

СТАНОВИЩЕ

на дисертационен труд

за придобиване на образователната и научна степен „доктор”

в професионално направление 4.1 „Физически науки“, научна специалност 01.03.01

„Теоретична и математична физика“

по процедура за защита във Физическия факултет (ФзФ)

на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ (СУ)

Рецензията е изготвена от: доц. д-р Сава Димитров Донков, Институт по Астрономия с НАО, БАН, 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

Кандидатът Валентин Олегов Делийски е представил дисертационен труд и автореферат, а така също и задължителните таблици за Физическия ф-т от [Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ „Св. Климент Охридски“](#).

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

Кандидатът е физик, с професионален опит, както в индустрията, така и в преподаването, аспириращ към академична кариера. Научните му интереси са в областта на релятивистката астрофизика, където има принос за изследване на наблюдателните прояви на екзотични компактни обекти.

Образованието на Валентин Делийски е изцяло свързано с Софийския Университет и е преминало, както следва:

ОКС "Бакалавър" - Астрофизика, Метеорология и Геофизика - Софийски университет "Св. Климент Охридски"; Тематика: Сенки на черни дупки. Научен ръководител: чл-кор. проф. дфзн Стойчо С. Язаджиев. Окт. 2015 - Март 2019

ОКС "Магистър" - Теоретична и математическа физика - Софийски университет "Св. Климент Охридски"; Тематика: Гравитационни лещи. Научен ръководител: чл-кор. проф. дфзн Стойчо С. Язаджиев. Окт. 2019 - Март 2021

ОНС "Доктор" - Теоретична и математическа физика - Софийски университет "Св. Климент Охридски"; Тематика: Оптични ефекти в изкривено пространство време: гравитационни лещи, сенки и поляризация на светлината. Научни ръководители: чл-кор. проф. дфзн Стойчо С. Язаджиев и доц. д-р. Галин Н. Гюлчев. Научен консултант: доц. д-р Петя Недкова. Юли 2021 - Юли 2024

Научни интереси: гравитационни лещи, числени методи във физиката, динамична еволюция на полевите уравнения на Айнщайн-Хилберт, релативистка хидродинамика в изкривено пространство-време, самогравитиращи системи, арктически изследвания, управление на сателити.

Проекти:

Симулатор на гравитационни лещи

- Разработва код, базиран на C++, който решава уравненията за поляризиран лъчист пренос в изкривеното пространство време на черни дупки и обекти от обобщени теории на гравитацията.
- Сорс кодът може да бъде намерен на [Mjølfnir GRRT code](#)

Компетентности:

Езици: Български (роден), Английски (свободно), Норвежки (B1)

Програмни езици: C++, C, Python, Matlab, Latex

Работни среди: Visual Studio / VS code, STM32 CUBE IDE, Simulink, AutoCAD Fusion

3. Характеристика и оценка на научните и научно-приложните постижения на кандидата, съдържащи се в материалите за участие в конкурса

Дисертацията може да бъде условно разделена на две части – обща и специализирана. В общата част (глави 2, 3 и 4) е поставен общият контекст на изследването, т.е. изградена е физическата картина на фона, на който се развива изследването. В глава 2 са представени основните закони за разпространение на електромагнитно лъчение в изкривено пространство-време. Изведено е т.н. приближение на геометричната оптика, в рамките на което се разглежда разпространението на светлината в гравитационно поле. Представени са и общият вид на динамичните уравнения на светлинните лъчи, както и ковариантното уравнение за поляризиран лъчист пренос. В глава 3 са представени основните наблюдателни резултати на колаборацията ЕНТ, върху които се базира изследването. В глава 4 са представени разглежданите от авторите екзотични компактни обекти, както и техните основни свойства. Специализираната част на дисертацията обхваща глави 5, 6 и 7. Там са изложени оригиналните резултати на авторите. Те са разгледани по-подробно в изложението по-долу.

Дисертацията има за цел да изследва възможността да бъдат различени наблюдателно екзотични компактни обекти, по-конкретно пространствено-времеви тунели и голи сингулярности, от черни дупки, като стъпва върху резултатите (и бъдещите перспективи) на колаборацията Event Horizon Telescope (ЕНТ). ЕНТ за пръв път успява да достигне наблюдателна резолюция, достатъчна, за да заснеме непосредствената околност на свръхкомпактните обекти в ядрата на галактиките М87 и Млечния път. Тези и бъдещи наблюдения ще играят ключова роля в изследване на гравитацията в режим на най-силни полета. Те могат да допринесат за експерименталното потвърждаване на съществуването на нови фундаментални полета и екзотични компактни обекти, които произлизат естествено от обобщени теории на гравитацията.

