

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ
КЕНГАШ**

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ
ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ**

ШАЙМАТОВ САНЖАР РУЗИМУРОТОВИЧ

**ТАШҚИ ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОН МАВЖУДЛИГИДА
КОМПАКТ ГРАВИТАЦИОН ОБЪЕКТЛАР АТРОФИДА
УМУМРЕЛЯТИВИСТИК АСТРОФИЗИК ЖАРАЁНЛАР**

01.03.01-Астрономия

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент - 2018

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
physical and mathematical sciences**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
физико-математическим наукам**

Шайматов Санжар Рузимуротович

Ташқи электромагнит майдон мавжудлигида компакт гравитацион
объектлар атрофида умумрелятивистик астрофизик жараёнлар..... 3

Shaymatov Sanjar Ruzimurotovich

General relativistic astrophysical processes in the vicinity of compact
gravitational objects in the presence of external electromagnetic field 25

Шайматов Санжар Рузимуротович

Общерелятивистские астрофизические процессы в окрестности
компактных гравитационных объектов при наличии внешнего
электромагнитного поля 47

Эълон қилинган ишлар рўйхати

List of published works

Список опубликованных работ..... 57

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ
КЕНГАШ**

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ
ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ**

ШАЙМАТОВ САНЖАР РУЗИМУРОТОВИЧ

**ТАШҚИ ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОН МАВЖУДЛИГИДА
КОМПАКТ ГРАВИТАЦИОН ОБЪЕКТЛАР АТРОФИДА
УМУМРЕЛЯТИВИСТИК АСТРОФИЗИК ЖАРАЁНЛАР**

01.03.01-Астрономия

**ФИЗИКА-МАТИМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент - 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2017.2.PhD/FM60 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Астрономия институти ва Ядро физикаси институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, инглиз, рус (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.inp.uz) ва «Ziyonet» ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Ахмедов Бобомурат Жўраевич,**
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Миртаджиева Карамат Тахировна,**
физика-математика фанлари доктори, доцент

Файзуллаев Бируни Амануллаевич,
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот: **Ал-Фаробий номидаги Қозоғистон Миллий Университети,**
Алмата, Қозоғистон.

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Улуғбек кўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-41; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

Диссертация билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100214, Тошкент шаҳри, Улуғбек кўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2018 йил « ____ » _____ куни тарқатилди.
(2018 йил “ ____ ” _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

М. Ю. Ташметов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси ф.-м.ф.д., профессор

Э.М.Турсунов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

И. Нуритдинов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда жаҳонда, X-нур бинар системалардаги юлдузсимон ва ўта массив қора ўраларнинг физикасини ўрганишда замонавий астрономик кузатувлар ёрдамида бир қатор ютуқларга эришилди. Бундан ташқари, тўғридан тўғри қайд қилинган GW150914, GW151226 ва GW170104 гравитацион тўлқинлар (GWs) ва Ice-Cube Нейтрино обсерваториясида қайд этилган юқори энергияли нейтринолар 170922A қора ўраларни кузатишда эришилган ютуқларни тасдиқлайди. LIGO ва VIRGO лабораторияларида қайд қилинган юлдузсимон қора ўраларнинг кўшилиши натижасида ҳосил бўлган гравитацион тўлқинлар ва галактиканинг актив ядроларидан (ГАЯ) чиқаётган ($L_{quasar} \approx 10^{42} - 10^{47} \text{ erg / s}$) ҳар хил кўринишдаги, яъни, юлдуз шамоли ва релятивистик джетга ўхшаш электромагнит нурланишларни рентген, Very Long Baseline Interferometry (VLBI) ва γ -нур телескоплари орқали кузатилиши сабаб астрофизикада қора ўраларнинг мавжудлиги муаммоси марказий ўринни эгалламоқда.

Жаҳонда космик цензура гипотезасини текширишда ва қора ўралардан энергия ажралиш жараёнини турли хил механизмлар, жумладан, қора ўрага тушувчи синов зарралар ва компакт объектлар атрофидаги магнит майдонлар орқали моделлаштиришда аниқ назарий изланиш ва таҳлиллар олиб бориш замонавий назарий астрофизиканинг муҳим масалаларидан бири ҳисобланиб, қора ўраларнинг физик хусусиятлари тўғрисидаги янги маълумотларни олишга, Ер, коинот типи телескоплари орқали олинган кузатув маълумотларини тасдиқлашга хизмат қилади. Кучли гравитацион майдон режимида қора ўралар яқинидаги астрофизик жараёнларнинг бой феноменологиясига электромагнит майдонлар таъсирини ўрганиш ва шу орқали умумий нисбийлик назариясини текшириш ҳамда ушбу йўналишда жаҳон миқёсида фундаментал тадқиқотлар олиб бориш ҳозирги замонавий астрофизиканинг муҳим масалаларидан биридир.

Мамлакатимизда релятивистик астрофизика доирасида амалий ва назарий ва шу билан бирга фундаментал тадқиқотларнинг ҳалқаро даражада ташкил қилинишига катта эътибор қаратилмоқда. 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида¹ мамлакатимизда илм-фан ривожини, фундаментал тадқиқотларнинг муҳим йўналишлари, фундаментал тадқиқотлар натижаларини ҳаётга татбиқ қилиш йўллари акс эттирилган. Шундан келиб чиққан ҳолда, релятивистик астрофизика доирасида ташқи магнит майдоннинг гравитацион компакт объектлар атрофидаги зарядли зарраларнинг ҳаракатига таъсирини назарий ва кузатув маълумотлари орқали ўрганиш космик цензура гипотезасини текширишда, чегаравий изочастотали айниган орбиталарни таҳлил қилишда

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги № ПФ-4947 сонли Фармони «2017—2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси».

ҳамда қора ўралар атрофидаги энергетик жараёнларни моделлаштиришда муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПҚ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сонли “Фанлар академияси фаолиятини янада такомиллаштириш, илмий ишларни ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштириш бўйича чора тadbирлар тўғрисида”, 2017 йил 14 сентябрдаги ПҚ-3275-сонли “Мирзо Улуғбек номидаги ихтисослаштирилган давлат умумтаълим мактаб-интернатини ва Астрономия ва аэроавтика боғини ташкил этиш тўғрисида”ги Қарорлари, ҳамда ушбу соҳадаги бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги. Мазкур тадқиқот республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги вақтда жаҳоннинг бир қатор кўзга кўринган олимлари, масалан: япониялик (I. Takahisa, H. Tomohiro, K. Masashi), хиндистонлик (N. Dadhich, S. Ghosh, P. Joshi, M. Patil), италиялик (C. Bambi, L. Rezzolla, L. Modesto, D. Malafarina, O. Zanotti), россиялик (M. Yu. Piotrovich, Yu. N. Gnedin; A. Zakharov, D. Galtsov), чехиялик (Z. Stuchlik, M. Kolos, J. Schee, J. Kovar, V. Karas), германиялик олимлар (C. Laemmerzahl, J. Kuntz, E. Hackmann, D. Kunst, V. Perlick) ва бошқалар томонидан кўплаб назарий изланишлар ва кузатувларда қора ўралар атрофидаги энергетик жараёнлар, унинг яқинидаги зарралар ҳаракати, изочастоталар шунингдек космик цензура ва қора ўралар учун оверспин (қора ўра ҳодисалар горизонтининг бузилиши) жараёнлари ҳам ўрганилган. Бундан ташқари, ўзбекистонлик олимлар ҳам (Б. Ахмедов, А. Абдужаббаров, В. Морозова, Ф. Атамуратов, А. Турсунов, Б. Тошматов ва бошқалар) қора ўралар турли параметрларининг юқори чегарасини таъминлаш учун ташқи магнит майдоннинг ички турғун айлана орбитага (ИТАО) таъсирини таҳлил қилишда ва муқобил гравитация назарияси доирасида асимптотик бир жинсли ташқи магнит майдонда жойлашган қора ўралар атрофида магнитланган заррачаларнинг орбиталарини ҳамда турли хил параметрларга эга қора ўраларнинг оптик хусусиятларини ўрганишда кенг кўламдаги назарий изланишлар олиб боришган.

Олдинги тадқиқотларда қора ўра атрофидаги энергетик жараёнлар ва космик цензура ҳодисаси аксиал симметрияли компакт объектларнинг фазо-вақти учун ўрганилган. Лекин, бу каби астрофизик жараёнларни тадқиқ қилишда ташқи магнит майдоннинг таъсирини ҳам эътиборга олиш мумкин. Компакт гравитацион объектлар яқинида магнит майдонларнинг роли жуда муҳимлиги сабабли унинг таъсиридан умумий нисбийлик назариясининг (УНН) янги синовларини яратишда, космик цензура гипотезасини

текширишда, айланувчи қора ўралардан юқори энергия ажралишини таъминлашда ва қора ўра атрофидаги изочастотали айниган айлана орбиталарни ўрганишда фойдаланиш мумкин.

Космик цензура тўғрисидаги ғоя илк бор Пенроуз томонидан таклиф қилинган ва унга биноан, қора ўра пайдо бўлиш жараёнида сингулярлик вужудга келади ва у воқеалар горизонти билан ўралган бўлиб, ташқи кузатувчига кўринмайди. Яқиндагина LIGO ва VIRGO обсерваторияларида GW150914 рақами билан қайд қилинган юлдузсимон қора ўраларнинг ўзаро тўқнашувидан ҳосил бўлган гравитацион тўлқинлар сабаб, коинотда қора ўраларнинг мавжудлиги ҳақиқатга яқинроқ ва астрофизикада марказий ўринни эгалламоқда. Космик цензура ҳодисаси бир қатор илмий мақолаларда қора ўранинг ҳар ҳил параметрлари орқали батафсил ёритилган.

Космик цензура гипотезаси исботланмаган бўлишига қарамасдан ҳали ҳануз фаол илмий изланишлар объекти бўлиб қолмоқда. Аммо, ташқи магнит майдоннинг космик цензура гипотезасига, қора ўрадан ажраладиган энергиянинг миқдорига ва қора ўра атрофидаги изочастотали айниган айлана орбиталарига таъсири батафсил ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация тадқиқоти Ядро физикаси ва Астрономия институтлари илмий-тадқиқотлар режасининг ЕФ-2А-ФА-1-10 “Релятивистик гравитация объектлари яқинида электромагнит майдонлар ва зарралар ҳаракати, қоронғи энергия ва “юмронқозик” ўраларидан” (2010-2011), ФЕ2-ФА-Ф113 “Релятивистик астрофизика ва космологияда гравитацион ва электромагнит жараёнлар, қуйи ҳароратлардаги бозонлар системалари” (2012-2016), ЕФ2-ФА-О-25046 “Гравитацион компакт объектлар яқинидаги айланишга эга зарралар ҳаракати ва электромагнит тўлқинларнинг тарқалиши” (2014-2015), ВА-ФА-Ф2-008 “Турғун ва динамик релятивистик гравитацион объектларда астрофизик жараёнлар” (2017-2020) илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ташқи электромагнит майдон мавжудлигида айланувчи қора ўралар атрофидаги юқори энергетик жараёнларни, космик цензура гипотезасини текширишда ҳодисалар горизонти бузилиш жараёнининг динамикасини, зарядланган зарраларнинг изочастотали айниган айланма орбиталари жараёнини тушунтирувчи назарий формализмларни ривожлантиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўраси яқинидаги изочастотали айниган айланма ногеодезик орбиталарни ўрганиш;

бран параметрига эга бўлган айланувчи қора ўра атрофидаги зарралар ҳаракатини ўрганиш ва эргосферанинг космологик доимийга боғланишини аниқлаш;

ташқи бир жинсли магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга бўлган айланувчи ва айланмайдиган қора ўралар яқинида зарядли зарраларнинг ҳаракати ва электромагнит майдонларни тадқиқ қилиш;

компакт объектдан ажралаётган энергиянинг НУТ (Newmann-Unti-Tamburino) параметрига боғлиқлигини аниқлаш;

ташқи бир жинсли магнит майдонда жойлашган квинтэссенция энергиясига эга бўлган айланувчи ва айланмайдиган қора ўралар атрофидаги юқори энергияли жараёнларни тадқиқ қилиш, ташқи магнит майдонининг қора ўрадан олинган энергия самарадор қийматига таъсирини таҳлил қилиш;

деярли экстремал айланувчи қора ўранинг ҳодисалар горизонти радиусининг бузилиш жараёнини ўрганиш, космик цензура ҳодисасини текширишда бу жараёнга магнит майдонининг таъсирини баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти релятивистик компакт объектлар: астрофизик (юлдузсимон) ва ўта массив қора ўралардан иборат.

Тадқиқотнинг предмети қора ўра атрофидаги изочастотали айниган ногеодезик орбиталар, ташқи магнит майдонининг айланувчи қора ўралардан ажралган энергиянинг самарадор қийматига ва космик цензура ҳодисасини текширишда айланувчи қора ўраларнинг ҳодисалар горизонтининг бузилиш жараёнларига таъсири ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари умумий нисбийлик назариясининг математик аппарати ва дифференциал геометрия аффин метрикаси, зарралар ҳаракати ва майдонлар учун дифференциал тенгламаларнинг аналитик ва сонли ҳисоблаш усулларидан иборат.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўрасининг гравитация майдонидаги изочастотали айниган ногеодезик орбиталари мавжудлиги ҳамда изочастотали айниган соҳа сиртининг ташқи магнит майдонига боғлиқлиги аниқланган;

астрофизика нуқтаи назаридан ташқи магнит майдони қора ўралар горизонтининг бузилиш жараёнига етарлича таъсир қилиши ва космик цензура ҳодисасини қайта тиклаши кўрсатилган;

Керр-Тауб-НУТ (Kerr-Taub-NUT) фазо-вақтидаги айланувчи қора ўрадан ажралувчи энергиянинг Пенроуз жараёни орқали содир бўлиши ҳақиқатга яқинроқ эканлиги кўрсатилган ҳамда қора ўрадан ажралувчи энергияни НУТ параметри (гравитомагнит заряд) \tilde{l} га тўғри боғлиқлиги топилган;

космологик доимий ва бран параметрининг таъсири натижасида зарраларнинг тўқнашувидан ажраладиган жуда юқори энергиянинг самарадор қиймати чекли бўлиши кўрсатилган ва ички турғун айлана орбита радиусининг горизонт радиусидан ажралиши сабабли бу чеклилик механизми вужудга келиши топилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

изочастотали айниган ногеодезик айлана орбиталар ҳосил бўладиган соҳанинг камайиши юлдузсимон қора ўралар атрофидаги ташқи магнит майдоннинг $B \approx 10^6 - 10^7 \text{ Гаусс}$ қийматлари учун (7–10) % ни ташкил этиши топилган;

ташқи магнит майдони ўзининг аниқ критик қиймати $B_{cr} = 0.6872$ дан кейин космик цензура вазифасини бажариши кўрсатилган;

унча катта бўлмаган магнит майдони ҳам ажраладиган энергия самарадорлиги даражасига кучли таъсир кўрсатиши мумкинлиги ва квинтэссенция энергиясига эга қора ўрадан зарядли зарралар ёрдамида ажраладиган энергия миқдорини оширишда муҳим рол ўйнаши натижасида Керр қора ўрасидан ажраладиган энергиянинг 42% ли чегара қийматига солиштирилганда, магнит майдони энергия самарадорлигининг юқори чегара қийматини 50% гача оширишлиги кўрсатилган;

ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган айланувчи квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофидаги электромагнит майдон учун аналитик ифодалар олинган ва квинтэссенция майдони параметри \tilde{c} нинг мавжудлиги зарядли зарраларнинг чексиз катта энергиялар билан тезлаштирилишига тўсқинлик қилиши аниқланган;

қора энергия табиатига жавоб берувчи космологик доимий Λ ва квинтэссенция параметрлари \tilde{c} нинг ошиши билан қора ўралар экстремаллигидан қатъи назар улар атрофида зарралар тўқнашувидан ҳосил бўлган энергия чекли қийматга эга бўлиши кўрсатилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Диссертация ишида умумий нисбийлик назариясининг янги усулларидан фойдаланилганлиги, замонавий сонли методлар ва алгоритмлар қўлланилганлиги, олинган натижалар замонавий астрономик кузатув натижалари билан бир қаторда бошқа муаллифларнинг илмий ишларининг натижалари билан ҳам таққосланганлиги ва олинган натижаларнинг ҳулосалари компакт гравитацион объектларнинг умумий тамойилларига мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қора ўралардан чиқаётган энергия оқимларини таҳлил қилишда диссертация ишида ривожлантирилган механизмлар ёрдамида қора ўралар атрофида ҳосил бўладиган юқори энергияли жараёнларни тушунтиришга қаратилган. Диссертация ишида изочастотали айниган ногеодезик орбиталар бўйича олинган натижалар, гравитацион тўлқин детекторлари ёрдамида қайд қилинган сигнал маълумотларининг тўғри ва аниқ таҳлилини ўрганиш пайтида узоқдан келадиган сигналларни бир биридан фарқлашни осонлаштириши мумкин. Бундан ташқари, олинган натижаларнинг аҳамияти шундаки, астрофизикада космик цензура ҳодисасининг мавжудлиги синов магнит майдон эффекти орқали қатъий математик исботда ўз аксини топади.

