

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

### ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног  
родитеља и име Димитријевић, Душана Драгољуб  
Датум и место рођења 14.4.1974. године, Параћин, Србија

### Основне студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Природно-математички факултет  
Студијски програм Физика  
Звање Дипломирани физичар  
Година уписа 1994.  
Година завршетка 2000.  
Просечна оцена 8,29

|                                     |      |        |          |
|-------------------------------------|------|--------|----------|
| ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ - НИШ |      |        |          |
| Примљено: 30.1.2015.                |      |        |          |
| ОП. ЈЕД.                            | Број | Приход | Безвред. |
| 01                                  | 2496 |        |          |

### Магистер студије, магистарске студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Природно-математички факултет  
Студијски програм Физика  
Звање Магистар физичких наука  
Година уписа 2000.  
Година завршетка 2009.  
Просечна оцена 9,16  
Научна област Физика  
Наслов завршног рада Тахиони у класичној и квантној механици

### Докторске студије

Универзитет Универзитет у Нишу  
Факултет Природно-математички факултет  
Студијски програм Физика  
Година уписа 2008.  
Остварен број ЕСПБ бодова 150  
Просечна оцена 9,50

### НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације Динамика тахионских поља у класичној и квантној космологији  
Име и презиме ментора, звање Горан С. Ђорђевић, редовни професор  
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације Одлука НСВ број 8/17-01-008/14-005 од 22.9.2014. године

### ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна 107  
Број поглавља 8  
Број слика (шема, графикона) 1  
Број табела 0  
Број прилога 3

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА  
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

