

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 38-55 / 30.01.2025 г. на Ректора на Софийския университет.

Тема на дисертационния труд: “Равновесни конфигурации на неутронни звезди в Гаус-Боне гравитацията със самогравитиращо скаларно поле” .

Автор на дисертационния труд: Петър Йорданов Йорданов

1. Данни за кандидата

Петър Йорданов е възпитаник на Физическия факултет на Софийския университет, където завършва бакалавърската си степен през 2019 г. и магистратура през 2021 г. През януари 2022 г. той става докторант в катедра Теоретична физика с научен ръководител чл.-кор. проф. дфзн Стойчо Язаджиев. Научната му тема е „Равновесни конфигурации на неутронни звезди в Гаус-Боне гравитацията със самогравитиращо скаларно поле“.

Петър Йорданов има 3 научни публикации, които са публикувани в списания с висок импакт фактор и квантил 1: Physical Review D, Astronomy and Astrophysics и European Journal of Physics C. Кандидатът има 10 независими цитата и h-индекс равен на 2 (според Inspire-HEP).

2. Данни за представените документи

Кандидатът е представил дисертационен труд на български език и автореферат (на български и английски), а също така и задължителните таблици за Физическия 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 допълнителни документи (във вид на служебни бележки и удостоверения), 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) Протокол за проверка на оригиналността на дисертационен труд.
- 8) Становище от чл. кор. проф. дфзн Стойчо Язаджиев за липса на плагиатство.
- 9) Извадка доклад за сходство.
- 10) Заявление за допускане до предзащита.
- 11) Списък с публикации.

[1] D. D. Doneva, C. J. Krüger, K. V. Staykov, and P. Y. Yordanov. Neutron stars in Gauss-Bonnet gravity: Nonlinear scalarization and gravitational phase transitions. Physical Review D, 108(4): 1–17, 2023. (Q1).

[2] P. Y. Yordanov, K. V. Staykov, S. S. Yazadjiev, and D. D. Doneva. The power of binary pulsars in testing Gauss-Bonnet gravity. *Astronomy and Astrophysics*, 687: 1–18, 2024. (Q1).

[3] K. V. Staykov, P. Y. Yordanov, D. D. Doneva and S. S. Yazadjiev, Neutron stars in extended scalar-Gauss-Bonnet gravity: the richness of the solution spectrum, *Eur. Phys. J. C* 84, no.12, 1324 (2024). (Q1).

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). В частност, **покриват** изискванията на закона и правилниците за придобиване на научната степен „доктор“.

3. Структура и съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд е написан на български език и се състои от 7 глави, представени в рамките на 90 страници във формат A4. Включени са 20 фигури и 1 таблица, а използваната литература обхваща 50 заглавия. Авторефератът на български език съдържа 5 глави, обхващащи 50 страници, и включва 16 фигури и 1 таблица. За изследването са използвани 32 литературни източника. Английската версия на автореферата също се състои от 5 глави, представени в 47 страници, и съдържа формулировка на работните хипотези, както и описание на избраните подходи за постигане на поставените цели.

Първа глава – Увод. В уводната част са представени проблемите и съвременните постижения в изследваната тематика. Формулирани са ясно мотивите и целите на дисертационния труд. Основно внимание се отделя на теориите за модифицираната гравитация, като фокусът е поставен върху гравитацията на Гаус-Боне със скаларно поле. Разгледана е ролята на тези теории в контекста на астрофизичните обекти и гравитационните явления.

Втора глава - Обща теория на относителността. Тук са представени основните физични закони в рамките на теорията на относителността. Подробно е изложен необходимият математически апарат на диференциалната геометрия, включително тензорното смятане и метричния формализъм. Изведени са основните полеви уравнения на Айнщайн за гравитационното поле и тяхното обобщение в модифицираните теории на гравитацията.

Трета глава - Гаус-Боне гравитация със скаларно поле. Главата е посветена на разширените теории на гравитацията, в частност гравитацията на Гаус-Боне със скаларно поле. Изведени са модифицираните полеви уравнения и е анализирана природата на ефектите на спонтанна и нелинейна скаларизация в скаларно-тензорните теории. Като конкретен пример е разгледана скаларизацията на черна дупка на Шварцшилд.

Четвърта глава - Числени методи и компютърни кодове. Поради силната нелинейност на полевите уравнения основният метод за тяхното изследване е базиран на числено решаване. Разгледани са използваните числени техники, включително методът на Нютон-Рафсън, методите на Рунге-Кута и методът на престрелката. Описани са също така и компютърните кодове, разработени за решаването на конкретните задачи в изследването.

Пета глава - Неутронни звезди в Гаус-Боне гравитацията. В тази глава са представени оригиналните изследвания на кандидата, публикувани в [1]. Анализирани са модели на неутронни звезди в скаларно-тензорните теории на Гаус-Боне, като звездите са моделирани чрез статични и сферично-симетрични конфигурации на метриката. Получени са различни типове скаларизирани решения в зависимост от избора на куплираща функция. Числено е изследва-

на масата на звездата като функция на радиуса и централната плътност. Разгледан е въпросът за стабилността на решенията при пертурбации на скаларното поле, като е показано наличието на преход от нелинейна към спонтанна скаларизация (гравитационен фазов преход).

Шеста глава - Тестване на Гаус-Боне теориите с бинарни пулсари. Тук се разглежда възможността за ограничаване на скаларно-тензорната гравитация на Гаус-Боне чрез наблюдателни данни от бинарни пулсари. Анализът включва две различни куплиращи функции и два метода за ограничаване на теориите. Основните техники за ограничаване на параметричното пространство се базират на данни от РТА (Pulsar Timing Array) за максималната маса на пулсарите, както и на измерванията на затихването на орбиталния период в бинарни пулсарни системи. Тези изследвания са публикувани във втория научен труд [2] на Петър Йорданов.

