

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на научната и образователна степен „доктор”

Автор на дисертацията: Димитър Сотиров Попчев,
Редовен докторант в катедра „Теоретична физика” към Физическия факултет на Софийския университет „Св. Кл. Охридски”

Тема на дисертацията: „Числено изследване на компактни самогравитиращи обекти и тяхната динамика в гравитационни теории”

Научен ръководител: проф. дфн Стойчо Язаджиев (ФзФ-СУ)

Научен консултант: д-р Даниела Донева (ИЯИЯЕ-БАН и у-тет Тюбинген, Германия)

Рецензент: проф. дфн Светлана Пачева (ИЯИЯЕ-БАН)

1. Общо описание на представените материали.

Димитър Попчев завършва успешно магистратура по специалността „Физика: Теоретична и математическа физика“ към Физическия факултет на СУ „св. Климент Охридски“ през м. април 2015 г. и постъпва в редовна докторантура при катедра „Теоретична физика“ на Физическия факултет през м. януари 2016 год. През периода на своята докторантура той успява да получи достатъчен брой съществени научни резултати и да подготви дисертацията си за защита в срок – предзащитата, на която присъствах, се състоя през м. декември 2018 год.

Дисертацията се състои от общо 87 стр., 25 фигури и е със следното съдържание: (i) едно подробно резюме (ii) две уводно-обзорни глави (гл. 1-ва и 2-ра) с дефиниции на основните понятия и концепции, и по-подробно описание на теоретичните основи и изчислителните методи по съответната тематика; (iii) три глави - 3-та, 4-та и 5-та, които съдържат оригиналните резултати; (iv) в последната 6-та глава – описание на числените компютърни кодове и описание на приносите в дисертацията.

Списъкът на цитираните литературни източници обхваща 116 заглавия.

Авторефератът адекватно отразява съдържанието на дисертацията.

2. Актуалност на дисертационната тематика.

Дисертацията е посветена на теоретичното изследване с помощта на числени методи на компактни (силно гравитиращи) обекти в класа на един от най-обещаващите представители на алтернативните гравитационни теории – скаларно-тензорните теории на гравитацията. Този клас теории са систематични непротиворечиви разширения на стандартната обща теория на относителността на Айнщайн (ОТО). В тях, за разлика от стандартната ОТО, гравитацията се описва от допълнителни (една или повече) скаларно-полеви степени на свобода.

Стандартната Айнщайнова ОТО е подложена на многократни тестове досега и е потвърдена блестящо при слаби гравитационни полета. От друга страна, очевидно е, че голям брой фундаментални астрофизически процеси изискват познаване на динамиката в условията на силни гравитационни полета в околност на компактни астрофизични обекти (на първо място - неутронни звезди, бели джуджета, черни дупки и бинарни системи от тях). При такива условия възниква необходимостта от изучаване на алтернативни на ОТО

ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА

теории, които би трябвало да възпроизвеждат в определени граници на своите параметри отговарящи на слаба гравитация, където валидността на ОТО е доказана. От друга страна е много важно да се открият възможни нови гравитационни ефекти предсказвани и обяснявани от алтернативните гравитационни теории, в частност скаларно-тензорната гравитация, и същевременно да се разберат количествено и качествено евентуалните отклонения в резултатите за наблюдаемите величини от аналогичните резултати получени в стандартната ОТО.

Изследваните в дисертацията проблеми са именно в тази област на съвременната гравитационна теория, космология и астрофизика и поради това не възниква никакво съмнение в тяхната актуалност.

3. Кратка характеристика на уводно-обзорната част.

В уводно-обзорната част на дисертацията авторът демонстрира, че добре познава състоянието на проблемите и компетентно се ориентира в постигнатите досега теоретични и наблюдателни резултати в световната литература.

