

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР  
БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ**

**ХАКИМОВ АБДУЛЛО АБДУХАЛИЛОВИЧНИНГ**

**МУҚОБИЛ ГРАВИТАЦИЯ НАЗАРИЯЛАРИДА АКСИАЛ –  
СИММЕТРИК ОБЪЕКТЛАР АТРОФИДА РЕЛЯТИВИСТИК  
АСТРОФИЗИК ЖАРАЁНЛАР**

**01.03.01-Астрономия**

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

**Тошкент - 2021**

**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**

**Хакимов Абдулло Абдухалилович**

Муқобил гравитация назарияларида аксиал – симметрик объектлар  
атрофида релятивистик астрофизик жараёнлар..... 3

**Хакимов Абдулло Абдухалилович**

Релятивистские астрофизические процессы вокруг аксиально –  
симметричных объектов в альтернативных теориях  
гравитации..... 19

**Накимов Abdullo Abdukhalilovich**

Relativistic astrophysical processes around axial-symmetric compact objects in  
alternative theory of gravity ..... 22

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

List of published works  
Список опубликованных работ..... 38

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР  
БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ**

**ХАКИМОВ АБДУЛЛО АБДУХАЛИЛОВИЧ**

**МУҚОБИЛ ГРАВИТАЦИЯ НАЗАРИЯЛАРИДА АКСИАЛ –  
СИММЕТРИК ОБЪЕКТЛАР АТРОФИДА РЕЛЯТИВИСТИК  
АСТРОФИЗИК ЖАРАЁНЛАР**

**01.03.01-Астрономия**

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

Тошкент – 2021

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2018.2.PhD/FM240 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Астрономия институти институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.astrin.uz](http://www.astrin.uz)) ва «Ziynet» ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

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

**Расмий оппонентлар:** **Ахунов Талат Ахматович,**  
физика-математика фанлари доктори

**Турсунов Эргаш Махкамович**  
физика-математика фанлари доктори

**Етақчи ташкилот:** **Ал-Фаробий номидаги Қозоғистон Миллий Университети,**  
**Олмаота, Қозоғистон**

Диссертация ҳимояси Астрономия институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100052 Тошкент шаҳри, Астрономия кўчаси, 33-уй, Астрономия институти. Тел. (+998 71) 235-81-02; факс (+998 71) 234-48-67; e-mail: [info@astrin.uz](mailto:info@astrin.uz)).

Диссертация билан Астрономия институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100052 Тошкент шаҳри, Астрономия кўчаси, 33-уй, Астрономия институти. Тел. (+998 71) 235-81-02.

Диссертация автореферати 2021 йил « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2021 йил « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ даги № \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**Ш. А. Эгамбердиев**

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

**И.А. Ибрагимов**

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

**С.П. Ильясов**

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

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда етакчи астрономик марказлари томонидан сўнгги пайтларда кузатилган янги маълумотлар олам кутилмаган манзарага эга эканлигини кўрсатмоқда. Унга кўра, космик микротўлқинли фон нурланиши ва суперянгилар бўйича тадқиқотлардан олинган сўнгги маълумотлар тўплами коинотнинг умумий энергия зичлигини қуйидагича тақсимланганлигини кўрсатди: 4% оддий барион модда, 23% қоронғи модда ва 73% қоронғи энергия. "Қоронғи модда" атамаси оддий моддалар тортишишининг аксинча хусусиятларига эга бўлиб, лабораторияда ҳали аниқланмагандир. Унинг гравитацион эффектлари галактикадаги юлдузларнинг марказ атрофида айланишини, кластерлар ҳаракатини ва бутун коинотнинг катта масштабдаги тузилишини тушунтириш учун зарурдир. "Қоронғи энергия" атамаси нафақат тўғридан-тўғри аниқланмаган, балки оддий моддалар сингари гуруҳланмайдиган номаълум энергия сифатида қабул қилинган. Қоронғи энергиянинг ҳозирги вақтда оддий материя устидан ҳукмронлиги туфайли коинот тезланиш билан кенгаймоқда. Ушбу ҳодисалар одатда гравитациянинг муқобил назариялари билан, шу жумладан Эйнштейннинг умумий нисбийлик назариясининг модификациялари орқали изоҳланади. Шу туфайли коинотни тезланиш билан кенгайишини тушунтиришда ушбу илмий ишда тадқиқ этилган гравитацион линзаланиш ва плазма эффектлари оламнинг кенгайишини тушунтиришда фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда геометрик оптика эффектлари, ёруғлик нурларининг оғиши ҳамда электромагнит кутбланиш векторининг айланиши, қора ўра сояси, электромагнит майдон ва гравитацион майдонда компакт объектлар атрофидаги релятивистик астрофизик жараёнлари ва турли гравитацион моделларидаги параметрларига лимитлар олинишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, 2019 йилда биринчи марта М87 галактикаси марказидаги қора ўра соясининг ҳақиқий тасвири Ходисалар горизонти телескопи (ЕНТ) томонидан кузатилди. Ушбу ЕНТ лойиҳасида 20 мамлакатдан 200 га яқин астроном иштирок этдилар. Қора ўра соясини олиш учун олимлар астрономик мосламалари кузатишининг махсус усули яъни жуда узун базавий радио интерферометриядан (Very long baseline interferometry, VLBI) фойдаланишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда релятивистик астрофизика соҳасида экспериментал ва назарий ишлар олиб бориш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Республикамиз Президенти томонидан илгари сурилган 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида<sup>1</sup> мамлакатимизда илм-фаннинг юксалиши, фундаментал тадқиқотларнинг муҳим йўналишлари

---

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

ва уларнинг натижаларини ҳаётга татбиқ қилиш йўллари кўрсатиб берилган. Ушбу вазифаларини амалга оширишда, жумладан, охириги йилларда релятивистик астрофизикада компакт объектлар атрофида геометрик оптиканинг эффеќтлари яъни, ёруғликнинг оғиши, ёруғлик қутубланиш векторининг айланиши ҳамда ташқи магнит майдонида зарядланган зарраларнинг ҳаракати ва уларнинг табиатини чуқур ўрганиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПҚ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармонида, 2018 йил 29 ноябрда Ўзбекистон Республикаси Ҳукумати томонидан чоп этилган “2019-2021 йилларда Ўзбекистонда тузилмали ислохотларнинг асосий йўналишларининг йўл харитаси”да ҳамда, астрофизика соҳасини ривожлантириш учун ушбу йўналишдаги бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда диссертация тадқиќоти муайян даражада хизмат қилади.

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

#### **Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.**

Жаҳоннинг бир қатор кўзга кўринган олимлари, масалан: Германиялик олимлар (V. Enolskii, B. Hartmann, V. Kagramanova, J. Kunz, C. Laemmerzahl), хинд олимлари (P. Sirimachan, N. Dadhich, A. Buchdahl), италиялик олимлар (S. Capozziello, L. Rezzolla, L. Modesto, D. Malafarina), рус олимлари (R. A. Konoplya, A. Zhidenko, A. Zakharov, D. Galtsov) чехиялик олимлар (Z. Stuchlik, M. Kolos, J. Schee, J. Kovar), юртимиз олимлари (B. Ahmedov, A. Abdjabbarov, V. Morozova, A. Mamadjanov) ва бошқалар кўплаб назарий изланишлар ва кузатувларда қора ўралар сояси ва унинг яқинидаги энергетик жараёнларни ўрганишган.

Электромагнит майдонлар тузилиши, зарралар ҳаракати ва энергетик жараёнлар каби айланувчи қора ўралар атрофидаги фазо-ваќт хусусиятлари ўзбек олимлари Б.Ж.Ахмедов, А.А.Абдужаббаров, В.С.Морозова ва бошқалар томонидан ўрганилган. Республикамизнинг Улуғбек Астрономия ва Ядро Физикаси институтлари, Германиянинг Макс-Планк, Эйнштейн институтлари, Амалий космик технологиялар маркази ва Франкфурт, Микрогравитация ва Олденбург Университетлари, Чехиянинг Опавадаги Силезия Университети ҳамда Хиндистоннинг Университетлараро Астрономия ва Астрофизика маркази олимлари томонидан компакт объектлар атрофидаги астрофизик жараёнларни қора ўралар сояларини текширган ҳолда ўрганишнинг янги формализми ва эгриланган фазо-ваќтдаги Максвелл тенгламалари аналитик усулда ечиш методикалари ишлаб чиқилган.

Ҳозирда маълумки, катта миқдорда энергия ажратувчи аккрецион тизимларда магнитланган компакт объектлар мавжуд. Бундай объектларнинг магнит майдонлари аккрецион диск оқими билан кучли таъсирлашади ва аккреция системаси физикасига сезиларли таъсир кўрсатади. Бир қатор адабиётларда релятивистик магнитланган юлдузларнинг магнит майдонларига умумрелятивистик тузатмалари кенг ўрганилган. Бироқ, муқобил назариялари доирасида эса батфил ўрганилмаган. Масаланинг шу жиҳатини эътиборга олган ҳолда, биз компакт объектлар атрофидаги электромагнит майдонлар ва релятивистик жараёнларни гравитациянинг муқобил назариялари доирасида ўрганишга ҳаракат қилдик.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши Астрономия институтидаги илмий лойиҳалар доирасида олиб борилди: FE2-FA-F134 "Муқобил гравитация назариялари доирасида қора ўралар яқинидаги электромагнит майдонлар ва зарралар ҳаракати "(2012-2013); EF-2A-FA-0-12477 "компакт гравитация объектлари яқинида электромагнит майдонларнинг тарқалиши ва айланувчи зарралар ҳаракати" (2014-2015).

**Тадқиқотнинг мақсади** муқобил гравитация назариялари доирасида компакт объектлар яқинида релятивистик ва астрофизик жараёнларни назарий таҳлил қилиш ва асронмик кузатув натижалари билан таққослашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

муқобил гравитация назарияси доирасида геометрик оптика жараёнларни, жумладан, ёруғрик нурунинг оғиш бурчаги, ёруғлик нури кутбланиш векторини айланиши ва бирламчи манба ёрқинлигининг ортишини ўрганиш;

Вейл назарияси доирасида қора ўра соясини плазма мавжудлигида ўрганиш;

қора ўралар яқинидаги электромагнит майдонлар ва зарядли зарралар ҳаракатларини Хоржава гравитация назарияси доирасида ўрганиш;

Интерференция эффектларини Вейл гравитацион модели доирасида ўрганиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида электромагнит тўлқин, зарядланган зарралар, релятивистик компакт гравитацион объектлар – юлдузсимон ва ўта массив қора ўралар танланган.

**Тадқиқотнинг предмети** сифатида плазмада жойлашган компакт объектларнинг гравитация майдонларидаги геометрик оптика жараёнлари, фотонларнинг қора ўра томонидан қамраб олинишининг кесим юзаси гравитациянинг муқобил назариялари доирасида магнит майдонида жойлашган қора ўралар атрофида зарядли зарралар ҳаракати, қора ўра атрофида ҳаракатланаётган зарядланган зарраларнинг ички барқарор стабил орбиталари.

