

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационния труд

“Числено моделиране на структурата и свойствата на компактни обекти в астрофизиката”

представен от **Калин Вилиянов Стайков**

за присъждане на образователната и научна степен “Доктор”

Изготвил рецензията: Радослав Христов Рашков, дфн, професор във Физ. Ф-т на СУ “Кл. Охридски”

1. **Научно направление:** 4.1 Физически науки (01.03.01 Теоретична и математична физика)
2. **Научен ръководител:** проф. дфнн Стойчо Стоянов Язаджиев (ФзФ-СУ)
3. **Наукометрични данни:** Представеният от Калин Вилиянов Стайков дисертационен труд е базиран на **4** публикувани труда в списания а импакт-фактор, **2** доклада на международни конфереции и **1** на национална конференция. По представените в дисертационния труд публикации са забелязани над **42** цитирания в реномирани списания с импакт фактор.
4. **Трудовете:** **8** публикации - 4 в списания с импакт фактор, 2 са работи в материали от международни конференции в пълен текст, 1 доклад на национална конференция и автореферат на дисертацията.

Статиите в списания с импакт фактор са както следва: **JCAP – 2; Phys. Review D – 1; Euro. Phys. Journ. C – 1.**

Дисертационният труд е в обем от 139 страници включващи Увод и 7 глави. Първите пет глави се състоят от Увод и обзор на проблемите в областта. Тук са въведени модифицираните теории на гравитацията и се представя необходимия аналитичен апарат. Глава 5 представлява кратък обзор на използваните при разглеждането на поставените задачи числени методи. В глави 6, 7 и 8 се излагат оригиналните резултати получени от докторанта.

Авторефератът е на 45 страници и правилно отразява съдържанието на дисертационния труд, като отделно са изброени приносите. Цитираната литература от 140 заглавия, както в дисертационния труд, така и в съответните публикации, показва задълбочено познаване на материята на най-високо ниво, а броят на цитатите свидетелства за значимостта на получените резултати.

Актуалност: представените трудове са в най-бурно развиващото се в последното десетилетие направление на теоретичната и математична физика – Гравитацията. Тематично изследванията на които се базира дисертационния труд могат да се разбият на три взаимно свързани направления:

- а) алтернативни теории на гравитацията;
- б) структура и свойства на компактни обекти в астрофизиката и модели на модифицирана гравитация;
- в) числено изследване на неутронни и кваркови звезди.

Компактни обекти като неутронните и кварковите звезди ни дават възможност да изследваме едновременно, както гравитацията в режим на силни полета, така и свойствата и поведението на материята при силни гравитационни полета и плътности над ядрената, недостижими в лаборатория условия. В контекста на директните наблюдения на гравитационни вълни, на който станаме свидетели в началото на тази година, изследването на гравитационно-вълновия спектър е вече със същия приоритет като изследването на електромагнитни сигнали и източниците им. От основно значение е тези два канала за наблюдение на компактни обекти и самите компактни обекти да бъдат подробно изследвани в рамките на различни модифицирани теории на гравитацията и резултатите да бъдат съпоставени с тези в Общата теория на относителността. Един бърз преглед на глобалните съвременни проблеми в областта сочи, че тематиката на дисертацията се вписва изцяло в една от бурно развиващите се области на съвременната теоретична физика. Горните направления дават основата за нови подходи към съвременните проблеми в областта. Тяхната актуалност и значимост с времето не само няма да отслабва, но се предполага, че ще стават все по-работещ инструмент за изучаване на Вселената.

5. **Научната дейност** на Калин Стайков е в областта на теоретичната и математична физика, и по-конкретно в Гравитацията. Приносите му са най-общо в три направления: а) квантова теория на полето; б) квантови групи, квантови алгебри и техните представяния; в) математична физика и някои приложения. Откритията във физиката през последните десетилетия постави нови предизвикателства пред математичната и основа в концептуален и практически план. Откриването на бозона на Хигс, както и най-новите експериментални данни, поставят все по-настойчиво въпроса: докъде се простира валидността на Стандартния модел, има ли суперсиметрични частици и колко надеждно можем да опишем Вселената? В последните 10-15 години се добавиха още предизвикателства – тъмната енергия и тъмната материя, гравитационните вълни. Единното описание на Вселената и процесите в наблюдаемия свят без съмнение са едно от най-големите предизвикателства пред физиката на нашето столетие.