В **глава 1-ва** е направен синтезиран преглед на основите на математическия формализъм на скаларно-тензорните гравитационни теории (СТТ). Разгледана е тяхната формулировка в т.н. отправна система на Айнщайн, която се получава след съответна Вайл-конформна трансформация на метриката в изходното действие в т.н. отправна система н Йордан, която има физически смисъл. Накратко е изложена същността на основния непертурбативен ефект – т.н. спонтанна скаларизация (ефект на Дамур-Еспосито-Фарес). Спонтанната скаларизация възниква когато нулевото решение за гравитационното скаларното поле е нестабилно, т. е. , малка пертурбация нараства безкрайно и стабилната конфигурация за системата е при ненулево гравитационно скаларно поле (кондензат). Даден е обзор на ограниченията, които наблюдателните данни налагат върху стойностите на параметъра в безмасовите СТТ. Това практически изключва възможността последните да генерират съществени отклонения от стандартната ОТО. След това следва кратко описание на модификациите в скаларно-тензорните теории, дължащи се на включване на нетривиален потенциал, в частност масов член за гравитационния скалар. Това значително разширява границите на параметричното пространство на СТТ, за което има съгласуване с наблюдателните данни.

В **глава 2-ра** е разгледана базисната изчислителна инфраструктура, която се използва за получаване на числени решения на моделите на неутронни звезди. Уравнението, което трябва да се решат е СТТ-аналог на уравнението на Толман-Опенхаймер-Волков с допълнително добавено уравнение на състоянието. Числените методи са: интеграторната процедура *odeint*, която включва в себе си метода на Рунге-Кута, *shooting* методът за решаване на обикновени диференциални уравнения със зададени гранични условия, методът на Нютон-Рафсън, Обосновани са областите на приложение на методите, в които последните са ефективни. В последната **глава 6-та** са описани накратко използваните компютърни кодове, които съдържат оригинален принос на дисертанта.

4. Кратка характеристика на научните приноси.

Основните оригинални резултати съдържащи се в **3-та, 4-та и 5-та глави** могат да се формулират накратко както следва:

ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА

Глава 3-та. Изследвани са бавно въртящи се неутронни звезди в рамките на два класа СТТ с ненулева маса на гравитационния скалар и с експоненциално зависеща от гравитационния скалар Вайл-конформна функция: в единия случай аргументът на експонентата е квадратична, а в другия – линейна функция на полето (масивна теория на Бранс-Дике). Изследването на масивния случай се налага, защото в безмасовия случай се допуска изменение на параметъра в много тесни граници, което практически прави неотличима СТТ от ОТО (ограниченията върху параметъра на СТТ произтичат от условието за отсъствие на скаларизация и от съгласуване с наблюдателните данни).

Изходът е въвеждане на маса за гравитационния скалар. Показано е, че подходяща ненулева маса може да потисне скаларизацията и същевременно да разшири областта на допустими стойности на параметъра, които са съгласувани с наблюденията. Показва се, че при достатъчно голяма маса на гравитационния скалар основните характеристики на неутронните звезди – маса, радиус и инерчен момент – могат да се отличават съществено от предсказанията на ОТО. Друг оригинален резултат в тази глава е получената за първи път зависимост на инерчния момент от масата на звездата и при определени стойности на параметъра в конформния фактор дефиниращ отправната система на Айнщайн. Тази зависимост се отличава почти на порядък от резултата в ОТО при използване на едно и също уравнение на състоянието.

Глава 4-та. Изследвани са за пръв път бавно въртящи се неутронни звезди в рамките на скаларно-тензорни теории с добавен нетривиален член на самодействие на гравитационния скалар (освен масовия член). Показано е, че самодействието също има ефект на потискане на спонтанната скаларизация, което позволява по-широк интервал за масата на гравитационния скалар, в рамките на който има съвместимост с наблюдателните данни.

