

Хабилитационна справка за оригиналните научни приноси

на гл. ас. д-р Петя Георгиева Недкова

Научната работа на гл. ас. д-р Петя Недкова включва 17 публикации в международни списания с висок импакт фактор, 7 публикации в реферирани и индексирани сборници от доклади на водещи международни конференции, и една монография на английски език в процес на публикация в Университетско издателство „Св. Климент Охридски“. За настоящия конкурс са представени 15 публикации с импакт фактор, 5 публикации в сборници на конференции и описаната монография. Всички научни трудове са в областта на гравитационната физика и общата теория на относителността като обхващат широк спектър от разглеждани тематики. Д-р Петя Недкова притежава значителни резултати както в областта на математическата теория на гравитацията, така и в релятивистката астрофизика. Нейната основна експертиза засяга математическите основи на общата теория на относителността и алтернативните теории на гравитацията, с приложения във физиката на компактните обекти, както и изследването на феноменологични ефекти в режим на силно гравитационно поле, които могат да бъдат експериментално потвърдени. Основните приноси на автора могат да бъдат причислени към следните направления:

- I. Получаване на нови точни решения на обобщените гравитационни полени уравнения в пространство-време с високи измерения.
- II. Изследване на термодинамичните свойства на компактни обекти в пространство-време с високи измерения, включително черни дупки и гравитационни инстантони.
- III. Получаване и изследване на точни решения на гравитационните полени уравнения описващи черни дупки взаимодействащи с астрофизично мотивирани среди.
- IV. Класификация на решенията описващи пространствено-времени тунели ("wormholes") в рамките на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация
- V. Изследване на скаларизирани черни дупки в обобщените скаларно-тензорните теории на гравитацията (публикация А.2).
- VI. Получаване и изследване на сенките на компактни обекти, включително черни дупки, пространствено-времени тунели, голи сингулярности.
- VII. Построяване и изследване на релятивистките образи на акреционни дискове в пространство-време на компактни обекти.

1. Получаване на нови точни решения на обобщените гравитационни поливи уравнения в пространство-време с високи измерения (публикации А.7, А.11, А.12, А.13, А.15, А.16, В.5, В.6, В.7, С.1).

В поредица от работи са получени нови точни решения на уравненията на Айнщайн-Максуел в 5-мерно пространство-време описващи компактни обекти, които притежават хоризонт на събитията. Допускането на допълнително измерение значително разширява класа на възможните компактни обекти, които водят до регулярно пространство-време извън хоризонта на събитията. Освен черни дупки със сферична топология на хоризонта, съществуват така наречените черни пръстени с $S^1 \times S^2$ топология на пространствените сечения, както и черни лещи, при които хоризонтът е хомеоморфен на максимално общо пространство на лещите. В допълнение уравненията на Айнщайн-Максуел в пространство-време с високи измерения допускат съществуването на напълно регулярни солитонни решения, наречени гравитационни инстантони, които не е възможно да се реализират в 4-мерно пространство-време. Основните приноси на автора се състоят в конструирането на стационарни аксиално-симетрични решения на гравитационните поливи уравнения, които описват многообразия със сложна топологична структура съответстваща на суперпозиция на черни дупки или черни пръстени и гравитационни инстантони. В работи [А.16, В.7] са получени решения на уравненията на Айнщайн-Максуел в 5-мерно пространство-време, които описват редица от алтернативно редуващи се статични черни пръстени и инстантони на Шварцшилд, известни в литературата като пространствено-времеви мехури (spacetime bubbles). Решенията се характеризират с топологичен магнитен заряд, наричан още диполен заряд, породен от наличието на нетривиална втора хомологична група за хоризонта на събитията. В работи [А.15, В.6] е построена суперпозиция от въртящ се черен пръстен и инстантон на Шварцшилд в пространство-време с допълнително компактно измерение (Калуца-Клайн асимптотика). При подходящ избор на параметрите решението е напълно регулярно извън хоризонта на събитията и описва конфигурация на самогравитиращи обекти намиращи се в равновесие. В работа [А.7] решението е обобщено до съответната конфигурация в рамките на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация като е добавен и електричен заряд. В следваща поредица от работи [А.14, А.13, А.12, В.5] са получени конфигурации от черни дупки и гравитационни инстантони притежаващи по-сложна топологична структура, като Taub-NUT и Taub-Bolt решенията, при които тримерните пространствените сечения са хомеоморфни на разслоение на Норф. Построените решения включват конфигурации от статични заредени черни дупки и черни пръстени [А.14, А.11, В.5] и магнетизирани черни дупки [А. 13, А.12], където електромагнитното поле не е породено от компактния

