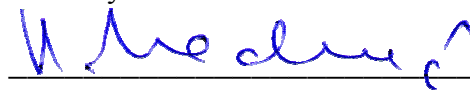
У Крагујевцу
10.01.2012. год.

КОМИСИЈА

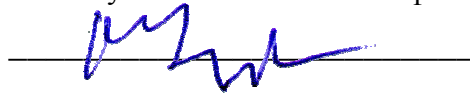
Др Владимир Ристић, ванредни професор
Природно-математички факултет, Крагујевац,
Ужа научна област: Атомска, молекуларна и оптичка физика, **ментор**



Др Наташа Недељковић, редовни професор
Физички факултет, Београд,
Ужа научна област: Физика атома и молекула



Др Мирољуб Дугић, редовни професор
Природно-математички факултет, Крагујевац,
Ужа научна област: Квантна физика



ПРИЛОГ: Листа објављених радова кандидата

- [1] V.M. Ristić and M.M. Radulović, »*Corollary to Noether's theorem about the conservation of angular momentum and spin in theories that are dealing with strong laser fields*«, *Laser Phys. Lett.*, Vol. **1**, No. **2**, 79-81 (2004) ISSN: 1612-2011
DOI: 10.1002/lapl.200310024
[Импакт фактор: **1.225**; 13/52; 2005; Subject Category: Instruments & Instrumentation] [M21]
- [2] V.M. Ristić, M.M. Radulović and T.S. Premović, »*Turning point behaviour in tunnel ionization of atoms in super-strong, low-frequency laser fields*«, *Laser Phys. Lett.*, Vol. **2**, No. **6**, 314-317 (2005) ISSN: 1612-2011
DOI: 10.1002/lapl.200410187
[Импакт фактор: **1.225**; 13/52; 2005; Subject Category: Instruments & Instrumentation] [M21]
- [3] V.M. Ristić, J.M. Stevanović and M.M. Radulović, »*Transition rate dependence on the improved turning point in ADK-theory*«, *Laser Phys. Lett.*, Vol. **3**, No. **6**, 298-300 (2006) ISSN: 1612-2011
DOI: 10.1002/lapl.200610009
[Импакт фактор: **1.225**; 16/53; 2006; Subject Category: Instruments & Instrumentation] [M21]
- [4] V.M. Ristić, T.B. Miladinović and M.M. Radulović, »*Transition Rate Dependence on the Non-Zero Initial Momentum in the ADK-Theory*«, *Acta Phys. Pol. A*, Vol. **112**, No. **5**, 909-914 (2007) ISSN: 0587-4246
Линк: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/112/a112z529.pdf>
[Импакт фактор: **0.370**; 55/69; 2007; Subject Category: Physics, Multidisciplinary] [M23]
- [5] V.M. Ristić, T.B. Miladinović and M.M. Radulović, »*Analyzing the Transition Rates of the Ionization of Atoms by Strong Fields of a CO₂ Laser Including Nonzero Initial Momenta*«, *Laser Phys.*, Vol. **18**, No. **10**, 1183-1187 (2008) ISSN: 1054-660X
Линк: <http://www.springerlink.com/content/95553415174167m6/fulltext.pdf>
[Импакт фактор: **0.575**; 46/64; 2008; Subject Categories: Optics] [M23]
- [6] V.M. Ristić, T.B. Miladinović and M.M. Radulović, »*Calculating Ionization Transition Rate for Circularly Polarized Fields, Including Non-Zero Initial Momentum*«, *Acta Phys. Pol. A*, Vol. **116**, No. **4**, 504-506 (2009) ISSN: 0587-4246
Линк: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/116/a116z417.pdf>
[Импакт фактор: **0.367**; 59/71; 2009; Subject Category: Physics, Multidisciplinary] [M23]
- [7] V.M. Ristić, M.M. Radulović and T.B. Miladinović, »*Stern-Gerlach Experiment's Interpretations and Noether's Theorem*«, *Int. J. Theor. Phys.*, Vol. **50**, No. **11**, 3602-3609 (2011) ISSN: 0020-7748
DOI: 10.1007/s10773-011-0867-y
[Импакт фактор: **0.593**; 51/80; 2010; Subject Category: Physics, Multidisciplinary] [M23]