Изследванията на докторанта са върху структурата и свойствата на компактни астрофизични обекти и пространство-времето около тях, като разглежданията са в рамките на $f(R)$ теория с Лагранжиан $f(R) = R + aR^2$ - т. нар. R^2 гравитация. Тези теории са много популярни, тъй като не противоречат на експериментите нито в космологични нито в астрофизични случаи. Също така в рамките на тези теории не се появяват нефизични ефекти, което ги прави подходящи кандидати за алтернативи на Общата теория на

относителността. В този смисъл актуалността на дисертационния труд в научно отношение не буди никакво съмнение.

Разгледани са непертурбативни и самосъгласувани статични и стационарни модели (в приближение на бавно въртене) на неутронни и кваркови звезди. Разгледани са пертурбации на неутронни звезди (в приближение на Каулинг), което е първата стъпка към подробното изучаване на гравитационни вълни в съответната модифицирана теория. Разгледан е и ефект пряко свързан с бъдещи наблюдения на пулсари, а именно квази-периодичните осцилации и по-конкретно орбиталната и епицикличните честоти на частица движеща се около компактен обект в R^2 гравитация. Разгледаните честоти са в основата на повечето модели, описващи квази-периодичните осцилации.

Научната дейност на Калин Стайков отразена в представената дисертация се вписва именно в тази актуална област на съвременната теоретична и математична физика.

6. Мястото на дисертационната тема в съвременната теоретична физика:

Общоприетият съвременен подход към гравитация се основава на общата теория на относителността (ОТО), даваща ни изцяло геометрична формулировка на гравитацията. Математическият формализъм в общия случай води до решаването на система нелинейни частни диференциални уравнения, а добавянето на материя още повече усложнява разглежданията, правейки ги трудно обозрими аналитично. Съвременните постижения в областта ни дава възможност, въпреки аналитичните трудности, да получим количествени решения на съответните задачи, използвайки апарата на изчислителната физика.

Основен метод за изследване на структурата и свойствата на компактни обекти в теоретичната астрофизика е точно численото решаване на структурните уравнения описващи тези обекти. По този начин може да се заобиколят иначе трудно решимите аналитично проблеми относно структурата на компактните обекти и пространство-времето около тях. От друга страна, компактни обекти като неутронните и кварковите звезди ни дават възможност да изследваме едновременно, както гравитацията в режим на силни полета, така и свойствата и поведението на материята при силни гравитационни полета и плътности на ядрената материя, недостижими в лаборатория условия. Именно изследването на силни гравитационни полета се очаква да даде отговор дали и доколко ОТО е приложима в тези екстремни случаи. Има редица теоретични съображения, според които е необходима модификация на теорията в режим на силни гравитационни полета. От друга страна сравнително неотдавна беше експериментално открито ускореното разширение на Вселената, което навежда на мисълта, че ОТО може би не работи добре в космологични мащаби. Всичко това е предпоставка към сериозното изследване на модифицирани теории на гравитацията и техните космологични и астрофизични проявления. Резултатите от тези изследвания ще спомогнат за по-точното интерпретиране на наблюдателните данни, който се очакват от планираните в близко бъдеще мисии.

Този много бегъл обзор на важните постижения, диктуващи развитието в много области на теоретичната и математична физика дава солидни аргументи за важността и актуалността на проблемите разработени в дисертацията.

7. **Приносите на кандидата** могат да се класифицират по двете направления посочени по-горе. Тук ще изброя някои от съществените приноси по направления, които дават представа за значимостта им.

А) Непертурбативно и самосъгласувано са изследвани статични и стационарни модели на неутронни и кваркови звезди в $f(R)$ гравитация с Лагранжиан $f(R) = R + aR^2$. Тук стационарните модели са разгледани в приближение на бавно въртене, което е линейно по ъгловата скорост на звездта. В това приближение въртенето не дава принос към масата и радиуса на звездата, но позволява да се определи инерчния момент. Приносите са изложени в глава 6 на дисертацията, като най-съществените резултати са следните:

- 1) Изследван е голям набор от стойности на свободния параметър в теорията и е показано, че с увеличаване на стойността на параметъра се увеличава и отклонението от ОТО. Наблюдавано е увеличение на максималната маса с около 10% спрямо ОТО.
- 2) Изследвани са множество уравнения на състоянието, описващи адронна материя (неутронни звезди) и кваркова материя (кваркови звезди). Показано е, че за адронни уравнения на състоянието резултатите са качествено еднакви. Резултатите за кварковите уравнения се различават качествено от тези за неутронните звезди, но увеличението на максималните маси остава около 10%.
- 3) Получените резултати са сравнени с известни преди това в литературата пертурбативни резултати и е показана неприложимостта на пертурбативния метод в този случай.
- 4) В приближение на бавно въртене е получен инерчният момент на неутронни и кваркови звезди. Наблюдаваното увеличение спрямо ОТО е около 30% за модели с еднакви маси, а абсолютно увеличение е около 40%. Направените разглеждания са за голям набор от стойности на свободния параметър на теорията.
- 5) Създадени са кодове за решаване на полевите уравнения, което е нетривиална задача, тъй като разгледаните уравнения са от тип твърди.

