

# РЕЦЕНЗИЯ

относно дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен  
„Доктор“  
професионално направление 4.1. Физически науки  
специалност 01.03.01 „Теоретична и математическа физика“

**Автор** на дисертационния труд: **Димитър Сотиров Попчев**  
докторант във Физически факултет на Софийския университет  
„Свети Климент Охридски“

**Тема** на дисертационния труд:

**Числено изследване на компактни самогравитиращи обекти и тяхната динамика в гравитационни теории**

**Научен ръководител:**

професор дфзн Стойчо Стоянов Язаджиев  
Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“

**Научен консултант:**

д-р Даниела Донева Донева  
Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, БАН;  
Тюбингенски университет „Еберхард Карис“, Германия

**Автор на рецензията — Председател на научното жури:**

доцент д-р Димитър Магдалинов Младенов  
Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“

## 1 Актуалност на темата на дисертацията

Преди повече от 100 години Алберт Айнщайн създаде общата теория на относителността. Относително дълго време след създаването си, повече от четиридесет години, Общата теория на относителността беше експериментално проверена в съвсем малко на брой тестове. Това са класическите три теста, съставлящи емпиричната основа на теорията, а именно: а) допълнителното отместване на перихелия на Меркурий, съгласуващо се с предсказанията на теорията, но допускащо частично и обяснения, основани на други причини, б) отклонението на светлинния лъч в гравитационното поле на Слънцето, измерено в интервала от половината до двойно по-голяма стойност, предсказвана от теорията, и накрая, в) гравитационното червено отместване, наблюдавано в спектралните линии на бели джуджета, получено с доста ниска точност, и което е по-важно, този тест едва ли може да бъде разглеждан като проверка на общата теория на относителността.

Въпреки тези съвсем оскъдни на брой експериментални потвърждения, които от съвременна гледна точка могат да бъдат разглеждани само като качествени проверки на общата теория на относителността, тази революционна теория измени драстично нашите представи за пространството и времето, гравитационното поле, както и за Вселената като цяло. Постепенно, с напредъка на технологиите, редица от предсказанията на общата теория на относителността, засягащи колосален спектър от мащаби — от описание на лабораторни ефекти, планетарни и звездни формации, до обяснение на фундаментални космологически въпроси, такива като разширението на Вселената, бяха потвърдени с огромна точност, достигаща части от процента.

Наред с огромните успехи на общата теория на относителността в нея присъстват и редица концептуални трудности, например, такива като проблема за сингулярностите на пространство-времето, отсъствие на удовлетворителна дефиниция на енергията на гравитационното поле, а също така сериозен недостатък на общата теория на относителността е и невъзможността да бъде построена последователна квантова теория — както е известно квантовата гравитация е непренормируема.

Наличието на концептуални трудности в общата теория на относителността, а също така и необходимостта, на съвременния етап, от построяване на единна теория на всички известни взаимодействия, ни задължават да излезем извън рамките на стандартната Айнщайнова гравитация. Затова без никакво съмнение, построяването на нови, съгласувани с известните експериментални данни, или изследването на вече известни алтернативни на Айнщайновата гравитация теории, безспорно е една от най-актуалните задачи на съвременната физика.

Основната задача на дадената дисертация е да бъдат изследвани някои от свойствата на скаларно-тензорните теории на гравитацията. Обект на изследване са такива свойства, които в режим на слаби гравитационни полета съвпадат с предсказанията на общата теория на относителността, докато при разглеждане на силни полета се получават съществени отклонения. Вследствие на резултатите от съвременните астрофизични експерименти пространството на параметрите на безмасовите скаларно-тензорни теории на гравитацията е силно ограничено и в следствие на това предсказанията на този клас алтернативни теории практически съвпада с предсказанията на общата теория на относителността, което и до голяма степен обезсмисля разглеждането им като евентуална алтернатива на теорията на Айнщайн. От друга страна, масивните скаларно-тензорни теории, със или без самодействие, за допустими стойности на параметрите на теорията, предсказват съществени отклонения от общата теория на относителността.