| Р. бр. | Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице  | Категорија |
|--------|--|------------|
| 1      | <p>G.S. Djordjevic, <u>D.D. Dimitrijevic</u> and M. Milosevic, On Canonical Transformation and Tachyon-Like "Particles" in Inflationary Cosmology, Romanian Journal of Physics 2016, Vol. 61, no. 1-2 (прихваћен за штампу)</p> <p>У овом раду је разматрана класична и квантна динамика система описаних лагранжијаном <i>DBI</i> типа, мотивисана њиховом применом у теорији космолошке инфлације и као прилог разумевању могућег механизма и описивања квантне фазе њеног настанка. Анализирана је динамика у лимесу просторно хомогеног поља, конструисан локално еквивалентни лагранжијан применом процедуре са канонским трансформацијама. Акцент разматрања је на степеним тахионским потенцијалима са негативним целобројним изложоцем. Пронађен је један случај који се трансформацијом преводи у локално еквивалентни квадратични лагранжијан. Користећи Фејнманов прилаз израчуната су класична дејства и одговарајуће амплитуде прелаза на Архимедовим и неархимедовим просторима. Разматрано је конструисање аделичног модела и дискутована су ограничења физичких величина која следе из услова постојања вакуумских стања.</p>                            | M23        |
| 2      | <p><u>D.D. Dimitrijevic</u>, G.S. Djordjevic and M. Milosevic, Classicalization and Quantization of Tachyon-like Matter on (non)Archimedean Spaces, Romanian Reports in Physics, 2015, Vol. 57, no. 4 (прихваћен за штампу)</p> <p>Овај рад је мотивисан тзв. транс-Планковим проблемом у космологији, прецизније у моделовању веома ране космолошке еволуције, тј. периода инфлације. Разматран је тахионски лагранжијан нестандардног типа, и одговарајући - локално еквивалентни лагранжијан стандардног (канонског) облика. Кључни део рада је представљање оригиналне процедуре налажења локално еквивалентних лагранжијана коришћењем класичних канонских трансформација. Поступак је илустрован на веома значајним примерима из модерне инфлационе космологије: тахионски потенцијал експоненцијалног облика; тахионски потенцијал облика инверзног хиперболичког косинуса. Израчунати су пропагатори за одговарајуће квантне моделе у реалном и <i>p</i>-адичним случајевима. Конструисан је аделични модел, одређене таласне функције основног стања у <i>p</i>-адичном сектору и разматране су физичке импликације добијених егистенције вакуумских стања.</p> | M22        |
| 3      | <p><u>D.D. Dimitrijevic</u>, G.S. Djordjevic and Lj. Nestic, Quantum Cosmology and Tachyons, Fortschritte der Physik, 2008, Vol. 56, no. 4-5, 412</p> <p>У овом раду су разматрани тзв. „котрљајући“ тахионски системи у квантној космологији, у оквиру минисуперпросторних модела над реалним, <i>p</i>-адичним и аделичним просторима. Сенова ефективна <i>DBI</i> теорија са експоненцијалним потенцијалом у Каровом 0-димензионалном прилазу доводе до модела чији је класично-механички аналогон систем у присуству спољашње константне силе са квадратичним пригушењем. У овом раду су по први пут пронађене трансформације које преводe систем у квадратичан, што је омогућило коришћење Фејнмановог квантно-механичког формализма за формулисање аделичног модела и дискутовани су услови за (не)стабилност вакуума за модел са експоненцијалним потенцијалом, који директно следи из теорије струна и модела <i>D</i>-брана.</p>  | M21        |
| 4      | <p><u>D.D. Dimitrijević</u>, G.S. Djordjević, M. Milošević and Lj. Nešić, DBI-Type Tachyons for Inverse cosh Potential, Topical Issue "Advances in Theoretical and Mathematical Physics, 10 Years of the SEENET-MTP" Facta Universitatis - Series Physics. Chemistry and Technology, 2014, Vol. 12, No.2, 117</p> <p>У овом раду су разматрани тахионски системи на примеру тахионског потенцијала инверзног косинус хиперболичког типа и њихове космолошке импликације у <i>p</i>-адичном и аделичном случају. Разматрања су делом мотивисана моделом ефективне теорије поља отворене струне на <i>D</i>-брани. Представљена су детаљна израчунавања језгра оператора еволуције на метричким и ултраметричким просторима, из којих се добијају услови за стабилност аделичног основног стања локално еквивалентних лагранжијана у облику карактеристичне функције <i>p</i>-адичних целих бројева. Показано је да у оба случаја локално еквивалентни лагранжијан одговара инверзном осцилатору, што одговара одбојној сили која може генерисати инфлаторну појаву.</p>   | M14        |
| 5      | <p><u>D.D. Dimitrijevic</u>, G.S. Djordjevic, M. Milosevic and D. Vulcanov, On Classical and Quantum Dynamics of Tachyon-like Fields and their Cosmological Implications, AIP Conf. Proc., 2014, 1634, 9</p> <p>У овом раду су разматрани тахионски системи са потенцијалима експоненцијално опадајућег и инверзног косинус хиперболичког типа. Добијени одговарајући локално еквивалентни лагранжијани су квадратичног записа. У складу са квантним пореклом инфлаторног ширења свемира дискутована је <i>p</i>-адична и аделична генерализација модела. Такође је дискутована могућности налажења генералног поступка којим би се, на основу облика тахионског потенцијала, могла извршити класификација потенцијала и почетних <i>DBI</i> лагранжијана чији ће локално еквивалентни лагранжијан бити квадратичног облика, а тиме и директно - аналитички квантован. Разматрана је општа једначина кретања за све лагранжијане који следе из Сенове претпоставке и Сеновог лагранжијана, закони одржања и појам "локалне" еквивалентности лагранжијана.</p>  | M31        |



У овом раду је, по први пут наговештена могућност налажења генералног поступка за налажење канонског лагранжијаана–локално еквивалентног полазном тахионском лагранжијану  $DBI$  типа. У овом раду је разматран и тахионски лагранжијан  $p$ -адичних струна, који се користи у космолошким разматрањима. Конструисани су локално еквивалентни лагранжијани стандардног записа са канонским кинетичким чланом. У случају тахионског лагранжијана  $p$ -адичних струна резултат је добијен уз претпоставку да се систем посматра у кратком временском интервалу или на самом почетку разматране еволуције. У оба случаја се добијају стандардни лагранжијани са потенцијалним чланом „погрешног“–позитивног знака, који одговара одбојној сили. Разматрана је и врло интересантна, локално еквивалента форма псеудоференцијалног оператора који омогућава запис и формулацију дифузне једначине–Шредингеровог типа.

### ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА НЕ

Од значајнијих публикација, кандидат је објавио три рада категорије M20.

### ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације

Увод садржи основну мотивацију за разматрање нестандартних лагранжијана  $DBI$  типа у класичној и квантној космологији. Овај тип лагранжијан одговара ефективној теорији поља, добијене у лимесу нижих енергија. Објашњена је мотивација основне теме дисертације која се базира на Сенових претпоставкама о интерагујућим тахионима на  $D$ -бранама, у оквиру теорије струна, или генералније - струнске теорије поља и  $M$ -теорије. Наглашено је да би еволуцију свемира, у његовој раној фази, најкоректније требало да се опише квантном космологијом. Услед његове тадашње величине, која је била реда Планкове дужине, указано је на неопходност разматрања примена различитих геометрија, посебно неархимедове, односно различитих (реалне  $\mathbb{Q}_\infty$  и  $p$ -адичне  $\mathbb{Q}_p$ , односно аделичне  $\mathbb{A}$ ) параметризације просторно-временских координата. Други део садржи неопходне елементе  $p$ -адичне и аделичне математичке анализе. У трећем делу су изложене основе  $p$ -адичне и аделичне квантне механике. У случају комплексних таласних функција уведени су Вејлови оператори коначних трансформација (тј. фамилија унитарних оператора  $\hat{W}$ ) и преко њих дефинисане Хајзенбергове комутационе релације. Дефинисан је  $p$ -адични оператор еволуције  $\hat{U}(t)$ , са интегралним језгром  $K_t$  представљен преко Фејнманових функционалних интеграла. Представљена је формулација  $p$ -адичне и аделичне квантне механике. Дат је осврт на  $p$ -адичну функционалну интеграцију за квадратичне системе и идеју о употреби  $p$ -адичних псеудодиференцијалних оператора. У четвртм делу су представљена општа разматрања тахионских поља и тахионских потенцијала у космологији. Изнета је Сенова хипотеза о могућности описивања тахионских ексцитација отворене струне преко ефективне теорије са лагранжијаном  $DBI$  типа  $\mathcal{L}_{tah} = -V(T)\sqrt{1 + \eta_{\mu\nu}\partial^\mu T \partial^\nu T}$ , показано да је тахионски хамилтонијан одржана величина и да је квадрат масе тахионског поља негативан. Разматрана је динамика тзв. пертурбације кривине  $\zeta$  у периоду инфлације, која се описује квадратичним лагранжијаном са временски зависним параметрима у простору Минковског. Објашњена је мотивација коришћења тахионских и одговарајућих локално еквивалентних квадратичних лагранжијана, иако тахионско поље као инфлатон не може бити „одговорно“ за цео период инфлације, барем не на стандардном - „реалном,“ простору. Указано је да су амплитуде неких модова пертурбација у тренутку настанка биле реда величине Планкове дужине, што повлачи за собом могућност разматрања проблема на неархимедовим просторима. Затим је представљен један од кључних елеманата  $p$ -адичног приступа - модел  $p$ -адичне тахионске инфлације, са ефективним лагранжијаном који садржи бесконачан број просторно-временских извода и којим се може моделовати период инфлације и кад систем није у тзв. режиму „спорог котрљања“. Како је овај значајан резултат добијен у оквиру класичне теорије поља указано је на потребу квантног приступа. У петом делу, који углавном садржи оригиналне резултате, су у  $0$ -димензионалном прилазу разматрани локално еквивалентни лагранжијани стандардног облика који доводе до истих једначина кретања као и  $\mathcal{L}_{tah}$ . Приказана су два поступка налажења стандардних лагранжијана. У првом поступку се полази од једначине кретања, док други представља уопштавање процедуре применом класичних канонских трансформација. Разматрани су експоненцијални, инверзни косинус хиперболички и инверзни степени тахионски потенцијали, и показано је да њима одговарају локално еквивалентни лагранжијана за инверзне хармонијске осцилаторе, односно систем са константном одбојном силом (за случај тахионског потенцијала  $V(T) \sim T^{-1}$ ). Шести део је посвећен  $p$ -адичној и аделичној анализи модела. Приказан је поступак квантовања преко Фејнманових функционалних интеграла. Разматрани су општи услови за постојање вакуумског стања, у виду карактеристичне  $\Omega$ -функције, као и ограничења која услови намећу на слободне параметре и физичке величине модела. У седмом делу су разматране могуће примене добијених резултата у квантној космологији, у тзв. минисуперпросторном прилазу, и за моделовање периода космолошке инфлације. Показано је да се у теорију могу увести додатни степени слободе. Осми део садржи закључке и идеје даљих истраживања. Затим следе додаци са техничким детаљима израчунавања.

## ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације је достигнут. Разматрана је класична и квантна динамика скаларних поља са нестандартним лагранжијанима  $DBI$  типа са различитим потенцијалима, у просторно хомогеном и 0-димензионалном прилазу. Ови системи су разматрани и на неархимедовим, односно, ултраметричким просторима, коришћењем поља  $Q_p$ , са аделичним уопштавањем.

Приказана су два поступка налажења локално еквивалентних лагранжијана стандардног типа са кинетичким чланом канонског облика, који доводе до истих једначина кретања као и лагранжијан  $DBI$  типа и чији се поступак квантовања поједностављује. У првом поступку се, полазећи од саме једначине кретања, стандардни лагранжијан конструише по устаљеној процедури, при чему се само поље мора рескалирати на одговарајући начин. Други поступак представља уопштавање процедуре применом класичних канонских трансформација. За одређену класу тахионских потенцијала, уз правилан избор генератрисе трансформација, конструисани су стандардни квадратични лагранжијани. Показано је и да се могу увести додатни степени слободе, где се тахионски системи описују лагранжијанима стандардног облика, и одговарајућа дејства су потпуно еквивалентна. Приказан је поступак квантовања разматраних класичних тахионских система са локално еквивалентним лагранжијанима у реалном,  $p$ -адичном и аделичном случају преко Фејнманових функционалних интеграла. Кандидат је разматрао примене добијених резултата за описивање периода ( $p$ -адичне) космолошке инфлације и дискутовао о условима за постојање космолошке аделичне таласне функције основног стања.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације

Налажење лагранжијана стандардног облика који су локално еквивалентни тахионском лагранжијану  $DBI$  типа је веома значајно у процесу квантовања, посебно у  $p$ -адичном и аделичном случају. Проналажење поступка трансформације полазног Сеновог лагранжијана коришћењем канонских трансформација је веома значајан резултат и представља битан научни допринос дисертације. Кључни резултати дисертације су и: квантовање тахионских поља на Архимедовим и неархимедовим просторима, израчунавање пропагатора за неколико космолошки важних тахионских потенцијала, конструисање аделичне таласне функције модела, и одређивање егзистенције односно дозвољених вредности за почетак инфлације, као што су: време, дужина, маса и параметри самих потенцијала и тахионског скаларног поља.