Илмий тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти умумий нисбийлик назарияси асосида компакт гравитацион объектлар атрофида астрофизик

жараёнларни яратиш ва текширишдан иборат. Диссертация ишида олинган натижалар назарий жиҳатдан стандарт тўрт ўлчовли ва кўп ўлчовли гравитация назарияси доирасида янги астрофизик моделларни яратиш учун ишлатилиши мумкин. Шунингдек, олинган натижалар олисдаги гравитацион объектлардан келаётган сигналларни аниқлаш ва бир биридан фарқлаш учун кузатув натижаларини ривожлантириш доирасида, гравитацион майдоннинг динамикаси ва табиатини таҳлил қилишда фойдали бўлиши мумкин. Бундан ташқари, экстремал айланувчи қора ўранинг бузилиш жараёни бўйича олинган натижаларнинг таҳлили яқин келажакда янги авлод радиотелескоплар тармоғи орқали очик сингулярлик деб номланувчи объектларни кузатиш ҳамда умумий нисбийлик назариясини ва бошқа муқобил гравитация назарияларини кучли майдон режимида текшириш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ташқи электромагнит майдони мавжудлигида компакт объектлар атрофида умумрелятивистик астрофизик жараёнларни тадқиқ қилиш асосида:

ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдоннинг изочастотали айниган ногеодезик орбиталарига таъсир хусусиятларининг илмий натижалари халқаро илмий журналларда гравитациянинг бошқа моделларида спинга эга зарраларнинг изочастотали айланма орбиталарини олишда фойдаланилган (*Physical Review D*, **92**, 024029, 2015; *Physical Review D*, **93**, 084012, 2016; *Astronomische Nachrichten*, **339**, 341, 2018). Илмий натижаларининг қўлланилиши космологик доимий ва спинли зарралар томонидан кўрсатиладиган ўзаро таъсирлар натижасида изочастотали айниган орбиталарнинг фундаментал тамойилларини гравитациянинг бошқа моделларида ривожлантириш имконини берган;

астрофизика нуқтаи назаридан ташқи магнит майдони қора ўралар горизонтининг бузилиш жараёнига етарлича таъсир қилиши ва космик цензура ҳодисасини қайта тиклаши бўйича олинган илмий натижалар халқаро илмий журналларда гравитациянинг бошқа моделларида қора ўраларнинг ҳодисалар горизонтини бузиш жараёнида фойдаланилган (*Classical and Quantum Gravity*, **33**, 175002, 2016; *Physical Review D*, **96**, 024016, 2017; *International Journal of Modern Physics A*, **32**, 1750125-85, 2017; *Classical and Quantum Gravity*, **35**, 045008, 2018). Илмий натижаларининг қўлланилиши зарядланган зарралар ва синов майдонлар томонидан кўрсатиладиган ўзаро таъсирлар натижасида қора ўра ҳодисалар горизонти бузилиш жараёнининг фундаментал тамойилларини гравитациянинг бошқа моделларида ривожлантириш имконини берган;

Керр-Тауб-НУТ фазо-вақтидаги айланувчи қора ўрадан ажралувчи энергиянинг Пенроуз жараёни орқали содир бўлиши ҳамда гравитоманетик зарядга ва космологик доимийга эга бўлган айланувчи қора ўраларнинг энергетик хусусиятлари бўйича олинган натижалар халқаро илмий журналларда юқори энергияларнинг кузатув маълумотларига боғлиқлиги ва гравитациянинг бошқа моделларида рақамли ҳисоблаш ёрдамида олинган

энергетик хусусиятлар билан қиёслашда фойдаланилган (Physical Review D, **89**, 024023, 2014; Physical Review D, **89**, 104048, 2014; Classical and Quantum Gravity, **31**, 195013, 2014; Physical Review D, **93**, 104031, 2016; Physical Review D, **94**, 086006, 2016; The European Physical Journal C, **76**, 104, 2016; The European Physical Journal C, **76**, 643, 2016; Physical Review D, **96**, 104050, 2017; The European Physical Journal C, **78**, 335, 2018; Physical Review D, **98**, 024022, 2018). Илмий натижаларининг қўлланилиши турли гравитацион моделлар учун турли таъсир параметрларининг юқори тўқнашув энергияларига таъсирини моделлаштириш имконини берган;

космологик доимий ва бран параметрининг Ранда-Сундрум бран фазо сидаги айланувчи қора ўра атрофида зарраларнинг тўқнашувидан ажраладиган юқори энергиянинг самарадор қийматига таъсири бўйича олинган назарий натижа ва хулосалар ҳамда методлар “Компакт объектлар релятивистик астрофизикасида халқаро назарий ва кузатув тадқиқотлар тармоғи билан интеграллашувни қўллаб-қувватлаш” мавзусидаги Европа Иттифоқи ва Чехия Республикасининг давлат бюджети тизимли фондлари томонидан молиялаштирилган ва CZ.1.07/2.3.00/20.0071 рақами билан қайд этилган дастури (2010-2014) доирасида регулар қора ўра атрофидаги энергетик жараёнларни моделлаштиришда қўлланилган (Опавадаги Силезия университетининг 2018 йил 4 майдаги маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши регулар қора ўра атрофидаги энергетик жараёнларни табиатини тушунтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот 12 та халқаро ва республика илмий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та илмий ишлар чоп қилинган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 7 та илмий мақола, шулардан 6 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, 4 та боб, хулоса, изоҳ ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 122 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг кириш қисмида илмий тадқиқотнинг долзарблиги, аҳамияти келтирилган, мақсади ва вазифалари аниқланган, илмий янгилиги ҳамда амалий натижалари кўрсатилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги исботланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти борасида сўз юритилган, тадқиқот натижалари ва диссертация тузилиши берилган.

Диссертациянинг биринчи боби “**Қора ўраларнинг астрофизик ва кузатув хусусиятлари**” деб номланиб, супермассив ва юлдуз массасидаги қора ўраларнинг номзодларини ўрганишга бағишланган.

Ҳозирги кунда замонавий кузатув маълумотлари кўпгина қора ўра номзодларини тасдиқлаб келмоқда. Ҳар бир ядроси актив галактика ўта оғир массали қора ўрадан ташкил топганлиги тахмин қилинади. Бир неча миллион қуёш массасига эга ўта оғир массали қора ўралар галактикаларнинг марказида жойлашган. Шу сабабли ядроси актив ва актив бўлмаган галактикалар марказида $M \approx 10^6 - 10^9 M_{sun}$ (бу ерда M_{sun} - Қуёш массаси) массали супермассив қора ўралар мавжуд. Ядроси актив $\approx 10^9 M_{sun}$ массали ва атрофида аккрецион диски мавжуд бўлган М87 галактикасини мисол қилиб келтириш мумкин. Бу аккрецион диск юқори энергияли электромагнит нурланишларини вужудга келтира олади. Бу эса ўз навбатида ядроси актив галактикаларнинг асосий хусусиятларидан бири ҳисобланади. Бизнинг галактикамиз ҳисобланган ва массаси $M \approx 4.4 \times 10^6 M_{sun}$ бўлган Сомон Йўли (Sagittarius A*) галактикаси ядроси актив бўлмаган галактикалар турига мансуб. Юлдуз массасидаги қора ўралар эса Эйнштейннинг умумий нисбийлик назариясининг маҳсули бўлиб, улар юлдузларнинг ички ёқилғиси тугаганда ўзининг хусусий гравитациясига қарши тура олмаганликлари сабабли вужудга келади. Қора ўралар астрофизикасида $[3 - 100] M_{sun}$ массали қора ўралар асосан юлдуз массали қора ўралар деб номланади. Бу турдаги қора ўралар асосан қўшалок системадаги ҳамроҳининг айланма ва нурланиш хусусиятларидан келиб чиқиб аниқланади. Кўп ҳолларда, деярли, барча юлдуз массали қора ўра номзодлари қўшалок системадаги объектнинг бири ҳисобланиб, ҳамроҳидан масса ютиш эвазига қўшалок системада рентген нурлари ёрдамида аниқланади. Қора ўра номзодлари уларнинг атрофида аккрецион дискни ҳосил қилувчи турли хил моддалардан нурланаётган электромагнит нурланишлар ёрдамида текширилиши мумкин. Аммо, юлдуз массали ва супермассив қора ўра номзодлари спектрларининг ҳолати бир биридан ўзларининг массалари, табиатлари ва нурланиш механизмларининг турли хиллиги билан фарқ қилади. Юлдуз массали қора ўра спектрининг ҳолати бир неча ҳафта ёки ойларда ўзгариб туради, лекин ўта оғир массали қора ўра номзодларининг спектри давомий бўлади. Шу сабабли супермассив қора ўра номзодлари ўзларининг одатий спектр ҳолатида кузатилади.

Яқинда Макс Планк номидаги Экстремал Физика Жамияти Институтининг бир гуруҳ астрономлари, Кембриж Университети Астрономия Институтининг бир гуруҳ астрономлари, Калифорния Технологиялари Институтининг бир гуруҳ астрономлари ва Европалик астрономлар ва бошқалар галактикамиз марказида тўпланган юлдузларнинг 10 йиллик кузатув маълумотларини оммага тақдим қилди. 1- жадвалда ушбу кузатув маълумотлари ёрдамида аниқланган энг асосий сўнги супермассив ва юлдуз массали қора ўра номзодлари келтирилган. Тўғридан тўғри кузатув далилларига ва уларнинг таҳлилларига асосланиб деярли барча қора ўра номзодлари, астрофизикада, тез айланувчи қора ўралар эканлиги тахмин қилинмоқда.

Кузатув маълумотлари ёрдамида аниқланган супермассив ва юлдуз массали қора ўра номзодлари. Бу қора ўра номзодлари айланиш моментига эга бўлган айланувчи қора ўралардир

СМҚЎ номзодлари (ЯАГ)	a_* (Темир)	L_{Bol} / L_{Edd}
IRAS 13224-3809	> 0.995	0.71
NGC 4051	> 0.99	0.03
MCG-6-30-15	> 0.98	0.40 ± 0.13
NGC 3783	> 0.98	0.06 ± 0.01
Swift J0501.9-3239	> 0.96	-
IRAS 00521-7054	> 0.84	-
RBS 1124	> 0.98	0.15
Ark 564	$0.96^{+0.01}_{-0.06}$	> 0.11
ЮМ ҚЎ номзодлари	a_* (Темир)	a_* (СФ)
GRS 1915-105	> 0.98	0.98 ± 0.01
Cyg X-1	> 0.98	$0.97^{+0.014}_{-0.02}$
LMC X-1	0.92 ± 0.06	$0.97^{+0.02}_{-0.25}$
GX 339-4	< 0.9	$0.95^{+0.03}_{-0.05}$
MAXI J1836-194	-	0.88 ± 0.03
M33 X-7	0.84 ± 0.05	-
4U 1543-47	0.80 ± 0.10	-
XTE J1650-500	-	0.84 - 0.98
GRO J1655-40	0.70 ± 0.10	> 0.9

Диссертациянинг иккинчи боби “Ташқи магнит майдонда жойлашган компакт гравитацион объектлар атрофидаги ногодезик айлана орбиталар бўйича зарраларнинг ҳаракати” деб номланади ва асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўрасининг гравитация майдонидаги изочастотали айниган ногодезик айлана орбиталарини ва уларга ташқи магнит майдонининг таъсири ҳамда магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга айланувчи қора ўра яқинида зарядли зарраларнинг ҳаракатини ўрганишга бағишланган. Ташқи ассимптотик бир жинсли магнит майдонда жойлашган M массали Шварцшилд қора ўраси гравитация майдонидаги массаси m ва заряди q бўлган заррачани ҳаракати кўриб чиқилган. Шварцшилд фазо вақти сферик координаталар системасида

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + f^{-1}(r)dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2), \quad (1)$$

шу кўринишда ёзилади. Бу ерда

$$f(r) = 1 - \frac{2M}{r}, \quad (2)$$

метрик функция.

Электромагнит майдоннинг 4-вектор потенциаллари Шварцшилд фазо-вақтида қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$A_t = A_r = A_\theta = 0, \quad A_\varphi = \frac{B}{2} r^2 \sin^2 \theta. \quad (3)$$

Зарядли зарра учун радиал эффектив потенциалнинг экваториал текисликдаги $\theta = \pi / 2$ ифодаси қуйидаги кўринишга эга

$$V_{\text{eff}}(r, \tilde{L}) = \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \left[1 + r^2 \left(\frac{\tilde{L}}{r^2} + \beta\right)\right]. \quad (4)$$

$\tilde{L} = L / m$ ва $\beta = qB / 2m$ белгилашлар киритдик ва бу ерда \tilde{L} зарранинг бурчак momenti бўлиб ҳаракат доимийсидир. $V_{\text{eff}}(r_p) = V_{\text{eff}}(r_a) = \tilde{E}^2$ шартлардан фойдаланиб зарранинг энергияси ва бурчак моментларини p ўлчам параметри ва e айланадан оғиш параметрларига боғлиқлиги аниқланади

$$\tilde{E} = \frac{1}{p^{1/2}(p-3-e^2)} \left[\begin{aligned} & (p-2)(p-3-e^2)^2 + p^2 M^2 \left(\beta + \left(\beta^2 + \frac{p-3-e^2}{p^2 M^2} \right)^{1/2} \right)^2 \\ & \times (p-2 + e^2(p-6)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (5)$$

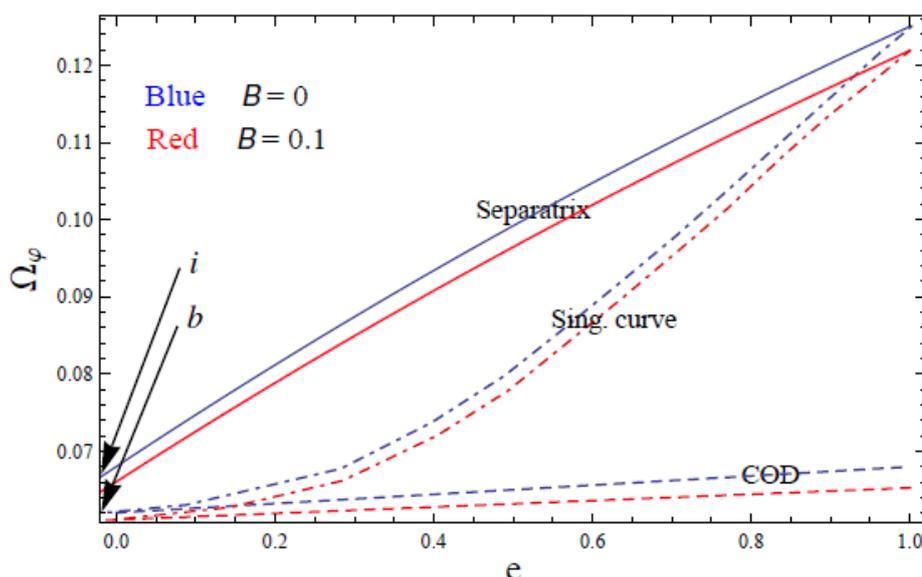
$$\tilde{L} = \frac{p^2 M^2}{p-3-e^2} \left[\beta + \left(\beta^2 + \frac{p-3-e^2}{p^2 M^2} \right)^{1/2} \right].$$

Орбиталардаги радиал ва азимутал частоталар

$$\Omega^r = \frac{2\pi}{T^r}, \quad \Omega^\varphi = \frac{1}{T^r} \int_0^{T^r} \frac{d\varphi}{dt} dt = \frac{\Delta\varphi}{T^r}, \quad (6)$$

кўринишда ёзилади.

3-расмда ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўраси атрофидаги ногеодезик орбиталар учун $e = e_s(\Omega^\varphi, \beta)$ ва (Ω^φ, e) боғланишларга магнит майдонининг таъсири сонли усулда ҳисоблаш ёрдамида келтирилган.



1-расм. Ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўраси атрофидаги ноегезик орбиталар учун (e, Ω^φ) боғланиш магнит параметри β нинг ҳар ҳил қийматларида келтирилган. b кўрсаткич $e \rightarrow 0$ вазиятдаги r_b радиусли айлана орбитага мос келади, i кўрсаткич эса r_{ISCO} ички турғун айлана орбита радиусига мос келади

1-расмдан сингуляр эгриликнинг магнит майдон таъсирида юқорига силжишини кўриш мумкин, аксинча, Ω^φ айлана орбиталарнинг $e \rightarrow 0$ даги лимитида r_b радиуснинг аниқ қийматида Ω^φ кичраяди. r_b радиуснинг қийматлари 2-жадвалда кенгрок берилган.

2-жадвал

Ташқи ассимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилда қора ўраси атрофидаги ноегезик орбиталарнинг r_b радиуси ва $\xi = r_b - r_{ISCO}$ параметрининг магнит майдон параметри β нинг ҳар ҳил қийматлари учун

β	0	0.001	0.005	0.01	0.05	0.1
r_b	6.38019	6.38022	6.38025	6.38029	6.38068	6.38118
r_{ISCO}	6	6.0036	6.0085	6.0145	6.0621	6.1203
$\xi = r_b - r_{ISCO}$	0.3802	0.3766	0.3717	0.3658	0.3185	0.2608

Магнит параметр β ва эксцентриклик e нинг ҳар хил қийматлари учун ташқи ассимтотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўраси атрофидаги изочастотали айниган нongeодезик орбиталар учун Ω^φ нинг сонли қийматлари

β	0	0.001	0.01	0.05	0.1
e	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$
0	0.062051	0.0620508	0.0620496	0.062044	0.0620367
0.3	0.3802	0.3766	0.3717	0.3658	0.2608
0.5	0.0799	0.07988	0.07967	0.078798	0.07769
0.832	0.10965	0.1096	0.10936	0.108224	0.106798
1	0.125	0.1249	0.12468	0.12343	0.121875

Изочастотали айниган орбиталарнинг частоталари $\Omega^\varphi = (M / r_b^3)^{1/2}$ 2 ва 3-жадвалларда нongeодезик орбита радиуси r_b билан биргаликда берилган. Шу билан бир қаторда, 3-жадвалда магнит майдон параметрининг турли қийматлари учун ушбу орбиталарнинг частота соҳаси тасвирланган

$$\tilde{\Omega}^\varphi(e=0) \leq \tilde{\Omega}^\varphi < \tilde{\Omega}^\varphi(e=1). \quad (7)$$

2 ва 3-жадвалларда бир жинсли магнит майдонида жойлашган Шварцшилд қора ўраси атрофидаги зарраларнинг айланиш частоталари $\tilde{\Omega}^\varphi$ қийматлари кўрсатилган. Натижалардан айтиш мумкинки, магнит майдонининг кучайиши билан частота қиймати камайиб боради, лекин ички турғун айлана орбита (ИТАО) радиуси ортади. Аммо, магнит майдон қийматининг ортиши билан ИТАО ва айлана орбиталар r_b радиуслари сезиларли ортади ҳамда бир бириги яқинроқ кела бошлайди, яъни уларнинг орасидаги фарқ ξ кичиклашиб боради. Бу эса зарраларнинг ҳаракатига ва изочастотали айниган орбиталарнинг камайишига сабаб бўлади. Бу ҳодиса 1-расмда ҳам тавирланган ва сонли натижалари 2-жадвалда келтирилган.