**Тадқиқотнинг усуллари** сифатида умумий нисбийлик назариясининг математик амаллари, дифференциал геометрия услублари, қора ўралар атрофидаги зарралар ҳаратакти ва майдонлар ҳисоблашда дифференциал тенгламаларнинг аналитик ва рақамли ечиш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

илк бора Вейл гравитацион моделида ёруғлик оғишининг аналитик ифодаси топилган;

илк бора Вейл гравитацион моделида қора ўра атрофида жойлашган плазма ёруғликнинг оғишига таъсири кўрсатилган;

гравитацион линзаланишда юлдуз тасвирининг катталаштириш коэффициенти плазма мавжудлигида Вейл гравитацион моделида таъсири қарийб Шварцшилд моделида каби бўлиши кўрсатилган;

илк бора бир жинсли плазмада жойлашган қора ўра сояси Вейл гравитацион моделида Шварцшилд моделидагига қараганда кичик бўлиши кўрсатилган;

илк бора Вейл гравитацион моделида фотон қора туйнук экваториал текислигидан унинг айланиш ўқиға параллел тарқалаётганда чексизликда ёруғликнинг поляризация векторининг айланиши модел параметрига боғлиқлиги аниқланган;

илк бора нейтрон интерферометрида заррачаларнинг фаза силжиши Вейл параметрига боғлиқлиги аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

илк бора аналитик топилган ёруғлик оғишининг ифодаси плазманинг дисперсионлиги туфайли электромагнит тўлқин частотасига, массага ва Вейл параметрига боғлиқлиги аниқланган;

илк бора 3С 273 блазар кузатув натижалари билан назарий натижалар таққосланишидан Вейл параметри учун қуйидаги юқори чегараси аниқланган:  $g \leq 10^{-21} \text{ cm}^{-1}$ ;

илк бора Хоржава-Лифшиц гравитациясида Кеҳагиас-Сфетсос параметрига боғлиқ ҳолда сферик симметрик қора ўралар атрофидаги синов зарралари учун айланма орбиталарнинг энг кичик радиуси учун аниқ аналитик кўринишлар олинган;

илк бора Ернинг гравитацион майдонида интерферометер орқали гравитацион қизил силжиш ўлчанган эксперимент натижалари билан бизнинг назарий натижаларимиз таққосланишидан Вейл параметри учун қуйидаги юқори чегараси аниқланган:  $g \leq 10^{-21} \text{ cm}^{-1}$ .

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** фундаментал физика қонунларининг моҳиятини ривожлантириш учун фойдаланилади. Нисбийликнинг умумий назарияси гравитациянинг асосий-маълум қонунлари билан ишлатилиши бу муқобил гравитация назарияларига лимитларидан бири сифатида киритилади; назарий йўл билан олинган натижалар кузатув маълумотлари ва бошқа муаллифларнинг шу ишга доир олинган натижалари билан текширилди; хулосалар гравитацион компакт объектлар назариясининг асосий қоидаларига мос келади.



### **Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Илмий тадқиқотнинг илмий аҳамияти – илмий изланиш натижаларнинг муқобил ва ўзгартирилган гравитация назарияларига чегара ва лимитлар (constraints and limitations) олиш учун компакт объектлар яқинидаги астрофизик ва релятивистик жараёнларни тасвирлай билишида кўринади. Мазкур диссертация иши, акрецион дисклари ички радиусиларини, номзод қора ўралардан келаётган рентген нурларининг кузатув маълумотлари билан олинган назарий натижаларни билан таққослаш орқали, гравитациянинг муқобил назарияларининг ҳар ҳил параметрлари учун лимитлар олиш имкониятини беради.

Илмий тадқиқотнинг амалий аҳамияти эса гравитациянинг муқобил назариялари доирасида релятивистик юлдузларнинг магнит майдонлари учун олинган ифодалар, астрофизикадаги компакт объектлар атрофида содир бўлаётган юқори энергетик жараёнларини ва шунингдек, ҳар ҳил назарияларидаги гравитация майдонлари табиатларини кенгроқ изоҳлай олишида кўринади.

### **Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.**

Диссертация иши бўйича олинган натижалар асосида:

муқобил гравитация назариялари доирасида олинган магнит майдон тузилишига ва ички турғун айлана орбиталарига оид олинган натижалар бир қатор халқаро журналларда (Physical Review D 2017, Astrophysical Space Sciences 2017, International Journal of Modern Physics D 2017, General Relativity and Gravitation 2015) нашр этилди ва умумий нисбийлик назарияси ва муқобиил гравитация назариялари натижаларини таққослашда фойдаланилди. Ушбу диссертация натижалари ёрдамида турли гравитацион моделларига параметрларига лимитлар олиш имкониятини беради;

бошқа гравитацион назариялари ҳамда кузатув натижалари билан таққослаш учун гравитацион линзалар ва энергетик процесслар муқобил гравитацион моделларда натижалари халқаро журналларда (Physical Review D 2017, Astrophysical Space Sciences 2017, European Physical Journal C 2017, Modern Physics Letters A 2017, Physics Scripta 2017) ишлатилди.

### **Тадқиқот натижаларининг апробацияси**

Диссертация натижалари 25 та халқаро ва маҳаллий илмий анжуманларда текширилди ва муҳокама қилинди.

### **Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши**

Диссертация мавзуси доирасида 33 та илмий мақолалар, шулардан 9 та илмий мақола PhD диссертацияси учун Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссияси томонидан тавсия этилган халқаро илмий журналларда чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан ташкил топган. Диссертация ҳажми 87 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.

I боб “Кенгайтирилган гравитация назариялари” деб номланади ва бу ерда диссертацияда ўрганилган муқобил гравитация назарияларига қисқача шарҳ беришга бағишланган.

Муқобил гравитация назариялари бу умумий нисбийлик назариясига (УНН) муқобил сифатида мавжуд бўлган ёки уни (миқдор жиҳатдан ёки тубдан) ўзгартирадиган гравитация назарияларига айтилади. УНН куёш тизимининг миқёсида яхши ўрганилган. Назарияни катта ёки кичикроқ масштабларда синаш анча қийин иш. Умумий нисбийлик назарияси, бошқа ҳар қандай назария сингари, реал ҳодисаларни тасвирлаш учун модел сифатида хизмат қилади. Шунинг учун ҳақиқий табиатда сайёра тизимлари миқёсидаги умумий нисбийлик назарияси башоратига мос келиши мумкин, аммо бошқа масштабларда ундан фарқ қила бошлайди.

Хоржава гравитация модели вектор-тензор гравитация назариялари вариантларидан бири ва эҳтимол ҳозирги пайтда энг машҳурларидан биридир. Бу модел 2009 йилда келиб чиқиши асли Чехиядан бўлган америкалик тор назарийчиси Пётер Хоржава томонидан таклиф қилинган. Бу назария релятивистик куч ҳисобланмайдиган қайта тикланадиган назария бўлиб, динамик критик кўрсаткич  $z = 3$  билан ультра-бинафша (УФ) тўрт ўлчовда, вақт ва маконда Лифшиц масштаб-инвариантлигини қабул қилади ва катта масштабларда Эйнштейннинг умумий нисбийлик назарияси билан мос тушади. Тортишиш кучига эга шарсимон симметрик объект ташқарисидаги фазовий ўлчов учун инфрақизил-модификацияланган Хоржава асимптотик ечими Кеҳагиас ва Сфетсос (КС) томонидан қуйидагича топилган

$$ds^2 = -N^2 c^2 dt^2 + N^{-2} dr^2 + r^2 dq^2 + r^2 \sin^2 q dj^2, \quad (1)$$
$$N^2 = f_{\text{KS}}(r) = 1 + \omega r^2 - \omega r^2 \sqrt{1 + \frac{4M}{\omega r^3}},$$

бу ерда  $\omega$  КС параметр ва константа  $\Lambda_{\omega} = 0$  қилиб танланган.

Галактикалар учун кутилмаган айланма эгри чизиклар ва космик микротўлқинли фон (КМФ) спектридаги тебранишлар бошқа астрофизик кузатувлар орасида кашф этилиши 1а ўта янги юлдузлар спектридаги "етишмаётган материя" нинг исботидир. Оламда биз билганимиздан ҳам кўпроқ масса бўлиши мумкинми ёки гравитация назариясининг ўзи қониқарли эмасми? Энди кўп олимлар келишуви билан етишмаётган масса шундан иборатки, бу модданинг янги шакли бўлиб, уни фақат шу модданинг хусусий гравитация кучи билан аниқлаш мумкин. Аммо бу келишувга фақат умумий нисбийлик назариясига муқобил назарияларни синаб кўрилгандан

кейингина эришилди. Гравитация назариясининг бошқа кўплаб муқобил назариялари орасида мос келадиган Вейл гравитацион назарияси ҳозирги космологик жумбоқнинг ечимидир. Эйнштейн-Гилберт гравитацияси таъсирдан фарқли равишда, Вейл шундай шарт қўядики, алмаштиришлар учун Эйнштейннинг умумий нисбийлик назарияси инвариант бўлиши керак. Бу шарт қуйидагича

$$g_{mn}(x) \rightarrow W^2(x)g_{mn}(x), \quad (2)$$

бунда  $\Omega(x)$  - фазо координаталарига боғлиқ скаляр функция. Вейл гравитациясида статик сферик симметрияга эга манба умуман майдон тенгламасининг вакуумдаги ечимидан қуйидагича фазо-вақт метрикасини ёзиш мумкин

$$ds^2 = -B(r)dt^2 + \frac{dr^2}{B(r)} + r^2(d\varphi^2 + \sin^2\varphi d\theta^2), \quad (3)$$

бу ерда

$$B(r) = 1 - \frac{\beta(2 - 3\beta\gamma)}{r} - 3\beta\gamma + \gamma r - kr^2. \quad (4)$$

$b, g, k$  лар - интеграл константалари бўлиб улар қуйидагича изоҳланади:  $\beta = GM/c^2$  (см) - геометрик масса,  $M$  -эса манбанинг массаси ва  $G$  гравитация доимийси;  $\gamma$  (см<sup>-1</sup>) ҳамда  $k$  (см<sup>-2</sup>) бўлиб улар конформал гравитация параметрлари. ( $\gamma = 0 = k$ ) да (22) Шварцшилд кўринишни, ( $g = 0$ ) да эса Шварцшилд-де Ситтер ечимини келиб чиқиб, у космологик масофалардагина муҳимдир. Буни  $k$  нинг қийматини жуда кичик эканлигидан кўриш мумкин ва  $r$  нинг катта қийматларида, масалан галактика ўлчами тартибида  $-kr^2$  сезиларли қиймат қабул қилади.

Сўнгги пайтларда ўтказилган космологик кузатувлар умумий нисбийлик назарияси асосидаги гравитация назариясини ўзгартириш кераклигини кўрсатмоқда. Гравитацион майдон назариясини кенгайтирилиши керак бўлган назарияларда Нютоннинг тескари квадрат қонунига қўшимча равишда янги узок масофали кучлар пайдо бўлиши мумкин. Шунинг унутмаслик керакки, галактик ва космологик катта масштабларда УНН ҳали жиддий текширувлардан ўтмаган. Бироқ, баъзи бир фактлар борки, қоронғу модда ва қоронғу энергиянинг мавжудлигини тасдиқлайдиган кузатувлар умумий нисбийлик назариясини катта масофаларда, кичик тезланишларда ёки кичик эгриликда муваффақиятсизликка олиб келади.

II боб “**Конформал Вейл гравитациясида геометрик оптика**” деб номланганиб, плазма муҳитида жойлашган конформал Вейл гравитациясида гравитацион линзаланиш эффекти, ёруғлик қутбланиш векторининг гравитацион компакт объект яқинида бурилишини ўрганишга бағишланган.

