

# РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд  
за придобиване на образователната и научна степен „доктор”  
в професионално направление Физически науки,  
по процедура за защита във Физически факултет (ФзФ)  
на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ (СУ)

**Рецензията е изготвена от:** доц. д-р Цветан Иванов Вецов, Катедра Теоретична физика, Физически факултет, Софийски университет, в качеството му на член на научното жури съгласно Заповед № РД 38-323 / 17.06.2024 г. на Ректора на Софийския университет.

**Тема на дисертационния труд:** “Оптични ефекти в изкривено пространство време: гравитационни лещи, сенки и поляризация на светлината” .

**Автор на дисертационния труд:** Валентин Олегов Делийски

## I. Общо описание на представените материали

### 1. Данни за представените документи

#### *а) Вид на представените документи.*

Кандидатът Валентин Делийски е представил дисертационен труд и автореферат, а така също и задължителните таблици за Физически факултет от Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“. Представени са и 9 на брой други документи (във вид на служебни бележки и удостоверения от работодател, ръководител на проект, финансираща организация или възложител на проект, референции и отзиви, награди и други подходящи доказателства), подкрепящи постиженията на кандидата:

- 1) Дисертация на български език
- 2) Автореферат на български и английски език
- 3) Авторска справка за приносния характер на трудовете
- 4) Декларация за авторство
- 5) Диплома за магистър
- 6) Автобиография
- 7) Удостоверение за редовен докторант и взети изпити
- 8) Протокол за проверка на оригиналността на дисертационен труд
- 9) Становище от доц. д-р Галин Гюлчев за липса на плагиатство
- 10) Извадка доклад за сходство
- 11) Заявление за допускане до предзащита
- 12) Списък с публикации

[1] V. Deliyiski, G. Gyulchev, P. Nedkova, and S. Yazadjiev, Observational features of thin accretion disks around traversable wormholes, *Journal of Physics: Conference Series*, 2255(1):012002, apr. 2022.

[2] V. Deliyiski, G. Gyulchev, P. Nedkova, and S. Yazadjiev, Polarized image of equatorial emission in horizonless spacetimes. Traversable wormholes. *Phys. Rev. D*, 106:104024, Nov 2022.

[3] Valentin Deliyiski, Galin Gyulchev, Petya Nedkova, and Stoytcho Yazadjiev. Polarized image of equatorial emission in horizonless spacetimes: Naked singularities. *Phys. Rev. D*, 108:104049, Nov 2023.

### **б) Структура на дисертационния труд**

Авторефератът на български език се състои от 6 глави, които са представени в рамките на 42 страници. Забелязани са 16 фигури и 6 таблици. Използвани са 39 литературни източници.

Авторефератът на английски език се състои от 6 глави, които са представени в рамките на 39 страници. Забелязани са 16 фигури и 6 таблици. Използвани са 39 литературни източници.

Дисертационният труд е на български език и се състои от 9 глави и 4-ри допълнения, които са представени в рамките на 138 страници във формат А4. Забелязани са 61 фигури и 16 таблици. Използваната литература се състои от 86 заглавия. Структурата и изложението на дисертационния труд е следната:

В уводната глава накратко са представени проблемите и успехите на избраната тематика. Ясно са изложени мотивите и целите на дисертационния труд и са формулирани работните хипотези и избраните подходи за постигането поставените цели.

Във втора глава са представени основните закони за разпространение на електромагнитно лъчение в изкривено пространство-време както и теорията за пренос на поляризирани лъчи.

В трета глава са представени основните наблюдателни резултати на колаборацията ЕНТ, върху които се базират изследванията на кандидата.

В четвърта глава е направен обзор на основните свойства и характеристики на разглежданите от кандидата екзотични компактни обекти. Това са пространствено-времени тунели, голи сингулярности на Джанис-Нюман-Уинакър и решения в теорията на Гаус-Боне.

В пета глава са представени в разширен вид изследванията от публикация [1], както и обзор на еквивалентни изследвания за голи сингулярности направени от други автори. Тук е изследвана морфологията на образите на излъчващата среда, генерирана от подобни обекти. Показано, е че при определени стойности на техните параметри, оптичната им проява е съществено различна от тази на черните дупки. Разликата се изразява в появата на набор от екзотични концентрични пръстеновидни образи, разположени в рамките на областта където би била сянката на черните дупки. Тези пръстени могат да послужат като ясен признак за съществуването на подобен тип обекти, ако бъдат наблюдавани. Направените оценки са получени в рамките на модела на оптически плътен акреционен диск.

