

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертация “Квантово-коригирани черни дупки и кюбити”

за получаване на научна и образователна степен “доктор”

автор: Александър Йосков Йосифов, Институт за Космически Изследвания и Технологии, БАН

от проф. дфн Радослав Костадинов Заманов - Институт по Астрономия с Национална Астрономическа Обсерватория, Българска Академия на Науките

Данни за кандидата: Александър Йосков Йосифов е бил студент (2013-2017) в Академията на МВР, откъдето получава степен „бакалавър“. От октомври 2017 до февруари 2019 е завършил задочно магистърска програма на Шуменски Университет „Епископ Константин Преславски“ и през февруари 2019 г. защитава дипломна работа на тема „Теория на полукласически черни дупки – развитие и отворени проблеми“ и получава степен Магистър по Астрофизика. От юни 2019 до сега е задочен докторант в Институт за Космически Изследвания и Технологии, БАН.

Представената дисертацията се състои от 153 страници:

Глава 1 – (стр. 1-9) Въведение

Глава 2 – (стр. 10-21) Решения на черните дупки

Глава 3 - (стр. 22-59) Термодинамика на черни дупки

Глава 4 - (стр. 60-77) Квантови корекции

Глава 5 – (стр. 78-99) Измерване на квантово-коригирани черни дупки

(според автореферата Глава 5 е Квантова теория за информацията и черни дупки)

Глава 6 - (стр. 100-123) Квантова теория за информацията и черни дупки

Глава 7 - (стр. 124-131) Заключение и резултати.

Забележка – има несъответствие между главите в дисертацията и в автореферата.

Глава 2 – Решения на черните дупки. В тази глава е представен кратък обзор на решенията на полевите уравнения на Айнщайн описващи черните дупки – решенията на Шварцшилд и Керр.

Разгледана е геометрията на решенията на Шварцшилд, в координати на Едингтън-Финкълстийн и в координати на Кръскал-Секерес. Разгледана е геометрията на решенията на Кер в координати на Едингтън-Финкълстийн и в координати на Бойер-Линдквист.

В Глава 3 (Термодинамика на черни дупки) са разгледани термодинамичните свойства на черните дупки. В началото на главата е разгледан класическия модел и механиката на черните дупки от гледна точка на класическата термодинамика. Във втората част са разгледани основни квантово-термодинамични свойства на черни дупки - ефект на Унру, корелационни функции във вакуума на Минковски, вплетеност на квантовия вакуум, изпарение на черна дупка, ентропия на черна дупка, ентропия на неекстремни заредени черни дупки, холографска вплетена ентропия.

Глава 4 Квантови корекции. Черните дупки в нашата Вселена никога не са напълно изолирани. Те са заобиколени от акрецираща материя.

Въпрос (уточнение): Когато черна дупка е част от двойна система – има или няма акретираща материя?

В глава 4 са разгледани някои аспекти на теорията за смущенията на черни дупки, свързани с метрични смущения близо до хоризонта, изследвани са силногравитационни режими и са тествани границите на Общата Теория на Относителността в режими, при които се очаква да има отклонения.

Областта в близост до хоризонта на масивна черна дупка е със слаба нагънатост и се описва от нискоенергийна ефективна полева теория, тоест квантови полета, съществуващи в класическа релятивистична геометрия. Тук, посредством процеса на Хокинг, се създават двойки вплетени частици, като едната попада в черната дупка, а другата избягва към безкрайността. Моногамията на квантовата вплетеност се отнася до факта, че всяка квантова частица може да бъде максимално вплетена само с една частица. Квантовото състояние на попадналата в черната дупка квантова информация не може да бъде възстановено от външен наблюдател. Тази картина е вкоренена в принципа на комплементарност при черни дупки, който е базиран на три постулата: (1) унитарност на S -матрицата: процесът по формиране и изпарение на черната дупка, от гледна точка на далечен наблюдател, се описва посредством S -матрица; (2) локална квантова полева теория: физиката в областта около хоризонта се описва от локална полева теория; (3) без драма: попадащ в черната дупка наблюдател не трябва да почувства нищо необичайно. Изследванията на физиката на черните дупки през последните години, върлят съмнения този модел. В Глава 4.2 на дисертацията е разгледана черна дупка на Шварцшилд, която се изпарява. Черната дупка е представена като тензорно произведение на две допълващи се подсистеми, които се описват от редуцирани статистически оператори. Направено е заключението, че горепосочените три принципа не могат да бъдат верни едновременно и трябва да се модифицира или унитарността, предвидена от квантовата теория, или принципа на еквивалентност на Общата Теория на Относителността. В дисертацията е представен модел, който предлага макроскопични отклонения от локалната квантова теория на полетата под формата на квантови метрични флукуации на хоризонта и нелокално излъчване на радиация на Хокинг.