Бу ерда биз гравитация майдони кучсиз ва фазо-вақт асимптотикаси ясси текисликдан иборат деб қабул қиламиз ва математик жиҳатда бун қуйидагича ифдалаш мумкин

$$g_{\alpha\beta} = \eta_{\alpha\beta} + h_{\alpha\beta}, \quad \eta_{\alpha\beta} = (-1, 1, 1, 1), \quad (5)$$

$$h_{\alpha\beta} \ll 1, \quad x^i \rightarrow \infty \text{ да } h_{\alpha\beta} \rightarrow 0.$$

Бу ерда  $g_{\alpha\beta}$ ,  $ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$  кўринишдаги фазо-вақтнинг метрик тензори,  $h_{\alpha\beta}$  - эса унинг ясси фазо -  $\eta_{\alpha\beta} = (-1, 1, 1, 1)$  га нисбатан кичик эгрлианиши. Цингнинг гравитацияга оид китобида ёруғликнинг дисперцияловчи муҳитдаги троекторияси учун қуйидаги тенглама келтирилган

$$W(x^\alpha, p_\alpha) = \frac{1}{2} \left[ g^{\alpha\beta} p_\alpha p_\beta - (n^2 - 1) (p_\alpha V^\alpha)^2 \right] = 0. \quad (6)$$

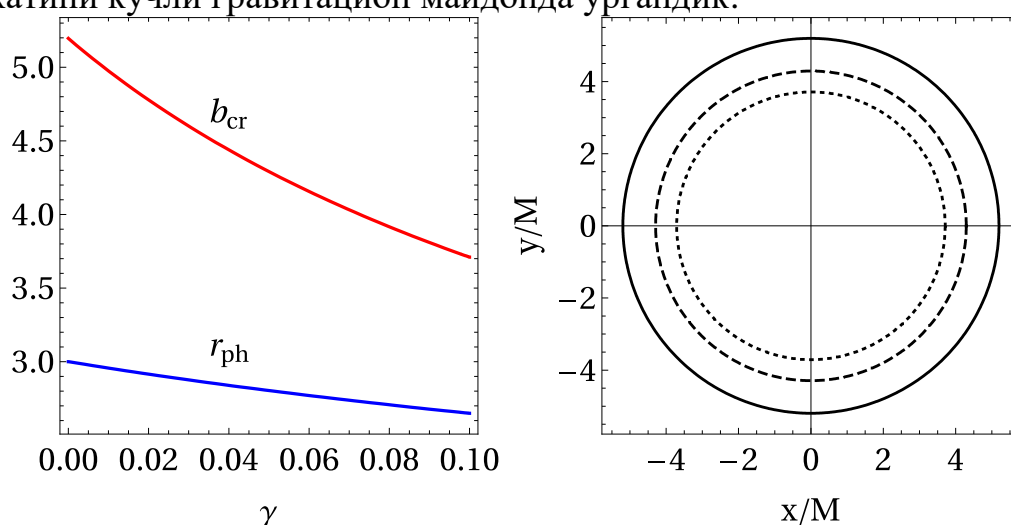
Бу ерда  $p^\alpha$  - фотон импульси,  $V^\alpha$  муҳитнинг 4-тезлиги ва  $n$  муҳитнинг нур синдириш кўрсаткичи. Турғун ва бир жинсли бўлмаган плазма учун нур синдириш кўрсаткичи  $n$ ,  $x^i$  ва  $\omega(x^i)$  ларга қуйидагича боғланган

$$n^2 = 1 - \frac{\omega_e^2}{\omega^2(x^i)}, \quad \omega_e^2 = \frac{4\pi e^2 N}{m} \equiv K_e N, \quad (7)$$

бу ерда  $N = N(x^i)$  - плазмадаги электронлар концентрацияси,  $e$  - электрон заряди,  $m$  - электрон массаси,  $\omega_e$  - плазмадаги электрон плазма частотаси. Энди соддалик учун қуйидагиларни киртамыз  $\omega(\infty) = \omega$ ,  $\omega_e(\infty) = \omega_0$ ,  $n(\infty) = \sqrt{1 - \omega_0^2/\omega^2} = n_0$ , у ҳолда оғиш бурчаги учун қуйидаги ифодани оламиз

$$\hat{\alpha}_w^{\text{pl}} = \frac{2\beta}{b} \left( 1 + \frac{1}{1 - \omega_0^2/\omega^2} \right) + \gamma b \left[ 1 - \frac{\omega_0^2/\omega^2}{1 - \omega_0^2/\omega^2} \ln b \right]. \quad (8)$$

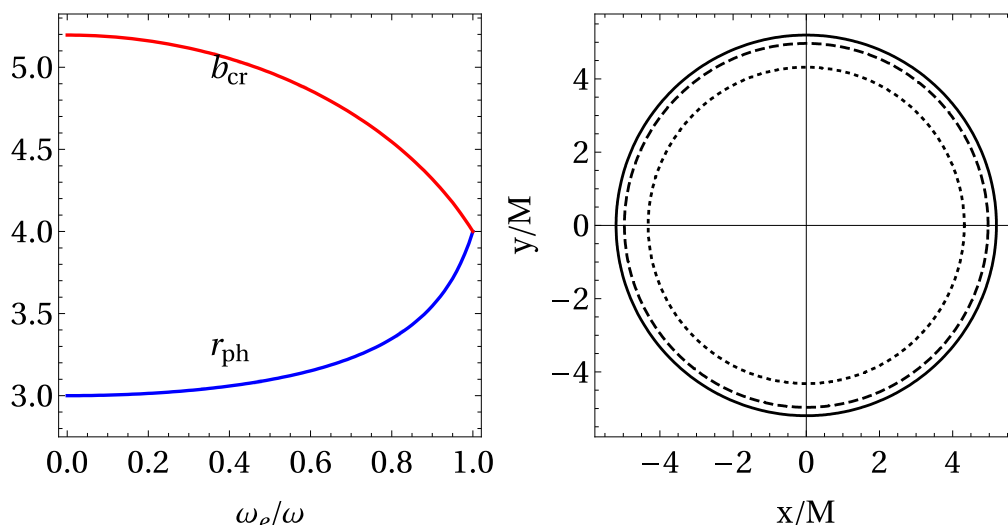
Охириги йилларда гравитацион эффектларни кучли майдонларва кузатиш долзарб бўлиб келяпти. Шунинг учун қуйидаги бобда биз фотонлар ҳаракатини кучли гравитацион майдонда ўргандик.



1-расм

Бунда (чап томондаги расм) фотон сфера радиуси ва кўриш параметрининг критикал қийматлари билан  $g$  параметрининг боғланиши кўрсатилган. Ўнг томонда гамма параметрининг ҳар хил қийматида фотонларнинг қора туйнук

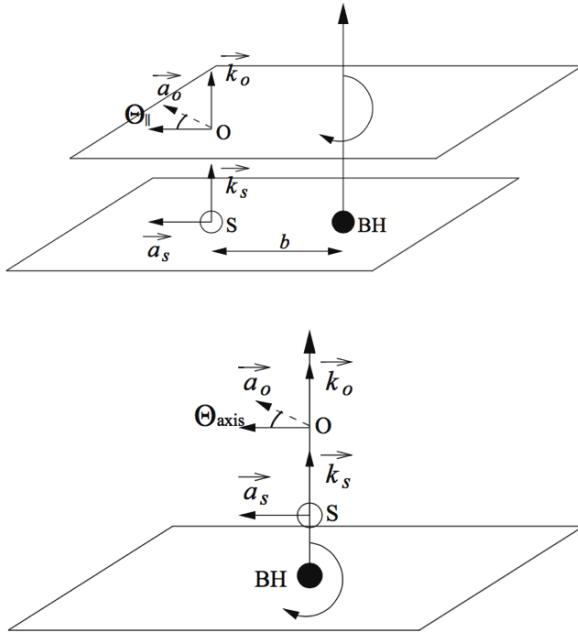
томонидан гравитацион қамраб олинishi тасвирланган. Бу ерда узлуксиз чизик  $g = 0$ , тирели чизик  $g = 0.05$ , нуқтали чизик еса  $g = 0.1$ .



2-расм

2-расмда фотон сфера радиуси ва кўриш параметрининг критикал қийматларидан бир жинсли плазма частотасининг боғланиши тасвирланган. Ўнг томондаги панел қора туйнукнинг плазмадаги силуэтини тасвирлайди. Бу ерда узлуксиз чизик  $w_e/w = 0$ , тирели чизик  $w_e/w = 0.5$ , нуқтали чизик еса  $w_e/w = 0.9$  бўлиб Вейл параметри  $gM \gg 10^{-10}$  деб олинган.

Биз геометрик оптиканинг эффектларидан яна бири бўлган ёруғлик поляризация векторининг айланишини компакт объектнинг гравитация майдонида Вейл моделида таъсирини ўрганиб чиқдик. Биринчи ҳолда манба экваториал текисликда кузатувчи эса текисликдан юқорида бўлсин (6-расм, юқори панелга қаранг). Иккинчи ҳолатда (3-расм, пастки панелга қаранг), манба ва кузатувчи симметрия ўқида бўлганида. Бу расмда манба ва кузатувчи симметрия ўқидан  $b$  масофада жойлашган. Пастда, манба ҳам, кузатувчи ҳам симметрия ўқида.



3-расм

Ш боб “Хоржава гравитациясида қора туйнук атрофида заррачалар ва майдонлар” деб номланган бўлиб, бу бобда Гамильтон-Якоби тенгламасидан фойдаланиб, Хоржава-Лифшиц гравитациясида магнит майдонида жойлашган қора ўра атрофидаги зарядли зарралар ҳаракатини ўрганишга бағишланади.

Массаси  $M$  бўлган қора ўранинг Хоржава-Лифшиц гравитациясида фазо-вақт статик ва сферик метрикаси (3) ифодада берилган. Киллинг векторлари  $\xi^\mu$  Максвелл тенгламаларини қуйидагича қаноатлантиради

$$F^{\alpha\beta}{}_{;\beta} = -2C_0(\xi^{\alpha;\beta}{}_{;\beta} - \eta^\alpha) = 0. \quad (9)$$

Бунда  $\eta^\alpha = \{0, 0, 0, 6M^2/\omega r^3\}$ ,  $R^\alpha{}_\gamma \xi^\gamma$  муносабатдаги  $\omega^{-1}$  учун бирламчи яқинлашишидир. Электромагнетик потенциални иккита ташкил этувчилари йиғиндиси кўринишида олиш мумкин  $A^\alpha = \tilde{A}^\alpha + a^\alpha$ ,  $\tilde{A}^\alpha$  Киллинг векторига пропорционал бўлган потенциал, иккинчи қисми  $a^\alpha$  KS параметр  $\omega$  ҳисобидан пайдо бўлган вектор потенциал ва қуйидаги ечим топилди  $a^\alpha = B/2\{0, 0, 0, 3M^2/10\omega r^4\}$ . Шундай қилиб, электромагнит майдоннинг 4-вектор потенциали  $A_\alpha$  қуйидаги кўринишга келади

$$A_0 = A_1 = A_2 = 0, \quad A_3 = \frac{1}{2}B \frac{1}{2}r^2 \sin^2 \theta \left( 1 + \frac{3M^2}{10\omega r^4} \right). \quad (10)$$

Электромагнит майдоннинг ортонормал ташкил этувчилари, кузатувчи тезлиги  $(u^\alpha)_{\text{obs}} \equiv \exp(-\Phi)\{1, 0, 0, 0\}$ ;  $(u_\alpha)_{\text{obs}} \equiv -\exp(\Phi)\{1, 0, 0, 0\}$  бўлган санок системасида, (3) метрик тензордаги лапс функцияга боғлиқ ҳолда қуйидаги ифода билан аниқланади

$$B^{\hat{r}} = B \left( 1 + \frac{3M^2}{10\omega r^4} \right) \cos \theta, \quad B^{\hat{\theta}} = e^{\Phi(r)} B \left( 1 - \frac{6M^2}{10\omega r^4} \right) \sin \theta. \quad (11)$$