В настоящия момент неутронните звезди са едни от малкото астрофизични обекти, които спомагат алтернативните теории, в частност скаларно-тензорните теории на гравитацията, да бъдат тествани в режим на силни гравитационни полета.

В дадената дисертация се разглеждат алтернативни теории на стандартната гравитация, а именно различни варианти на скаларно-тензорната теория, или по-конкретно, масивни скаларно-тензорни теории със самодействие, като основен обект на изследване, в рамките на тези теории, са компакти самогравитиращи обекти. Това определя тематиката на дисертацията като особено актуална и интересна.

## 2 Структура на дисертацията

Дисертационният труд е написан на български език и се състои от 87 страници, разпределени в 6 глави, първата и втората от които са уводни. В дисертацията са включени 14 фигури и 5 таблици, както и благодарности. Накрая дисертацията завършва с приложения, в които са включени научните приноси, списък на публикациите, на които се основава дисертационният труд, както и са отбелязани конференциите, на които са докладвани получените в дисертацията резултати. В дисертацията е представен и списък на използваната литература, който съдържа 116 заглавия, подредени по ред на цитиране в текста.

В първите две глави са изложени предварителни сведения, необходими при изследванията в областта на дисертацията.

**Първата глава** представлява кратък увод в скаларно-тензорните теории на гравитацията. Разгледани са както безмасовите, така и масивните скаларно-тензорни теории, като е обърнато специално внимание на наблюдателните ограничения, които следват от тях.

Във **Втората глава** накратко са описани числените методи, които се използват при решаването на поставените в дисертацията задачи.

В следващите глави са представени оригиналните резултати, включени в дисертацията. В тях са изследвани неутронни звезди в различни варианти на скаларно-тензорните теории на гравитацията.

В **Трета глава**, в рамките на масивните скаларно-тензорни теории на гравитацията, с помощта на числен анализ, са изследвани бавновъртящи се неутронни звезди.

В **Четвърта глава**, отново числено, са изучени бавновъртящи се неутронни звезди, но в масивните скаларно-тензорни теории на гравитацията със самодействие.

В **Пета глава** са изучени универсални съотношения за наблюдателните параметри на неутронните звезди както в случай на общата теория на относителността, така и в различни варианти на скаларно-тензорните теории.

В **Шеста глава** е приведен списък на използваните в дисертацията компютърни кодове, като за всеки един от тях е направено кратко описание.

## 3 Основни приноси

Основните приноси на дисертацията могат да бъдат резюмирани по следния начин:

- Както беше отбелязано по-горе, астрофизичните и космологичните наблюдения драстично ограничават свободните параметри на безмасовите скаларно-тензорни теории. Поради тази причина, за да се търси нова физика извън рамките на общата теория на относителността, в дисертацията, в рамките на скаларно-тензорни теории на гравитацията с масивно скаларно поле, са изследвани неутронни звезди.
- По-конкретно, в дисертацията са изучени бавновъртящи се неутронни звезди, като за вариант на скаларно-тензорната теория е избрана теория с масивно скаларно поле, чийто конформен фактор зависи експоненциално от квадрата на

скаларното поле и линейно от куплиращия параметър, който се явява и свободен параметър на теорията. Масата на скаларното поле е избрана достатъчно голяма, така че наблюденията на компактни бинарни системи, най-често образувани от две неутронни звезди или неутронна звезда и бяло джудже, да не могат да наложат ограничения върху параметрите на теорията. При отрицателни стойности на куплиращия параметър, в този вариант на скаларно-тензорните теории се наблюдава така наречената спонтанна скаларизация, която е и подробно изучена в този случай.

Показано е че за достатъчно големи маси на скаларното поле получените резултати се различават доста съществено от тези, когато използваме общата теория на относителността. Тези резултати са представени в серия от графики, на които са показани зависимостите на масата и инерчният момент на неутронната звезда. На тях ясно се виждат различията с предсказанията на общата теория на относителността, като резултатите за инерчният момент са получени за пръв път.