обект, а от даден външен източник. В работа [A.12] е изследвано и излъчването на Hawking за конфигурации от магнетизирани черни дупки и Taub-NUT инстантони. Описаните решения са конструирани чрез използване на алгебрични трансформации породени от групата на симетриите на обобщените уравнения на Айнщайн, в частност и на подходящо подобрени трансформации на Väsklund. В монографията [C.1] е направен систематичен анализ на точните решения описващи стационарните и аксиално-симетрични компактни обекти с хоризонт на събитията в пространство-време с допълнително измерение като са включени и оригинални резултати на автора.

II. Изследване на термодинамичните свойства на компактни обекти, включително черни дупки и гравитационни инстантони (публикации A.7, A.12, A.13, A.14, A.16, A.17, B.5).

Изследвана е термодинамиката на конфигурации от компактни обекти, притежаващи хоризонт на събитията, и гравитационни инстантони в рамките на Айнщайн-Максуел(-дилатонната) гравитация в пространство-време с допълнително измерение. В редица случаи са изведени т. нар. съотношения на Smarr и съответния първи принцип на термодинамиката. Присъствието на хоризонти на събитията с топология различна от сферичната и на гравитационни инстантони в разглежданото пространство-време води до наличието на нетривиални групи на хомология за съответните повърхнини. Те пораждат появата на различни топологични заряди, като диполен заряд, характерен за черните пръстени при наличието на електромагнитно поле, или т. нар. NUT-заряд, забелязан за първи път при инстантона на Taub-NUT. Тези характеристики имат смисъл на термодинамични величини и присъстват във формулите на Smarr и в първия принцип на термодинамиката. В допълнение, взаимодействието на електромагнитното поле с топологичната структура на пространство-времето води до появата на нетривиални потоци през определени пространствено-подобни повърхнини, които също играят термодинамична роля. Формулите на Smarr и първият принцип на термодинамиката се извеждат по независим начин от теоремите за единственост за съответното пространство-време. Въпреки това между двата подхода има дълбока концептуална връзка. Величините, които участват в термодинамичните съотношения обикновено се оказват ключови характеристики на разглежданите решения като обуславят тяхната класификация и единственост.

Описаните идеи са достигнати в следствие на следните конкретни изследвания на кандидата. В работа [A.17] са изведени формулите на Smarr и първия принцип на термодинамиката за редици от магнетизирани черни дупки и инстантони на Шварцшилд в рамките на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация в

пространство-време с допълнително компактно измерение. Решенията не притежават електричен заряд, но е показано, че се характеризират термодинамично от магнитния поток през определени двумерни повърхнини. Магнитният поток участва в изведените термодинамични съотношения, както и в доказаната по-късно класификация на разглежданите решения. В работи [A.13, A.12] тези разглеждания са обобщени за конфигурации от магнетизирани черни дупки и Taub-NUT инстантони като е показан приносът на магнитния поток през базовото пространство на разслоението на Hopf. В работа [A.16] са изведени съотношенията на Smarr и първият принцип на термодинамиката за редици от диполни черни пръстени и инстантони на Шварцшилд, които включват магнитни потоци и диполните заряди върху отделните компоненти на хоризонта на събитията. Работи [A.14, B.5] разглеждат термодинамичната роля на NUT-заряда за общ клас от локално асимптотически плоски гравитационни инстантони. Показано е, че глобалната (ADM) маса на решенията може да се представи като суперпозиция от локалната маса, която се асоциират с минималната повърхнина съответстваща на инстантона и член съдържащ NUT-заряда и NUT-потенциала. В работа [A.7] е изследвана термодинамиката на конфигурации от заредени въртящи се черни дупки и инстантони на Шварцшилд в 5-мерната Айнщайн-Максуел-дилатонна гравитация генерирани чрез Калуца-Клайн трансформация върху подходящо избрано зародишно решение. Показано е, че термодинамичните характеристики на полученото решение напълно се определят от тези на зародишното решение и са изведени съответните съотношения.