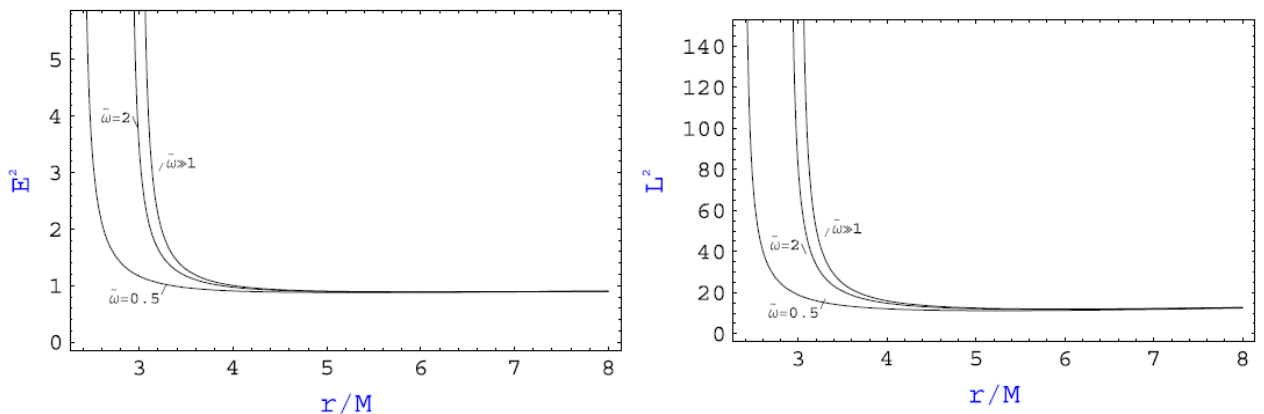
Гамильтон-Якоби тенгламасидан фойдаланиб, Хоржава-Лифшиц гравитациясида магнит майдонида жойлашган қора ўра атрофидаги зарядли зарралар ҳаракатини ўрганамиз

$$g^{\mu\nu} \left( \frac{\partial S}{\partial x^\mu} + eA_\mu \right) \left( \frac{\partial S}{\partial x^\nu} + eA_\nu \right) = -m^2, \quad (12)$$

бу ерда  $e$  ва  $m$  лар мос ҳолда, зарранинг заряди ва массаси.  $t$  ва  $\phi$  лар Киллинг ўзгарувчилари бўлиб, уларга нисбатан таъсирни қуйидагича ёзиб олиш мумкин

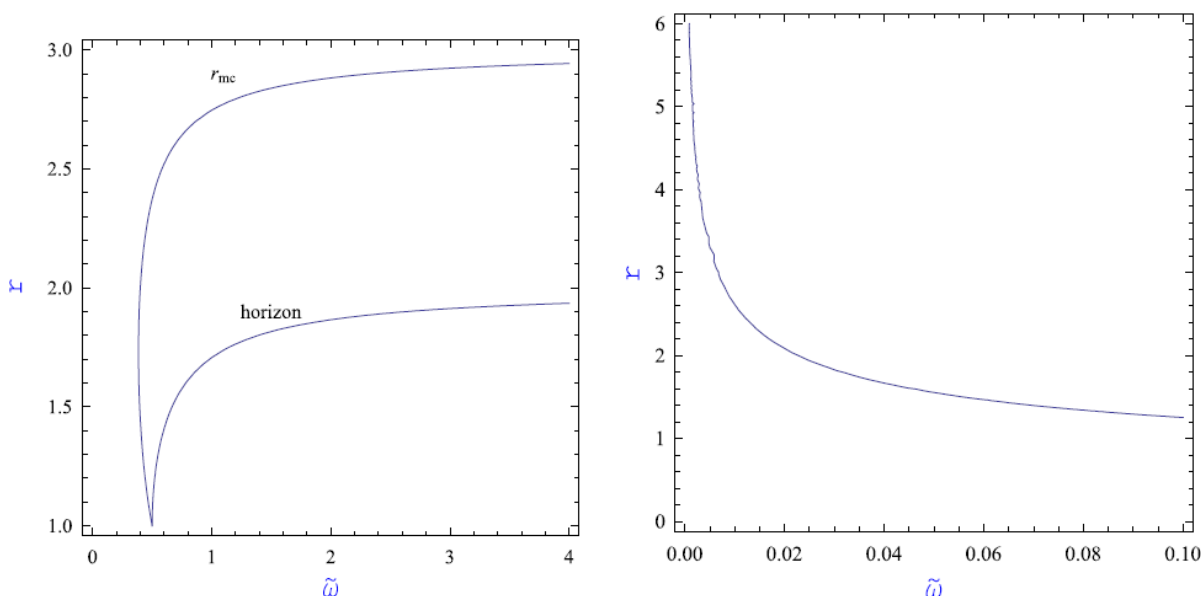
$$S = -Et + L\phi + S_{r\phi}(r, \phi), \quad (13)$$

Бу ерда сақланувчи катталиқлар  $E$  ва  $L$  мос ҳолда, синов зарраларининг чексизликдаги энергия ва импульс моменти.



**Расм 4.**  $\tilde{\omega}$  нинг ҳар қил қийматлари учун қора ўра атрофидаги айлана орбиталарининг энергия ва бурчак моментнинг радиал боғланиши. Қиёслаш мақсадида,  $\tilde{\omega} \gg 1$  да Шварзшилд қора ўраси ҳоли учун ҳам ушбу боғланишлар келтирилди

4-расмда экваториал текисликдаги айлана орбитада ҳаракат қилаётган зарраларнинг энергия ва айланиш моментларининг радиал боғланиши келтирилган. 4-расмдан шуни кўриш мумкинки, айлана орбиталарда маълум энергия ва айланиш моментига эга зарралар  $\tilde{\omega} = \omega M^2$  ўлчовсиз параметрининг қиймати камайиши билан марказий орбитага томон силжийди.



**Расм 5.** Ходисалар горизонти (чапда) ва ички турғун айлана орбита радиусининг (ўнгда)  $\tilde{\omega}$  параметрига боғланиши

5-расмда ходисалар горизонти (чапда) ва ички турғун айлана орбита радиусининг (ўнгда) ўлчовсиз  $\tilde{\omega}$  параметрига боғланиши келтирилган.  $\omega \geq 2\sqrt{3}/9$  қийматда  $\tilde{\omega}$  ўлчовсиз параметри камайиши билан ички турғун айлана орбита радиуси марказий орбита томон силжийди.  $\omega < 2\sqrt{3}/9$  ҳолатида  $r_{mc}$  учун қуйи чегара йўқ, яъни қора ўра яқинида айланма орбиталар мавжуд бўлиши мумкин. Расмдан кўришиб турибдики, ички айланма орбита радиуси параметр мавжуд бўлганда марказий қора ўрага ўтади. Олинган сонли натижаларни қора туйнукларни айланадиган баъзи номзодлар учун ички айланма орбита радиуси бўйича кузатув маълумотлари билан осонликча таққослаш мумкин.  $\mathcal{W}$  параметр учун қуйи қийматни қуйидагича олиш мумкин  $\mathcal{W} @ 3.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^{-2}$ .

IV боб “**Вейл гравитациясида интерференция эффе́ктлари**” деб номланган.

Нейтрон интерферометридаги фазалар силжишига ер гравитацион майдонининг таъсирини синаб кўришга имкон берадиган тажриба биринчи марта Оверхаузер ва Колела томонидан таклиф қилиниб кейинчалик бу тажриба муваффақиятли амалга оширилди. Шундан сўнг, интерференцияланувчи зарраларнинг фаза силжиши билан боғлиқ бошқа таъсирлар аниқланди. Улар орасида ернинг айланишидан келиб чиқадиган таъсири яъни Саньяк эффе́ктининг аналоги ва Линза-тирринг эффе́ктидир.

Бу бобда Вейл параметри мавжудлиги сабабли фаза силжишини олиш учун Вейл гравитацияси доирасидаги секин айланадиган стационар гравитацион майдони учун ушбу формализмни кенгайтирамиз. Бунда қуйидаги Клейн-Гордон тенгламасидан фойдаланамиз



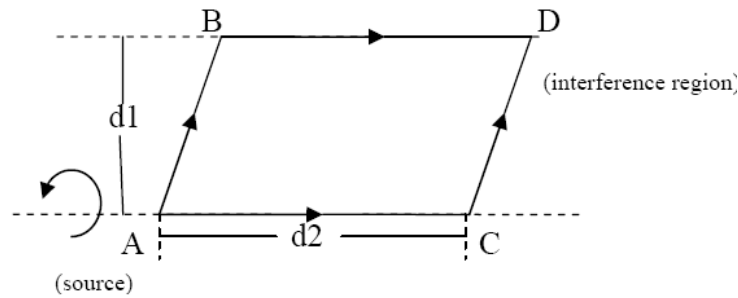
$$\nabla^\mu \nabla_\mu \Phi - (mc/\hbar)^2 \Phi = 0, \quad \Phi = \Psi \exp\left(-i \frac{mc^2}{\hbar} t\right). \quad (14)$$

Кичик ҳадларни  $O((g/c)^2)$  ташлаб йубориб, фаза силжишлар куйидаги кўринишда топилади

$$\beta_{Sagnac} \approx \frac{2m\mathbf{\Omega} \cdot \mathbf{S}}{\hbar}, \quad (15)$$

$$\beta_{Wdrag} \approx \frac{2Gm}{\hbar c^2 R^3} \mathbf{J} \left[ \mathbf{S} - 3 \left( \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{S}}{R} \right) \frac{\mathbf{R}}{R} \right] - \frac{m\gamma}{M\hbar R} \mathbf{J} \left[ \mathbf{S} - \left( \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{S}}{R} \right) \frac{\mathbf{R}}{R} \right], \quad (16)$$

$$\beta_{Wgrav} = \beta_{ABD} - \beta_{ACD} \cong -\frac{1}{\hbar} \int H dt = \frac{m^2 g S \lambda}{2\pi \hbar^2} \left( 1 + \frac{c^2}{2g} \right). \quad (17)$$



6-расм.

Моддалар тўлқинларининг интерференцияси туфайли гравитацион қизил силжишни ўлчаш Х. Мюллернинг экспериментал натижалари асосида (Mullet et al, Nature 463, 926 (2010)) Вейл параметри учун  $g \in 2 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^{-1}$  қуйи чегаравий қийматини олдик.

## ХУЛОСА

"Муқобил гравитация назарияларида аксиал – симметрик объектлар атрофида релятивистик астрофизик жараёнлар" мавзусидаги диссертация иши бўйича қуйидаги хулосалар олинди:

1. илк бор Вейл гравитацион моделида геометрик оптиканинг эффе́ктлари ўрганилди, жумладан гравитацион линзаланувчи объект яқинида ёруғликнинг оғиши ва поляризация бурчаги оғиши;
2. оғиш бурчаги учун олинган аналитик ифода унинг қуйидаги электромагнит тўлқин частотаси, қора туйнук массаси каби стандарт катталиклардан ва ҳамда модел параметридан боғлиқлигини кўрсатилди. Модел параметри манба тасвирининг катталаштириш коэффицентига деярли таъсир кўрсатмаслиги аниқланди;
3. плазманинг борлиги фотосфера радиусини ошишига, бу эса нишон параметрининг ва қора туйнук силуетининг кичрайишига олиб келади;
4. илк бор, Вейл гравитациясида кутбланиш бурчаги учун олинган назарий натижалар билан олинган кузатув маълумотларини таққослаш ёрдамида Вейл параметри учун қуйидаги юқори чегараси аниқланди:  $g \leq 10^{-21} \text{ cm}^{-1}$ .
5. илк бор, Хоржава гравитациясида КС параметрига боғлиқ ҳолда сферик симметрик қора ўралар атрофидаги синов зарралари учун айланма орбиталарнинг энг кичик радиуси учун аниқ аналитик кўринишлар олинди. Олинган натижалар билан ички турғун айлана орбиталари учун кузатув маълумотларини таққослаш КС ечимининг боғланиш параметри учун қуйидагича энг кичик лимит олинди:  $\omega > 3.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^{-2}$ ;
6. илк бор, материя тўлқинларининг интерференцияси туфайли гравитацион қизил силжишини аниқ ўлчанган эксперимент маълумотларини олинган назарий натижаларимизни таққослашдан Вейл параметри учун  $g \leq 10^{-21} \text{ cm}^{-1}$  қуйи чегара олинди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**  

---

**АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ХАКИМОВ АБДУЛЛО АБДУХАЛИЛОВИЧ**

**РЕЛЯТИВИСТСКИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ВОКРУГ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ  
В АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕОРИЯХ ГРАВИТАЦИИ**

**01.03.01- Астрономия**

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

**Ташкент – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № B2018.2.PhD/FM240.**

Диссертация выполнена в Астрономическом институте Академии наук Республики Узбекистан.