Квинтэссенция энергиясига эга айланувчи қора ўранинг фазо-вакти Boyer-Lindquist координаталарида (t, r, θ, φ) қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2Mr + \tilde{c}r^{1-3\omega_q}}{\Sigma}\right) dt^2 + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 - 2a \sin^2 \theta \left(\frac{2Mr + \tilde{c}r^{1-3\omega_q}}{\Sigma}\right) dt d\varphi + \Sigma d\theta^2 + \sin^2 \theta \left[r^2 + a^2 + a^2 \sin^2 \theta \left(\frac{2Mr + \tilde{c}r^{1-3\omega_q}}{\Sigma}\right) \right] d\varphi^2, \quad (8)$$

Бу ерда $\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$, $\Delta = r^2 - 2Mr + a^2 - \tilde{c}r^{1-3\omega_q}$. $\tilde{c} = 0$ да (8) ифода Керр метрикасига ўтади. Бир жинсли магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофида тинчликдаги массаси m ва заряди q бўлган зарранинг ҳаракатини қараймиз. Электромагнит майдоннинг 4-потенциалларининг ковариант ташкил этувчилари қуйидаги кўринишда берилади.

$$A_t = -\frac{1}{2\Sigma} \left\{ aB \left[\Delta + \frac{r^2 - a^2 - \Delta}{2} \sin^2 \theta + \tilde{c}r^3 \frac{r^2 + a^2 - \Delta}{6} \sin^2 \theta \right] \right\} A_r = 0, A_\theta = 0, \quad (9)$$

$$A_\varphi = -\frac{B}{2\Sigma} \left\{ (r^2 + a^2 - \Delta)a^2(1 + \cos^2 \theta) - (r^2 + a^2)\Sigma - \frac{\tilde{c}r^3}{3} (\Sigma(r^2 + a^2) + (r^2 + a^2 - \Delta)a^2 \sin^2 \theta) \right\} \sin^2 \theta. \quad (10)$$

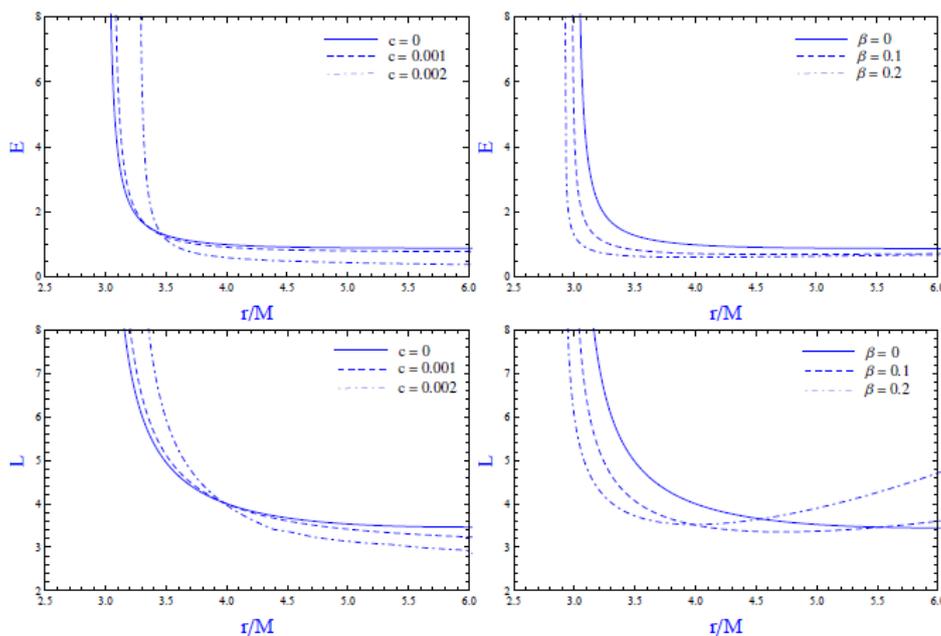
Квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофида зарядли зарранинг ҳаракатини Гамильтон-Якоби тенгламаси орқали тавсифлаш мумкин

$$H = \frac{1}{2} g^{\alpha\beta} (\pi_\alpha - qA_\alpha)(\pi_\beta - qA_\beta), \quad (11)$$

бу ерда π_α - зарядли зарранинг импульси, A_α - электромагнит майдон 4-потенциали ва Гамильтонианнинг қиймати доимий бўлиб у $H = -m^2/2$ га тенг. Зарранинг (3D) ўлчовли ҳаракати учун таъсирни ажратиш усули орқали қуйидагича ёзиш мумкин

$$S = \frac{1}{2} m^2 \lambda - Et + L\varphi + S_r(r) + S_\theta(\theta). \quad (12)$$

Бунда $E = -\pi_t$ ва $L = -\pi_\varphi$ лар мос равишда зарядли зарранинг энергияси ва бурчак моменти. S_r ва S_θ лар мос равишда r ва θ га боғлиқ функциялар.



2-расм. Бир жинсли магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофида ҳаракатланаётган зарядли зарранинг радиал ҳаракати учун энергия ва бурчак моментининг радиал боғланиши

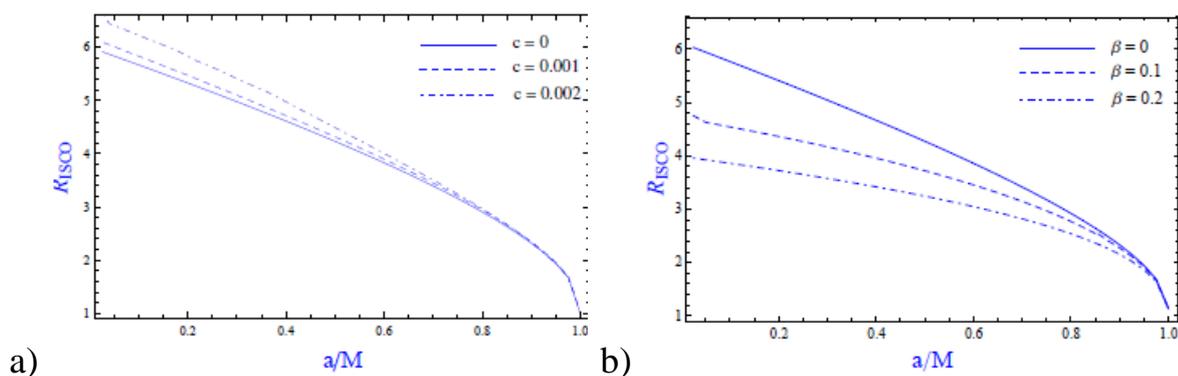
2-расмда зарядли зарранинг айлана орбиталаридаги энергия ва бурчак моментларининг квинтэссенция \tilde{c} ва магнит параметрлари β га боғланиши келтирилган. 2-расмдан шуни кўриш мумкинки, квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг ортиши билан зарранинг энергия E ва бурчак моментлари L нинг радиал соҳаси ортади ва аксинча магнит майдон параметрининг ортиши билан камаяди.

Квинтэссенция параметрининг жуда кичик $\tilde{c} \ll 1$ ва магнит майдон параметрининг катта $\beta \gg 1$ қийматлари учун ИТАО радиуси қуйидагича топилади

$$r_{isco} = 2 + \frac{1}{\beta} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + \frac{91+29\sqrt{2}}{192\sqrt{3}} \tilde{c} + O(\tilde{c}^2) \right) + \left(\frac{5+\sqrt{2}}{6} \right) \tilde{c} + O(\beta^2). \quad (13)$$

$\tilde{c} = 0$ да, ИТАО радиусининг ифодаси қуйидаги кўринишни олади.

$$r_{isco} = 1 + \frac{2}{\sqrt{3}\beta} + O(\beta^2). \quad (14)$$



3-расм. Бир жинсли магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофида ҳаракатланаётган зарядли зарранинг ички турғун айлана орбита (ИТАО) радиусининг айланиш параметри a га боғланиши магнит майдони ва квинтэссенция параметрларининг турли қийматлари а) $\beta = 0$ ва б) $\beta \neq 0$ учун келтирилган

3-расмда ИТАОнинг айланиш параметри a га боғлиқлиги сонли ҳисоблашлар орқали турли квинтэссенция параметри \tilde{c} ва магнит параметри β қийматлари учун келтирилган. Бундан магнит майдонининг ортиши ИТАО радиусини камайтириши ва квинтэссенция параметрининг ортиши ИТАО радиусининг Шварцшильд геометриясига нисбатан орттиришини кўриш мумкин.

Диссертациянинг учунчи боби “Қора ўралар оверспин жараёнининг динамикаси ва электромагнит майдонларининг роли” деб номланган бўлиб, космик цензура гипотезасини текшириш мақсадида қора ўраларнинг оверспин жараёни динамикаси ҳамда ушбу жараёнга магнит майдоннинг таъсирини ўрганишга бағишланган.

Бу бобда иккита ҳаракат доимийларини, яъни зарранинг энергияси δE ва бурчак моментларини δJ қараймиз. Фараз қилайлик зарранинг энергия ва бурчак моментларининг қийматлари қора ўраникидан анча кичик бўлсин $\delta E \ll M$ ва $\delta J \ll J$, у ҳолда заррани синов зарра деб қараш мумкин. Зарра қора ўрага тушганда унга қўшимча масса, бурчак момент ва заряд беради. Қора ўранинг натижавий массаси, бурчак momenti ва заряди мос ҳолда қуйидаги кўринишда бўлади $M + \delta E$, $J + \delta J$, and q . Агар зарра қора ўрани Керр қора ўрасидан Керр-Ньюман сингулярлигига айлантирган бўлса, қуйидаги шарт қаноатлантирилиши керак

$$(M + \delta E)^2 < \left(\frac{J + \delta J}{M + \delta E} \right)^2 + q^2. \quad (15)$$

Деярли экстремал қора ўранинг ўлчамсиз спин параметри қиймати бирга яқин бўлса, уни $J / M^2 = a / M = 1 - 2\varepsilon^2$, бунда $\varepsilon \ll 1$ бўлиб, кичик ўлчамсиз параметр. Шундай қилиб, $M = 1$ учун зарранинг рухсат этилган энергия ва бурчак моментлари қуйидаги оралиқларда бўлади

$$\left(2 - \sqrt{2} \sqrt{1 + \left(\frac{q}{2\varepsilon}\right)^2}\right) \varepsilon < \delta E < \left(2 + \sqrt{2} \sqrt{1 + \left(\frac{q}{2\varepsilon}\right)^2}\right) \varepsilon,$$

$$(2 + 3\varepsilon) \delta E - \frac{q^2}{2m} < \delta J < (2 + 4\varepsilon) \delta E. \quad (16)$$

Керр геометрия метрикаси Boyer-Lindquist координаталарида қуйидагича берилган

$$ds^2 = -\left(\frac{\Delta - a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma}\right) dt^2 - \frac{2a \sin^2 \theta (r^2 + a^2 - \Delta)}{\Sigma} dt d\varphi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma^2 d\theta^2 + \frac{(r^2 + a^2)^2 - \Delta a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma} \sin^2 \theta d\varphi^2, \quad (17)$$

бу ерда M ва a мос ҳолда, қора ўранинг умумий массаси ва бурчак моменти.

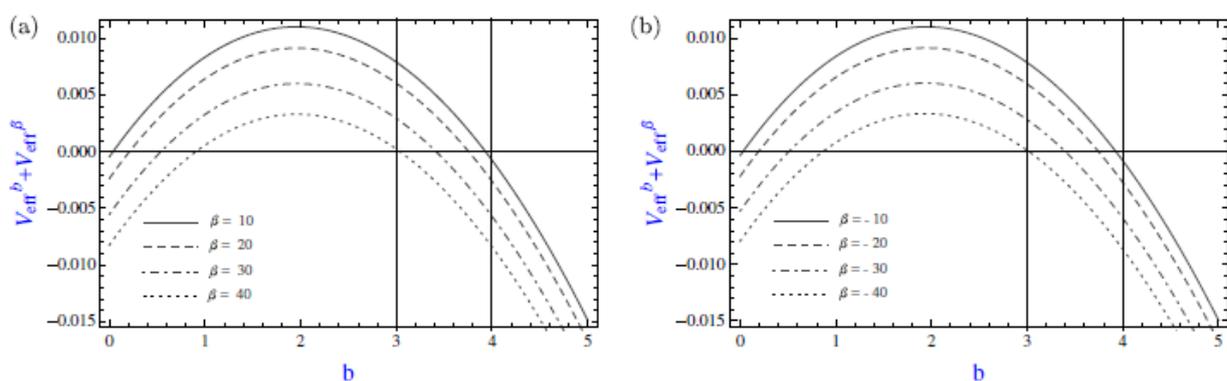
Энди қора ўранинг горизонт радиусини зарядли зарралар билан бузиш жараёнида магнит майдонининг эффектини текшираемиз. Магнит майдон бир жинсли бўлиб, унинг йўналиши қора ўранинг айланиш ўқи бўйлаб йўналган бўлсин. Бунда қора ўрага тушаётган заррани ташқи магнит майдони тўхтатиб қолиши ёки қола олмаслигини, бошқача айтганда космик цензура вазифасини бажара олиш ёки бажара олмаслигини аниқлашга ҳаракат қиламиз. Электромагнит майдон 4-вектор потенциалларининг ковариант ташкил этувчилари қуйидаги кўринишда аниқланган

$$A_t = -\frac{1}{2\Sigma} \left\{ aB [\Delta (1 + \cos^2 \theta) + (r^2 - a^2) \sin^2 \theta] - 2aB(\Sigma - 2Mr) \right\}, \quad A_r = 0, \quad A_\theta = 0, \quad (18)$$

$$A_\varphi = \frac{1}{\Sigma} \left\{ \frac{B}{2} [\Delta a^2 (1 + \cos^2 \theta) + r^4 - a^4] - 2QMBa^3 \right\} \sin^2 \theta. \quad (19)$$

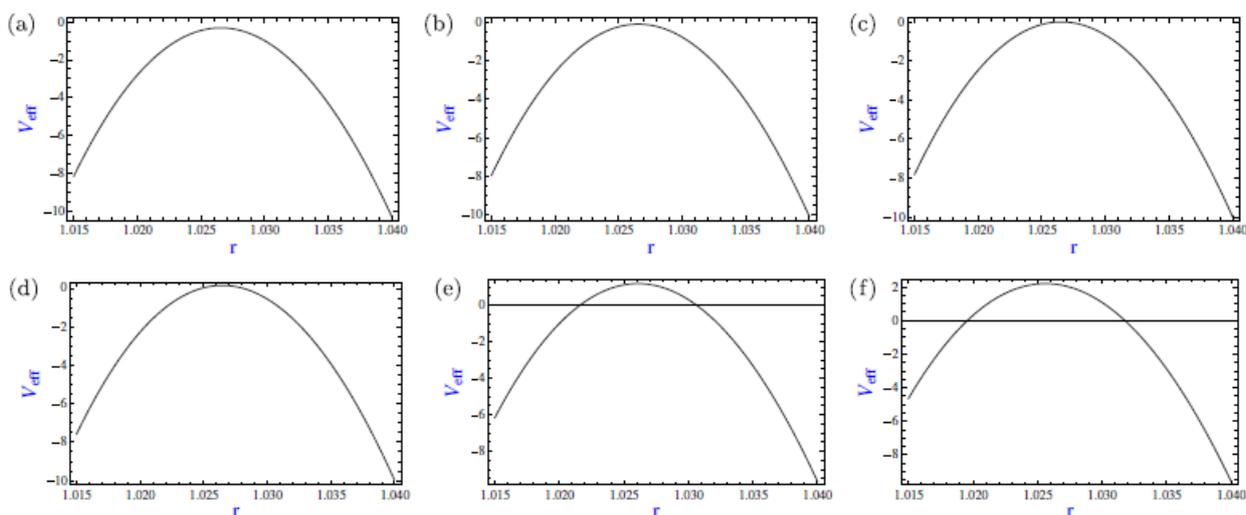
Қора ўранинг бузилиш жараёнига магнит майдоннинг таъсирини ўрганиш мақсадида эффектив потенциални таҳлил қиламиз. Бунинг учун, мос энергия ва бурчак моментига эга бўлган зарралар ҳеч қандай тўсикқа дуч келмасдан чексизликдан қора ўрага тўғри тушушига ишонч ҳосил қилишимиз керак. Радиал ҳаракат учун эффектив потенциал қуйидаги кўринишда берилади.

$$V_{eff} = -\frac{1}{2r^2} \left[\left(r^2 + a^2 + \frac{2Ma^2}{r} \right) \left(\delta E^2 - \frac{\beta^2}{4M^2} \Delta \right) - \left(1 - \frac{2M}{r} \right) \delta J^2 - \frac{4Ma \delta E \delta J}{r} - \Delta \left(1 - \frac{\beta \delta J}{M} \right) \right], \quad (20)$$



4-расм. Магнит майдонига жойлаштирилган деярли экстремал айланадиган қора ўрага максимал яқин нуқта r_{\max} даги эффектив потенциалнинг параметризация b параметрига боғлиқлигини ҳар икки манфий $\beta < 0$ ва мусбат $\beta > 0$ ҳолида магнит майдон параметри β нинг турли қийматлари учун тасвирланган

Магнит майдонида жойлашган деярли экстремал айланадиган қора ўра яқинидаги эффектив потенциалнинг параметризация параметрига боғлиқлиги ҳар икки мусбат ва манфий магнит параметрлари β учун кўрсатилган. 4-расмдан шуни кўриш мумкинки, β параметрнинг қиймати ортиши билан b_{cr} нинг қиймати камаяди ва β нинг аниқ критик қийматида $b_{cr} = 3$ га тенг бўлади. Ушбу қийматдан кейин зарядли зарра қора ўрага туша олмайди ва магнит майдони космик цензура вазифасини бажаради.