В шеста глава са представени резултатите от публикации [2,3]. Тук е изследвано до каква степен природата на пространство-времето се отпечатва върху поляризацията на електромагнитното лъчение идващо от обектите и материята около тях. Кандидатът показва, че директните поляризирани образи на излъчващата среда се влияят слабо от природата на централния обект и гравитационната теория, която го описва, но, в същото време, релятивистските индиректни образи се влияят силно от това. В този случай, хипотезата на кандидата е, че при по-висока резолюция на наблюденията поляризацията на последните може да служи като допълнително ограничение върху природата на централния компактен обект.

В седма глава са представени резултатите от публикация [4]. Тук е показано, че морфологията на екзотичните централни образи се губи при настоящите наблюдателни условия на ЕНТ, което е в следствие на крайната ефективна разделителна способност, но те все пак оставят отпечатък под формата на повишено фоново излъчване в централната депресия на крайните наблюдения спрямо черните дупки. Показано, е че с повишаване на наблюдателната честота от 230 GHz (използвана за всички досегашни резултати на Event Horizon Telescope (ЕНТ)) до 345 GHz (планираната за бъдещи наблюдения), може да се появи видим отпечатък на екзотичните образи в наблюденията.

В осма глава са поместени заключението на кандидата и кратък обзор на основните му научни приноси.

В последната девета глава е представен списък с научните публикации по конкурса и списък с изнесените доклади на различни конференции и научни форуми.

### **в) Съответствие с изискванията на закона и правилниците за придобиване на научната степен „доктор“**

Представените по защитата документи от кандидата **съответстват** на изискванията на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“ (ПУРПНСЗАДСУ).

## **2. Данни за кандидата**

Валентин Делийски е възпитаник на Физическия факултет на Софийския университет, където завършва бакалавърската си степен през 2019 г. и магистратура през 2021 г., под ръководството на чл.-кор. проф. дфзн Стойчо Язаджиев. През юли 2021 г. той става докторант в катедра Теоретична физика с научни ръководители чл.-кор. проф. дфзн Стойчо Язаджиев и доц. д-р Галин Гюлчев. Научната му тема е „Оптични ефекти в изкривено пространство-време: гравитационни лещи, сенки и поляризация на светлината“.

По време на докторантурата си Валентин води семинарни упражнения по статистическа физика. Извън академичната си дейност, той работи по въвеждането в експлоатация и управлението на нано-сателит (6U CubeSat) и разработва собствен C++ код с името Mjolnir, който решава уравненията за поляризиран лъчист пренос в изкривеното пространство-време на черни дупки и обекти от обобщени теории на гравитацията.

Валентин има 4 научни публикации, 2 от които са публикувани в списание Physical Review D, една публикация от конференция, и една статия в електронния архив Arxiv.org. Има 22 независими цитата и h-индекс равен на 3.

## **3. Обща характеристика на научните постижения на кандидата**

**а) Научните публикации**, включени в дисертационния труд са 4 на брой и **отговарят** на минималните национални изисквания (по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ) и съответно на допълнителните изисквания на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ в съответната научната област и професионално направление.

**б)** Включените в дисертационния труд научни публикации **не повтарят** такива от предишни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност;

**в)** Няма доказано по законоустановения ред плагиатство в представените дисертационен труд и автореферат.

**г) Научните интереси и резултати** на кандидата, отразени в дисертационния труд, са в областта теоретичната астрофизика на релятивистките образи на тъмни компактни обекти като черни дупки, пространствено-времеви тунели и голи сингулярности.

**д) Мотивацията** за провеждане на научните изследвания на кандидата идва предимно от скорошните успехи на колаборацията Event Horizon Telescope (ЕНТ), която е свързана с експериментално наблюдение на такива обекти в центъра на различни галактики, включително и Млечния път.

**е) Целите** на дисертационният труд са да се покажат теоретичните възможности за наблюдение на такива обекти и тяхното различаване чрез сравняване на специфични за тях наблюдателни характеристики в бъдещите експерименти с по-висока резолюция на колаборацията

ЕНТ. Това е **направено успешно** от кандидата за пространствено-времеви тунели [1,3] и голи сингулярности [2,4] чрез изследване на свойствата на светлината, излъчвана от видимите образи на тънък акреционен диск, намиращ се в околност на тези обекти. По думите на кандидата:

*„Целта на този дисертационен труд е да изследва възможността за различаването на подобни екзотични компактни обекти от черни дупки, чрез съвременните и бъдещи наблюдения на колаборацията ЕНТ.“*

*„Приемаме следната работна хипотеза: Наблюденията на колаборацията ЕНТ, през 2017 г., могат да бъдат възпроизведени от синхотронно излъчваща плазма, около свръхмасивни компактни обекти които не притежават хоризонт на събитията.“*

#### **4. Характеристика и оценка на преподавателската дейност на кандидата (ако има изискване в ПУРПНСЗАДСУ за това)**

Не се изисква преподавателска дейност в правилника за придобиване на степен „доктор“. Въпреки това, Валентин е водил семинарни упражнения по статистическа физика.