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

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

**Официальные оппоненты:** **Ахунов Талат Ахматович,**  
доктор физико-математических наук

**Турсунов Эргаш Махкамович**  
доктор физико-математических наук

**Ведущая организация:** **Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года в \_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 при Астрономическом институте. Адрес: 100052, г.Ташкент, Астрономическая 33, АИ. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67; e-mail: [info@astrin.uz](mailto:info@astrin.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Астрономического института (регистрационный номер \_\_\_). С диссертацией можно ознакомиться в Библиотеке АИ АН РУз. Адрес: 100052, г.Ташкент, Астрономическая 33, АИ. Тел.: (+99871) 235-81-02.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.  
(протокол рассылки № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.).

**Ш. А. Эгамбердиев**  
председатель Научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор, академик АН РУз

**И.А. Ибрагимов**  
ученый секретарь Научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
к.ф.-м.н., старший научный сотрудник

**С.П. Ильясов**  
председатель научного семинара при  
Научном совете по присуждению ученых степеней,  
д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Целью исследования** является теоретический анализ релятивистских и астрофизических процессов вблизи компактных объектов в альтернативных теориях гравитации и сравнение с наблюдательными астрономическими данными.

**Объектом исследования** являются релятивистские звезды, черные дыры и голые сингулярности.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

получено, что выражение для угла отклонения света в вакууме модифицируется из-за эффекта  $\mathcal{G}$  ответственного за поправку Вейля к гравитации;

показано, что плазма окружающая черную дыру, в гравитационном поле Вейля влияет на угла отклонения световых лучей;

показано, что увеличение источника изображения за счет гравитационного линзирования вокруг черной дыры в гравитации Вейля в присутствии плазменной среды почти такое же, как если бы это было в случае Шварцшильда;

показано, что размер тени черной дыры в гравитации Вейля при наличии однородной плазмы больше, чем в случае Шварцшильда;

показано, что для фотона, движущегося параллельно осям симметрии от экваториальной плоскости к бесконечности, вращение плоскости поляризации зависит от параметра Вейля в отличие от керровского пространства-времени, где для этого случая нет вращения плоскости поляризации.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты диссертации о структуре магнитного поля и о ближайших устойчивых круговых орбитах в альтернативных теориях гравитации были использованы в международных журналах (Physical Review D 2017, Astrophysical Space Sciences 2017, International Journal of Modern Physics D 2017, General Relativity and Gravitation 2015) для сравнения результатов общей теории относительности с модифицированными теориями гравитации. Использование полученных в этой диссертации результатов позволило определить лучшее ограничение и пределы для различных моделей гравитации.

Полученные результаты по исследованию гравитационного линзирования и энергетических процессов в рамках модифицированных моделей гравитации были использованы в международных журналах (Physical Review D 2017, Astrophysical Space Sciences 2017, European Physical Journal C 2017, Modern Physics Letters A 2017, Physics Scripta 2017) для сравнения с результатами других гравитационных теорий, а также с наблюдательными данными.

**Объем и структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Объем диссертации составляет 87 страниц.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 ON AWARD OF  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE ASTRONOMICAL INSTITUTE**

---

**ASTRONOMICAL INSTITUTE**

**HAKIMOV ABDULLO ABDUXALILOVICH**

**RELATIVISTIC ASTROPHYSICAL PROCESSES  
AROUND AXIAL-SYMMETRIC COMPACT OBJECTS  
IN ALTERNATIVE THEORY OF GRAVITY**

**01.03.01 - Astronomy**

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

**Tashkent – 2021**

**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 № B2018.2.PhD/FM240.**

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at the Astronomical Institute 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.astrin.uz](http://www.astrin.uz) and on the website of “Ziyonet” information and educational portal at [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Scientific consultant:** **Ahmedov Bobomurat Juraevich**  
doctor of sciences in physics and mathematics, professor

**Official opponents:** **Axunov Talat Akhmatovich**  
doctor of physical and mathematical sciences

**Tursunov Ergash Maxkamovich**  
doctor of physical and mathematical sciences

**Leading organization:** **Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan**

The defense of the dissertation will be held on “\_\_\_<sup>th</sup>\_\_\_\_\_” 2021 at \_\_\_\_\_ in the meeting of the Scientific Council No. DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 at the Astronomical Institute (Address: UBAl, 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. ph.: (+99871) 2358102; fax: (+99871) 2344867; e-mail: [info@astrin.uz](mailto:info@astrin.uz)).

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through at the Information Resource Center of the Astronomical Institute (registered under No. \_\_\_\_). Address: UBAl, 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. ph.: (+99871) 2358102.

The Abstract of dissertation was distributed on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2021.  
(Registry record No. \_\_\_ dated “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2021.)

**Sh.A. Ehgamberdiyev**  
Chairman of the Scientific Council  
on Award of Scientific Degrees,  
D.Ph.-M.S., Professor, academician

**I.A. Ibragimov**  
Scientific Secretary of Scientific Council  
on Award of Scientific Degrees,  
C.Ph.-M.S., senior researcher

**S. P. Ilyasov**  
Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific  
Council on Award of Scientific Degrees,  
D.Ph.-M.S., senior researcher

## INTRODUCTION (Annotation of PhD dissertation)

**Topicality and demand of the theme of dissertation.** More recently, new evidence coming from observed astronomy has showed a quite unexpected picture of the universe. Our latest data sets coming from different sources, such as the cosmic microwave background radiation and supernovae surveys, seem to indicate that the total energy density of the universe is the following: 4% ordinary baryonic matter, 23% dark matter, and 73% dark energy. The term “dark matter” refers to an unknown form of matter, which has the clustering properties of ordinary matter but has not yet been detected in the laboratory. Its gravitational effects are necessary to explain the rotation of galaxies, the motions of clusters, and the largest scale-structure in the entire Universe. The term “dark energy” is reserved for an unknown form of energy, which not only has not been detected directly but also does not cluster as ordinary matter does. Due to its dominance over ordinary matter at present times, the universe is expanding with acceleration. These fundamental questions the nature of dark matter and dark energy is unknown, despite the huge number of different models in the literature. These phenomena are usually explained by alternative theories of gravitation, including with the modification of Einstein's gravity. These objectives justify the topicality of the global level of scientific research.

The current dissertation work is the original investigation of the geometric optics, as deflection of the light rays, and rotation of the polarization vector in the gravitational field of black hole, shadow of black hole, electromagnetic field and relativistic astrophysical processes around compact objects and obtain constraints on different gravity models is now one of the most important tasks in modern relativistic astrophysics. For example in 2019 for the first time real image of the shadow of a black hole in the center of the galaxy Messier 87 was made by The Event Horizon Telescope. Itself, The Event Horizon Telescope is an international collaboration involving about 200 astronomers from 20 countries. To obtain a shadow of the black hole, scientists used a special method of observing astronomical objects - very long baseline radio interferometry (VLBI). The principle of the method is that eight radio telescopes in six different points of the globe observe the same object at the same frequency.

During the years of independence of our country, the science has been developed by providing theoretical and experimental investigations on gravitational theory and astrophysics to solve fundamental problems in the world, and defined results have been reached. Theoretical and observational studies of the electromagnetic fields of compact objects, particularly properties of the gravity in different models through the application of fundamental investigations in the area of relativistic astrophysics of compact objects has significant meaning in the Strategy of Actions on Further Development of Uzbekistan for 2017-2021, put forward by the President.

This research corresponds to the tasks stipulated in governmental regulatory documents and Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No.PD-4512 “On works of further development of alternative energy sources” of 1 March 2013,



Resolution No.PR-2789 “On measures of further improvement of the activities of the Academy of Sciences, organization, management and financing of scientific research works” of 17 February 2017, and Decree No.PD-4947 “On the Strategy of Actions on Further Development of the Republic of Uzbekistan” of 7 February 2017 and others.

**Relevance of the research to the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan.**

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

**Degree of study the problem.**

Number of scientists of the world, for example German scientists (V. Enolskii, B. Hartmann, V. Kagramanova, J. Kunz, C. Laemmerzahl), Indian scientists (P. Sirimachan, N. Dadhich, A. Buchdahl), Italian scientists (S. Capozziello, L. Rezzolla, L. Modesto, D. Malafarina), Russian scientists (R. A. Konoplya, A. Zhidenko, A. Zakharov, D. Galtsov), Czech scientists (Z. Stuchlik, M. Kolos, J. Schee, J. Kovar), Uzbek scientists (B. Ahmedov, A. Abdujabbarov, V. Morozova, A. Mamadjanov) and others have done huge number of theoretical and observational investigations to study the relativistic processes around compact objects in alternative theories of gravity.

The particle motion and energetic processes around rotating black hole in Horava gravity model have been studied by such Uzbek scientists B.J. Ahmedov, A.I. Mamadjanov, A.A. Abdujabbarov and others. The methodology of study the electromagnetic field structure and charged particle motion around compact objects and formalism describing the energetic processes around rotating black holes in modified gravity models have been created by the scientists of Ulugh Beg Astronomical Institute (Uzbekistan), Institute of Nuclear Physics (Uzbekistan), Fudan University (China), Frankfurt University, Centre for Applied Space Technology, Microgravity and the Oldenburg University (Germany), Silesian University in Opava (Czech Republic), Delhi Central University (India).

Taking into account the current status of the problem, we tried to study the relativistic processes and electromagnetic field around compact objects in alternative theories of gravity. Comparison of these results with observation data may give useful tool to test the modified theories of gravity and obtain some constraints.

**Connection of the topic of dissertation with the scientific researches of the higher educational institutions, where the dissertation was conducted.** The PhD dissertation work was carried out in the framework of the scientific projects of the Astronomical Institute and Institute of Nuclear Physics: FE2-FA-F134 "The particles motion and electromagnetic fields in the vicinity of relativistic stars and black holes in the alternative theories of gravity" (2012-2013); EF2-FA-0-12477 "Motion of particles with spin and propagation of electromagnetic waves in the vicinity of compact gravitational objects" (2014-2015);

**The aim of the research** is the development of description of relativistic and astrophysical processes in the vicinity of compact objects in alternative theories of gravity.

**The tasks of the research:**

to study geometric optics as well as deflection angle of light, change of the polarization vector of light rays propagating near the black hole and the magnification of brightness of the source star within plasma in conformal Weyl gravity;

to study the shadow of black hole in the presence of plasma in Weyl gravity;

to study the electromagnetic field and the charged particles motion in the vicinity of black hole in Horava gravity;

to study interference effects in conformal Weyl gravity.