Изследването се фокусира върху три наблюдателни характеристики на свръхкомпактните обекти: морфологията на получените образи, променливостта им и поляризацията на лъчението им. Те носят със себе си информация за природата на компактния обект, както и за гравитационната теория, която го описва. Последната е нелинейно зацепена с магнито-хидродинамиката на излъчващата среда, което допълнително усложнява задачата.

При изследването е приета следната работна хипотеза:

Наблюденията на колаборацията ЕНТ от 2017 г. могат да бъдат възпроизведени от синхротронно излъчваща плазма около свръхмасивни компактни обекти, които не притежават хоризонт на събитията.

Авторите достигат до следните резултати, отразени в дисертацията и в четирите публикации изброени по-долу. В статия 1 (и в глава 5 на дисертацията) са разширени вече съществуващи изследвания за голи сингулярности към пространствено-времеви тунели. Използван е известен полу-аналитичен подход за генериране на образите на единични орбити. С това е показано, че и двата класа екзотични компактни обекти притежават съществено различна морфоло-

гия на образите, спрямо тази на черни дупки на Шварцшилд. Формира се централна пръстеновидна структура, разположена там, където би била сянката на обекта. Тази структура съответства, в случая на тунели, на фотони, преминали през гърловината, а в случая на голи сингулярности, на фотони, които са се разсеяли от сингулярността. Наблюдателното засичане на подобни структури може да служи като ясен белег за съществуването на подобни екзотични обекти. По-нататък авторите се насочват към изследване на отпечатъка на пространство-времето върху поляризацията, засечена от далечен наблюдател. За целта в публикации 2 и 3 (съответно глава 6 от дисертацията) е приложен опростен аналитичен модел на излъчването, обобщен за произволни статични и сферично симетрични метрики. Моделът изисква пресмятането на вълновият вектор на фотоните върху източника, което е извършено с разработения от автора код **Mjølñir**. В крайна сметка се стига до следните два основни извода:

- 1) **Директните образи на излъчващата среда се влияят слабо от пространство-времето (т.е. от гравитационната теория). Основният физически фактор, определящ техните свойства е магнитното поле.**
- 2) **Индиректните образи (най-вече при $n=1$) се влияят силно, както от магнитното поле, така и от метриката. В зависимост от геометрията на магнитното поле относителните отклонения на интензитета могат да достигнат, спрямо черни дупки на Шварцшилд, до един порядък.**

Стъпвайки върху тези резултати, авторите изследват чрез симулации и „идеални“ (с безкрайна разделителна способност) числени пресмятания възможността наблюдателно да бъдат разграничени черните дупки (в случая на Шварцшилд) от екзотичните компактни обекти (пространствено-времени тунели и голи сингулярности). Това е темата на статия 4 (съответно глава 7 от дисертацията). За целта са използвани няколко софтуерни пакета: авторският пакет **Mjølñir**, който имплементира цялостен модел на излъчващата среда и служи за получаване на „идеални“ наблюдения; пакетът **ehtim**, разработен от ЕНТ, който има две основни функционалности: симулира реалистично наблюдение на образите, генерирани с помощта на **Mjølñir**, и също така извършва тяхната реконструкция, използвайки методологията на колаборацията ЕНТ (с негова помощ се получават образите на голи сингулярности за три различни набора на радио телескопи, и две наблюдателни честоти); пакетът **VIDA**, който фитира с геометрични модели подадените му изображения (използва се, за да се моделират образите, получени от **ehtim**, като елипси с гаусова дебелина) Изводът, до който достигат авторите след направените изследвания, е следния:

- 3) **Дори и с разширяване на набора от телескопи, ако наблюденията се извършват при 230 GHz, както е направено по време на мисията на ЕНТ през 2017г., образите на черните дупки и екзотичните компактни обекти остават морфологично сходни. Има обаче един нюанс: интензитетът на централната депресия на голите сингулярности спрямо този на черните дупки се увеличава до два порядъка, при**

увеличаване на броя на телескопите. Същественият пробив се достига, когато честотата на наблюденията се повиши до 350 GHz, както е планирано за мисията ngEHT. Тогава реконструкциите стават чувствителни към централната пръстенно-видна структура, което дава ясен критерий за разграничаване между класическите и екзотичните компактни обекти.