III. Получаване и изследване на точни решения на гравитационните поливи уравнения описващи черни дупки взаимодействащи с астрофизично мотивирани среди (публикации A.6, A.8, A.9, B.1, B.4).

Работи [A.6, A.8, A.9, B.1, B.4] са посветени на определен клас точни решения на уравненията на Айнщайн, известни като деформирани черни дупки. Такива решения се прилагат за описанието на квази-стационарни системи от черни дупки и гравитираща материя. Тяхното разглеждане се мотивира от факта, че астрофизичните кандидати за черни дупки не са изолирани обекти, а взаимодействат с определен тип материя, като акреционни дискове и звездни компоненти в двойни системи. Описанието на подобни конфигурации чрез точно решение обикновено е твърде тежка задача, но е възможно да се намери локално точно решение, което описва определена област от пространство-времето в околност на хоризонта на черната дупка, наречено деформирана черна дупка.

В рамките на тази тематика сме получили следните резултати. В работи [A.9, B.4] е конструирано първото точно решение описващо въртяща се деформирана черна дупка при наличието на допълнително измерение на пространство-времето.

Решението е получено чрез прилагане на дву-солитонна трансформация на Bäcklund върху подходящо подбрано зародишно решение. Изследвани са някои физически характеристики на решението, като маса и ъглов момент и са съпоставени с тези в изолирания случай. Съотношението на Smart остава валидно, но се наблюдава качествено различно поведение на параметъра на въртене. За разлика от изолирания случай той може да расте неограничено, без това да доведе до формирането на гола сингулярност.

В работа [А.8] са изследвани някои основни свойства на деформираната черна дупка на Кер при определени симетрии на външната материя. Разгледано е поведението на ергообластта, наличието на сингулярности извън хоризонта на събития и поведението на скаларните инварианти на кривината върху хоризонта. Показано е, че при наличието на външна материя ергообластта има качествено нов вид. Реализират се два типа конфигурации – едносвързана ергообласт, която се простира до границата на валидност на решението, или многосвързана ергообласт, състояща се от компонента асоциирана с черната дупка и компоненти свързани с външната материя. Отново е възможно параметърът на въртене да приема произволно големи стойности като се нарушава ограничението за ограничението за черната дупка на Кер, без да се формира гола сингулярност.

В работи [А.6, Б.1] за първи път са получени точни решения, които представляват черни дупки взаимодействащи както с външно материално разпределение, така и с външен източник на магнитно поле. В известно приближение решенията описват областта в околност на хоризонта на астрофизична черна дупка заобиколена от масивен акреционен диск, който генерира силно магнитно поле. Резултатите имат също фундаментално значение, тъй като дават интуиция как гравимагнитното взаимодействие променя свойствата на изолираните черни дупки. Технически магнетизираните решения са получени чрез прилагане на трансформация на Харисон върху зародишно решение описващо деформирана черна дупка. Изследвани са подробно термодинамичните свойства на получените решения, както и ефектът на Майснер в случай на екстремални черни дупки.

IV. Класификация на решенията описващи пространствено-времеви тунели ("wormholes") в рамките на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация (публикации А.5, В.3).