5-расм. Магнит параметр β нинг турли қийматлари учун магнит майдонида жойлашган деярли экстремал қора ўра атрофида ҳаракатланаётган зарядланган зарранинг радиал ҳаракат эффектив потенциалнинг радиал боғлиқлиги

5-расмда радиал ҳаракат учун эффектив потенциали тасвирланган. Расмдан, магнит майдон йўқлигида эффектив потенциалнинг манфийлигини кўриш мумкин, бу келаётган зарранинг қора ўрага қулашини билдиради. Магнит майдоннинг маълум бир қийматидан кейин эффектив потенциал мусбат қиймат қабул қилади, бу эса зарранинг қора ўрага туша олмаслигини изоҳлайди.

Диссертациянинг тўртинчи боби “Гравитацияланган компакт объектлардан энергия ажралиши” деб номланиб, ташқи бир жинсли магнит майдонда жойлашган айланувчи қора ўрадан энергия ажралиш жараёнига бағишланган. Бунда ушбу жараён (8) ифода билан берилган айланувчи квинтэссенция энергиясига эга қора ўра фазо вақти учун қаралади.

Катта миқдорда тўқнашув энергиясининг ажралишига имкон берадиган ёки зарраларнинг юқори энергиялар билан тўқнашишларига тўсқинлик қиладиган ва қора ўранинг тезлатувчи вазифасини чеклайдиган ҳар хил эффектлар мавжуд. Шу боисдан, магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга қора ўра яқинида энергетик жараёнларни ўрганиш муҳим аҳамиятга эга. Шунингдек, иккита зарра тўқнашувининг бир неча ҳолатлари учун масса маркази энергиясининг умумий ифодаси топилган.

4-жадвал

Квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг турли қийматлари учун чексизликдан келаётган нейтрал ва ИТАОда айланаётган зарядли зарраларнинг тўқнашувидаги масса маркази энергиясининг қийматлари

\tilde{c}	r_{ISCO}	$E_{c.m.} / m$
0.00000	$2.00000 + 1.15470 \beta^{-1}$	$1.74337 \beta^{1/4}$
0.00001	$2.00001 + 1.15471 \beta^{-1}$	$1.73824 \beta^{1/4}$
0.00005	$2.00005 + 1.15472 \beta^{-1}$	$1.73818 \beta^{1/4}$
0.00010	$2.00011 + 1.15475 \beta^{-1}$	$1.73722 \beta^{1/4}$
0.00100	$2.00107 + 1.15519 \beta^{-1}$	$1.73556 \beta^{1/4}$
0.00500	$2.00535 + 1.15713 \beta^{-1}$	$1.72903 \beta^{1/4}$

Квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг турли қийматларида ИТАО радиуси қиймати ва ИТАО да айланаётган зарядли зарра билан чексизликдан келаётган нейтрал зарранинг тўқнашувидан ҳосил бўлган масса маркази энергияси $E_{c.m.}$ нинг қийматлари 4-жадвалда келтирилган. Бу эса, ўз навбатида, квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофидаги тўқнашув жараёнини тушунтиришга ёрдам беради. 4-жадвалдан шуни кўриш мумкинки, квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг ортиши билан $E_{c.m.}$ энергиясининг қиймати камаяди ва квинтэссенция параметрининг қарама қарши таъсирига қарамасдан, магнит параметри β нинг катта қийматлари ҳисобига ИТАО да айланаётган зарядли зарралар билан статик радиус яқинидан келаётган нейтрал зарраларнинг ўзаро тўқнашувларидан ўта юқори энергиялар ҳосил қилиш мумкин.

ИТАОдан ҳодисалар горизонтига тушаётган зарядли ва эркин тушаётган зарядли зарраларнинг тўқнашувини инобатга олиш натижасида қора ўра горизонти яқинидаги $E_{c.m.}$ энергияни ҳисоблаш мумкин. Бу энергияга магнит

ва квинтэссенция майдонларининг умумлашган таъсирини ўрганишга асосий эътибор қаратамиз. Квинтэссенция параметрини жуда кичик $\tilde{c} \ll 1$ деб қараб, масса маркази $E_{c.m.}$ энергияси учун қуйидагича тахминий ечим олинади

$$\frac{E_{c.m.}^2(r \rightarrow r_H)}{m^2} \cong \frac{F(\beta, c_*, E_2, L_2)}{(1 + c_* - a_*^2)}. \quad (21)$$

$E_{c.m.}$ энергия квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг ортиши билан камайиб боради. Натижада, ўта юқори энергияли тўқнашувлар вужудга келишига квинтэссенция майдонининг таъсири тўсқинлик қилади. Аммо, қора ўра атрофидаги магнит майдон юқори энергияли тўқнашувларнинг ҳосил қилувчиси вазифасини бажаради.

Айланувчи квинтэссенция энергиясига эга қора ўрасининг экватор текислигида тўқнашаётган зарраларнинг масса маркази энергияларини текшириш орқали, ташқи магнит майдони мавжудлигида қора ўра яқинида ажраладиган энергия миқдорини ўрганамиз.

5-жадвал

Магнит майдонида жойлашган квинтэссенция энергиясига эга қора ўра учун BSW механизми (икки зарранинг ўзаро бош тўқнашуви) орқали энергия ажралиш самарадолигининг қиймати $\zeta_{B_{energy}}$ (%) квинтэссенция \tilde{c} ва спин a параметрларининг ҳар хил қийматларида

\tilde{c}	a	$\beta = 0$	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.2$
		$\zeta_{B_{energy}}$		
0.00000	1.00000	42.2650	45.2147	47.4120
0.00001	1.00001	40.7253	43.8409	46.1728
0.00005	1.00003	39.6673	42.9013	45.3280
0.00010	1.00005	39.0188	42.3273	44.8131
0.00100	1.00050	35.6603	39.3779	42.1832

5-жадвалда бир жинсли магнит майдонида жойлашган экстремал қора ўрадан ажралаётган энегия самарадорлигининг юқори чегара қийматлари квинтэссенция \tilde{c} ва спин a параметрларининг ҳар хил қийматлари учун келтирилган. 5-жадвалдан маълумки, квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг берилган қийматида магнит параметри β нинг ортиши натижасида энергия ажралиш самарадорлигининг қийматини ортишини кўриш мумкин. Ажралаётган энергияларда магнит майдонининг таъсири жуда муҳимлигини кўриш мумкин. Магнит майдони экстремал айланувчи қора ўралар учун энергия ажралиш самарадорлигининг энг юқори қийматини 50% гача ортишига олиб келади ва бу қиймат магнит майдонисиз экстремал Керр қора ўраси учун 42% га тенгдир.

Иловада, ташқи магнит майдонда жойлашган айланувчи квинтэссенция энергиясига эга қора ўра атрофидаги электр ва магнит майдонлар учун аниқ ифодалар келтирилган.

ХУЛОСА

“Ташқи электромагнит майдон мавжудлигида компакт гравитацион объектлар атрофида умумрелятивистик астрофизик жараёнлар” мавзусидаги диссертация ишининг натижаларидан келиб чиққан ҳолда қуйидаги хулосалар келтирилади:

1. Ташқи магнит майдонида жойлашган айланувчи квинтэссенция қора ўра горизонти яқинидаги зарядли зарралар тўқнашувидан ҳосил бўлган масса маркази энергияси учун умумий ифодалар топилди. Квинтэссенция материяси параметри зарядли зарраларнинг чексиз катта энергияларга эришишларига тўсқинлик қилиши аниқланди. Магнит майдони, кичик бўлса ҳам, ажралган энергиянинг самарадор қийматига кучли таъсир қилиши кўрсатилди ва Керр қора ўрасидан ажраладиган энергиянинг 42% ли чегара қийматига солиштирганда экстремал айланадиган қора ўралар учун энергия самарадорлигининг юқори чегара қийматини 50% гача ошириши кўрсатилди.
2. Ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдонда жойлашган Шварцшилд қора ўрасининг гравитация майдонидаги изочастотали айниган ногеодезик айлана орбиталар ва ушбу орбиталар мавжуд бўладиган соҳанинг ташқи магнит майдонга боғлиқлиги ўрганилди. Ташқи магнит майдоннинг $B \approx 10^6 - 10^7$ Гаусс қийматлари учун, ушбу соҳанинг (7–10)% гача камайиши аниқланди.
3. Астрофизика нуқтаи назардан ташқи магнит майдони қора ўралар горизонтининг бузилиш жараёнига етарлича таъсир қилиши ва космик цензура ҳодисасини қайта тиклаши кўрсатилди. Магнит майдони ўзининг аниқ қийматидан $B_{cr} = 0.6872$ кейин космик цензура вазифасини бажариши кўрсатилган.
4. Ташқи асимптотик бир жинсли магнит майдонида жойлашган айланувчи квинтэссенция қора ўраси атрофидаги электромагнит майдонлар учун аналитик ифодалар топилди.
5. Ташқи магнит майдонида жойлашган айланувчи квинтэссенция энергиясига эга қора ўра яқинидаги зарядли зарраларнинг ички турғун айлана орбиталари (ИТАО) ва бурчак моментлари учун аналитик ифодалар топилди. Квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг таъсири натижасида ИТАО радиусини катталашини топилди. Лекин, магнит параметрининг чексиз қиймати $\beta \rightarrow \infty$ учун, ИТАО радиуси квинтэссенция параметри \tilde{c} нинг таъсирига қарамасдан ўзининг минимум қийматига эришиши кўрсатилди.
6. Космологик доимий ва бран параметрининг таъсири натижасида қора ўра атрофидаги зарраларнинг тўқнашувидан ажраладиган ўта юқори энергияларнинг самарадор қиймати чекли бўлиши кўрсатилган. Ички турғун айлана орбита радиусининг горизонт радиусидан ажралиши сабабли бу чеклилик механизми вужудга келиши топилган.
7. Керр-Тауб-НУТ фазо-вақтидаги айланувчи қора ўрадан ажралувчи энергиянинг Пенроуз жараёни орқали содир бўлиши ҳақиқатга яқинроқ эканлиги кўрсатилди. Қора ўрадан ажралувчи энергиянинг НУТ параметри \tilde{l} га (гравитомагнит заряд) тўғри ва эргосферанинг ҳажмига тесқари боғлиқлиги топилди.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS,
ASTRONOMICAL INSTITUTE, NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

**ASTRONOMICAL INSTITUTE
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

SHAYMATOV SANJAR RUZIMURATOVICH

**GENERAL RELATIVISTIC ASTROPHYSICAL PROCESSES IN THE
VICINITY OF COMPACT GRAVITATIONAL OBJECTS IN THE
PRESENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELD**

01.03.01- Astronomy

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2018

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2017.2.PhD/FM60.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at the Astronomical Institute and Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, English, Russian (resume)) languages on the website of the Scientific Council at the address of www.inp.uz and on the website of “Ziyonet” information and educational portal at www.ziyonet.uz.

Scientific consultant:

Ahmedov Bobomurat Juraevich

doctor of sciences in physics and mathematics, professor

Official opponents:

Mirtadjieva Karamat Takhirovna,

doctor of physical and mathematical sciences, assistant professor

Fayzullaev Biruni Amanullayevich

doctor of philosophy (PhD) in physics and mathematics, assistant professor

Leading organization:

Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan

The defense of the dissertation will be held on “___th” _____ 2018 at ___ at the meeting of the Scientific Council No. DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan (Address: INP, Ulugbek settlement, 100124, Tashkent city. ph.: (+99871)289-31-60; fax: (+99871)289-31-18; e-mail: info@inp.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through at the Information Resource Center of the Institute of Nuclear Physics (registered under No. _____). Address: INP, Ulugbek settlement, 100124, Tashkent city. ph.: (+99871) 289-31-19.

The Abstract of dissertation was distributed on “___” _____ 2018.
(Registry record No. _____ dated “___” _____ 2018.)

M.Yu. Tashmetov

Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

E.M.Tursunov

Scientific Secretary of Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S.

I. Nuritdinov

Chairman of Scientific Seminar of the Scientific
Council on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

INTRODUCTION (Annotation of PhD dissertation)

Topicality and demand of the theme of dissertation. Nowadays, much progress has been made in observational studies of stellar mass black holes in X -ray binaries and supermassive black holes through modern astronomical observations. Also, the detection of gravitational waves (GWs) from GW150914, GW151226 and GW170104 and the detection of a high energy neutrino 170922A by IceCube Neutrino Observatory verify the observational progress in the detection of black holes. Thus, the presence of black holes in astrophysics is now taking center stage by the LIGO and VIRGO detection of stellar black hole mergers and recent astronomical investigations of the high-energy neutrino and the output ($L_{quasar} \approx 10^{42} - 10^{47} \text{ erg / s}$) from active galactic nuclei (AGN) in various forms such as winds and jets, which have been detected by x -ray, VLBI, and γ -ray telescopes.

Throughout the world, developing accurate theoretical investigations in the context of testing cosmic censorship conjecture for presence of black holes, modeling the energy extraction from black holes being candidates for such energy sources via infalling test particles or magnetic fields surrounding compact objects is the most important issues of modern astrophysics in getting more information about the properties of black holes and providing the proof to the relevant observations by ground and space-based telescopes. The investigation of the astrophysical processes in the vicinity of black holes and the effect of the electromagnetic field on the rich phenomenology of astrophysical processes in the strong gravitational field regime, which allows us to verify the general theory of relativity, is one of the most important tasks of modern relativistic astrophysics.

In our country, great attention has been paid to the development of experimental and theoretical researches in the field of relativistic astrophysics, as well as fundamental research in this direction at the international level. The fundamental research topics, which are of great importance for the progress of science and its further application in practice in our country, are reflected in the Strategy¹ for Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021. Thus, theoretical and observational studies of the role of the external magnetic field on the motion of test particles around compact gravitational objects in testing cosmic censorship conjecture, analyzing bound and isofrequency pairing non-geodesic orbits around black holes, and developing energy extraction processes from black holes in the field of relativistic astrophysics play a significant role.

This research carried out in the dissertation fully corresponds to the tasks stipulated in the Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan No. PR-2789 “On measures of further improvement of the activities of the Academy of Sciences, organization, management and financing of scientific research works” from February, 2017, Decree No. PD-4947 “On the strategy of Actions on Further Development of the Republic of Uzbekistan” from February 7, 2017, and Decree No. PD-3275 “On the creation of the state specialized secondary school named after Mirzo Ulugbek and

¹ Decree of the President of the Republic of Uzbekistan “On the Strategy for the Further Development of the Republic of Uzbekistan” No. 4947 of 07 February 2017

Astronomy and Aeronautics park” from September 14, 2017, and in legal and regulatory documents accepted in this field as well.

Relevance of the research to the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan. The dissertation research has been carried out in accordance with the priority areas of science and technology in the Republic of Uzbekistan: II. “Power, energy and resource saving”.

Degree of study of the problem. Many scientists in the world, for instance, Japan scientists (I. Takahisa, H. Tomohiro, K. Masashi), Indian scientists (N. Dadhich, S. Ghosh, P. Joshi, M. Patil), Italian scientists (C. Bambi, L. Rezzolla, L. Modesto, D. Malafarina, O. Zanotti), Russian scientists (M. Yu. Piotrovich, Yu. N. Gnedin; A. Zakharov, D. Galtsov), Czech scientists (Z. Stuchlik, M. Kolos, J. Schee, J. Kovar, V. Karas), German scientists (C. Laemmerzahl, J. Kuntz, E. Hackmann, D. Kunst, V. Perlick), and others have done huge number of theoretical and observational investigations to study the energetic processes, particle motion and isofrequency pairing bound orbits around rotating black hole and cosmic censorship and overspinning process for rotating black hole as well. Also, uzbek scientists (B. Ahmedov, A. Abdujabbarov, V. Morozova, F. Atamuratov, A. Tursunov, B. Toshmatov and others) have done theoretical investigations in analysing the influence of a magnetic field on the innermost stable circular orbit (ISCO) so as to provide the upper limit for the different parameters of the black hole and in studying the orbits of magnetized particles around black holes immersed in an asymptotically uniform magnetic field in the alternative theory of gravity and optical properties of black holes.

Previous research works on energetic processes around black hole and cosmic censorship have been done for axial symmetric compact gravitating objects. However, one can consider the magnetic field effect on those astrophysical processes. Since an external magnetic field plays an important role in the vicinity of compact objects, its effect could be used as a useful tool in constructing new tests of general relativity, in testing cosmic censorship conjecture, in producing the observed enormous energy from rotating black holes, and in studying isofrequency pairing nongeodesic circular orbits around black hole.