В Глава 4.4 е разгледана нехомогенна вакуумна плътност като източник на квантови корекции (основните резултати са публикувани в Yosifov & Filipov, 2018, AdvHighEnPhy 3131728). В дисертацията е използвано това, че локално, вакуумът е нехомогенен и във всяка една точка от пространството постоянно флукуира около някаква средна стойност. Това е подобно на хармоничен осцилатор от класическата физика. Предположено е, че наблюдаемата малка ненулева космологична константа може да бъде изведена и без да се използват допълнителни квантови полета. Вместо това, космологичната константа може да се опише чрез нехомогенната вакуумна плътност. В дисертацията е приложена тази хипотеза при геометрия на Шварцшилд. Използвани са уравненията от Q. Wang, Z. Zhu, and W. Unruh, Phys.RevD 95, 103504 (2017) и е изследван гравитационния ефект на нехомогенната вакуумна плътност. Разгледано е как двойка пространствени точки x и x' -прим се повлияват от екстремния нехомогенен вакуум при черна дупка на Шварцшилд и е отчетен силният градиент спрямо хоризонта. Показано е, че всяка точка от пространството флукуира около очакваната стойност на локалната вакуумна плътност и с увеличаване на разстоянието Δx , корелационната сила между x и x' -прим силно намалява. Демонстрирано е как предложената нехомогенна вакуумна плътност може да промени класическата физика около хоризона и да доведе до квантови метрични флукуации. Разгледани са две версии – макроскопична и детайлна.

В макроскопичния случай е пренебрегнат приноса, идващ от индивидуални нива на свобода,

и изследването е фокусирано върху ефективната (макроскопичната) реакция на геометрията, отчитайки това че има голямата радиална зависимост на полето в областта около хоризонта на черна дупка. Физически, реакцията на метриката около хоризонта се изразява под формата на леко външно изместване на хоризонта. От гледна точка на далечен наблюдател въпросните метрични флуктуации могат да се интерпретират като пулсираща структура.

В детайлната версия е разгледан приноса, идващ от индивидуални нива на свобода. Геометрията на черната дупка е разделена на максимални пространствени хиперповърхности, всяка от които показва постоянен изрязък от време. Разделението образува семейство от външно-плоски слайсове (пространствени сечения). Фазовите преходи между двойка близочки зависят от вакуумната акумулация между тях. Разгледана е и еволюцията на локалния мащабен фактор и уравнението за движение в областта непосредствено близо до хоризонта. Показано е, разстоянието между точките постоянно флукутира, подобно на хармоничен осцилатор. Предполагайки малък остатък за всеки слайс реакцията на геометрията се натрупва и води до макроскопични девиации от Общата Теория на Относителността.

Въпрос: Може ли в някои слайсове остатъка да е положителен, а в други отрицателен?

Според автора това оставя отпечатък в излъчените гравитационни вълни и могат да бъдат наблюдавани от бъдещи мисии на радиотелескопа Event Horizon.

Въпрос: Какво по-точно според вас би могло да се наблюдава със системата телескопи Event Horizon [Very Long Baseline Interferometry (VLBI) - Earth-sized interferometer.] ?

Глава 5 Измерване на квантово-коригирани черни дупки, разглежда ефектите от квантови корекции на Обща Теория на Относителността, в няколко насоки: (1) времево забавяне/забързване на времеви криви, минаващи близо до хоризонта, (2) увеличаване на радиацията на Хокинг и (3) възможни наблюдателни ефекти и сигнали.

5.1 - Разгледано е как предложените в Глава 4 квантови метрични флуктуации влияят на траекторията на времеви криви, преминаващи близо до хоризонта в геометрия на Шварцшилд.

5.2 – Разгледан е ефекта на квантови метрични флуктуации близо до хоризонта върху радиацията на Хокинг в модел на празно пространство на Минковски в две измерения. Изведени са уравненията за броя на частиците на Хокинг и техния енергиен спектър. Показано е, че броят на частиците на Хокинг флукутира около средната си стойност, зависейки от флукутиращата метрика, чиято честота се променя постоянно и зависи от ентропията на черната дупка.

5.2.1 – разглежда квантово-коригирани образи на черни дупки и е показано, че само най-вътрешните слоеве на акреционния диск се очаква да бъдат засегнати. Като възможен тест е предложено трасирането на траектории на времеви криви близо до хоризонта и търсенето дали в тях има следи от метрични флуктуации.

5.2.2 – разглежда гравитационни вълни от модифицирани черни дупки и показва, че предложената нехомогенна вакуумна плътност (в ролята ѝ на квантов източник) може да играе ролята на потенциална бариера и да пречупи класическия сигнал. Въпросната потенциална бариера може да доведе до ехо на гравитационната радиация, която потенциално може да бъде детектирана от LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory).

Друга възможност за изучаване на квантово-гравитационни ефекти при черни дупки

е изследването на двойки от черна дупка и пулсар. Подобни двойки все още не са наблюдавани, но се предполага, че голям брой от тях съществуват и нашата Галактика (Въпрос: Колко товива двойки се предполага, че има в нашата Галактика?). Пулсарите са много точни и прецизни излъчватели на светлинни снопове. В дисертацията е преположено, че снопове лъчи, излъчени от пулсар, могат да преминат много близо до хоризонта на черна дупка (през флукуиращата геометрия) и да дадат възможност за изследване предложените в тази дисертация девиации.