#### **5. Съдържателен анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата съдържащи се в материалите за участие в конкурса**

*а) Брой научни статии: 4.*

*б) Брой независими цитирания: 22 (NASA).*

*в) h-индекс: 3.*

*г) Научни приноси по публикации:*

[1] V. Deliyski, G. Gylchev, P. Nedkova, and S. Yazadjiev, Observational features of thin accretion disks around traversable wormholes, *Journal of Physics: Conference Series*, 2255 (1): 012002, Apr. 2022.

Изследвана е потенциалната поява на качествено нови наблюдателни характеристики на изображенията на акреционни дискове около компактни обекти. По-конкретно, са разглеждани клас проходими пространствено-времеви тунели, които притежават фотонна сфера. В получените изображения са открити отличителни характеристики, които не са налице при черните дупки на Кер.

**Принос:** това предоставя възможни начини за разграничаване на проходими пространствено-времеви тунели от черни дупки въз основа на наблюдателни данни в близост до обекта или в рамките на неговата централна област.

[2] V. Deliyski, G. Gylchev, P. Nedkova, and S. Yazadjiev, Polarized image of equatorial emission in horizonless spacetimes. Traversable wormholes. *Phys. Rev. D*, 106: 104024, Nov 2022.

В тази статия е изследвана линейната поляризация на електромагнитно лъчение на акреционен диск, намиращ се около клас статични проходими пространствено-времеви тунели. Изследването е проведено в рамките на опростен модел на магнетизиран диск, разположен в екваториалната равнина. Целта е да се открият характерни признаци, които разграничават тунелите от черните дупки въз основа на поляризационните свойства на наблюдаваното лъчение. За тази цел са получени директни поляризирани изображения на лъчи, достигащи до асимптотичния наблюдател през гърлото на червеевата дупка при различни ъгли на инклинация, като резултатите са сравнени с тези за черна дупка на Шварцшилд. Установено е, че при малки ъгли на инклинация двата типа компактни обекти водят до сходен поляризационен отпечатък на директните изображения. По-съществени различия се наблюдават при по-

силен ефект на гравитационната леща, където поляризационната интензивност на индиректните изображения (формиращи допълнителна структура от пръстеновидни изображения с различни поляризационни свойства), в околност на тунелите, може значително да нарасне в сравнение с тези за черната дупка.

**Принос:** разграничаване на пространствено-времеви тунели от черни дупки чрез техните директни поляризирани изображения. Научният труд показва, че изображенията от по-висок порядък и поляризацията на излъчването, преминаващо през гърлото на тунела, могат да предоставят характерни признаци, които да служат като индикатори за наличието на обекти без хоризонт на събитията.

[3] Valentin Deliyiski, Galin Gyulchev, Petya Nedkova, and Stoytcho Yazadjiev. Polarized image of equatorial emission in horizonless spacetimes: Naked singularities. *Phys. Rev. D*, 108: 104049, Nov 2023.

Тук е изследвана линейната поляризация от акреционния диск около слаби и силни голи сингулярности на Джанис-Нюман-Уинакър. Разгледан е опростен модел на тънък магнетизиран диск, който се върти в екваториалната равнина и излъчва синхротронно лъчение. Получени са наблюдаемите поляризирани изображения и са сравнени с черна дупка на Шварцшилд при физически параметри, които са съвместими с радиационния източник M87. За малки ъгли на инклинация, директните изображения на слабите голи сингулярности силно наподобяват Шварцшилдовата черна дупка. Показано е, че отклонението в свойствата на поляризацията нараства при по-голяма инклинация или изображения от по-висок порядък. При силните голи сингулярности се създават значителни наблюдателни следи още при директните изображения. Показано е, че те създават вторични изображения на диска с повече от три пъти по-голям интензитет на поляризация и характерен завой по посока на поляризацията.

**Принос:** благодарение на тези допълнителни структури голите сингулярности могат да бъдат различени от черните дупки в наблюденията с поляризирана светлина.

[4] V. Deliyiski, G. Gyulchev, P. Nedkova, and S. Yazadjiev. Observing naked singularities by the present and next-generation event horizon telescope. [arXiv:2401.14092 [gr-qc]].