В общата теория на относителността и в алтернативните теории на гравитацията се получават по естествен начин решения описващи тунели между различни вселени или различни области от една и съща вселена, наречени пространствено-времеви тунели ("wormholes"). Най-интересни от физическа гледна точка са така наречените проходими тунели, които представляват напълно регулярни решения и могат да

бъдат разглеждани в контекста на бъдещи възможности за пътуване в пространство-времето.

За разлика от черните дупки, решенията описващи пространствено-времени тунели не са класифицирани систематично. В нашите изследвания в работи [A.5, B.3] е формулирана и доказана за първи път теорема за единственост на статичните решения описващи проходими тунели в пространство-времето в рамките на Айнщайн-Максуел-дилатонната гравитация при наличието на фантомни скаларни и/или електромагнитни полета. Показва се, че в дадена област от параметричното пространство, определена от асимптотичните стойности на скаларното поле и метричните функции, регулярните решения описващи пространствено-времени тунели се определят напълно от тяхната маса, скаларен заряд и електричен заряд. Още повече, в този сектор съществува единствено регулярно решение, което е сферично-симетрично и изометрично на определено конструирано от нас пространство-време. Доказателството се основава на теоремата за положителност на енергията приложена за подходящо Риманово пространство.

V. Изследване на скаларизирани черни дупки в обобщените скаларно-тензорните теории на гравитацията (публикация A.2).

В скаларно-тензорните теории на гравитацията са доказани редица теореми за единственост, които класифицират възможните решения описващи черни дупки и показват, че при определени условия черните дупки не притежават т. нар. скаларна коса и не могат да бъдат отличени от съответните решения в общата теория на относителността. Един от начините да се избегнат теоремите за единственост и да се получат решения с нетривиално скаларно поле е да се разгледат обобщения на скаларно-тензорните теории като към гравитационното действие се добавят алгебрични инварианти на кривината от по-висок ред. В нашите изследвания в работа [A.2] са получени числено решения описващи скаларизирани заредени черни дупки в рамките на скаларно-тензорната-Гаус-Боне гравитация при различни куплиращи функции между инварианта на Гаус-Боне и скаларното поле. Решенията бифуркират от черната дупка на Reissner-Nordström в областите от параметричното пространство, където тя става неустойчива, като съществуват две точки на бифуркация при ниски и високи маси. Изследвана е ентропията на скаларизираните черни дупки и е показано, че за разглежданите куплиращи функции основният клон на скаларизираните решения е термодинамично предпочитан спрямо черната дупка Reissner-Nordström, докато останалите клонове притежават по-ниска ентропия спрямо тази в общата теория на относителността, и следователно са неустойчиви.

VI. Получаване и изследване на сенките на компактни обекти, включително черни дупки, пространствено-времеви тунели, голи сингулярности (публикации А.3, А.4, А.10, В. 2).

Работи [А.3, А.4, А.10, В.2] са посветени на получаване на образите на сенките на различни видове компактни обекти и техния анализ. Ефектът на сянката е известен от теорията черните дупки още от 70-те години на миналия век, но с напредъка на съвременните наблюдателни ресурси придобива голямо практическо значение, тъй като вече служи като средство за експериментално изследване на свойствата на самогравитиращите системи в режим на силно поле. Внимателен анализ на ефекта на сянката показва, че той не се ограничава само до наличие на черни дупки. Редица други компактни обекти с достатъчно силно гравитационно поле се характеризират с подобна феноменология, като водят до качествено близки изображения.

Работа [А.10] представлява първото изследване в литературата на сенки на въртящи се пространствено-времеви тунели. Показано е, че пространствено-времевите тунели водят до формирането на сянка и получените изображения са сходни с тези за черната дупка на Кер. Работата получава международно признание като една от водещите в областта като е цитирана при анализа на първото наблюдавано изображение на черна дупка от колаборацията Event Horizon [Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama *et al.*, *Astrophys.J.* 875, L5 (2019)]. Анализът на сенките на пространствено-времеви тунели е задълбочен в работи [А.3, В.2], където са изследвани в детайли физическите механизми за формиране на образите и особеностите в структурата на изображенията, до които те водят.