**The objects of the research** are the black holes, naked singularities and relativistic stars.

**The subjects of the research** are geometric optics as deflection angle and rotation of polarization vector of light rays in the gravitational field of black hole, magnification of the image of the star and the shadow of black hole in the medium; charged particle motions around black hole immersed in the uniform magnetic field; interference in the gravitational field of the compact object.

**The methods of the research.** The research methods are theoretical field in general relativity and metric affine differential geometry, analytical and numerical methods for solving differential equations of motion for particles and fields.

**The scientific novelty of the research** is the follows:

it was obtained that the expression for the deflection angle of the light in a vacuum is modified due to the effect of  $g$  responsible for the Weyl correction to the gravity;

it was shown that the plasma surrounding the black hole in Weyl gravity effects to the deflection angle;

it was shown that the magnification of image source due to gravitational lensing around black hole in Weyl gravity in the presence of plasma environment almost the same that if it was in the Schwarzschild case;

it was shown that the size of shadow of the black hole in Weyl gravity in the presence of homogeneous plasma than it is in Schwarzschild case;

it was shown that the phase shift of the interfering particle in neutron interferometer includes the potential terms with the Weyl parameter of the conformal fourth-order theory;

it was shown that for the photon traveling parallel to the symmetry axes from the equatorial plane to infinity, the rotation of the polarization plane depends on the Weyl parameter  $g$  on the contrary to the Kerr spacetime where there is no rotation of polarization plane for this case.

**Practical results of the research** consist of the following:

The obtained analytical expressions for the deflection angle showed that it depends on i) the frequency of the electromagnetic wave, due to the dispersion

properties of the plasma; ii) the gravitational mass; and iii)  $g$  Weyl parameter of the theory.

Comparison of the observational data of blazar 3C 273 with our theoretical ones will help to obtain the rough estimation of the upper limit for the Weyl parameter as  $g < 10^{-21} \text{ cm}^{-1}$ . It was presented the alternate approach of Sagnac effect based on the anisotropy of the coordinate speed of light in the fourth-order theory of conformal Weyl spacetime.

It was obtained the exact analytical expression for the minimal radius of the circular orbits depending on Kehagias-Sfetsos parameter for the test particle around spherical symmetric black hole in Horava gravity. It was also obtained the numerical values of the critical values of the particle's angular momentum for captured particles by a black hole in Horava gravity. Comparison of the obtained numerical results with observational data for innermost stable circular orbits allowed obtain the lower limit for the coupling parameter of Kehagias-Sfetsos solution as  $\omega > 3.6 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^{-2}$ .

It was obtained upper limit for the Weyl parameter as  $g < 10^{-20} \text{ cm}^{-1}$  from the comparison of the measurement of the gravitational redshift by the interferometer in the gravitational field of the earth with our theoretical prediction.

**Reliability of the research results** is provided by using a developing assumption of the fundamental laws of physics. The general theory of relativity applied by the generally recognized laws of gravity is included in the alternative theories of gravity as one of the limits; careful comparison of a consistency of the obtained results with astronomical data and results of other authors is performed; conclusions are well consistent with the main provisions of the relativistic astrophysics of compact objects.

**Scientific and practical significance of the research results.** The scientific significance of the research results is determined by the ability of the developed description of relativistic and astrophysical processes in the vicinity of compact objects to obtain the constraints and limitations on different modified gravity theories and alternative models. The comparison of the inner edge of the accretion disc using X-ray data from some candidates for the black hole with the theoretical results obtained using the description presented in the dissertation could give possibility to get the limitations on different parameters of alternative theories of gravity.

**Implementaton of the research results.** The results of the dissertation on magnetic field structure and innermost stable circular orbits in alternative theories of gravity was used by international journals (Physical Review D 2017, Astrophysical Space Sciences 2017, International Journal of Modern Physics D 2017, General Relativity and Gravitation 2015) to compare the results in general relativity and modified theories of gravity. The usage of the obtained results of this dissertation allowed to obtain the better constraint and limitations on different gravity models.

The gravitational lensing and energetic processes in modified gravity models was used by international journals (Physical Review D 2017, Astrophysical Space

Sciences 2017, European Physical Journal C 2017, Modern Physics Letters A 2017, Physics Scripta 2017) to compare with the results in other theories of gravity and observational data.

**Testing the research results.** The research results were reported and tested at 20 international and local scientific conferences.

**Publication of the research results.** On the theme of dissertation 33 scientific works were published, including 7 scientific papers scientific papers in international scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing basic scientific results of PhD dissertations.

**Volume and structure of the dissertation.** The PhD dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, Appendix and a bibliography. The size of the dissertation is 87 pages.

## THE MAIN CONTENTS OF THE DISSERTATION

**In the introduction** the topicality and relevance of the dissertation theme were justified, the aims and objectives were formulated, the scientific novelty and the practical results of the study were set out, the reliability of the obtained results was proved and their theoretical and practical significance were disclosed, a summary of the application of the research results and the structure of the dissertation were given.

The first chapter of the thesis entitled “**Extended Theories of Gravity**” is devoted to give short review for the theories of gravity studied in the dissertation. Alternative theories of gravity are called gravity theories that exist as alternatives to the general theory of relativity (GR) or substantially (quantitatively or fundamentally) modify it. GR is well confirmed on the scale of the solar system. Testing the theory on a larger or smaller scale is much more difficult. General relativity, like any other theory, is just a model for describing real phenomena. Therefore, the real nature may coincide with the predictions of general relativity on the scale of planetary systems, but differ on other scales.

The Horava gravity is one of the variants of vector-tensor theories of gravity and, perhaps, one of the most popular at the moment. The theory was proposed in 2009 by an American string theorist of Czech origin Peter Horava. This theory is a non-relativistic power-counting renormalizable theory with dynamical critical exponent equal to  $z = 3$  in the UV (Ultra-Violet) in four dimensions, which admits the Lifshitz scale-invariance in time and space that reduces to Einstein's general relativity at large scales.

The IR-modified Horava asymptotically flat solution for the spacetime metric outside the gravitating spherical symmetric object was obtained by Kehagias and Sfetsos (KS) as

$$ds^2 = -N^2 c^2 dt^2 + N^{-2} dr^2 + r^2 dq^2 + r^2 \sin^2 q dj^2, \quad (1)$$

$$N^2 = f_{\text{KS}}(r) = 1 + \omega r^2 - \omega r^2 \sqrt{1 + \frac{4M}{\omega r^3}},$$

where  $\omega$  is the KS parameter and the constant  $\Lambda_w = 0$  is chosen.

The discovery of unexpected rotation curves for galaxies and angular fluctuations in the cosmic microwave background (CMB) spectrum among other astrophysical observations as spectrum of type Ia supernovae provide evidence for "missing matter". Could there be more mass in the universe than we are aware of, or is the theory of gravity itself unsatisfactory? The consensus now is that the missing mass is new form of matter, which could be detected only by its gravity. However that agreement has been only reached after trying alternatives to general relativity. Among many other alternative theories of gravity, the theory of conformal Weyl gravity is a possible solution to current cosmological puzzle. As an alternative to the Einstein-Hilbert gravitational action, Weyl demanded that the Einstein theory of general relativity should be invariant with respect to the similar conformal transformation as

$$g_{mn}(\mathbf{x}) \rightarrow W^2(\mathbf{x})g_{mn}(\mathbf{x}), \quad (2)$$

where  $W(\mathbf{x})$  is a scalar function of spacetime coordinates. The vacuum solution of static spherically symmetric source for conformal Weyl gravity is given by the spacetime metric

$$ds^2 = -B(r)dt^2 + \frac{dr^2}{B(r)} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2), \quad (3)$$

where

$$B(r) = 1 - \frac{\beta(2 - 3\beta\gamma)}{r} - 3\beta\gamma + \gamma r - kr^2, \quad (4)$$

And  $\beta, \gamma, k$  are integration constants and defined as follows:  $\beta = GM/c^2$  (cm) is geometrized mass, where  $M$  is the mass of the (spherically symmetric) source and  $G$  is the universal Newtonian gravitational constant; and others  $\gamma$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) and  $k$  ( $\text{cm}^{-2}$ ), are required by conformal gravity. The theory comes to the standard Schwarzschild solution ( $\gamma = 0 = k$ ), and to the Schwarzschild-de Sitter ( $\gamma = 0$ ), as well as the term  $-kr^2$ , means a background De Sitter space-time, which is important only over cosmological distances, while  $k$  has a very small value, the term  $r$  becomes significant over galactic distance scales.

Recent cosmological observations show that the tensor structure of gravity underlying General Theory of Relativity should be changed. In theories that is supposed to extend gravitational field theory, in addition to the Newtonian inverse-square law, a new long-range forces may appear. Note that on the large scales, such as galactic and cosmological, the GR has not yet been subjected to serious checks. However, there are some facts that the observations confirming the presence of dark matter and dark energy, constitutes the failure of GR at large distances, at low accelerations or small curvature

The second chapter of the thesis entitled “**Geometric optics in Conformal Weyl Gravity**” is devoted to study gravitational lensing in the vicinity of a massive object described by conformal Weyl gravity surrounded by a plasma. In this chapter there have been studied rotation of polarization vector of the light near the compact object, shadow of black hole and synchronization of clocks as interpretation of Sagnac effect as well in conformal Weyl gravity.

Here we assume that the gravitational field is weak and the space-time is asymptotically flat, mathematically it means

$$\begin{aligned} g_{\alpha\beta} &= \eta_{\alpha\beta} + h_{\alpha\beta}, \quad \eta_{\alpha\beta} = (-1, 1, 1, 1), \\ h_{\alpha\beta} &\ll 1, \quad h_{\alpha\beta} \rightarrow 0 \quad \text{under} \quad x^i \rightarrow \infty, \end{aligned} \quad (5)$$

where  $g_{\alpha\beta}$  is the metric tensor of the  $ds^2 = g_{\alpha\beta}dx^\alpha dx^\beta$  space-time metric,  $h_{\alpha\beta}$  is the flat space metric  $(-1, 1, 1, 1)$  and is a small perturbation. In the book of Synge one can find that the trajectories of photons in the gravitational field with the plasma can in the following form

$$W(x^\alpha, p_\alpha) = \frac{1}{2} \left[ g^{\alpha\beta} p_\alpha p_\beta - (n^2 - 1) (p_\alpha V^\alpha)^2 \right] = 0. \quad (6)$$

here  $p^\alpha$  is the photon momentum,  $V^\alpha$  is the 4-velocity of the medium and  $n$  is the refractive index of the medium. Here a static inhomogeneous plasma with a refractive index  $n$  depends on  $x^i$  and  $\omega(x^i)$  as

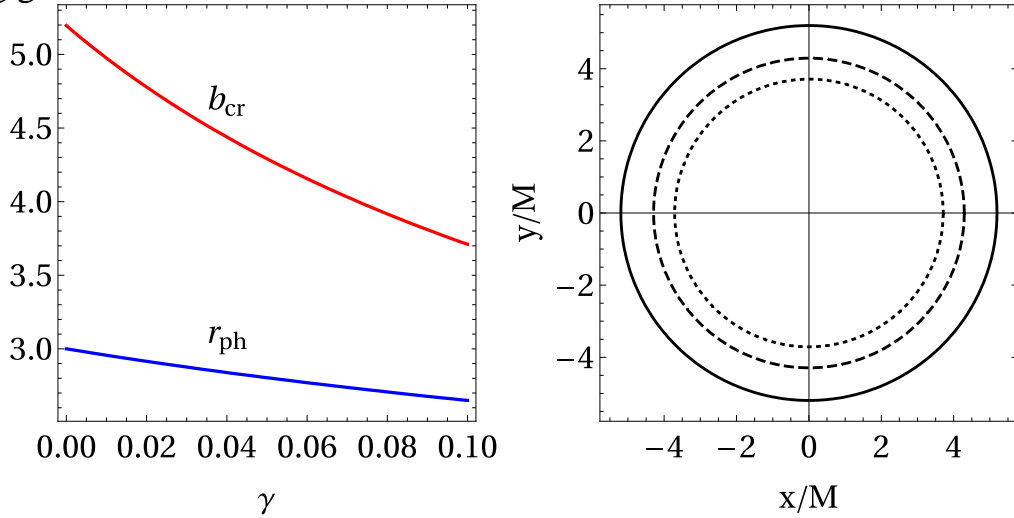
$$n^2 = 1 - \frac{\omega_e^2}{\omega^2(x^i)}, \quad \omega_e^2 = \frac{4\pi e^2 N}{m} \equiv K_e N, \quad (7)$$

where  $N = N(x^i)$  is the electron concentration in an inhomogeneous plasma,  $e$  is the charge of the electron,  $m$  is the electron mass,  $\omega_e$  is the electron plasma frequency in this plasma. We denote the following notations for the values at infinity as  $\omega(\infty) = \omega$ ,  $\omega_e(\infty) = \omega_0$ ,  $n(\infty) = \sqrt{1 - \omega_0^2/\omega^2} = n_0$ .