В този труд са разгледани наблюдателните характеристики на отразяващи голи сингулярности. Такива сингулярности действат ефективно като отразяваща бариера за изотропни геодезични линии като причиняват разсейване на траекториите на падащите фотони обратно към наблюдател на асимптотичната безкрайност. Получените моделни изображения са подготвени във форма подходяща за сравнение с настоящите и бъдещите данни на ЕНТ. Отразяващите голи сингулярности водят до характерна морфология на изображенията на акреционния им диск, като създават поредица от ярки пръстени в централната част на изображението. В това отношение е проучена способността на ЕНТ да засече тази структура. Тук са изследвани две конкретни пространства на отразяващи голи сингулярности, а именно: пространството на Джанис-Нюман-Уиникър и статично сферично симетрично решение в рамките на 4D гравитацията на Айнщайн-Гаус-Боне. Получените резултати са моделирани на фона на галактическият обект M87\*. Установено, е че ЕНТ от 2017 година не е способен да детектира поредицата от ярки централни пръстени. Въпреки това, изследванията на кандидата откриват увеличена обща интензивност на централната ярка депресия, която достига стойности с порядък по-високи от тези за черната дупка на Кер. Този факт може да се използва като количествена мярка за отсъствието на хоризонт на събитията. Наблюденията с бъдещото поколение на ЕНТ при 230 GHz биха разкрили разлика с два порядъка в интензивността на централната ярка депресия между голи сингулярности и черни дупки. Въвеждането на втора наблюдателна честота при 345 GHz вече би разрешило качествени ефекти в морфологията на

изображението на диска за голите сингулярности, като определени ярки петна стават видими в центъра на изображението.

**Принос:** получените ярки централни пръстени при отблъскващи голи сингулярности могат да се използват като явен признак, по който тези обекти без хоризонти да се разграничават от черните дупки на Кер. Според изследванията на Валентин, дори ако тези характерни пръстени на голите сингулярности не могат да бъдат директно различени, те все пак биха довели до увеличаване на яркостта на централната депресия в сравнение с тази при черните дупки на Кер – нещо, което може да бъде засечено при бъдещите наблюдения на колаборацията ЕНТ.

Добре е да се отбележи, че за принос в научните изследвания на Валентин Делийски може да се счита и представянето на теоретичните резултати (реконструирания образи на обектите) във форма, практически готова за сравнение с експерименталните данни. Освен това, не бива да се пренебрегва фактът, че числените изследвания са извършени от начало до край с авторския код на кандидата, наречен „Mjolnir“, който е публично достъпен в платформата Github: [github.com/ValentinDeliyski/Mjolnir\\_GRRT](https://github.com/ValentinDeliyski/Mjolnir_GRRT).

## 6. Критични бележки, въпроси и препоръки

Нямам критични бележки. Смятам, че Валентин се е справил отлично както в научно, така и в езиково и стилистично отношение при писането на дисертационния си труд. Забелязани са само някои несъществени езикови и пунктуационни грешки. В допълнение имам следните въпроси:

- 1) Защо са интересни голите сингулярности от астрофизична гледна точка?
- 2) Освен морфологията на образите и поляризацията на излъчената от акреционния диск радиация има ли други начини, с помощта на които да придобием информация за природата на изследваните компактни обекти? И правят ли се планове за бъдещи експерименти в това направление?
- 3) Може ли да се даде сравнителна оценка на това, доколко съществена разлика може да има между получените наблюдаеми образи от модел на тънък диск, ако го заменим с друг, по-сложен модел на диска?
- 4) Какво е влиянието на параметъра на въртене  $a$  на обекта върху морфологията и поляризацията на образите? Какво можем да очакваме при въртения  $a > 0.5$ ?

## 7. Лични впечатления за кандидата

Имам отлични впечатления от Валентин Делийски, най-вече в следствие от бакалавърските и магистърските курсове, които той е посещавал по време на неговото обучение във Физическия факултет.

## 8. Заключение

След като се запознах с представените дисертационен труд, автореферат и другите материали, и въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащите се в тях научни и научно-приложни приноси, **потвърждавам**, че научните постижения отговарят на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за приложението му и съответния Правилник на СУ „Св. Климент Охридски“ за **придобиване на образователната и научна степен „доктор“**. В частност кандидатът удовлетворява минималните национални изисквания в професионалното направление и не е установено плагиатство в представените по конкурса дисертационен труд, автореферат и научни трудове.

Давам своята **положителна** оценка на дисертационния труд.

## II. ОБЩО ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на гореизложеното, **препоръчвам** на научното жури да присъди **образователната и научна степен „доктор“** в професионално направление Физически науки на **Валентин Олегов Делийски**.

14.09.2024 г.

Изготвил рецензията: .....

(доц. д-р Цветан Вецов)