Работа [А.4] е посветена на сенките на черни дупки, които не се намират в изолация, а взаимодействат с външно разпределение на материя, като акреционен диск в тяхната околност или друг компактен обект в рамките на двойна система. Показано е, че наличието на взаимодействие с друг гравитационен източник води до качествено изменение на образите на сенките. Появяват се многосвързани изображения, като ефектът не зависи от силата на външното гравитационно поле, а единствено от неговото наличие. Разкрит е физическият механизъм за формиране на многосвързаните изображения на базата на анализ на динамиката на разпространение на фотоните в съответното пространство-време.

VII. Построяване и изследване на релятивистките образи на акреционни дискове в пространство-време на компактни обекти (публикация А.1).

В реалистичните астрофизични системи компактните обекти са заобиколени от акреционни дискове. Те водят до формирането на определени релятивистични изображения, които могат да бъдат наблюдавани при експерименти в

електромагнитния спектър подобно на сенките на компактни обекти. В работа [А.1] за първи път е изследван образът на акреционен диск около компактен обект, който не представлява черна дупка. Разгледана е голяма сингулярност в присъствието на скаларно поле, като за описание на акреционния диск формиран в нейната околност е използвано приближението на тънък диск. Получените изображения са сравнени с образа на акреционен диск около черна дупка на Шварцшилд като е показано, че в случаите, когато съществува фотонна сфера двата компактни обекта водят до качествено сходни изображения. Въпреки това съществуват количествени разлики, тъй като акреционният диск около голяма сингулярност води до по-малък образ и се отличава с по-висок интензитет на излъчения поток концентриран в по-тясна околност на неговия максимум.

Преподавателският опит на гл. ас. д-р Петя Недкова включва лекции по 6 различни теоретични дисциплини и съответните упражнения, сред които лекции на английски език и курсове по Теоретична астрофизика и Увод във физиката на черните дупки, пряко свързани с научното направление на конкурса. Общата преподавателска натовареност за периода 2013-2019 г. е еквивалентна на повече от 7 години пълна учебна заетост за Софийски университет. Д-р Петя Недкова е ръководител или съръководител на 2 бакалавърски дипломни работи, едната от които е защитена в университета в Олденбург по време на нейните регулярни посещения. Ръководител е на 2 научни проекта финансирани от Фонд Научни Изследвания към МОН и СУ „Климент Охридски“ и е участвала като член на научния екип в 12 други, сред които 2 COST акции, в едната от които е член на управителния съвет. Има богат международен опит под формата на научно сътрудничество, отразено в публикации във водещи списания с импакт-фактор, и регулярни научни визити в университета в Олденбург и Тюбинген, еквивалентни на приблизително 3-годишен престой.

30.09.2019 г.
гр. София

С уважение:


/д-р Петя Недкова/

Библиография*:

- A.1. G. Gylchev, P. Nedkova, T. Vetsov, S. Yazadjiev, "Image of the Janis-Newman-Winicour naked singularity with a thin accretion disk", Phys. Rev. D100 (2019) 024055.
- A.2. D. Doneva, S. Kiorpelidi, P. Nedkova, E. Papantonopoulos, S. Yazadjiev, "Charged Gauss-Bonnet black holes with curvature induced scalarization in the extended scalar-tensor theories", Phys. Rev. D98 (2018) 104056.
- A.3. G. Gylchev, P. Nedkova, V. Tinchev, S. Yazadjiev, "On the shadow of rotating traversable wormholes", Eur. Phys. J. C78 (2018) 544.
- A.4. J. Grover, J. Kunz, P. Nedkova, A. Wittig, S. Yazadjiev, "Multiple shadows from distorted static black holes", Phys. Rev. D97 (2018) 084024.
- A.5. B. Lazov, P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Uniqueness theorem for static phantom wormholes in Einstein-Maxwell-dilaton theory", Phys. Lett. B 778 (2018) 408.
- A.6. J. Kunz, P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Magnetized black holes in an external gravitational field", Phys. Rev. D 96 (2017) 024017.
- A.7. C. Knoll, P. Nedkova, "Charged rotating dilaton black Holes with Kaluza-Klein asymptotics", Phys. Rev. D 93, 064052, 2016.
- A.8. S. Abdolrahimi, J. Kunz, P. Nedkova, C. Tzounis, "Properties of the distorted Kerrblack hole", JCAP 12 (2015) 009.
- A.9. S. Abdolrahimi, J. Kunz, P. Nedkova, "Myers-Perry black hole in external gravitational field", Phys. Rev. D 91, 064068, 2015.
- A.10 P. Nedkova, V. Tinchev, S. Yazadjiev, "Shadow of a rotating traversable wormhole", Phys. Rev. D 88, 124019, 2013.
- A.11. J. Kunz, P. Nedkova, C. Stelea, "Charged black holes on Kaluza-Klein bubbles", Nucl. Phys. B 874, 773, 2013.
- A.12. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "New magnetized squashed black holes - thermodynamics and Hawking radiation", Eur. Phys. J. C 73 (2013) 2377.
- A.13. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Magnetized black hole on the Taub-NUT instanton", Phys. Rev. D 85 064021, 2012.
- A.14. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Thermodynamics of black holes on ALF gravitational instantons", Phys. Rev. D. 84 124040, 2011.

A.15. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Rotating black ring on Kaluza-Klein bubbles", Phys.Rev. D 82 (2010) 044010.

A.16. S. Yazadjiev, P. Nedkova, "Sequences of dipole black rings and Kaluza-Klein bubbles", JHEP 01 (2010) 048.

A.17. S. Yazadjiev, P. Nedkova, "Magnetized configurations with black holes and Kaluza-Klein bubbles: Smarr-like relations and first law", Phys. Rev. D 80 (2009) 024005.

B.1. J. Kunz, P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Distorted Black Holes in an External Magnetic Field", Proceedings of the 10th Jubilee Conference of the Balkan Physical Union, AIP Conf.Proc. 2075 (2019) 040004.

B.2. G. Gylchev, P. Nedkova, V. Tinchev, S. Yazadjiev, "Cusp Structure in Shadows Cast by Rotating Wormholes", Proceedings of the 10th Jubilee Conference of the Balkan Physical Union, AIP Conf.Proc. 2075 (2019) 040005.

B.3. B. Lazov, P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Uniqueness of Static Phantom Wormhole Solutions to the Einstein-Maxwell-Dilaton Equations", Proceedings of the 10th Jubilee Conference of the Balkan Physical Union, AIP Conf.Proc. 2075 (2019) 090024.

B.4. S. Abdolrahimi, J. Kunz, P. Nedkova, "Rotating Distorted Black Holes in Higher Dimensions", Proceedings of the 14th Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, p.1763-1768 (2017), World Scientific, Singapore.

B.5. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Charged black holes on the Taub-Bolt instanton and their thermodynamics", Proceedings of the 13th Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, p.1330-1332 (2013), World Scientific, Singapore.

B.6. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Rotating black ring on Kaluza-Klein bubbles", AIP Conf. Proc., vol. 1301, p.347 (2010), 2nd International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences.

B.7. S. Yazadjiev, P. Nedkova, "Sequences of dipole black rings and Kaluza-Klein bubbles", Proceedings of the 12th Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, vol. 2, p.1084 (2009), World Scientific, Singapore.

C.1. P. Nedkova, S. Yazadjiev, "Mathematical aspects of static and stationary higher dimensional spacetimes", в процес на печат в Университетско издателство „Св. Климент Охридски“.

*) За конкурса за доцент са представени публикации от А.1 до А.15, от В.1 до В.5 и С.1, съгласно списъка в приложение 9б.