The idea of the cosmic censorship was proposed by Penrose, according to which the singularities are hidden inside the horizon of black holes and not observable outside; black holes with event horizon in astrophysics also take center stage by the LIGO and VIRGO detection of stellar black hole mergers registered by GW150914 recently. The cosmic censorship conjecture has been studied in detail for the various parameters of the black hole in scientific papers.

However, testing cosmic censorship conjecture with infalling test particles has recently become an active scientific object irrespective of fact that it remained unproven yet. The influence of an external magnetic field on cosmic censorship conjecture, the amount of energy extracted from black hole, and isofrequency pairing nongeodesic circular orbits around black hole has not been investigated yet in detail.

Connection of dissertational research with the plans of scientific research works of the scientific research institution, where the dissertation was conducted. The dissertation was done in the framework of the scientific projects of the Institute of Nuclear Physics and Astronomical Institute, Uzbek Academy of Sciences: EF-2A-FA-1-10 "Particles and fields in the vicinity of relativistic gravitational objects from dark energy and wormholes" (2010-2011); F2-FA-F113 "Gravitational and electromagnetic processes in relativistic astrophysics and cosmology, a system of bosons at low temperatures" (2012-2016); EF2-FA-O-25046 "The motion of particles with spin and propagation of electromagnetic waves in the vicinity of compact objects gravity" (2014-2015); VA-FA-F-2-008 "Astrophysical Processes in Stationary and Dynamic Relativistic Gravitation Objects" (2017-2020).

The aim of the research dissertation is to develop a theoretical formalism describing high-energetic processes, the dynamics of overspinning processes in testing cosmic censorship conjecture, and the process of isofrequency pairing nongeodesic orbits of charged particles in the vicinity of black holes in the presence of an external electromagnetic field.

The tasks of the research:

to study isofrequency pairing of the circular non-geodesic orbits in the vicinity of the Schwarzschild black hole immersed in external asymptotically uniform magnetic field;

to study the particle motion around a rotating black hole with a non-zero brane parameter, and consider the dependence of the ergosphere of the rotating black hole on cosmological constant;

to consider and investigate the electromagnetic field and the charged particles motion in the vicinity of the rotating and non-rotating black hole with quintessential energy immersed in an external uniform magnetic field;

to obtain the dependence of the extracted energy from compact object on NUT (Newmann-Unti-Tamburino) parameter;

to investigate the high energetic processes around a rotating and non-rotating black hole with quintessential energy immersed in an external magnetic field; to investigate the influence of an external magnetic field on the amount of energy extracted from black hole;

to consider a process of over-spinning a near-extremal rotating black hole; to analyze the effect of magnetic field on such process in testing cosmic censorship conjecture.

The objects of the research are relativistic compact gravitating objects: astrophysical and supermassive black holes.

The subjects of the research are isofrequency pairing non-geodesic orbits of charged particles around black holes, the effect of the external magnetic fields on the efficiency of extracted energy from black holes and the process of destroying a near-extremal rotating black hole in testing cosmic censorship conjecture.

The methods of the research. The research methods are mathematical apparatus of general relativity and metric affine differential geometry, analytical

and numerical methods for solving differential equations of particle motion and field.

The scientific novelty of the research is the follows:

Isofrequency pairing of non-geodesic orbits under the gravitational field of the Schwarzschild black hole immersed in external asymptotically uniform magnetic field and the dependence of the surface of region where isofrequency pairing of non-geodesic orbits occur around Schwarzschild black hole from the external magnetic field have been developed;

it has been shown that a test magnetic field can affect the process of destroying black holes and restore the cosmic censorship in the astrophysical context;

it has been shown that energy extraction through Penrose process is more realistic process for the energy extraction from the rotating black hole in the Kerr-Taub-NUT spacetime. The dependence of the extracted energy from compact object on NUT parameter \tilde{l} (gravitomagnetic charge) has been found;

it has been shown that the influence of the cosmological constant and the brane parameter may also cause a limitation for the efficiency of the ultrahigh-energy of the colliding particles; it has been established that the mechanism of this limitation is related to splitting the ISCO radius from the event horizon.

Practical results of the research are as follows:

A decrease in the surface of the isofrequency pairing of nongeodesic orbits as nearly (7-10) % for the maximal values of the external uniform magnetic field $B \approx 10^6 - 10^7$ Gauss around astrophysical black holes has been found;

it has been obtained that a test magnetic field would act as a cosmic censor beyond a certain threshold value of the magnetic field $B_{cr} = 0.6872$;

it has been demonstrated that the magnetic field, although small, can strongly affect the value of energy efficiency and play a decisive role in the amount of energy extracted from quintessential black hole, giving rise to an increase in the amount of the upper bound of the efficiency up to 50% for the extremal rotating black hole as compared to the upper bound 42% for the extremal Kerr black hole;

the analytical expressions for the vacuum electromagnetic field of quintessential rotating black hole in the external asymptotically uniform magnetic field have been obtained; it has been demonstrated that due to the existence of quintessential field intensity parameter \tilde{c} charged particles are prevented from acceleration to infinitely high energies;

it has been obtained that the center of mass energy starts becoming finite once the value of cosmological parameter Λ and quintessential parameter \tilde{c} , being responsible for the form of dark energy, increases even for the extremal quintessential rotating black hole.

Reliability of the research results is provided by the followings: in the dissertation new methods of general relativity and modern numerical methods and algorithms are used; obtained theoretical results are compared with modern astronomical observations, as well as the results of other authors; conclusions of

results are well consistent with the general principles of compact gravitational objects.

Scientific and practical significance of the research results. The scientific significance of the research results is devoted much attention to explaining the arbitrarily high energy processes around a rotating black hole by the mechanisms developed in the dissertation so as to analyze the jets being spewed out of a black hole. The results, in the dissertation, concerning isofrequency pairing nongeodesic orbits can make easier to identify signals coming from infinity in studying the data-analysis problem for gravitational-wave detectors. In addition, the scientific significance of results consists in an original strict mathematical proof to the validity of cosmic censorship in an astrophysical scenario by using the effect of a test magnetic field.

The practical significance of the research results consists in constructing and verifying processes of astrophysical models of general relativity in the vicinity of compact gravitating objects on the basis of general relativity. The results in the dissertation obtained in theoretical point of view can be used to build new astrophysical models in the framework of the classical standard four-dimensional and multi-dimensional gravity. They can also be useful for the analysis of the nature and dynamics of the gravitational field in the field of developing observational experiments for the detection and identification of signals coming far away from gravitational objects. Also, analysis of the results concerning the process of destroying a near-extremal rotating black hole could be used to analyze objects so-called naked singularities by using a new generation of radiotelescope networks in the near future and to test the general relativity and other alternative theories of gravity in strong field regime.

Implementation of the research results. Based on investigations of general relativistic astrophysical processes in the vicinity of compact gravitational objects in the presence of external electromagnetic field:

isofrequency pairing of non-geodesic orbits under the gravitational field of the Schwarzschild black hole immersed in external asymptotically uniform magnetic field has been used to obtain the isofrequency pairing circular orbits of spinning particles in various gravity models presented in scientific papers of international scientific journals (Physical Review D, **92**, 024029, 2015; Physical Review D, **93**, 084012, 2016; Astronomische Nachrichten, **339**, 341, 2018). Application of these results allowed to develop fundamental theories of isofrequency pairing orbits by the effect of cosmological constant and spinning particles in other gravity models;

the obtained research results of the magnetic field that can affect the process of destroying black hole and restore the cosmic censorship in the astrophysical context have been used to develop the process of destroying black holes in various gravity models presented in scientific papers of international scientific journals (Classical and Quantum Gravity, **33**, 175002, 2016; Physical Review D, **96**, 024016, 2017; International Journal of Modern Physics A, **32**, 1750125-85, 2017; Classical and Quantum Gravity, **35**, 045008, 2018). Application of these results

allowed to develop fundamental theories of process of destroying a black hole horizon by charged particles and test fields in other gravity models;

the obtained research results on the energy extraction through Penrose process and energetic properties of rotating black holes with gravitomagnetic charge and cosmological constant have been used to examine the results of high energies related to the observations and the results of energetic properties obtained through the numerical calculations in different gravity models presented in scientific papers of international scientific journals (Physical Review D, **89**, 024023, 2014; Physical Review D, **89**, 104048, 2014; Classical and Quantum Gravity, **31**, 195013, 2014; Physical Review D, **93**, 104031, 2016; Physical Review D, **94**, 086006, 2016; The European Physical Journal C, **76**, 104, 2016; The European Physical Journal C, **76**, 643, 2016; Physical Review D, **96**, 104050, 2017; The European Physical Journal C, **78**, 335, 2018; Physical Review D, **98**, 024022, 2018). Application of these results allowed to develop a model of the influence of various parameters of black holes on the high energy collisions for different gravity models;

theoretical research results and methods of the influence of the cosmological constant and the brane parameter on the efficiency of the ultra-high energy of the colliding particles near a rotating black hole in a Randall-Sundrum brane have been used in the frame of the program “Supporting Integration with the International Theoretical and Observational Research Network in Relativistic Astrophysics of Compact Objects” supported by the Operational Programme Education for Competitiveness funded by Structural Funds of the European Union and State Budget of the Czech Republic and registered by number CZ.1.07/2.3.00/20.0071 (2010-2014). Research results provided a possibility to explain energetic properties of the regular black hole.

Approbation of the research results. The research results were reported and discussed at 12 international and local scientific conferences.

Publication of the research results. In the field of dissertation theme, 19 scientific works were published, of which 7 scientific papers in scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing basic scientific results of PhD dissertations, including 6 international ones.

Volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, one appendix, and bibliography. The size of the dissertation is 122 pages.

THE MAIN CONTENTS OF THE DISSERTATION

In the introduction the topicality and demand of the dissertation theme, the main aims set out on the dissertation and the scientific novelty and the practical results were emphasized, the reliability of the results and their theoretical and practical significance were stated, the application of the research results and the dissertation structure were given.

The first chapter of the dissertation entitled “**Astrophysical and observational properties of black holes**” is devoted to give information about supermassive and stellar-mass black holes and demonstrate their candidates in detail.

Current modern astronomical observations have confirmed a number of black hole candidates. It is expected that each active galactic nucleus consists of supermassive black hole. SMBHs with a mass of a million solar masses can be found only in the centre of galaxies. Thus, galaxies with AGN and with non-active nuclei are believed in hosting a supermassive black hole with mass of order $M \approx 10^6 - 10^9 M_{sun}$ in their centers. For instance: M87 is referred to as AGN of $\approx 10^9 M_{sun}$, which also has the accretion disc surrounding around it. The accretion disk produces large amount of energies in the spectra. This is the main property of AGN as compared to the inactive galaxies which are supposed to not have an accretion disc around it. Sagittarius A* is type of nonactive nucleus of our Galaxy with $M \approx 4.4 \times 10^6 M_{sun}$. As regards stellar-mass black holes, as a result of Einstein’s general theory of relativity they are formed due to the gravitational collapse of stars when they run out of their fuel, thus being not possible to sustain its own gravity. In black hole astrophysics, one can call stellar-mass black hole candidates in the case when their masses are in the range of $[3-100]M_{sun}$. Typically, the masses of stellar mass black hole candidates can be determined by the properties of companion star’s orbital and radiative properties. In many cases almost all known stellar-mass black hole candidates are one of the object of binary system and can be detected in binary stellar systems by X-ray radiation, caused by the absorption of the matter of the companion star. Black hole candidates are tested only by studying analysis of electromagnetic radiation emitted by various type of materials forming accretion disk and orbiting around such objects. However, spectral states of stellar mass and supermassive black hole candidates differs from each other due to the fact that their masses, environments and radiation mechanisms in the accretion disk as well are totally different. Spectral state of stellar-mass black hole candidates can be changed in a couple of weeks or months, whereas spectral states for supermassive BH candidates are long lived. This is because SMBH candidates are observed in its usual spectral state.

Recently, a group of German astronomers from the Institute for Extraterrestrial Physics Society of Max Planck, England astronomers from the Institute of Astronomy, Cambridge University, astronomers from the United States from California Institute of Technology, and European astronomers, etc. shown the data of 10 years of observations of the stars concentrated in the center of our Galaxy. As a result, the main latest of supermassive and stellar-mass black hole candidates registered as a result of the iron line and continuum-fitting measurements are tabulated in Table 1. Direct observational evidence and their analysis have shown that almost all black hole candidates are expected to be rapidly rotating black holes in astrophysics.

Table 1

The latest Supermassive and Stellar-mass black hole candidates registered as a result of the iron line and continuum-fitting measurements. These black hole candidates are also regarded as rotating ones

SMBH candidates (AGN)	a_* (Iron)	L_{Bol} / L_{Edd}
IRAS 13224-3809	> 0.995	0.71
NGC 4051	> 0.99	0.03
MCG-6-30-15	> 0.98	0.40 ± 0.13
NGC 3783	> 0.98	0.06 ± 0.01
Swift J0501.9-3239	> 0.96	-
IRAS 00521-7054	> 0.84	-
RBS 1124	> 0.98	0.15
Ark 564	$0.96^{+0.01}_{-0.06}$	> 0.11
SM BH candidates	a_* (Iron)	a_* (CF)
GRS 1915-105	> 0.98	0.98 ± 0.01
Cyg X-1	> 0.98	$0.97^{+0.014}_{-0.02}$
LMC X-1	0.92 ± 0.06	$0.97^{+0.02}_{-0.25}$
GX 339-4	< 0.9	$0.95^{+0.03}_{-0.05}$
MAXI J1836-194	-	0.88 ± 0.03
M33 X-7	0.84 ± 0.05	-
4U 1543-47	0.80 ± 0.10	-
XTE J1650-500	-	0.84 - 0.98
GRO J1655-40	0.70 ± 0.10	> 0.9

The second chapter of the dissertation entitled “**The motion of particles in the bound non-geodesic orbits around compact gravitating objects immersed in an external magnetic field**” is devoted to study isofrequency pairing of the circular non-geodesic orbits in the vicinity of the Schwarzschild black hole immersed in external asymptotically uniform magnetic field, the contribution of the magnetic field on the isofrequency pairing of non-geodesic orbits, and the charged particle motion around the quintessential rotating black hole in an uniform magnetic field that is assumed to have its intensity parallel to the black hole axis.

We consider a charged particle with the rest mass m and charge q in the vicinity of the Schwarzschild black hole of mass M immersed in external asymptotically uniform magnetic field. The Schwarzschild spacetime metric in spherical coordinates reads

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + f^{-1}(r)dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2), \quad (1)$$

where the metric function

$$f(r) = 1 - \frac{2M}{r}, \quad (2)$$

The covariant components of the 4-vector potential of the electromagnetic field around the Schwarzschild space-time will take the form

$$A_t = A_r = A_\theta = 0, \quad A_\phi = \frac{B}{2} r^2 \sin^2 \theta. \quad (3)$$

According to the non-geodesic equations of charged test particles in the equatorial plane $\theta = \pi/2$, the effective potential for the radial motion of charged test particles has the following

$$V_{\text{eff}}(r, \tilde{L}) = \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \left[1 + r^2 \left(\frac{\tilde{L}}{r^2} + \beta\right)\right]. \quad (4)$$

Here let us represent $\tilde{L} = L/m$ and $\beta = qB/2m$, where \tilde{L} is constants of the motion corresponding to the particle's angular momentum. Using the condition $V_{\text{eff}}(r_p) = V_{\text{eff}}(r_a) = \tilde{E}^2$, we obtain the specific energy \tilde{E} and angular momentum \tilde{L} of the particle in terms of the parameters p and e , where p measures the size of the orbit while e measures its degree of noncircularity. Explicitly,

$$\tilde{E} = \frac{1}{p^{1/2}(p-3-e^2)} \left[\begin{aligned} & (p-2)(p-3-e^2)^2 + p^2 M^2 \left(\beta + \left(\beta^2 + \frac{p-3-e^2}{p^2 M^2} \right)^{1/2} \right)^2 \end{aligned} \right]^{1/2} \\ \times (p-2 + e^2(p-6)) \quad (5)$$

$$\tilde{L} = \frac{p^2 M^2}{p-3-e^2} \left[\beta + \left(\beta^2 + \frac{p-3-e^2}{p^2 M^2} \right)^{1/2} \right].$$

The radial frequency and the azimuthal frequency of the orbit will take the forms

$$\Omega^r = \frac{2\pi}{T^r}, \quad \Omega^\phi = \frac{1}{T^r} \int_0^{T^r} \frac{d\phi}{dt} dt = \frac{\Delta\phi}{T^r} \quad (6)$$

Making the relevant numerical calculations and plot the *separatrix* $e = e_s(\Omega^\phi, \beta)$ as shown in Fig. 3 in the (Ω^ϕ, e) plane. In Fig. 3 we have shown the effect of the magnetic field on the parameter space (Ω^ϕ, e) for bound non-geodesic orbits around Schwarzschild black hole embedded in external asymptotically uniform magnetic field.