- В дисертацията са изучени и бавновъртящи се неутронни звезди в рамките на масивната теория на Бранс-Дике. В този случай конформният фактор зависи експоненциално от скаларното поле и, съответно, куплиращата функция е равна на константа. Отчетени са ограниченията за масата на скаларното поле, които следват от съвременните гравитационни експерименти.

Получените резултати са представени във вид на графики, на които са показани зависимостите на масата и инерчният момент на неутронната звезда. Вижда се, че и в този случай има големи отличия от предсказанията на общата теория на относителността, като получените тук резултати качествено не се различават съществено от предходния вариант на скаларно-тензорна теория.

- Както беше отбелязано по-горе, основната задача на дадената дисертация е да бъдат изследвани някои от свойствата на скаларно-тензорните теории на гравитацията. Обект на изследване са такива свойства, които в режим на слаби гравитационни полета съвпадат с предсказанията на общата теория на относителността, докато при разглеждане на силни полета се получават съществени отклонения. Вследствие на резултатите от съвременните астрофизични експерименти пространството на параметрите на безмасовите скаларно-тензорни теории на гравитацията е силно ограничено и в следствие на това предсказанията на този клас алтернативни теории практически съвпада с предсказанията на общата теория на относителността, което и до голяма степен обезсмисля разглеждането им като евентуална алтернатива на теорията на Айнщайн. Масивните скаларно-тензорни теории, за допустими стойности на параметрите, предсказват отклонения от общата теория на относителността. Като следваща логическа стъпка в това направление е изследването на масивни скаларно-тензорни теории със самодействие на допълнителното скаларно поле. За тази цел в дисертацията, за пръв път, в такъв тип скаларно-тензорни теории, са изучени бавновъртящи се неутронни звезди. Като резултат от изследванията се получава, че допълнителният член в потенциала, който задава самодействи-

ето на скаларното поле, потиска скаларизацията, но въпреки това този ефект все още оставя достатъчен произвол в избора на параметрите на теорията, така че да се наблюдават, евентуално, значителни отклонения от предсказанията на общата теория на относителността.

Резултатите от тези изследвания са представени в серия от графики. На тях са представени някои от свойствата на решението, което в този случай представлява 3-параметрично семейство, като параметрите на теорията тук са куплиращият параметър, масата и коефициентът на самодействие на допълнителното скаларно поле.

- При изследванията, проведени в дисертацията, са изучени универсални съотношения за наблюдателните параметри на неутронните звезди в случай на общата теория на относителността и в различни варианти на скаларно-тензорните теории, които включват както безмасови и масивни теории, така и теории със самодействие.
- Полевите уравнения, които описват динамиката на компактни самогравитиращи обекти в скаларно-тензорните теории на гравитацията, представляват система от обикновени диференциални уравнения. Тази система от обикновени диференциални уравнения принадлежи към класа на така наречените твърди системи, поради което решаването ѝ представлява изключително нетривиална задача. Голямо достижение в дисертацията, според мен, се явява разработването и написването на големи по обем и сложност кодове, с помощта на които изключително сложната задача за изследването на динамиката на неутронни звезди в различни варианти на скаларно-тензорните теории е успешно решена.

## 4 Научни публикации. Цитиране на научните трудове

Общият брой на представените в дисертацията публикации е **4**, като в това число:

A. В реферирани списания — **3**

A1. Physical Review D — **1**

A2. European Physical Journal C — **2**

B. Публикации в материали на конференции, сборници и абстракти — **1**

B1. AIP Conference Proceedings — **1**

Забелязаните досега независими цитирания са **19**.

## 5 Автореферат

С някои малки изключения авторефератът правилно и точно отразява съдържанието на дисертацията.

## 6 Забележки

Съществени критични бележки по дисертацията нямам.

Имам по-скоро някои препоръки и забележки по оформлението на дисертационния труд, които с необходимост изразяват само личното ми мнение.

