РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію Татарина Михайла Богдановича
“Термодинаміка чорних дір з нелінійними матеріальними полями”,
подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність дослідження

Дослідження чорних дір є важливими як з точки зору фізики для розуміння властивостей простору-часу у сильних гравітаційних полях із сингулярностями та горизонтами подій, так і з точки зору астрофізики, де вони є кінцевими стадіями еволюції масивних зір та ядрами активних галактик. В останні роки інтерес до них зріс у зв’язку з детектуванням інтерферометром LIGO гравітаційних хвиль, згенерованих злиттям двох чорних дір зоряних мас, а також першим зображенням надмасивної чорної діри у центрі галактики M87, отриманим системою телескопів Event Horizon.

Цікавим є термодинамічний підхід до вивчення чорних дір, започаткований Яковом Бекенштейном і Стівеном Гокінґом у 70-х роках минулого століття. Випромінювання Гокінґа мікроскопічних дір, народжених Великим вибухом, могло бути потужним джерелом нагріву баріонної матерії у ранньому Всесвіті. Розвиток такого підходу до вивчення чорних дір з електричним полем та магнітними зарядами, а також чорних дір, які обертаються, в просторах різної розмірності є актуальною задачею теоретичної фізики сьогодні. Дисертація Татарина М.Б. якраз і присвячена розвитку цих методів в дослідженнях різних моделей чорних дір в 3- і 4-вимірному просторі-часі.

Практична цінність роботи

Отримані у рамках виконання дисертаційної роботи результати можуть бути використані у навчальному процесі студентів фізиків-теоретиків та астрофізиків за курсами загальної теорії відносності та релятивістської астрофізики. Отримані вирази для геометричних величин для різних моделей чорних дір, наведених у додатках матимуть застосування в подальших теоретичних дослідженнях чорних дір.

Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі.

Наукові положення, які представлені в дисертаційній роботі, є добре обґрунтованими, а також належно висвітлені у відповідних розділах дисертації. Основні результати, отримані здобувачем та винесені на захист, цілком відповідають меті та завданням роботи, обговорювались на наукових семінарах кафедри теоретичної фізики імені Івана Вакарчука фізичного факультету Львівського національного університету імені професора Івана Франка, конференціях різного рівня та опубліковані у зарубіжних рецензованих фахових виданнях. Достовірність отриманих результатів ґрунтується на використанні загальноприйнятих теоретичних підходів та методів досліджень, порівняннях з уже відомими результатами у цій галузі та не викликає сумнівів.

Наукова новизна

Основні наукові результати, які представлені в дисертаційній роботі Татарина М.Б. і складають наукову новизну, є такими:

− отримано розв’язки рівнянь загальної теорії відносності для чорних дір у 3-вимірному просторі-часі з нелінійним електромагнітним полем із степеневим, логарифмічним і експоненційним лагранжіанами та лагранжіаном Борна-Інфельда, проаналізовано залежність цих розв’язків від параметрів моделі електромагнітного поля;

− отримано точні квадратурні розв’язки, а також аналітичні асимптотичні розв’язки для чорної діри у 3-вимірному просторі-часі, яка обертається та має нелінійне степеневе електромагнітне поле;

− отримано топологічні розв’язки статичної чорної діри у 4-вимірному просторі-часі з нелінійним полем Борна-Інфельда з двома інваріантами поля.

Зв’язок роботи з державними програмами, планами, темами

Робота виконана на кафедрі теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Результати отримано, в тому числі, у рамках виконання держбюджетної теми ФФ-63Нр (номер державної реєстрації 0117U007190) Міністерства освіти і науки України, за якою автор працював як виконавець.

Структура і зміст дисертації (Характеристика основних положень роботи).

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, шести додатків, один з яких (останній) містить список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертації, сформульовано її мету та завдання, визначено об’єкт, предмет і методи дослідження, зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, перелік апробацій результатів дисертаційного дослідження та його зв’язок з науковою темою кафедри, на якій виконувалась робота.

Перший розділ присвячено огляду літератури за темою дисертації. У ньому висвітлено історію та сучасний стан теоретичних досліджень чорних дір, зокрема чорних дір Шварцшильда, Райснера-Нордстрьома, Керра, Керра-Ньюмена, які є “класичними” моделями чорних дір. Описано історію розвитку термодинамічного підходу до вивчення чорних дір, їх випромінювання (випромінювання Гокінґа) та “випаровування”, чорних дір в гравітації з космологічною сталою та їх опис в термінах розширеного фазового термодинамічного простору. Наведено відомі розв’язки рівнянь Айнштайна для чорних дір у просторах різної розмірності та моделями нелінійного електромагнітного поля.