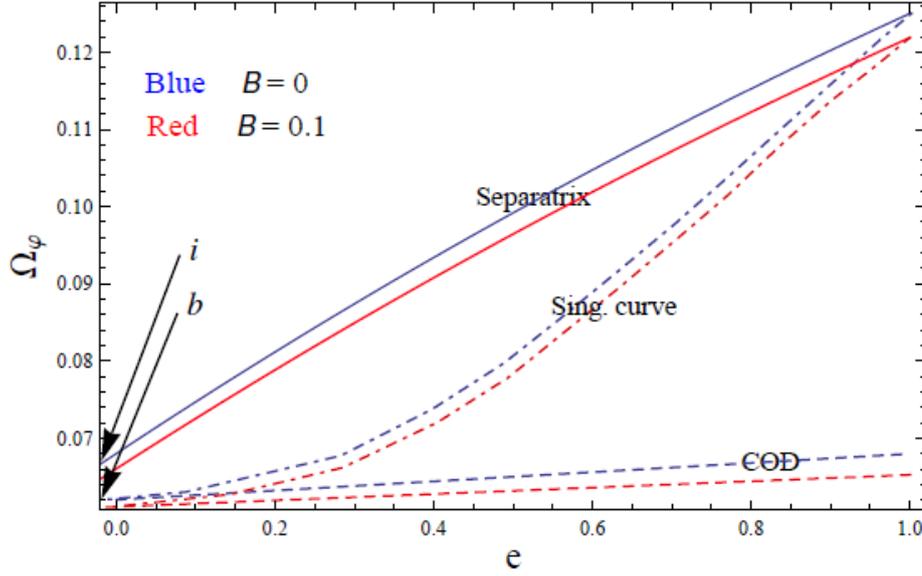


Fig. 1. The dependence of the parameter space (e, Ω^φ) for bound non-geodesic orbits from the magnetic parameter β in Schwarzschild black hole embedded in external asymptotically uniform magnetic field. The point b corresponds to a circular orbit of radius r_b at the limit $e \rightarrow 0$ while the point i corresponds to the innermost stable circular orbit of radius r_{ISCO}

From Fig. 1 one can see that the shape of the singular curve shifts upward due to the influence of the magnetic field, in turn, the value of the frequency Ω^φ becomes smaller with the certain radius r_b of a circular orbit in the limit $e \rightarrow 0$. More detailed analysis of radius r_b is shown in Table 2.

Table 2

The radius of innermost stable circular orbits, the radius r_b , and the value of the small quantity $\xi = r_b - r_{ISCO}$ of the isofrequency pairing of non-geodesics orbits around the Schwarzschild black hole in the presence of the magnetic field for the different values of the magnetic parameter β

β	0	0.001	0.005	0.01	0.05	0.1
r_b	6.38019	6.38022	6.38025	6.38029	6.38068	6.38118
r_{ISCO}	6	6.0036	6.0085	6.0145	6.0621	6.1203
$\xi = r_b - r_{ISCO}$	0.3802	0.3766	0.3717	0.3658	0.3185	0.2608

Table 3

Numerical values for the frequency Ω^φ of isofrequency pairing of non-geodesic orbits around the Schwarzschild black hole for the different values of the magnetic parameter β and eccentricity e

β	0	0.001	0.01	0.05	0.1
e	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$	$\tilde{\Omega}^\varphi(\beta)$
0	0.062051	0.0620508	0.0620496	0.062044	0.0620367
0.3	0.3802	0.3766	0.3717	0.3658	0.2608
0.5	0.0799	0.07988	0.07967	0.078798	0.07769
0.832	0.10965	0.1096	0.10936	0.108224	0.106798
1	0.125	0.1249	0.12468	0.12343	0.121875

The frequency of any pairs of isofrequency pairing orbits $\Omega^\varphi = (M / r_b^3)^{1/2}$ are given in Tables 2 and 3 together with radius of non-geodesic circular orbit r_b . In this respect, the range of such orbits is represented in Table 2 for the different values of the magnetic field

$$\tilde{\Omega}^\varphi(e=0) \leq \tilde{\Omega}^\varphi < \tilde{\Omega}^\varphi(e=1). \quad (7)$$

In Table 3, the values of the frequency $\tilde{\Omega}^\varphi$ of the particles moving around the Schwarzschild black hole in the presence of the magnetic field have been shown. From the results obtained one may see that the value of the frequency is becoming smaller with increasing magnetic field, but the radius of the ISCO is becoming larger. However, with the increasing the module of the magnetic field both the radius of ISCO and radius of the circular orbit r_b are slightly increased and going to be close to each other; therefore, the distance ξ between r_{ISCO} and r_b is becoming smaller. This causes in turn to restrict the motion of the particles and to decrease the amount of isofrequency pair in the region between the *separatrix* and *circularorbit duals* (COD). This phenomenon explains the behavior of the plots in Fig. 1 and the numerical results shown in Table 2.

The line element of the quintessential rotating black hole spacetime takes in the Boyer-Lindquist coordinate system (t, r, θ, φ) the form

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2Mr + \tilde{c}r^{1-3\omega_q}}{\Sigma} \right) dt^2 + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 - 2a \sin^2 \theta \left(\frac{2Mr + \tilde{c}r^{1-3\omega_q}}{\Sigma} \right) dt d\varphi + \Sigma d\theta^2 + \sin^2 \theta \left[r^2 + a^2 + a^2 \sin^2 \theta \left(\frac{2Mr + \tilde{c}r^{1-3\omega_q}}{\Sigma} \right) \right] d\varphi^2, \quad (8)$$

where $\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$, $\Delta = r^2 - 2Mr + a^2 - \tilde{c}r^{1-3\omega_q}$. The spacetime metric (8) reduces to the Kerr one when $\tilde{c} = 0$. The motion of a charged particle, with the rest mass m and charge q , in the gravitational field of a quintessential rotating black hole immersed in an external magnetic field assumed to be uniform at large distances from the black hole is considered. The covariant components of the 4-vector potential of the electromagnetic field will take the form

$$A_t = -\frac{1}{2\Sigma} \left\{ aB \left[\Delta + \frac{r^2 - a^2 - \Delta}{2} \sin^2 \theta + \tilde{c}r^3 \frac{r^2 + a^2 - \Delta}{6} \sin^2 \theta \right] \right\} A_r = 0, A_\theta = 0, \quad (9)$$

$$A_\varphi = -\frac{B}{2\Sigma} \left\{ (r^2 + a^2 - \Delta)a^2(1 + \cos^2 \theta) - (r^2 + a^2)\Sigma - \frac{\tilde{c}r^3}{3} (\Sigma(r^2 + a^2) + (r^2 + a^2 - \Delta)a^2 \sin^2 \theta) \right\} \sin^2 \theta. \quad (10)$$

To study the motion of the charged particles in the quintessential rotating black hole vicinity, one can use the Hamiltonian of the system which can be defined as

$$H = \frac{1}{2} g^{\alpha\beta} (\pi_\alpha - qA_\alpha)(\pi_\beta - qA_\beta), \quad (11)$$

Where π_α is the canonical (generalized) momentum of a charged particle and A_α the four-vector potential of the electromagnetic field, respectively, and the value of the Hamiltonian is constant as $H = -m^2/2$. Note that in the case of general 3D motion the action S of the Hamilton-Jacobi equation can be separated in the following form

$$S = \frac{1}{2} m^2 \lambda - Et + L\varphi + S_r(r) + S_\theta(\theta). \quad (12)$$

where the parameters $E = -\pi_t$ and $L = -\pi_\varphi$ are, along with the rest energy m , the motion constants, namely, energy and axial angular momentum of the charged particle, while S_r and S_θ are functions of r and θ , respectively.

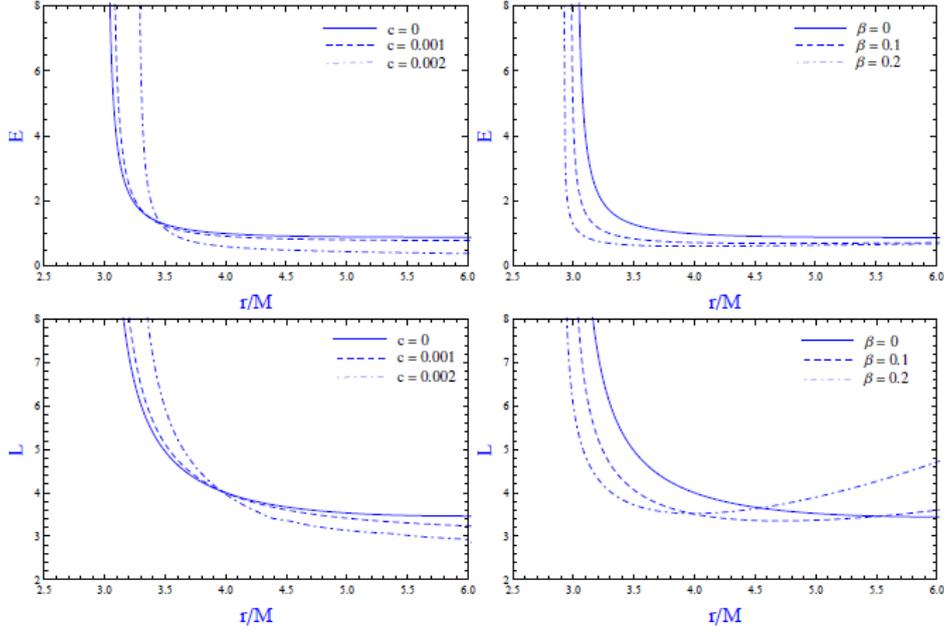


Fig. 2. The dependence of the specific angular momentum and energy on the radial motion of the charged particles moving in the vicinity of the rotating black hole with quintessential energy is plotted

Fig. 2, illustrates behavior of the radial profiles of the specific energy and the specific axial angular momentum of the charged particle circular orbits demonstrating dependence on the quintessential field parameter \tilde{c} , and the magnetic parameter β . One can see in Fig. 2 that the energy E and angular momentum L radial profiles are shifted outwards due to increasing parameter \tilde{c} , while they are shifted towards the black hole with increasing magnetic parameter β .

In the limit of small quintessential matter parameter, $\tilde{c} \ll 1$, and strong magnetic field, $\beta \gg 1$, the solution for the ISCO radius has been found in the following form

$$r_{ISCO} = 2 + \frac{1}{\beta} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + \frac{91+29\sqrt{2}}{192\sqrt{3}} \tilde{c} + O(\tilde{c}^2) \right) + \left(\frac{5+\sqrt{2}}{6} \right) \tilde{c} + O(\beta^2). \quad (13)$$

In the limit $\tilde{c} = 0$, the ISCO radius can be expressed in the form

$$r_{ISCO} = 1 + \frac{2}{\sqrt{3}\beta} + O(\beta^2). \quad (14)$$

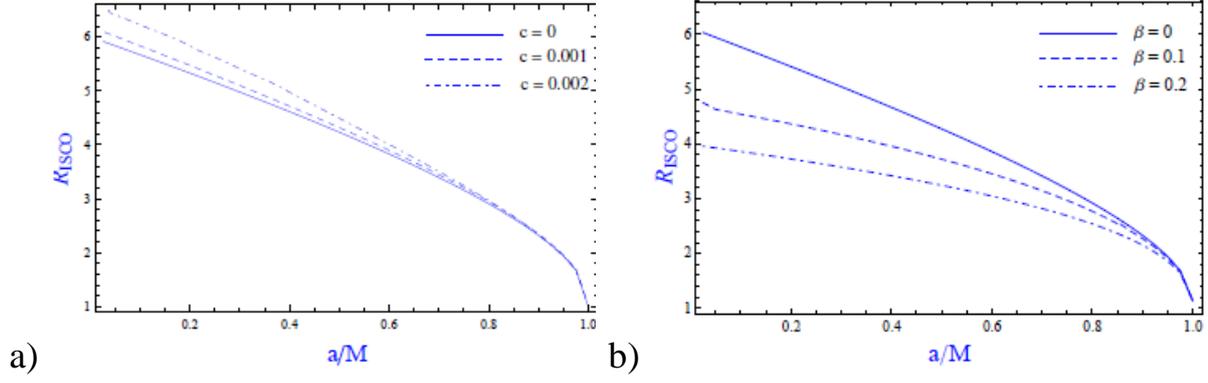


Fig. 3. The dependence of the radius of the innermost stable circular orbits (ISCO) of the charged particles moving in the vicinity of the rotating black hole with quintessential energy on the spin parameter a is plotted for the a) $\beta = 0$ and b) $\beta \neq 0$ cases

Fig. 3 illustrates results of numerical calculations in order to demonstrate the role of the black hole spin a , the quintessential parameter \tilde{c} and the magnetic parameter β . In this sense, Fig. 3 demonstrates the dependence of the radius of the innermost stable circular orbits of the charged particles on the spin parameter a . The ISCO radius increases with increasing quintessential field parameter \tilde{c} in contrast to the Schwarzschild geometry.

The third chapter of the dissertation entitled “**The dynamics of overspinning process of black hole and the role of electromagnetic field**” is devoted to study the dynamics of overspinning process and the effect of magnetic field on this process in order to test cosmic censorship conjecture.

We consider that there are two constants of motion associated with the particle, namely, conserved energy δE and conserved angular momentum δJ . We assume that these quantities are much smaller compared to that of the black hole $\delta E \ll M$, $\delta J \ll J$, so the test particle approximation holds well. When a particle enters the black hole, it adds to the mass, angular momentum, and charge of the black hole. The final mass, angular momentum, and charge of the black hole are given by $M + \delta E$, $J + \delta J$, and q , respectively. If the particle were to turn a Kerr black hole into the Kerr–Newmann naked singularity, the following condition must hold:

$$(M + \delta E)^2 < \left(\frac{J + \delta J}{M + \delta E} \right)^2 + q^2. \quad (15)$$

To deal with the near-extremal black hole with the dimensionless spin parameter close to unity, we take $J/M^2 = a/M = 1 - 2\varepsilon^2$, with $\varepsilon \ll 1$ being a small dimensionless parameter. Setting $M=1$, the allowed range of energy and angular momentum of the particle are given by

$$\left(2 - \sqrt{2} \sqrt{1 + \left(\frac{q}{2\varepsilon} \right)^2} \right) \varepsilon < \delta E < \left(2 + \sqrt{2} \sqrt{1 + \left(\frac{q}{2\varepsilon} \right)^2} \right) \varepsilon,$$

$$(2 + 3\varepsilon)\delta E - \frac{q^2}{2m} < \delta J < (2 + 4\varepsilon)\delta E. \quad (16)$$

The metric of the Kerr geometry in the Boyer–Lindquist coordinates is given by

$$ds^2 = -\left(\frac{\Delta - a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma}\right) dt^2 - \frac{2a \sin^2 \theta (r^2 + a^2 - \Delta)}{\Sigma} dt d\varphi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma^2 d\theta^2 + \frac{(r^2 + a^2)^2 - \Delta a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma} \sin^2 \theta d\varphi^2, \quad (17)$$

where M and a are the total mass and the specific angular momentum of the black hole, respectively.

We then investigate the effect of a magnetic field in the process of destroying a Kerr black hole with a charged particle. The magnetic field takes a constant value at infinity and is oriented along the axis of symmetry of the Kerr geometry. We try to understand whether or not the magnetic field can stop particles with the appropriate values of geodesic parameters from entering the black hole and thus serve as a cosmic censor.

The covariant components of the 4-vector potential of the electromagnetic field will take the form

$$A_t = -\frac{1}{2\Sigma} \left\{ aB[\Delta(1 + \cos^2 \theta) + (r^2 - a^2)\sin^2 \theta] - 2aB(\Sigma - 2Mr) \right\}, \quad A_r = 0, \quad A_\theta = 0, \quad (18)$$

$$A_\varphi = \frac{1}{\Sigma} \left\{ \frac{B}{2} [\Delta a^2 (1 + \cos^2 \theta) + r^4 - a^4] - 2QMBa^3 \right\} \sin^2 \theta. \quad (19)$$

We analyze the effective potential in order to understand the effect of magnetic field on the process of destroying a black hole. We would like to be sure that the particle with the energy and angular momentum in the appropriate range as described in the earlier will start from an infinity and fall toward the black hole without encountering any turning point. The effective potential for radial motion can be given as

$$V_{eff} = -\frac{1}{2r^2} \left[\left(r^2 + a^2 + \frac{2Ma^2}{r} \right) \left(\delta E^2 - \frac{\beta^2}{4M^2} \Delta \right) - \left(1 - \frac{2M}{r} \right) \delta J^2 - \frac{4Ma\delta E\delta J}{r} - \Delta \left(1 - \frac{\beta\delta J}{M} \right) \right], \quad (20)$$

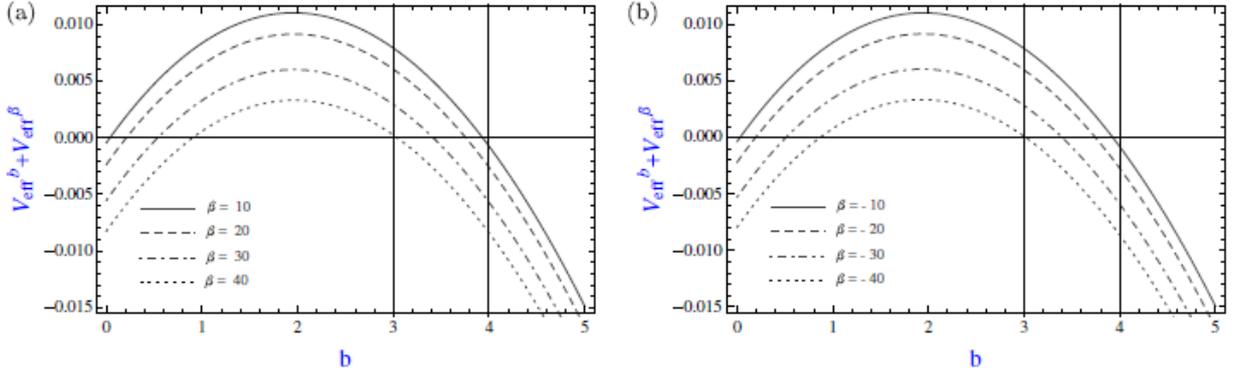


Fig. 4. The dependence of the effective potential at the maximum point r_{\max} near the extremal rotating black hole placed in a magnetic field on the parametrization parameter b for both the negative $\beta < 0$ and positive $\beta > 0$ cases for the different values of magnetic parameter β

The dependence of the effective potential near the extremal rotating black hole placed in a magnetic field on the parametrization parameter for both the negative and positive magnetic parameter β has been shown. As we can see from Fig. 4, b_{cr} tends to decrease as we increase the magnitude of parameter β . At a certain critical value of β , we have $b_{cr} = 3$. Beyond this value, it is not possible for the charged particle to enter the black hole, and the test magnetic field serves as a cosmic censor.