Глава 6 – Квантова теория на информацията и черни дупки

В 6.1 е разгледано е как сложност и хаос се развиват в големи производни квантови схеми в контекста на двойствеността между пространство на анти-де Ситер и конформна полева теория.

В 6.2 е представена геометрична интерпретация на сложност и хаос, и връзката им с гравитацията.

В 6.3 е разгледана голяма (голямо N) конформна полева теория във високоенергийно чисто състояние (едностранна черна дупка на анти-де-Ситер) съчетана/вплетена с малка квантова система от M слабо взаимодействащи си нива на свобода (двойни на радиация на Хокинг). Разгледано е развитието на сложността на малката квантова система и е показано, че нейната относителна сложност е холографски двойна на минималната дълбочина на квантовата схема, която може да декодира радиацията на Хокинг. Изведена е връзка между квантов хаос и квантова изчислителна сложност. Предложена е мярка за квантовия хаос на черна дупка на анти-де-Ситер и е показано, че излъчения облак на Хокинг е псевдослучаен. Резултатите имат приложение за разбиране на вътрешната динамика на изпаряващи се черни дупки.

[Резултатите от тази глава са публикувани в A. Yosifov, A. Iyer, and L. Filipov, 2020, Universe, 6, 100, 16 pages]. Във връзка с това изследване дисертанта е бил поканен за 2 седмици като гост-изследовател в Department of Physics, University of Oxford (UK).

Въпрос: Колко е максималната / минималната маса на черна дупка?

Цитираната литература включва 165 публикации.

Забележка: в цитираната литература са използвани някои съкращения, които са прекалено съкратени например: (1) PRD – в Universe се използва Phys. Rev. D, в Advances in High Energy Physics – Physical Review D; (2) PRL – в Universe се използва Phys. Rev. Lett., в Advances in High Energy Physics – Physical Review Letters.

Резултатите са представени и обсъждани на няколко международни и национални конференции и семинари, между които:

1. The 37th Jim Isenberg Pacific Coast Gravity Meeting (University of Arizona, USA) March 26-27, 2021 (online via zoom)
2. 2nd Hermann Minkowski Meeting on the Foundations of Spacetime Physics, 13-16 May 2019, Албена, България
3. 6-та национална конференция “От Атома до Космоса” Шумен, 4-5 май 2018

Забележка:

Пишете, че сте участвали в Quantum Field Theory and Geometry Summer School - July, 2020, но аз не виждам името **Александър Йосифов** в списъка на участниците

<https://sites.google.com/view/qftandgeometrysummerschool/home>
същото се отнася и за American Physical Society April Meeting.

Основни публикации, в които са отразени резултати от дисертацията и забелязани цитирания:

1. A. Yosifov, "Aspects of Semiclassical Black Holes: Development & Open Problems", Advances in High Energy Physics, Volume 2021, Article ID 6628693, 13 pages, IF=1.777
2. A. Yosifov, A. Iyer, & L. G. Filipov, "Holographic Interpretation of Relative State Complexity," Universe, 2020, 6, 100, 16 pages, IF=2.278. Статията има 1 независимо цитиране в Bhagat et al. 2020, Symmetry, 13, 44.
3. A. Yosifov & L. Filipov, "Quantum Complexity and Chaos in Young Black Holes," Universe 2019, 5(4), 93, (IF=2.278). Статията има 2 независими цитирания в Ali et al. 2020 PhysRevD 101, 026021, и Bueno, Magan, Shahbazi, arXiv:1908.03577v1
4. A. Yosifov & L. Filipov, "Nonlocal Black Hole Evaporation and Quantum Metric Fluctuations via Inhomogeneous Vacuum Density", Advances in High Energy Physics, Volume 2018, Article ID 3131728, 9 pages, IF=1.777. Статията има 2 независими цитирания
5. A. Yosifov & L. Filipov, "Entropic Entanglement: Information Prison Break" Advances in High Energy Physics, Volume 2017, Article ID 8621513, 7 pages (IF: 1.42) Статията има 3 независими цитирания.
6. A. Yosifov & L. Filipov, "Oscillations for Equivalence Preservation and Information Retrieval from Young Black Holes," Electronic Journal of Theoretical Physics, vol. 13, No. 36 (2016), 183–198 (IF=0.3)
(Забележка: Импакт фактора е взет от страниците на списанията, и малко надвишава този посочен в дисертацията.)

Дисертанта има 6 статии като първи автор, 5 от тях са в списания с импакт фактор по-голям от 1.0, което е един отличен резултат и значително надвишава средното ниво на което се защитава дисертация за степен доктор в България и PhD в Европа.

Общо публикациите по дисертацията имат 8 цитирания от автори, които не са съавтори в цитираната статия.

Заклучение: Това е една много добра дисертация. Представеното изследване е актуално и резултатите са публикувани в сериозни научни списания. Дисертацията удовлетворява и надвишава академичните изисквания. Предлагам научното жури да присъди образователна и научна степен „доктор“ по професионално направление 4.1 Физически науки на Александър Йосков Йосифов.

22 август 2021, София

проф. д-р Радослав К. Заманов,
Институт по Астрономия с НАО, БАН

ВАРНО С ОРИГИНАЛА