У другому розділі здобувач представив результати теоретичних досліджень статичної чорної діри з нелінійними електромагнітними полями у 3-вимірному просторі-часі з від’ємною космологічною сталою у рівняннях гравітації А. Айштайна. Він отримав розв’язки системи польових рівнянь Айнштайна-Максвела для

нелінійного електромагнітного поля із степеневим, логарифмічним та експоненційним лагранжіанами та лагранжіаном Борна-Інфельда. Два останні параграфи розділу представляють опис отриманих розв'язків в термінах термодинамічних величин. Наведено графічні залежності метричної функції від радіальної координати для отриманих розв'язків, а також залежність температури випромінювання чорної діри на горизонті подій від його радіуса у різних моделях чорної діри.

Третій розділ представляє результати досліджень чорної діри із стаціонарним обертанням, степеневим електромагнітним полем у 3-вимірному просторі-часі з від'ємною космологічною сталою. Для такої чорної діри отримано точний розв'язок в квадратурах та аналітичні асимптотичні розв'язки для метричної функції, електричне та магнітне поля. Останній параграф представляє опис такої чорної діри у термінах термодинамічних величин. Отримано залежність температури, маси та ізобарної теплоємності від радіуса горизонту подій, космологічної сталої та параметрів моделі електромагнітного поля.

У четвертому розділі вивчається модель статичної чорної діри з електричним та магнітним зарядами в електродинаміці Борна-Інфельда для сферичної, плоскої та гіперболічної топологій 4-вимірного простору-часу з від'ємною космологічною сталою в рамках айнштайнівської гравітації. Отримано розв'язки польових рівнянь Максвела-Анштайна, досліджено їх термодинамічні властивості у розширеному фазовому термодинамічному просторі, розглянуто класичний ефект Джоуля-Томсона та умови його існування.

У висновках наведено основні результати, які складають наукову новизну.

Повнота викладу матеріалів у роботах, які опубліковані автором

Основні наукові результати, отримані під час виконання дисертаційного дослідження Татарина М.Б. опубліковано в 3 наукових статтях у наукових журналах, які індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та WoS, а також у 7 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях. Це дає право стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають важливе значення для розвитку теорії чорних дір.

Відомості про дотримання академічної доброчесності

У дисертації та наукових публікаціях Татарина М.Б. відсутні порушення академічної доброчесності.

Зауваження до дисертації

1. У вступній частині здобувач недостатньо чітко описав практичну цінність роботи, не висвітлив пов'язаність отриманих результатів із сучасними чи майбутніми спостережними можливостями їхньої перевірки чи в застосуванні до передбачення нових спостережних ефектів.
2. На стор. 47 у кінці першого абзацу є вираз для радіуса горизонту подій: $r_+=(m/|\Lambda|)^{1/2}$. У світі з $|\Lambda|\to 0$: $r_+\to\infty$. Цей дивний результат ніяк не прокоментований.
3. У четвертому розділі у розв'язку (4.24) є неточність, пов'язана із знаком перед параметром кривини k: у 3-просторі з k=-1 у зовнішньому просторі ($r>r_+$) часова

координата стає просторово-подібною, а горизонт подій чорної діри Шварцшільда ($\Lambda=0$, $\beta=0$) відсутній.
4. Висновки дисертації мали б містити стислий перелік основних результатів, які винесені на захист. Замість цього здобувач наводить результати інших авторів та свої результати з виділенням новизни, тобто обгрунтовує новизну своїх результатів, що мало б бути у вступній частині дисертації.

Проте, всі наведені зауваження аж ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації, яка засвідчує високий рівень кваліфікації здобувача.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам.

На мою думку, дисертаційна робота Татарина М.Б. “Термодинаміка чорних дір з нелінійними матеріальними полями”, подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є завершеним дослідженням, яке розглядає актуальні проблеми теоретичного вивчення чорних дір з матеріальними полями з узагальненими лагранжіанами та космологічною сталою. Робота містить низку нових, актуальних та достовірних результатів. У роботі та наукових публікаціях немає порушень академічної доброчесності. Вважаю, що за актуальністю, новизною, практичним значенням та обсягом результатів дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України No 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України No 44 від 12 січня 2022 року, а її автор, Татарин Михайло Богданович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент :
доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри астрофізики,
головний науковий співробітник
Астрономічної обсерваторії
Львівського національного університету
імені Івана Франка Богдан НОВОСЯДЛИЙ