Here we consider that the plasma is located in the particular vicinity of black hole and it does not exist at infinity, we have found the expression for the deflection angle in Weyl gravity in the following form:

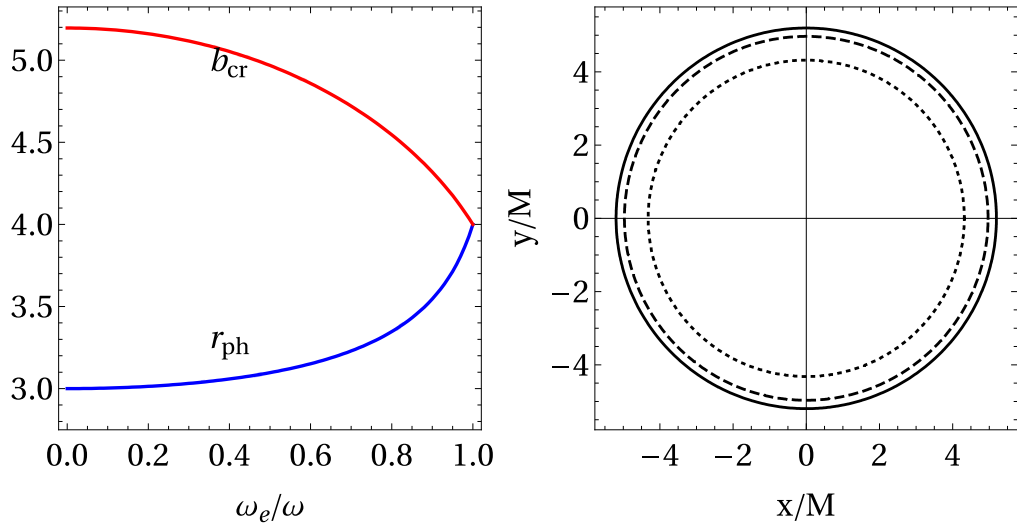
$$\hat{\alpha}_w^{\text{pl}} = \frac{2\beta}{b} \left( 1 + \frac{1}{1 - \omega_0^2/\omega^2} \right) + \gamma b \left[ 1 - \frac{\omega_0^2/\omega^2}{1 - \omega_0^2/\omega^2} \ln b \right]. \quad (8)$$

However, it is also interesting to study photon motion in the strong gravitational regime. That's why in this chapter we studied motion of photon in the strong gravitational field.



**Figure 1**

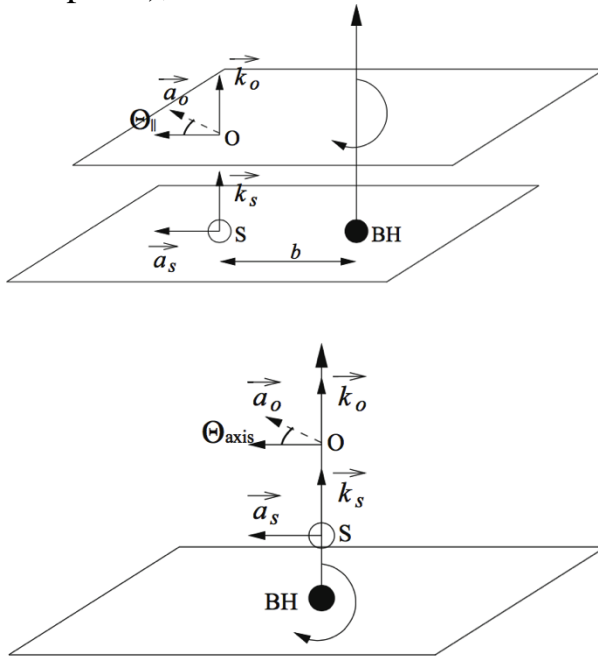
(Left panel) Dependence of the photonsphere radius and the critical value of the impact parameter of the photon from the  $g$  parameter. (Right panel) Capture cross section of the photon by the black hole is represented for different values of the gamma parameter: The solid line is responsible for  $g = 0$ , the dashed line for  $g = 0.05$  and dotted line for  $g = 0.1$ .



**Figure 2**

Here considered the dependence of the impact parameter of photon and the radius of photon sphere from the frequency  $\omega_e/\omega$  (the index of refraction  $n$ ) of the homogeneous plasma. The solid line is responsible for  $\omega_e/\omega = 0$ , the dashed line for  $\omega_e/\omega = 0.5$  and dotted line for  $\omega_e/\omega = 0.9$ , respectively. Note that here the Weyl parameter to be taken as  $gM \gg 10^{-10}$ .

We have investigated effect of geometric optics as the rotation of polarization vector of light in space-time of gravitational compact object in conformal Weyl gravity. In the first case let the source be on the equatorial plane, and the observer is on the plane with  $q < p/2$  (see Fig.3, top panel). In the second case (see Fig.3, bottom panel), when the source and the observer are in the symmetry axis.



**Fig. 3** At top, the source and the observer are at distance  $b$  from the symmetry axis. At bottom, both source and observer are in the symmetry axis.

The third chapter of the thesis entitled “**Particles and fields around black holes in Horava gravity**” is devoted to study motions of a charged test particle



around a black hole immersed in an external magnetic field in Horava – Lifshitz gravity.

The static and spherical symmetric spacetime metric of the black hole with mass  $M$  in Horava-Lifshitz gravity takes form (6). A Killing vector  $\xi^\mu$ , being an infinitesimal generator of an isometry, satisfies to the Maxwell equations as

$$F^{\alpha\beta}{}_{;\beta} = -2C_0(\xi^{\alpha;\beta}{}_{;\beta} - \eta^\alpha) = 0, \quad (9)$$

Where  $\eta^\alpha = \{0, 0, 0, 6M^2/\omega r^3\}$  is just the first order approximation in  $\omega^{-1}$  of the relation  $R^\alpha{}_\gamma \xi^\gamma$ . One can express the electromagnetic potential as a sum of two contributions  $A^\alpha = \tilde{A}^\alpha + a^\alpha$ , where  $\tilde{A}^\alpha$  is the potential being proportional to the Killing vectors. The second part  $a^\alpha$  of the total vector potential of the electromagnetic field is produced by the presence of the KS parameter  $\omega$  and has the following solution:  $a^\alpha = B/2\{0, 0, 0, 3M^2/10\omega r^4\}$ . Finally, the 4-vector potential  $A_\alpha$  of the electromagnetic field will take a form

$$A_0 = A_1 = A_2 = 0, \quad A_3 = \frac{1}{2} B \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \left( 1 + \frac{3M^2}{10\omega r^4} \right). \quad (10)$$

The orthonormal components of the electromagnetic fields measured by a fixed observer with the fourvelocity components  $(u^\alpha)_{\text{obs}} \equiv \exp(-\Phi)\{1, 0, 0, 0\}$ ;  $(u_\alpha)_{\text{obs}} \equiv -\exp(\Phi)\{1, 0, 0, 0\}$  are given by expressions

$$B^{\hat{r}} = B \left( 1 + \frac{3M^2}{10\omega r^4} \right) \cos \theta, \quad B^{\hat{\theta}} = e^{\Phi(r)} B \left( 1 - \frac{6M^2}{10\omega r^4} \right) \sin \theta, \quad (11)$$

which depends on the lapse function of the metric (6).

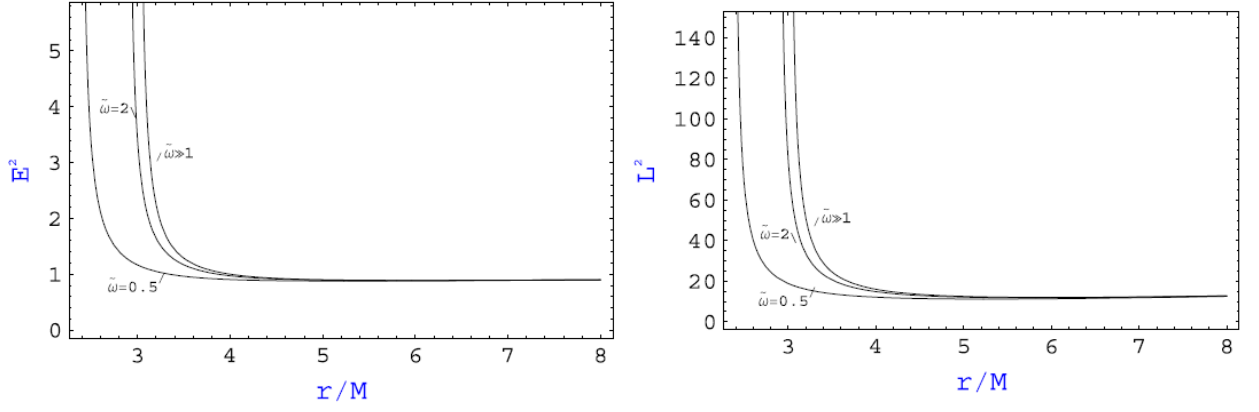
We shall study the motion of the charged test particles around a black hole in Horava-Lifshitz gravity using the Hamilton-Jacobi equation

$$g^{\mu\nu} \left( \frac{\partial S}{\partial x^\mu} + eA_\mu \right) \left( \frac{\partial S}{\partial x^\nu} + eA_\nu \right) = -m^2, \quad (12)$$

where  $e$  and  $m$  are the charge and the mass of a test particle, respectively. Since  $t$  and  $\varphi$  are the Killing variables, one can write the action in the form

$$S = -Et + L\phi + S_{r\phi}(r, \phi), \quad (13)$$

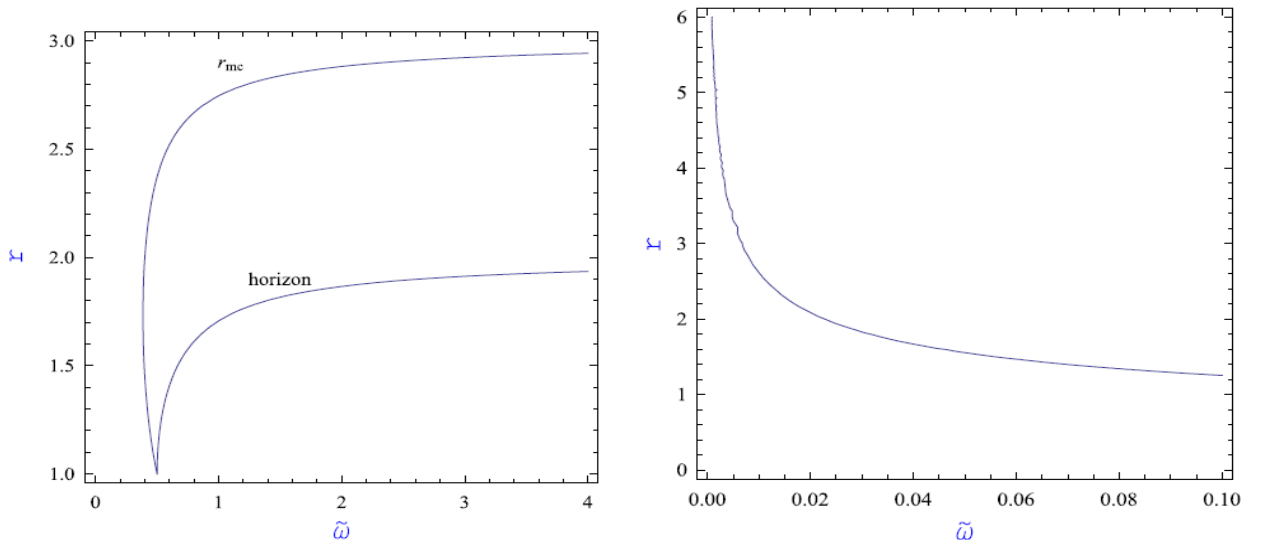
where the conserved quantities  $E$  and  $L$  are the energy and the angular momentum of a test particle at infinity.