Считам, че резултатите са добре обосновани и ясно формулирани. Освен това са илюстрирани с чудесно изработени фигури. Обобщавайки, мога да кажа, че Валентин Делийски работи уверено и компетентно в една много модерна област на съвременната теоретична и математична физика, а именно изследване на класическите и обобщени теории на гравитацията, като тяхната валидност и проявление се сравняват с най-съвременни наблюдения. Характерът на представения научен труд има, според мен, за цел да установи дали се наблюдават решенията на обобщени теории на гравитацията, т.н. екзотични компактни обекти (пространствено-времени тунели и/или голи сингулярности), и също как да бъдат разграничени те от класическите компактни обекти (черните дупки) по данни от наблюденията на колаборацията EHT. За целта е формулирана работна хипотеза (спомената по-горе) и е заложен магнито-хидродинамичен модел на излъчващата плазма (в акреционния диск) при условия на изкривено пространство-време. Получените теоретични резултати за морфологията на образите на излъчващата среда и за поляризацията на светлината, достигаща до отдалечен наблюдател, се сравняват с наблюденията, като тук съществена роля играе и програмният код, създаден от докторанта, специално за тази цел. Мога да заключа, че характерът на изследването е сравняване на резултатите (решенията) на съществуващи вече теории, както теоретично, така и на основата на експеримента, със изказване на нови хипотези и разработване на нов специализиран софтуер. Тематиката на дисертацията е изключително модерна и всъщност е на ръба на съвременната наука за фундаменталните полета, описващи гравитацията около свръхкомпактни обекти. Същината на работата изисква висока компетентност, както по теоретична физика, така и по съвременна математика, а също така и сериозни умения за създаване на специализиран софтуер.

Изследванията са докладвани в следните четири научни публикации:

- 1) Публикация 1 - V Deliyski, 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; IF: 0.48, Q4 (2022)
- 2) Публикация 2 - Valentin Deliyski, Galin Gyulchev, Petya Nedkova, and Stoytcho Yazadjiev. Polarized image of equatorial emission in horizonless spacetimes: Traversable wormholes. Phys. Rev. D, 106:104024, Nov 2022. IF: 5.0, Q1 (2022). Тя също така е представена във Physics Synopsis - <https://physics.aps.org/articles/v15/s154>

- 3) Публикация 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. IF: 4.6, Q1 (2023).
- 4) Публикация 4 - Valentin Deliyiski, Galin Gyulchev, Petya Nedkova, and Stoytcho Yazadjiev. Observing naked singularities by the present and next-generation event horizon telescope. <http://arxiv.org/abs/2401.14092>, 2024.

Доклади на конференции:

- Изнесен е доклад на „Национален форум за съвременни космически изследвания 2021“, на тема „Наблюдателни белези на свръхкомпактни обекти с акреционни дискове“, на 08.10.2021.
- Изнесен е доклад по време на научно посещение при Emmy Noether Research Group: “Gravitational waves from compact objects” към университетът Eberhard Karl в Тюбинген, Германия, на 07.03.2024.
- Изнесен доклад на Seventeenth Marcel Grossman Meeting на тема “Polarized image of equatorial emission in horizonless spacetimes”.

От приложения списък на публикациите, техния импакт-фактор и квантил, от изнесените доклади по дисертацията, а също от декларирания от съавторите равностоен или водещ принос на кандидата в тях, мога ясно да заключа, че Валентин Делийски удовлетворява напълно минималните национални изисквания по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ и дори съществено надвишава допълнителните изисквания на Фз.Ф. на СУ „Св. Климент Охридски“ за придобиването на образователната и научна степен „доктор“. Освен това включените в дисертационния труд научни публикации не повтарят такива от предишни процедури за придобиване на научно звание или академична длъжност. Също така няма доказано по законоустановения ред плагиатство в представените дисертационен труд и автореферат.

4. Критични бележки и препоръки

Нямам критични бележки. Пожелавам успехи на Валентин в неговата академична кариера.

5. Лични впечатления за кандидата

Нямам лични впечатления.

6. Заключение

След като се запознах с представените дисертационен труд, автореферат и другите материали, и възоснова на направения анализ на тяхната значимост и съдържащите се в тях научни и научно-приложни приноси, **потвърждавам**, че научните постижения на Валентин Олегов Делийски 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 4.1 „Физически науки“ на Валентин Олегов Делийски.

04.09.2024 г.

Изготвил становището: доц. д-р Сава Донков