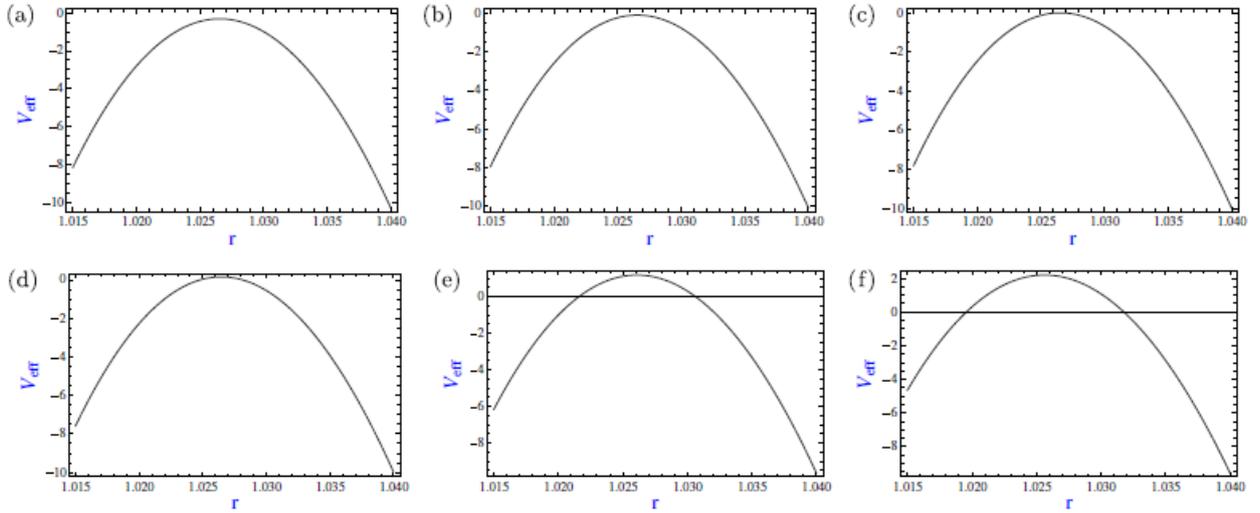


Fig. 5. Radial dependence of the effective potential on the radial motion of the charged particle moving around the near-extremal rotating black hole immersed in a magnetic field for the different values of magnetic parameter β

The effective potential for the radial potential is plotted in Fig. 5. When the magnetic field is zero, the maximum of the effective potential is negative, thus allowing an infalling particle to enter the black hole. As we increase the magnetic field, the height of maximum tends to increase. Beyond a certain value of the magnetic field, the maximum value crosses zero and is positive. Thus, the infalling particle will turn back and will not be able to enter the black hole.

The fourth chapter of the dissertation entitled “**Energy extraction from gravitational compact objects**” is devoted to study energy extraction from a rotating black hole immersed in an external uniform magnetic field. We consider the quintessential rotating black hole spacetime given by (8).

There are various effects allowing for large center of mass energy collisions or preventing particles from colliding with high energy and confining the ability of a black hole to serve as an accelerator in the black hole vicinity. In this respect, it gives rise to importance to perform a study of energetic processes in the vicinity of black hole in the presence of quintessential field embedded in magnetic field. We have also derived a general formula for the center of mass energy of the colliding two particles for different types of collision cases.

Table 4

The values of center of mass energy of collision between charged particle orbiting at the ISCO and neutral particle freely falling far away from infinity for the different values of quintessential parameter \tilde{c}

\tilde{c}	r_{ISCO}	$E_{c.m.} / m$
0.00000	$2.00000+1.15470 \beta^{-1}$	$1.74337 \beta^{1/4}$
0.00001	$2.00001+1.15471 \beta^{-1}$	$1.73824 \beta^{1/4}$
0.00005	$2.00005+1.15472 \beta^{-1}$	$1.73818 \beta^{1/4}$
0.00010	$2.00011+1.15475 \beta^{-1}$	$1.73722 \beta^{1/4}$
0.00100	$2.00107+1.15519 \beta^{-1}$	$1.73556 \beta^{1/4}$
0.00500	$2.00535+1.15713 \beta^{-1}$	$1.72903 \beta^{1/4}$

The values of the radius of the innermost stable circular orbits and the values of center of mass energy $E_{c.m.}$ obtained as a result of collision between charged particle orbiting at the ISCO and neutral particle freely falling far away from infinity are presented in Table 4 for various values of the parameter \tilde{c} . This enables us to understand the behavior of the collision process around quintessential black hole. The results listed in Table 4 show that $E_{c.m.}$ decreases with increasing quintessential parameter \tilde{c} . In spite of the negative effect of the quintessential parameter, the ultra-high energy collisions can be produced in the collisions of the charged particles orbiting at the ISCO and neutral particles radially falling from large distance near the static radius because of sufficiently high magnetic parameter β .

Considering collision of a charged particle plunging from the ISCO to the horizon with a freely falling charged particle, one can determine the $E_{c.m.}$ energy near the black hole horizon. We focus attention on the investigation of the combined effect of the magnetic and quintessential fields on the energy obtained in collision process. Assuming the quintessential parameter $\tilde{c} \ll 1$, we obtain the corresponding approximate value of the $E_{c.m.}$ energy in the form

$$\frac{E^2_{c.m.}(r \rightarrow r_H)}{m^2} \cong \frac{F(\beta, c_*, E_2, L_2)}{(1 + c_* - a_*^2)}. \quad (21)$$

The $E_{c.m.}$ energy becomes non-divergent with increasing quintessential parameter \tilde{c} . This implies suppression effect of the quintessential field on the ultra-high energy collisions. However, the magnetic field in the black hole vicinity enhances the high-energy collisions, serving as an accelerator.

Considering the center of mass energy of two colliding particles moving in the equatorial plane of the quintessential rotating black hole, we study the amount of energy extracted due to a charged particle moving towards the black hole horizon in the presence of external magnetic field.

Table 5

The efficiency of the binding energy $\zeta_{B_{energy}}$ (%) for the extremal quintessential rotating black hole placed in an magnetic field through the BSW mechanism for different values of the quintessential parameter \tilde{c} and spin parameter a

\tilde{c}	a	$\beta = 0$	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.2$
		$\zeta_{B_{energy}}$		
0.00000	1.00000	42.2650	45.2147	47.4120
0.00001	1.00001	40.7253	43.8409	46.1728
0.00005	1.00003	39.6673	42.9013	45.3280
0.00010	1.00005	39.0188	42.3273	44.8131
0.00100	1.00050	35.6603	39.3779	42.1832

The upper values of the efficiency of the binding energy for the extremal black hole immersed in an external uniform magnetic field are tabulated in Table 5 for various values of the quintessential parameter \tilde{c} and the spin parameter a . For given value of the parameter \tilde{c} , the efficiency increases with increasing magnetic parameter β as can be seen in Table 5. One can easily note that the magnetic field plays crucial role in the amount of binding energy released by the charged particle. The magnetic field also causes an increase in the value of the upper bound of the efficiency up to 50% for the extremal rotating black hole as compared to the upper bound 42% for the extremal Kerr black hole.

In the appendices, we introduce the exact expressions for the electric and magnetic field around a quintessential rotating black hole immersed in an external magnetic field.

CONCLUSION

Based on the research results done in the field of the theme of the dissertation “General relativistic astrophysical processes in the vicinity of compact gravitational objects in the presence of external electromagnetic field”, the main conclusions are presented as follows:

1. Expressions for the center-of-mass energy of the particles colliding near the horizon of black holes immersed in the external magnetic field have been obtained. It has been demonstrated that due to the existence of quintessential field intensity parameter \tilde{c} charged particles are prevented from acceleration to infinitely high energies. It has been also shown that the magnetic field, although small, can have a strong influence on the efficiency magnitude for the extracted energy, noting that the magnetic field serve as a crucial role in the amount of binding energy released by the charged particles and also causes an increase in the value of the upper bound of the efficiency up to 50 % for the extremal rotating black hole as compared to the upper bound 42% for the extremal Kerr black hole.

2. We have developed isofrequency pairing of non-geodesic orbits under the gravitational field of the Schwarzschild black hole immersed in external asymptotically uniform magnetic field and the dependence of the surface of region where isofrequency pairing of non-geodesic orbits occur around Schwarzschild black hole from the external magnetic field has been found. As a result, a decrease in the surface of the isofrequency pairing of nongeodesic orbits as nearly (7-10) % for the maximal values of the external uniform magnetic field $B \approx 10^6 - 10^7$ Gauss has been found.

3. We have shown that a test magnetic field can affect the process of destroying black holes and restore the cosmic censorship in the astrophysical context. It has been also shown that a test magnetic field would act as a cosmic censor beyond a certain threshold value $B_{cr} = 0.6872$.

4. The analytical expressions for the vacuum electromagnetic fields of a quintessential rotating black hole in the external asymptotically uniform magnetic field has been obtained.

5. Expressions for the innermost stable circular orbits (ISCO) and the specific angular momentum of charged particles in the quintessential rotating black hole vicinity in the presence of external magnetic field with strength B have been obtained. It has been shown that the ISCO radius is slightly shifted outwards due to the effect of the quintessential parameter \tilde{c} . However, once the magnetic parameter $\beta \rightarrow \infty$, the ISCO radius reaches its minimum irrespective of presence of the parameter \tilde{c} .

6. It has been shown that the influence of the cosmological constant and the brane parameter may also cause a limitation for the high efficiency of the ultra-high energy of the colliding particles; it has been established that the mechanism of this limitation is related to splitting the ISCO radius from the event horizon.

7. It has been shown that energy extraction through Penrose process is more realistic process for the energy extraction from the rotating black hole in the Kerr-Taub-NUT spacetime. The dependence of the extracted energy from compact object on NUT parameter has been found. It has been shown that the relative volume of the ergosphere is decreased and the extracted energy from the black hole is raised up due to the small dimensionless NUT parameter \tilde{l} .

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,
АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ, НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

**АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

ШАЙМАТОВ САНЖАР РУЗИМУРOTOVИЧ

**ОБЩЕРЕЛЯТИВИСТСКИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В
ОКРЕСТНОСТИ КОМПАКТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

01.03.01- Астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО –МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № В2017.2.PhD/FM60.

Диссертация выполнена в Институте ядерной физики и Астрономическом институте Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, английский, русский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.inp.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Ахмедов Бобомурат Жураевич**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Миртаджиева Карамат Тахировна,**
доктор физико-математических наук, доцент
Файзуллаев Бируни Амануллаевич,
кандидат физико-математических наук, доцент

Ведущая организация: **Казахский национальный университет имени аль-Фараби**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2018 года в ___ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер ___), с диссертацией можно ознакомиться в ИРЦ (Адрес: 100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, НУУз. Тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2018 г.).

М. Ю. Ташметов
председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

Э.М.Турсунов
ученый секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., с.н.с.

И. Нуриддинов
председатель научного семинара при Научном совете
по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире достигнут значительный прогресс в наблюдательных исследованиях черных дыр звездной массы в двойных рентгеновских источниках (X-ray binaries) и сверхмассивных черных дыр (СМЧД) в современных астрономических наблюдениях. Кроме того, прямое обнаружение гравитационных волн (GWs) от событий слияния черных дыр, таких как GW150914, GW151226 и GW170104, и обнаружение высокоэнергетичных нейтрино 170922A от частиц, генерированных в окрестности СМЧД, подтверждают наблюдательные достижения по обнаружению черных дыр. В настоящее время проблема наличия черных дыр в астрофизике занимает центральное место благодаря обнаружению событий слияния черных дыр звездных масс коллаборациями LIGO и VIRGO и астрономическим исследованиям всеволнового электромагнитного излучения ($L_{quasar} \approx 10^{42} - 10^{47} \text{ erg / s}$) от активных ядер галактик (AGN) в различных формах, таких как звездный ветер и релятивистские струи, многократно обнаруженные с помощью рентгеновских, Very Long Baseline Interferometry (VLBI) и гамма-лучевых телескопов.

В настоящее время в мире разработка точных теоретических исследований для проверки гипотезы о космической цензуре, моделирование различных процессов извлечения энергии из черных дыр посредством падающих на них частиц являются самыми важными задачами современной астрофизики для получения новых данных о свойствах черных дыр и предоставления доказательств для соответствующих наземных и космических наблюдений. Исследование астрофизических процессов в окрестности черных дыр и влияния электромагнитного поля на богатую феноменологию астрофизических процессов в режиме сильного гравитационного поля, позволяющих осуществить проверку общей теории относительности, являются одной из важнейших задач современной релятивистской астрофизики.

В Республике уделяется огромное внимание развитию экспериментальных и теоретических работ в области релятивистской астрофизики, а также проведению фундаментальных исследований в этом направлении на мировом уровне. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны и её дальнейшего практического применения, отражены в Стратегии¹ действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг. Таким образом, теоретические и наблюдательные исследования влияния внешнего магнитного поля на движение пробных частиц вокруг компактных гравитационных объектов при проверке гипотезы космической цензуры, анализе связанных орбит вокруг черных дыр и процессов извлечения энергии черных дыр в области релятивистской астрофизики компактных объектов имеют большое значение.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, установленным в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, № П-3275П «О создании государственной специализированной общеобразовательной школы-интерната имени Мирзо Улугбека и парка Астрономии и аэронавтики» от 14 сентября 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной области деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Многие ученые в мире, например, японские (И. Такахиса, Х. Томохиро, К. Масаша), индийские (Н. Дадхич, С. Гош, П. Джоши, М. Патил), итальянские (С. Бамби, Л. Реццолла, Л. Модесто, Д. Малафарина, О. Занотти), российские (М. Ю. Пиотрович, Ю. Н. Гнедин, А. Захаров, Д. Гальцов), чешские (З. Шутлик, М. Kolos, J. Schee, J. Kovar, V. Karas), немецкие (С. Laemmerzahl, J. Kuntz, E. Hackmann, D. Kunst, V. Perlick) и другие, проводили огромное количество теоретических и наблюдательных исследований по изучению энергетических процессов, движения частиц и изочастотного вырождения связанных орбит вокруг вращающейся черной дыры и космической цензуры, а также процесса нарушения горизонта событий для вращающейся черной дыры. Кроме того, узбекские ученые (Б. Ахмедов, А. Абдужаббаров, В. Морозова, Ф. Атамуратов, А. Турсунов, Б. Тошматов и др.) провели теоретические исследования по анализу влияния магнитного поля на внутреннюю стабильную круговую орбиту (ВСКО) заряженной частицы, чтобы получить верхний предел для различных параметров черных дыр, изучению орбит намагниченных частиц вокруг черных дыр в альтернативных теориях гравитации, погруженных в асимптотически однородное магнитное поле, энергетических и оптических свойств черных дыр.

Предыдущие исследования энергетических процессов вокруг черной дыры и космической цензуры проводились для осесимметричных компактных гравитирующих объектов. Однако можно рассматривать влияние магнитного поля на эти астрофизические процессы. Поскольку внешнее магнитное поле играет важную роль в окрестности компактных объектов, его влияние можно использовать в качестве необходимого фактора, при построении новых тестов по проверке общей теории относительности, при анализе справедливости гипотезы космической цензуры, для процессов извлечения огромной наблюдаемой энергии вращающихся черных дыр и при изучении изочастотного вырождения круговых негеодезических орбит в окрестности черной дыры.

Идея космической цензуры предложенной Пенроузом, согласно которой пространственно-временные сингулярности обязательно возникают при формировании чёрных дыр исключительно под горизонтом событий и ненаблюдаемые извне, а черные дыры с горизонтом событий также занимают центральное место в астрофизике благодаря обнаружению (при помощи LIGO и VIRGO) событий слияния звездных черных дыр, зарегистрированных, например, как GW150914. В научных статьях была детально изучена гипотеза космической цензуры для различных параметров черной дыры.

Тем не менее в последнее время анализ гипотезы космической цензуры с падающими пробными частицами стал активным научным направлением, несмотря на недоказанность гипотезы. До сих пор не проводились подробные исследования о влиянии внешнего магнитного поля на гипотезу о космической цензуре и количестве энергии, выделяемой из черной дыры, о изочастотном вырождении круговых негеодезических орбит в окрестности черной дыры.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Института ядерной физики и Астрономического института Академии наук Узбекистана: ЕФ-2А-ФА-1-10 «Частицы и поля в окрестности релятивистских гравитационных объектов из темной энергии и кротовых нор» (2010-2011), Ф2-ФА-Ф113 «Гравитационные и электромагнитные процессы в релятивистской астрофизике и космологии, системы бозонов при сверхнизких температурах» (2012-2016), ЕФ2-ФА-О-25046 «Движение частиц со спином и распространение электромагнитных волн в окрестности компактных гравитационных объектов» (2014-2015), ВА-ФА-Ф2-008 «Астрофизические процессы в стационарных и динамических релятивистских гравитационных объектах» (2017-2020).

Целью исследования является развитие теоретического формализма описания высокоэнергетических процессов, динамики процессов нарушения горизонта событий вокруг вращающихся черных дыр в присутствии внешнего электромагнитного поля, процесса изочастотного вырождения круговых негеодезических орбит частиц в окрестности черной дыры.