Оцена самосталности научног рада кандидата

Самосталност научног рада кандидата може се оценити високом оценом. Кандидат је објавио три рада у часописима категорије M20. Презентовани су значајни резултати који су посебно корисни у разматрањима инфлације. То се односи на уопштавање поступка налажења локално еквивалентних лагранжијана, као и израчунавања квантних амплитуде прелаза на неархимедовим просторима. Посебно, примена канонских трансформација, фиксирање функције генератрисе дефинисањем њене инверзне функције преко тахионског потенцијала, представљају оргиналан допринос кандидата. Могућност увођења додатних степена слободе, при чему се тахионски системи описују лагранжијанима стандардног облика, такође представља самосталан резултат.


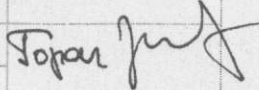

### ЗАКЉУЧАК

Кандидат Драгољуб Д. Димитријевић је дао сопствени допринос разумевању и аналитиком описивању класичне и квантне динамике скаларних (посебно тахионских) поља  $DBI$  типа, разматрајући примене добијених резултата на класичне и квантне космолошке моделе, пре свега за описивање периода космолошке инфлације. Из наведеног, комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у Нишу да рад кандидата Драгољуба Д. Димитријевића, под називом „Динамика тахионских поља у класичној и квантној космологији“ прихвати као урађену докторску дисертацију и одобри њену одбрану.

### КОМИСИЈА


Број одлуке НСВ о именовању Комисије      НСВ број 8/17-01-008/15-006

Датум именовања Комисије      13.7.2015. године

| Р. бр. | Име и презиме, звање             |   | Потпис  |
|--------|----------------------------------|---|---|
| 1.     | Љубиша Нешић, редовни професор   | председник  |  |
|        | Теоријска физика                 | Природно-математички факултет Универзитета у Нишу       |   |
|        | (Научна област)                  | (Установа у којој је запослен)                          |   |
| 2.     | Горан Ђорђевић, редовни професор | ментор, члан  |  |
|        | Теоријска физика                 | Природно-математички факултет Универзитета у Нишу       |   |
|        | (Научна област)                  | (Установа у којој је запослен)                          |   |
| 3.     | Мирољуб Дугић, редовни професор  | члан  |  |
|        | Теоријска физика                 | Природно-математички факултет Универзитета у Крагујевцу |   |
|        | (Научна област)                  | (Установа у којој је запослен)                          |   |

Датум и место: .....



|   |  |                      |
|---|--|----------------------|
|  | ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ<br>НИШ                 | Број:                |
|   | ИЗВЕШТАЈ КОМИСИЈЕ<br>О ОДБРАНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ | Датум:<br>30.09.2015 |

(Податке уноси председник комисије)

|            |                              |
|------------|------------------------------|
| Докторант: | <b>Драгољуб Димитријевић</b> |
|------------|------------------------------|

НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

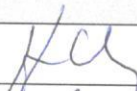

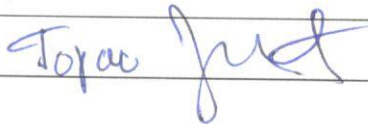
|   |
|---|
| „Динамика тахионских поља у класичној и квантној космологији“ |
|---|

КРАТАК ПРИКАЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

|   |
|---|
| <p>Разматрају се тахионски сектори у виду <math>DV</math> који се несоболуудним облицим дојављују у реакцији, ридичким и адемитичким процесима. Разматрају се истраживања тахионских сектора у 0-физичким и квантно-механичким аспектима.</p> |
|---|

ЗАКЉУЧАК КОМИСИЈЕ:

|   |
|---|
| <p>Комисија је убедљиво дефинисала дисертацију и одобрљиво на све питања. На основу овога комисија закључује да је кандидат убедљиво одговорио дисертацију.</p> |
|---|

|                   |  |
|-------------------|--|
| Чланови комисије: |  |
| Председник:       |   |
| Члан:             |   |
| Члан:             |  |
| Члан:             |  |
| Ментор:           |  |

Примерак за: О - Секретаријат Факултета;