Глава 5-та. При изучаването на неутронните звезди има два вида нееднозначности: първата нееднозначност се дължи на недостатъчното познаване на природата на фундаменталните процеси на взаимодействие между частиците при ултрависоките плътности на материята във вътрешността на неутронните звезди, водещо до значителна неопределеност във вида на съответното уравнение на състоянието; другата нееднозначност се дължи на факта, че изменението на различни параметри на СТТ водят до еднакви качествени ефекти. И двата вида нееднозначности са изучени достатъчно подробно в дисертацията на примера на разглежданите СТТ. В **глава 5-та** за пръв път се изследват т.н. универсални съотношения между характеристиките на неутронните звезди в СТТ с масивно и самодействащо гравитационно скаларно поле. Получени са числени резултати при различни уравнения на състоянието и стойности на параметрите за нормирани изрази за инерчния момент като функция на компактността на звездата, които за определени стойности на параметрите (параметъра на конформния фактор дефиниращ отправната система на Айнщайн, масата и константата на самодействие на гравитационния скалар) показват добри свойства на универсалност – *независимост от уравнението на състоянието* и даже *независимост от специфичния вид на скаларно-тензорната теория*.

ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА

5. Публикации и значимост на резултатите.

Дисертацията е базирана на 3 статии в световни водещи списания - една във *Physical Review D* и две в *European Physical Journal C*, плюс един доклад публикуван в пълен текст в *AIP Conference Proceedings*. Заедно с това резултатите са докладвани и на 3-тия Национален конгрес по физически науки, София, 2016. Досега са забелязани **23** независими цитирания от чуждестранни автори на тези статии, сред които - от водещи в света експерти като Т. Сотириу.

Трудовете на дисертанта са в съавторство с колектив, в който присъстват международно известни български учени, което без съмнение е позитив. Заедно с това той има съществен принос особено в частта с приложения на числени методи, без което анализът на разглежданите теории не би бил възможен. Освен това характерът на тези трудове напълно удовлетворява изискванията за получаване на съответната научна степен.

По отношение на значимостта на научните резултати в дисертацията определено може да се каже, че те са принос към активните широкомащабни изследвания на гравитацията в режим на силни полета, предприемани от авторитетни международни научни колаборации, в това число и принос в бурното развитие на новата и особено актуална област на гравитационно-вълновата астрономия

6. Забележки.

Нямам критични забележки по същество освен наличието на известен брой печатни (например, отсъствие на десни скоби) и правописни грешки, които разбира се не се отразяват на математическата коректност на получените резултати.

7. Заключение.

Защитаваният дисертационен труд се отличава със следните достойнства:

- Резултатите отразени в дисертацията са нови за дадената област. Те са нетривиален принос към систематичното изследване на физиката на силно гравитиращи (компактни) астрофизически обекти в контекста на обобщените гравитационни теории.
- В дисертацията се решават актуални нетривиални проблеми, които са от съществено значение за развитието на дадената област в условията на силна международна конкуренция.
- Дисертантът демонстрира много добро познаване на литературата и състоянието на наблюдателните данни, задълбочено вникване и разбиране на основните проблеми и задачи за решаване по дадената тематика.
- Дисертантът показва професионални умения при боравене със сложен съвременен математичен и теоретичен апарат. Той също така демонстрира способности за създаване и професионално използване на ефективни програмни кодове с решаващо значение при получаването на основните научни резултати.
- Публикациите на резултатите в дисертацията са в най-елитните съвременни световни физически списания.

ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА

Въз основа на горните преценки напълно определено считам, че представената дисертация е на високо научно ниво и изцяло удовлетворява изискванията за получаване на съответната научна степен. Нямам съмнение, че Димитър Попчев е вече изграден млад учен с много добри перспективи за развитие и успешна бъдеща научна кариера. Поради това без колебание препоръчвам на високоуважаемото научно жури към Физическия факултет на СУ „св. Кл.Охридски” да присъди на Димитър Сотиров Попчев научната и образователна степен „доктор“.

28.03.2019 г.

проф. дфн Светлана Пачева