Задачи исследования:

изучить изочастотную вырожденность круговых негеодезических орбит в окрестности черной дыры Шварцшильда, погруженной во внешнее асимптотически однородное магнитное поле;

изучить движение частицы вокруг вращающейся черной дыры с ненулевым бран-параметром и рассмотреть зависимость эргосферы вращающейся черной дыры от космологической постоянной;

рассмотреть и исследовать электромагнитное поле и движение заряженных частиц в окрестности вращающейся и невращающейся черной дыры с квинтэссенциальной энергией, погруженной во внешнее однородное магнитное поле;

получить зависимость энергии, извлеченной из компактного объекта, на НУТ (Newmann-Unti-Tamburino) параметр;

исследовать высокоэнергетические процессы вокруг вращающейся и невращающейся черной дыры с квинтэссенциальной энергией, погруженной во внешнее магнитное поле; проанализировать влияние внешнего магнитного поля на количество энергии, выделенной из черной дыры;

исследовать процесс нарушения горизонта событий вокруг экстремальной вращающейся черной дыры; проанализировать влияние магнитного поля на такой процесс при проверке гипотезы космической цензуры.

Объектом исследования являются релятивистские компактные гравитирующие объекты – астрофизические черные дыры, сверхмассивные черные дыры.

Предметом исследования являются изочастотное вырождение негеодезических орбит частиц вокруг черной дыры, влияние внешнего магнитного поля на количество энергии, выделенной из черной дыры и на процесс нарушения горизонта событий вокруг вращающейся черной дыры при проверке гипотезы космической цензуры.

Методами исследования являются математический аппарат общей теории относительности и метрической аффинной дифференциальной геометрии, аналитические и численные методы решения дифференциальных уравнений движения и поля.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

установлена изочастотная вырожденность негеодезических орбит под действием гравитационного поля черной дыры Шварцшильда, погруженной во внешнее асимптотически однородное магнитное поле, а также зависимость поверхности области изочастотной вырожденности от внешнего магнитного поля, в котором происходит изочастотное вырождение негеодезических орбит вокруг черной дыры Шварцшильда;

показано, что магнитное поле может предотвратить процесс разрушения черных дыр в пользу космической цензуры в астрофизическом контексте;

показано, что процесс Пенроуза является более реалистичным процессом для извлечения энергии вращающейся черной дыры в пространстве–времени Керр-Тауб-НУТ (Kerr-Taub-NUT), и определена зависимость энергии, извлеченной из компактного объекта, от НУТ параметра \tilde{l} (гравитомагнитный заряд);

показано, что влияние космологической константы и бран параметра ограничивает величину эффективности выделения энергии сталкивающихся частиц. Установлено, что механизм этого ограничения связан с расщеплением радиуса внутренних стабильных круговых орбит (ВСКО) от горизонта событий.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

обнаружено уменьшение поверхности вырождения изочастотных негеодезических орбит на почти (7–10) % для максимальных значений

внешнего однородного магнитного поля $B \approx 10^6 - 10^7 \text{ Гаусс}$ в окрестности астрофизических черных дыр;

обнаружено, что пробное магнитное поле будет действовать как космический цензор за пределами определенного порогового значения магнитного поля $B_{cr} = 0.6872$;

показано, что даже небольшое магнитное поле может оказать сильное влияние на величину эффективности выделения энергии и играет решающую роль в увеличении количества энергии ЧД с квинтэссенцией, выделяемой заряженными частицами, что увеличивает значение верхней границы эффективности до 50% по сравнению с верхней границей 42% для экстремальной черной дыры Керра;

получены аналитические выражения для вакуумных электромагнитных полей вращающихся черных дыр с квинтэссенцией во внешнем асимптотически однородном магнитном поле и установлено, что из-за существования параметра поля квинтэссенции не достигается ускорения заряженных частиц до бесконечно высоких энергий;

обнаружено, что энергия центра масс начинает становиться конечной, когда значение параметра космологической постоянной Λ и параметра квинтэссенции \tilde{c} , ответственного за форму темной энергии, возрастает даже для экстремальной вращающейся черной дыры с квинтэссенцией.

Достоверность результатов исследования обосновывается использованием новых методов общей теории относительности и современных численных методов и алгоритмов; проведенной тщательной проверкой согласованности полученных результатов с современными астрономическими наблюдениями и результатами других авторов; выводами, хорошо согласующимися с общими принципами компактных гравитационных объектов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что получено детальное объяснение достижения высоких энергий пробными частицами вокруг вращающейся черной дыры механизмом, разработанным в диссертации, для анализа струй, извергаемых из черной дыры. Полученные в диссертации результаты, относительно изочастотно вырожденных геодезических орбит, могут упростить идентификацию сигналов при изучении проблемы адекватного и однозначного анализа данных, регистрируемых детекторами гравитационных волн. Кроме того, значимость результатов заключается в оригинальном строгом математическом доказательстве обоснованности космической цензуры в астрофизическом сценарии с использованием эффекта пробного магнитного поля.

Практическая значимость результатов исследований заключается в построении и проверке процессов астрофизических моделей общей теории относительности в окрестности компактных гравитирующих объектов на основе общей теории относительности. Результаты, полученные в диссертации с теоретической точки зрения, могут быть использованы для

построения новых астрофизических моделей в рамках классической стандартной четырехмерной и многомерной гравитации. Они также могут быть полезны для анализа природы и динамики гравитационного поля в области разработки наблюдательных экспериментов для обнаружения и идентификации сигналов, поступающих из далеко расположенных гравитационных объектов. Кроме того, анализ результатов процесса разрушения почти экстремальной вращающейся черной дыры в ближайшем будущем позволяет наблюдать объекты так называемых голых сингулярностей с помощью сети радиотелескопов нового поколения и проверить общую теорию относительности и другие альтернативные теории гравитации в режиме сильного поля.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по исследованиям общерелятивистских астрофизических процессов в окрестности компактных гравитационных объектов:

результаты исследования изочастотного вырождения негеодезических орбит под действием гравитационного поля черной дыры Шварцшильда, погруженной во внешнее асимптотически однородное магнитное поле использованы зарубежными учеными для получения изочастотного вырождения круговых орбит частиц со спином в различных моделях гравитации (ссылки в научных журналах: *Physical Review D*, **92**, 024029, 2015; *Physical Review D*, **93**, 084012, 2016; *Astronomische Nachrichten*, **339**, 341, 2018). Использование этих результатов позволило разработать фундаментальные теории изочастотных вырожденных орбит под действием космологической постоянной и частиц со спином в других гравитационных моделях;

результаты исследования магнитного поля, которые могут предотвратить процесс разрушения черных дыр в пользу космической цензуры в астрофизическом контексте использованы зарубежными учеными для разработки процесса разрушения черных дыр в различных моделях гравитации (ссылки в научных журналах: *Classical and Quantum Gravity*, **33**, 175002, 2016; *Physical Review D*, **96**, 024016, 2017; *International Journal of Modern Physics A*, **32**, 1750125-85, 2017; *Classical and Quantum Gravity*, **35**, 045008, 2018). Использование этих результатов позволило разработать фундаментальные теории процесса нарушения горизонта событий заряженными частицами или тестовыми полями в других гравитационных моделях;

результаты исследования выделения энергии из черных дыр через процесс Пенроуза и энергетических свойств вращающихся черных дыр с гравитомагнитным зарядом и космологической постоянной использованы зарубежными учеными для сравнения результатов, связанных с наблюдениями и высокими энергиями от столкновения частиц с удаленными наблюдателями с помощью численных расчетов в разных гравитационных моделях (ссылки в научных журналах: *Physical Review D*, **89**, 024023, 2014; *Physical Review D*, **89**, 104048, 2014; *Classical and Quantum Gravity*, **31**,

195013, 2014; Physical Review D, **93**, 104031, 2016; Physical Review D, **94**, 086006, 2016; The European Physical Journal C, **76**, 104, 2016; The European Physical Journal C, **76**, 643, 2016; Physical Review D, **96**, 104050, 2017; The European Physical Journal C, **78**, 335, 2018; Physical Review D, **98**, 024022, 2018). Использование этих результатов позволило разработать модели столкновений с высокой энергией для различных параметров в разных моделях гравитации;

теоретические результаты исследований, выводы и методы по влиянию космологической константы и бран параметра на величину эффективности выделения энергии сталкивающихся частиц в окрестности вращающейся черной дыры в модели Рандала Сундрума с браной были использованы для моделирования энергетических процессов в окрестности регулярных черных дыр в рамках программы CZ.1.07/2.3.00/20.0071 «Поддержка интеграции с Международной теоретической и наблюдательной сетью исследований в релятивистской астрофизике компактных объектов», поддержанной структурными фондами Европейского Союза и Государственного бюджета Чешской Республики (2010-2014) (письмо Силезийского университета в Опаве, Чешская республика, от 4 мая 2018 г.). Использование результатов позволило объяснить природу энергетических процессов вокруг регулярной черной дыры.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были представлены и обсуждены на 12 международных и республиканских научных конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликованы 19 научных работ, из них 7 статей в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 6 зарубежных.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка литературы. Объем диссертации составляет 122 страницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, проведенного по теме диссертации доктора философии (PhD) «Общерелятивистские астрофизические процессы в окрестности компактных гравитационных объектов при наличии внешнего электромагнитного поля», представлены следующие выводы.

1. Получены выражения для энергии центра масс частиц, сталкивающихся вблизи горизонта событий черных дыр в квинтэссенции, при наличии магнитного поля. Впервые показано, что из-за существования квинтэссенциального параметра ускорение заряженных частиц не может достигнуть бесконечно высоких энергий. Также показано, что даже небольшое магнитное поле может оказать сильное влияние на

величину эффективности выделения энергии и играет решающую роль в количестве энергии ЧД в квинтэссенции, выделяемой заряженными частицами, что увеличивает значение верхней границы эффективности до 50% по сравнению с верхней границей 42% для экстремальной черной дыры Керра.

2. Разработана изочастотная вырожденность негеодезических орбит под действием гравитационного поля черной дыры Шварцшильда, погруженной во внешнее асимптотически однородное магнитное поле, а также обнаружена зависимость поверхности области изочастотной вырожденности от внешнего магнитного поля, в котором происходит изочастотное вырождение негеодезических орбит вокруг черной дыры Шварцшильда. Впервые обнаружено уменьшение поверхности вырождения изочастотных негеодезических орбит почти $(7 - 10) \%$ для максимальных значений внешнего однородного магнитного поля с $B \approx 10^6 - 10^7 \text{ Гаусс}$.
3. Показано, что магнитное поле может предотвратить процесс разрушения черных дыр в пользу космической цензуры в астрофизическом контексте. Также получено пороговое значение безразмерного магнитного поля $B_{cr} = 0.6872$, начиная с которого магнитное поле будет действовать как космический цензор.
4. Получены аналитические выражения для вакуумных электромагнитных полей квинтэссенциальной вращающейся черной дыры во внешнем асимптотически однородном магнитном поле.
5. Получены выражения для внутренних стабильных круговых орбит (ВСКО) и углового момента импульса заряженных частиц в окрестности квинтэссенциальной вращающейся черной дыры при наличии внешнего магнитного поля. Показано, что ВСКО радиус увеличивается из-за эффекта квинтэссенциального параметра \tilde{c} . Однако для бесконечного значения магнитного параметра $\beta \rightarrow \infty$, ВСКО радиус достигает своего минимума независимо от наличия квинтэссенциального параметра \tilde{c} .
6. Показано, что влияние космологической постоянной и бран параметра также может ограничивать выделение энергии сталкивающихся частиц вблизи черной дыры; установлено, что механизм этого ограничения связан с расщеплением радиуса внутренних стабильных круговых орбит от горизонта событий.
Показано, что процесс Пенроуза является более реалистичным процессом для извлечения энергии вращающейся черной дыры в пространстве–времени Керр-Тауб-НУТ. Обнаружена зависимость энергии, извлеченной из компактного объекта, от НУТ параметра \tilde{l} . Показано, что относительный объем эргосферы уменьшается, а энергия, извлеченная из черной дыры, повышается из-за малого безразмерного НУТ параметра \tilde{l} .

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

I бўлим (part I; I часть)

1. Abdujabbarov A.A., Ahmedov B.J., Shaymatov S.R., Rakhmatov A.S. Penrose process in Kerr-Taub-NUT spacetime // *Astrophysics and Space Science*. - Berlin Heidelberg: Springer (Germany), 2011. – vol. 334, N 2. – pp.237-241 (№ 1. Web of Science; IF =1.622).

2. Shaymatov S.R., Ahmedov B.J., Abdujabbarov A.A. Particle acceleration near a rotating black hole in a Randall-Sundrum brane with a cosmological constant // *Physical Review D*. -New York (USA), 2013. – vol. 88, N 2. – id.024016. – 12p (№ 1. Web of Science; IF = 4.568).

3. Atamurotov F., Ahmedov B., Shaymatov S., Formation of black holes through BSW effect and black hole-black hole collisions // *Astrophysics and Space Science*. – Berlin Heidelberg: Springer (Germany), 2013. – vol. 347. – pp. 277-281 (№ 1. Web of Science; IF = 1.622).

4. Shaymatov S., Atamurotov F., Ahmedov B. Isofrequency pairing of circular orbits in Schwarzschild spacetime in the presence of magnetic field // *Astrophysics and Space Science* - Berlin Heidelberg: Springer (Germany), 2014. – vol. 350, N 1. – pp. 413-419 (№ 1. Web of Science; IF = 1.622).

5. Shaymatov S., Patil M., Ahmedov B., Joshi P.S. Destroying a near-extremal Kerr black hole with a charged particle: Can a test magnetic field serve as a cosmic censor? // *Physical Review D*. -New York (USA), 2015. – vol. 91, N 6. – id.064025. – 11p (№ 1. Web of Science; IF = 4.568).

6. Shaymatov S.R., Atamurotov F.S., Hakimov A.A. Solar system effects by potentials of galaxy // *Uzbek Journal of Physics* –Tashkent (Uzbekistan), 2015. – vol. 17, N 2. – PP. 75-78. (01.00.00. № 5)

7. Shaymatov S.R., Ahmedov B.J, Stuchlik Z., Abdujabbarov A.A. Effect of an external magnetic field on particle acceleration by a rotating black hole surrounded by quintessential energy // *International Journal of Modern Physics D*– Singapore (Singapore), 2018. – vol. 27, N 08.– id.1850088 – 33p (№ 1. Web of Science; IF = 2,476).

II бўлим (part II; II часть)

8. Shaymatov S.R., Hakimov A.A., Patil M. Destroying a near-extremal Kerr black hole with a charged particle // *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan* –Almaty (Kazakhstan), 2014. – vol. 294, N 2. –pp. 46-49.

9. Shaymatov S.R., Abdujabbarov A.A., Rakhmatov A.S. Penrose process in Kerr-Taub-NUT spacetime // *In Proc. of the Uzbekistan Young Physicists Conf.*– April, 2011., Tashkent. – pp. 22-24.

10. Shaymatov S.R. Particle acceleration near a Randall-Sundrum brane with a cosmological constant // Материалы международной конференции, посвященной 75-летию академика НАН РК Абдильдина М.М. «Актуальные проблемы современной физики» - Алматы, 15-16 марта, 2013 г. – С. 28.
11. Shaymatov S.R., Abdujabbarov A.A. Penrose process in Kerr-Taub-NUT spacetime // Материалы международной конференции, посвященной 75-летию академика НАН РК Абдильдина М.М. «Актуальные проблемы современной физики» - Алматы, 15-16 марта, 2013 г. – С. 27.
12. Shaymatov S.R., Pardayev N. Particle acceleration around a rotating black hole in a four-dimensional brane // “Heritage of Mirzo Ulughbek and nowadays” - 13-14 June, 2014, Tashkent. - pp. 80-83.
13. Shaymatov S.R., Pardayev N. Destroying a near-extremal Kerr black hole with a charged particle // International conference “70th anniversary of academician Takibaev N.J.” - 21-22 Feb., 2014, Almaty. - pp. 80.
14. Shaymatov S.R. Motion of charged particles in an electro-magnetic field in Kerr-Taub-NUT spacetime // International conference “100th anniversary of academician Azimov S.A.” - Nov., 2014, Tashkent. - pp. 35-37.
15. Shaymatov S., Rakhmatov A., Urinov S. Overspinning Kerr black hole with a charged particle // “Contribution of talented young people in the development of physics” - 24-25 April, 2015, Tashkent. - pp. 40-42.
16. Shaymatov S.R., Rakhmatov A.S. The effect of magnetic field on the process of overcharging a magnetized Reissner-Nordström black hole // Republican conference “Actual problems of theoretical and nuclear physics” - 23-24 Oct., 2015, Tashkent. - pp. 153-155.
17. Shaymatov S.R., Eshqvatov H.E. Particle motion around near-extremal Reissner-Nordström black hole and the effect of a test magnetic field on the cosmic censorship // Republican conference “The scientific-practical conference of young scientists - 2015” - 23 Dec., 2015, Tashkent. - pp. 16-19.
18. Shaymatov S.R. The effect of a test magnetic field on the process of overspinning a rotating black hole // The International Symposium “New Tendencies of Developing Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements, Prospects” - 10-11 Nov., 2016, Tashkent. - pp. 68-69.
19. Shaymatov S.R. Isosfrequency pairing orbits in the vicinity of black string spacetime // International Conference “Fundamental and Applied Problems of Physics” - 13-14 June, 2017, Tashkent. - pp. 147-151.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди (07.11.2018 йил)

Босишга рухсат этилди 21.11.2018. Ҳажми 3,75 босма табоқ.
Бичими 60x84 ¹/₁₆. Адади 70 нусха. Буюртма 205.
М. Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети
Босмахонасида чоп этилди.