Седма глава - Неутронни звезди в разширената Гаус-Боне гравитация. В последната глава е разгледано разширение на теорията, при което скаларното поле се куплира не само към инварианта на Гаус-Боне, но и към материята в отправната система на Айнщайн. Основната цел е да се проучат структурата и свойствата на статични и сферично-симетрични неутронни звезди в тази разширена теория. Моделите са базирани на различни куплиращи функции, които описват взаимодействието на скаларното поле с гравитацията и материята. Оригиналните резултати от тази глава са публикувани в третия научен труд [3] на кандидата. Изчисленията и графичните анализи са представени в съответствие с методологията, използвана в предходните глави.

4. Обща характеристика на научните постижения на кандидата

а) Научните публикации, включени в дисертационния труд са 3 на брой и **отговарят** на минималните национални изисквания (по чл. 26, 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 и наблюдателната астрофизика на черните дупки и неутронните звезди.

д) Мотивацията за провежданите научните изследвания на кандидата идва предимно от нуждата да се изучат свойствата на разширени теории на гравитацията като малка стъпка към голямото предизвикателство на физиката на 21 век: да се създаде обединена теория на всички фундаментални полета и взаимодействията между тях.

е) Целта на дисертационния труд е да се наложат наблюдателни ограничения на някои параметри на гравитационните теории на Гаус-Боне при наличие на допълнителна скаларна степен на свобода. Например, при бинарните системи могат да се излъчват и диполни скаларни вълни, което води до ускорено свиване на орбитите в бинарната система. Това допълнително ускорено свиване на орбитите води до по-бързо затихване на орбиталния период, което може да се сравни с наблюдателните данни и по този начин да се наложат ограничения на параметрите на теорията.

5. 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“.

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

а) Брой научни статии: 3.

б) Брой независими цитирания: 10 (Inspire-HEP).

в) *h*-индекс: 2.

Основните научни приноси на Петър Йорданов включват:

а) Изследване на структурата и свойствата на статични и сферично-симетрични неутронни звезди в скаларно-тензорната Гаус-Боне гравитация. Установено е наличието на нелинейна скаларизация в този контекст, което позволява гравитационни фазови преходи.

б) Анализирани са възможните наблюдателни ограничения върху различни класове теории на Гаус-Боне чрез динамиката на системи от бинарни пулсари. Актуализирани са съществуващите ограничения, свързани с максималната наблюдавана маса на неутронни звезди. За определени класове теории са наложени конкретни ограничения на параметрите, като при определени уравнения на състоянието тези ограничения могат да надминат двукратно тези, получени от наблюдения на гравитационни вълни от сливания на компактни обекти. Дори в рамките на гравитацията на Айнщайн-дилатон-Гаус-Боне, тези резултати остават валидни.

в) Изследвани са модели на неутронни звезди в разширената скаларно-тензорна гравитация на Гаус-Боне, при която динамичното скаларно поле е куплирано както към инварианта на Гаус-Боне, така и към материята в отправната система на Айнщайн. Идентифицирани са нови качествени особености на решенията, включително нови видове фазови преходи и допълнителни клонове на решения, възникващи при големи маси на неутронните звезди. Показано е, че тези особености не могат да бъдат обяснени чрез проста модификация на уравнението на състоянието.

г) Разработени са числени компютърни кодове за интегриране на полевите уравнения в разширената скаларно-тензорна гравитация на Гаус-Боне и за ограничаване на параметричното пространство на тези теории.

Резултатите от научните изследвания представени в дисертацията на кандидата са публикувани в следните три научни труда:

[1] D. D. Doneva, C. J. Krüger, K. V. Staykov, and P. Y. Yordanov. Neutron stars in Gauss-Bonnet gravity: Nonlinear scalarization and gravitational phase transitions. *Physical Review D*, 108(4): 1–17, 2023. (Q1).

[2] P. Y. Yordanov, K. V. Staykov, S. S. Yazadjiev, and D. D. Doneva. The power of binary pulsars in testing Gauss-Bonnet gravity. *Astronomy and Astrophysics*, 687: 1–18, 2024. (Q1).

[3] K. V. Staykov, P. Y. Yordanov, D. D. Doneva and S. S. Yazadjiev, Neutron stars in extended scalar-Gauss-Bonnet gravity: the richness of the solution spectrum, *Eur. Phys. J. C* 84, no.12, 1324 (2024). (Q1).

7. Критични бележки, въпроси и препоръки

Нямам критични бележки. Смятам, че Петър 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) Какви са възможностите за разширяване на получените научни резултати към модели на въртящи се неутронни звезди? Какви ефекти се очаква да предизвика въртенето върху наблюдаваните явления?
- 2) Възможно ли е да съществува аналог на спонтанната скаларизация, но с векторно или спинорно поле? Какви теоретични и наблюдателни следствия би имал подобен механизъм?

8. Лични впечатления за кандидата

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

9. Заключение

Дисертационният труд на Петър Йорданов представя задълбочен анализ на скаларно-тензорните теории на Гаус-Боне и тяхното приложение в астрофизиката. Чрез числени методи са изследвани гравитационните ефекти върху неутронни звезди и черни дупки, както и възможностите за емпиричното тестване на тези теории чрез наблюдения на бинарни пулсари. Получените резултати допринасят към разбирането на модифицираните гравитационни теории и тяхното значение за съвременната астрофизика.

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 на кандидата Петър Йорданов 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.

10. ОБЩО ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

31.03.2025 г.

Изготвил рецензията:

(доц. д-р Цветан Вецов)