

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0823U100281

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 15-05-2023

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Татарин Михайло Богданович
2. Tataryn Mykhailo Bohdanovych

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 10-05-2023

Спеціальність за освітою: Фізика та астрономія

Місце роботи здобувача: Львівський фізико-математичний ліцей-інтернат при Львівському національному університеті імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 13807543

Місцезнаходження: вул. Караджича, 29, м. Львів, Львівська обл., 79054, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 35.051.099

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, м. Львів, Львівська обл., 79000, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, м. Львів, Львівська обл., 79000, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:**

**Коди тематичних рубрик:** 41.17.41, 41.29.25

**Тема дисертації:**

1. Термодинаміка чорних дір з нелінійними матеріальними полями
2. Thermodynamics of black holes with non-linear material fields

**Реферат:**

1. Дисертацію присвячено вивченню термодинамічної поведінки трьох теоретико-польових моделей чорних дір: статичних та з обертанням, з електричним та магнітним зарядами, з різними нелінійними електромагнітними полями, у просторі-часі різних вимірностей та геометрій в рамках загальної теорії відносності. Першою розглянутою моделлю є статична, електрично заряджена чорна діра із чотирьома різними видами нелінійного електромагнітного поля: степеневим, Борна-Інфельда, логарифмічним та експоненційним у тривимірному просторі-часі з від'ємною космологічною сталою. Отримано рівняння гравітаційного та електромагнітного полів, їхні точні аналітичні розв'язки. Показано, що для полів Борна-Інфельда та логарифмічного відсутня розбіжність електричного поля при нульовому значенні радіальної координати. Продемонстровано схожу якісну поведінку отриманих розв'язків для полів типу Борна-Інфельда. Степеневе електромагнітне поле при параметрі нелінійності рівному одиниці відповідає лінійній максвелівській електродинаміці. Досліджено конформний випадок степеневого поля при якому радіальна компонента електричного поля задовольняє закону обернених квадратів у тривимірному просторі-часі,

тензор енергії-імпульсу стає безслідним, а скалярна кривизна приймає постійне значення. Знайдено зв'язки між сталими інтегрування та макроскопічними параметрами чорної діри – її масою та повним електричним зарядом. Обчислено температуру випромінювання Гокінга та електричний потенціал на горизонті подій чорної діри. Досліджено розширений фазовий термодинамічний простір, де від'ємна космологічна стала інтерпретується як термодинамічний тиск з боку середовища на чорну діру. Записано перший закон термодинаміки для термодинамічної функції маси чорної діри, показано, що вона має зміст ентальпії. Отримано термодинамічний об'єм чорної діри, який співпадає з площею круга радіусу горизонту подій чорної діри. Записано рівняння стану чорної діри та виявлено його тривіальну критичну поведінку – відсутність фазового переходу. Обчислено ізобарну теплоємність чорної діри, виділено нефізичну область її від'ємного значення, яка відповідає області від'ємної температури. Другою дослідженою моделлю є електрично заряджена чорна діра з повільним обертанням та ступеневим електромагнітним полем у тривимірному просторі-часі з від'ємною космологічною сталою. Отримано рівняння поля та їх розв'язки. Ці розв'язки описуються двома метричними функціями: діагональною та недіагональною, а також двома компонентами тензора електромагнітного поля: радіальним електричним та магнітним полями. Границя повільного обертання визначається малим параметром, що є пов'язаним із кутовим моментом чорної діри. Для магнітного поля та недіагональної метричної функції знайдено точні квадратурні, а також аналітичні асимптотичні розв'язки, ці результати є оригінальними. Розв'язки для електричного та магнітного полів отримано в загальному випадку без накладання на них додаткових зв'язків. Обговорено зв'язки між сталими інтегрування та параметрами чорної діри – її масою, електричним зарядом, кутовим моментом. Третьою вивченою моделлю є статична чорна діра з електричним та магнітним зарядами в електродинаміці Борна-Інфельда чотиривимірного простору-часу зі сферичною, плоскою та гіперболічною геометричними структурами горизонту подій чорної діри з від'ємною космологічною сталою. Електромагнітний лагранжіан Борна-Інфельда обрано в його оригінальній формі з двома польовими інваріантами. Отримано польові рівняння та їх точні аналітичні розв'язки. Досліджувана чорна діра описується однією діагональною метричною функцією, радіальним електричним та кутовим магнітним полями. Підстановку для вектора потенціалу електромагнітного поля обрано в такій формі, що забезпечує однакові значення інваріантів поля Борна-Інфельда, а також електричні компоненти електромагнітного поля для усіх розглянутих геометрій горизонту подій. При прямуванні радіальної координати до нуля електричне поле зростає повільніше для більших значень магнітного заряду і приймає скінченне значення. Досліджено термодинамічні властивості отриманих розв'язків у розширеному фазовому термодинамічному просторі. Записано перший закон термодинаміки та співвідношення Смарра для скінчених термодинамічних величин із додатковими членами поляризації вакууму Борна-Інфельда, що є характерними особливостями електродинаміки Борна-Інфельда. Отримано рівняння стану та вивчено його критичну поведінку. Фазовий перехід має місце тільки для сферичного горизонту подій чорної діри, отримано умови на електричний та магнітний заряди, а також параметр нелінійності при яких цей перехід можливий. Отримано термодинамічне критичне відношення та проаналізовано його оригінальні особливості. Обчислено ізобарну теплоємність чорної діри.