В литературата по теоретична и изчислителна астрофизика, в частност и в настоящата дисертация, като правило, присъстват множество абривиатури, което предполага, че би било удобно, а не е и никак трудно, някъде в текста да се представи техен списък с обяснения коя какво значи. Също така, според мен, би било хубаво да бъде представен и списък на фигурите и таблиците.

В дисертацията присъстват известно количество, не много, но не и малко, печатни, граматически и смислови грешки. От друга страна, дисертантът има ясен и компактен стил на писане, което спомага материалът, изложен в дисертацията, напълно да се разбира, и до голяма степен да неутрализира присъствието на отбелязаните неточности.

Изложението в Глава 1 и, особено, в Глава 2 е стандартно и, бих казал, малко схематично, но може да се използва за бързи справки, предимно за използваните означения. Според мен, ако вече е решено да се включва в дисертацията глава, посветена на определена тема, то би следвало да се дава по-подробно и по-информативно изложение, което не остава в рамките на началните дефиниции и методи. Това е обаче въпрос на стил и личен вкус и не влияе на качеството на дисертацията.

## 7 Обща характеристика на дисертацията

- Дисертационният труд на Димитър Попчев е посветен на една от най-актуалните тематики на съвременната гравитационна физика и астрофизиката, а именно на изучаването на компактни обекти и тяхната динамика.
- Целите на дисертацията са да се изследва динамиката на компактни самогравитиращи обекти в различни варианти на скаларно-тензорните теории на гравитацията. Или по-конкретно, изучени са бавно въртящи се неутронни звезди както в масивни скаларно-тензорни теории, така и в скаларно-тензорни теории със самодействие.
- В дисертацията са поставени и успешно решени интересни за гравитацията, астрофизиката и космологията задачи.
- При решението на поставените задачи са използвани както аналитични техники, така и, най-вече, модерни техники на числения анализ и математическото моделиране. За успешната работа по научната тематика на дисертацията са написани уникални кодове, с помощта на които са решени задачи, които по-рано не беше невъзможно да бъдат атакувани.
- Проведените в дисертацията изследвания позволяват да бъде поставена основата на бъдеща допълнителна проверка на общата теория на относителността, като наблюдателните следствия да бъдат сравнени със съответните величини,

получаващи се при изучаването на алтернативните теории на гравитацията, в дадения случай на различни варианти на скаларно-тензорните теории. По-конкретно, изследванията, проведени в дисертацията спомагат да бъдат предложени наблюдателни тестове, което от своя страна дава възможност при един бъдещ евентуален експеримент да бъдат получени нови ограничения на параметрите на скаларно-тензорните теории и, съответно, да бъдат направени важни за гравитационната физика и астрофизиката изводи.

- Научните резултати са публикувани във високо реномирани международни списания, такива като, например, **Physical Review D** и **European Physical Journal C**. Публикациите са написани на много добро професионално ниво и са известни и по достойнство оценени от международната физическа общност, което, от своя страна, ясно си личи по това, че вече са цитирани от някои от активно работещите специалисти в областта на дисертацията.
- При преглед на използваната литература, както в дисертацията, така и в публикуваните научни трудове, ясно се вижда, че дисертантът много добре познава изследваната област.

Дисертацията на Димитър Попчев е написана в групата на професор дфзн Стойчо Язаджиев, в която научните критерии са изключително високи и напълно съответстват на световните стандарти, установени в съвременната гравитационна физика и астрофизиката и, следователно, напълно удовлетворява изискванията за степента, която се защитава.

Дисертацията напълно удовлетворява и изискванията, отразени в Закона за развитие на академичния състав в Република България, както и вътрешните, специфични изисквания на Физически факултет на Софийския университет „Свети Климент Охридски“.

## 8 Заключение

Вземайки предвид всичко казано досега, без колебание, препоръчвам на многоуважаемото жури да присъди на Димитър Сотиров Попчев образователната и научна степен „Доктор“.

С уважение:

доцент д-р Димитър Младенов

31 март 2019 година  
София