Б) Изследвани са пертурбации на неутронни и на кваркови звезди в R^2 гравитация, чрез така нареченото приближение на Каулинг. В рамките на това приближение се фиксира метриката и скаларното поле и се разглеждат само пертурбации на плътността и налягането и на четирискоростта на флуида. Приносите са изложени в глава 7 на дисертацията, като най-съществените резултати са следните:

- 1) Изследван е голям брой уравнения на състоянието за неутронни и за кваркови звезди, както и различни съотношения между параметрите на звездата и честотите на осцилации. Изследванията са направени за голям набор от стойности на параметъра a , покриващи целия интервал от възможни стойности за параметъра, позволени от наблюденията.

2) Изследвана е независимостта от уравнението на състоянието на някой от разгледаните съотношения между параметрите на звездата и честотата на осцилациите, а също така е наблюдавана и независимост от гравитационната теория.

3) Получени са стойностите за свободните параметри в R^2 гравитация за известни в литературата фитиращи полиноми, описващи разглежданите съотношения.

В) Изследвани са орбиталните и епицикличните честоти на частица, движеща се по кръгова орбита около неутронна или кваркова звезда в R^2 гравитация. Разгледаните честоти са в основата на един от най-популярните модели за описание на квази-периодични осцилации наблюдавани в лъчението на някой пулсари. Приносите са изложени в глава 8 на дисертацията, като най-съществените резултати са следните:

1) Изследван е голям набор от стойности за свободния параметър a за статични и за бавно въртящи се модели.

2) Получени са радиусите на последната стабилна кръгова орбита, като е наблюдавано намаление на радиуса спрямо този в ОТО с около 10%.

3) Получени са орбиталните и епицикличните честоти. При орбиталните и при максималната радиална епициклична честота е наблюдавано увеличение с около 10% спрямо ОТО.

4) Установено е, че бавното въртене няма съществен принос към резултатите – отклоненията са до около 4%. Наблюдавано е характерно за някой параметри поведение в рамките на теорията, проявяващо се с увеличение на стойността на свободния параметър.

8. Калин Стайков е представил 4 публикации в реномирани списания с импакт фактор като **J. Phys. A, J. Math. Phys., Phys. Lett. B, Nuclear Physics B** и 3 други в доклади от конференции.

Цитирания: Представените научни трудове са намерили добро отражение и оценка в редица публикации в международни списания. Общият брой забелязани цитирания е над 42 което далеч надхвърля препоръчителните критерии на Физ. Факултет за присъждане на научната и образователна степен “доктор”.

Представените публикации са със съавтори, като по думите на съавторите той има равностоен принос.

9. **Критични бележки:** Освен неизбежните печатни грешки и малки неточности съпътстващи писането на трудове в голям обем, нямам критични бележки по същество.

10. **Лични впечатления за кандидата:** с кандидата съм имал много дискусии по научни (и не само) въпроси. От тези срещи съм останал с отлични впечатления за Калин Стайков като човек с широка обща култура, ерудиция и задълбочен подход към проблемите.

11. **Заклучение:** Разработените в дисертационния труд на Калин Вилиянов Стайков проблеми представляват ценен принос в областта на Гравитацията, и по-конкретно

структурата и свойствата на компактни обекти.

Предложените нови конструкции и методи за количествено и качествено изследване на проблемите намират и ще продължават да намират и в бъдеще широко приложение в редица нови модели, валидността на които ще се даде експерименталните наблюдения. Цитираната литература както в дисертационния труд така и в отделните публикации правилно и пълно отразява последните достижения в съответната област, като демонстрира познаване на последната на най-високо ниво.

Представените резултати свидетелстват за правилността на разработената или избрана методика на изследване. Без съмнение, оригиналните методи и подходи представляват съществен принос в областта.

Публикуваните в най-реномирани международни списания работи сами по себе си говорят за достоверността и високата стойност на резултатите. Големият брой цитати в тази област с невисока цитируемост също говори за това.

На базата на представените в дисертацията научни трудове и приносите, и в съответствие с критериите на Физически факултет на СУ , убедено предлагам на научното жури **да присъди** на Калин Вилиянов Стайков научната степен **доктор**.

Дата: 16.11.2016 г.

Изготвил рецензията:

/подпис/