2. The work is devoted to the study of thermodynamic properties of three field-theoretical models of black holes: static and rotating, electrically and magnetically charged, with different non-linear electromagnetic fields, in various spacetime dimensions and topologies within General Relativity. The first considered model is a static, electrically charged black hole with four various types of non-linear electromagnetic field, namely, power Maxwell invariant, Born-Infeld, logarithmic and exponential in three-dimensional spacetime with a negative cosmological constant. Equations of gravitational and electromagnetic fields, and their exact analytical solutions are obtained. It is shown that the electric field in the Born-Infeld and logarithmic electrodynamics does not diverge at the origin. The Born-Infeld type fields possess similar qualitative behavior. The power Maxwell invariant field with the non-linearity parameter equal to unity corresponds to linear Maxwell electrodynamics. The conformal source of the power Maxwell invariant is investigated. In this case the electric field satisfies the inverse-square law in three dimensions, electromagnetic stress-energy tensor is traceless, and scalar curvature takes a constant value. Relations between integration constants and macroscopic parameters of black hole, namely, mass and full electric

charge are established. The Hawking temperature and electric potential on the black hole horizon are calculated. The extended phase space thermodynamics where a negative cosmological constant is associated as environment pressure is investigated. The first law of thermodynamics is written for the black hole mass, which is interpreted with enthalpy. The black hole thermodynamic volume coincides with the area of a circle of the black hole horizon radius. The equation of state of the black hole is written and its trivial behavior is discovered. Also, the heat capacity at constant pressure is calculated. The second examined model is a slowly rotating, electrically charged black hole with power Maxwell invariant electromagnetic field in three-dimensional spacetime with a negative cosmological constant. Field equations and their solutions are obtained. These black hole solutions are described by two metric functions, namely diagonal and nondiagonal functions, and also two components of electromagnetic field tensor, namely the radial electric and magnetic fields. The slow rotation limit is defined by a small parameter which is related to the black hole angular momentum. For the magnetic field and non-diagonal metric function exact quadrature as well as analytical asymptotic solutions are found, these results are original. The solutions for electric and magnetic fields are obtained in a general case without the assumption of additional connections between them. Relations between integration constants and black hole parameters – its mass, electric charge and angular momentum are discussed. The third studied model is a static, electrically and magnetically charged black hole in the Born-Infeld electrodynamics of four-dimensional spacetime with spherical, planar and hyperbolic black hole horizons with a negative cosmological constant. The electromagnetic Born-Infeld lagrangian is chosen in its original form with two field invariants. Field equations and its exact analytical solutions are obtained. The black hole is described by one diagonal metric function, radial electric and angular magnetic fields. The ansatz for the electromagnetic field potential was chosen in the form which gives rise to the same form of electric field and field invariants for all types of considered horizon geometries. The electric field grows slowly near the origin for larger values of the magnetic charge for fixed the electric one and is finite. Thermodynamic behavior of the obtained solutions in the extended phase space thermodynamics are examined. The first law of black hole thermodynamics and Smarr relation for finite thermodynamic quantities with additional terms of the Born-Infeld vacuum polarization are written. The black hole equation of state is obtained and its critical behavior is investigated. A phase transition occurs only for the spherical black hole horizon, and conditions for its existence are given. The thermodynamic critical ratio is found and its original features are analyzed. Also, the heat capacity at constant pressure is obtained.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:**

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:**

**Підсумки дослідження:**

**Публікації:**

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:**

**Зв'язок з науковими темами:**

**VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Стецко Микола Миколайович

2. Stetsko Mykola Mykolaiovych

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., 01.04.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

### **Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Пляцко Роман Михайлович

2. Pliatsko Roman Mykhailovych

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., 01.04.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Заславський Олег Борисович

2. Zaslavskiy Oleh Borysovych

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., 01.04.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Назаренко Андрій Володимирович

2. Nazarenko Andrii Volodymyrovych

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., 01.04.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Новосядлий Богдан Степанович

2. Novosiadlyi Bohdan Stepanovych

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., 01.03.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Мелех Богдан Ярославович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові**

Мелех Богдан Ярославович

**головуючого на засіданні**

**Відповідальний за підготовку**

**облікових документів**

**Реєстратор**

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є**

**відповідальним за реєстрацію наукової**

**діяльності**



Юрченко Т.А.