**Fig. 4.** Radial dependence of energy (left graph) and angular momentum (right graph) of the circular orbits around a black hole in Horava-Lifshitz gravity for the different values of the dimensionless parameter  $\tilde{\omega}$ . For comparison, we have also plotted this dependence in the case of the Schwarzschild black hole, corresponding to  $\tilde{\omega} \gg 1$ .

Fig. 4 shows the radial dependence of the both the energy and the angular momenta of the particle moving on the circular orbits in the equatorial plane. One can easily see that circular orbits corresponding to constant value of the energy and momentum of the test particle shift to the central object with the decreasing of the parameter  $\tilde{\omega}$ .

In Fig. 5, the dependence of both radii of the horizon and  $r_{mc}$  from the dimensionless parameter  $\tilde{\omega}$  are shown. In the case of  $\omega \geq 2\sqrt{3}/9$ , the decreasing of the KS parameter  $\tilde{\omega}$  forces the minimum radii of the circular orbits  $r_{mc}$  to shift to the central object. In the case of  $\omega < 2\sqrt{3}/9$ , there is no lower limit for  $r_{mc}$ , which means that circular orbits can be present near the black hole. From figure one can see that in presence of the parameter ISCO shifts to the central black hole. One can easily compare the obtained numerical results with observational data for ISCO radius for some candidates of rotating black holes. One can obtain the lower value for the parameter as  $\omega @ 3.6 \times 10^{-24} \text{cm}^{-2}$ .



**Fig. 5.** Dependence of the radius of the horizon (left graph) and the ISCO radius (right graph) from the dimensionless parameter  $\tilde{\omega}$ .

The fourth chapter of the thesis entitled as “**Interference Effects in Weyl Gravity**”.

The pioneer work of observing the quantum-mechanical phase shift of neutron beams caused by the interaction with Earth's gravitational field has been done by Overhauser and Colella. After that, there were found other effects, associated with the phase shift of interfering particles. Among them the effects due to the rotation of the Earth, which is the quantum mechanical analog of the Sagnac effect, and the Lense-Thirring effect which is a general relativistic one due to the dragging of the reference frames.

In this chapter we study quantum interference effects in particular the phase shift effect and Sagnac effect in a neutron interferometer in conformal Weyl gravity model. We assume that the external gravitational field of gravitating object in conformal gravity is described by the rotating metric, and here we use the Klein-Gordon equation

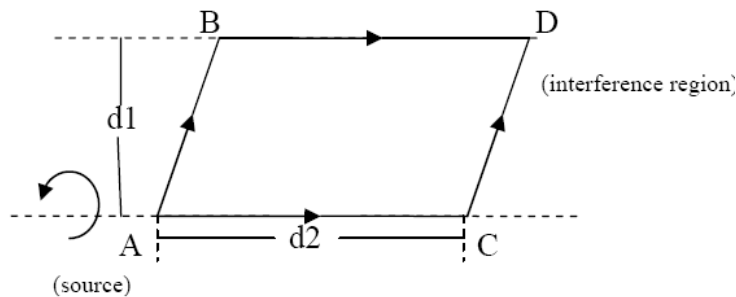
$$\nabla^\mu \nabla_\mu \Phi - (mc/\hbar)^2 \Phi = 0, \quad \Phi = \Psi \exp\left(-i \frac{mc^2}{\hbar} t\right). \quad (14)$$

Neglecting the terms of  $O((g/c)^2)$ , one can find phase shifts as

$$\beta_{Sagnac} \approx \frac{2m\mathbf{\Omega} \cdot \mathbf{S}}{\hbar}, \quad (15)$$

$$\beta_{Wdrag} \approx \frac{2Gm}{\hbar c^2 R^3} \mathbf{J} \left[ \mathbf{S} - 3 \left( \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{S}}{R} \right) \frac{\mathbf{R}}{R} \right] - \frac{m\gamma}{M\hbar R} \mathbf{J} \left[ \mathbf{S} - \left( \frac{\mathbf{R} \cdot \mathbf{S}}{R} \right) \frac{\mathbf{R}}{R} \right], \quad (16)$$

$$\beta_{Wgrav} = \beta_{ABD} - \beta_{ACD} \cong -\frac{1}{\hbar} \int H dt = \frac{m^2 g S \lambda}{2\pi \hbar^2} \left( 1 + \frac{c^2}{2g} \right). \quad (17)$$



**Figure 6.**

Despite here we studied the neutron interferometry, neglecting the structure properties we can get rough constraint on  $g$  parameter. For this purpose we will

use the error of the measurement of the phase shift in the experiment H. Muller (Mullet et al, Nature 463, 926 (2010)) being equal to  $\approx 1\%$ . Supposing that the correction due to Weyl gravity lies in the error bar one can easily find the rough estimation of the upper limit of the Weyl parameter. Comparison the experimental results of Muller with our theoretical ones will help to obtain rough estimation of the upper limit for the Weyl parameter as  $g \leq 2 \cdot 10^{-20} \text{cm}^{-1}$ .

## CONCLUSION

According to the results of the research carried out on the theme of the doctoral dissertation “Relativistic astrophysical processes around axial-symmetric compact objects in alternative theory of gravity”, the following conclusions are presented:

1. for the first time, the effects of geometric optics, such as the deflection and rotation of the polarization vector of light near a gravitational lensing object, were investigated in Weyl gravity;
2. it is shown that the angle of deflection of light depends on standard parameters such as wave frequency, black hole mass, as well as on the parameters of the selected gravitational models. It is shown that the parameter of the gravitational model practically does not contribute to the image amplification factor;
3. it is shown that the presence of plasma increases the radius of the photosphere, which causes a decrease in the impact parameter, and the silhouette of a black hole;
4. for the first time, it was obtained the upper limit for the Weyl parameter as  $g \leq 2 \cdot 10^{-21} \text{cm}^{-1}$  from the comparison the theoretical results for the polarization angle with observational data;
5. for the first time it was obtained the exact analytic expression for the minimal radius of the circular orbits depending on Kehagias-Sfetsos parameter for the test particle around spherical symmetric black hole in Horava gravity. It was also obtained the numerical values of the critical values of the particle's angular momentum for captured particles by a black hole in Horava gravity. Comparison of the obtained numerical results with observational data for innermost stable circular orbits first time it was obtained the lower limit for the coupling parameter of Kehagias-Sfetsos solution as  $\omega \simeq 3.6 \times 10^{-24} \text{cm}^{-2}$ ;
6. for the first time it was shown that using experimental results which was set on the Earth as central body on the precise measurement of the gravitational redshift by the interference of matter estimated lower limit for parameter  $g$  as  $g \leq 2 \cdot 10^{-20} \text{cm}^{-1}$ . It was presented the alternate approach for the explanation of Sagnac effect based on the anisotropy of the coordinate speed of light in the fourth-order theory of conformal Weyl spacetime.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

**I бўлим (part I; I часть)**

1. Abdujabbarov A.A., Hakimov A.A., Turimov B.V., Tursunov A., Effect of geometric optics in conformal Weyl gravity // *Arabian Journal of Mathematics*. – Springer (Germany), 2019. – Vol. 8, – pp. 259-267 (№ 1. Web of Science: IF=0.143).

2. Turimov B.V., Ahmedov B.J., Hakimov A.A., Stationary electromagnetic fields of slowly rotating relativistic magnetized star in the braneworld // *Physical Review D*. – American Physical Society (USA), 2017. – Vol. 96, - id. 104001. (№ 1. Web of Science: IF=4.568).

3. Hakimov A.A., B. Narzilloev, Abdujabbarov A.A., Quantum Interference Effects in Conformal Weyl Gravity // *International Journal of Modern Physics A*. – World Scientific (Singapore), 2017. – Vol. 32, No. 19-20, - id. 1750116 --12pp. (№ 1. Web of Science: IF=1.597)

4. Hakimov A.A., Atamurotov F.S., Gravitational lensing by a non-Schwarzschild black hole in a plasma // *Astrophysics and Space Science*. – Berlin Heidelberg: Springer (Germany), 2016. – Vol. 361, - id. 112, - 7p. (№ 1. Web of Science: IF=1.622).

5. Hakimov A.A., Atamurotov F.S., Shaymatov S.R., Particle acceleration in naked singularities on the background of the Kerr–Taub–NUT spacetime // *Uzbek Journal of Physics*, 2014. – Vol.16, № 2, -pp.178-186 (01.00.00. № 5).

6. Hakimov A.A., Ahmedov B.J., Abdujabbarov A.A., Magnetic fields of spherical compact stars in modified theories of gravity: f(R) type gravity and Hořava-Lifshitz gravity // *Physical Review D*. – American Physical Society (USA), 2013. – Vol. 88, - Issue 2, - id. 024008. (№ 1. Web of Science: IF=4.568).

7. Abdujabbarov A.A., Ahmedov B.J., Hakimov A.A., Particle motion around black hole in Hořava-Lifshitz gravity // *Physical Review D*. – American Physical Society (USA), 2011. – Vol. 83, Issue 4, id. 044053. (№ 1. Web of Science: IF=4.568).

8. Hakimov A.A., Turimov B.T., Tojiev S.R., Quantum Interference Effects in Spacetime of Slowly Rotating Compact Objects in Hořavav – Lifshitz gravity // *Modern Physics Letters A*. –Word Scientific (Singapore), 2010. – Vol.25, No37, P. 3115-3127. (№ 1. Web of Science: IF=1.165).

9. Abdujabbarov A.A., Hakimov A.A., Rahimov O.G., // Test particle motion around black hole in braneworld, *Uzbek Journal of Physics*, 2010. – Vol. 12, № (4-6), -pp. 298-307, (01.00.00. № 5).

## II бўлим (part II; II часть)

10. Hakimov A.A., Shaymatov S.R., Particle acceleration in Kerr-Taub-NUT naked singularities // NEWS of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, №2, 294, 2014, pp. 33-38.

11. Hakimov A.A., Effect of quantum interference in the spacetime of rotating black holes on brane, // The 7<sup>th</sup> International conference ‘Modern Problems of Nuclear Physics’, 22-25 September, 2009, Tashkent, Uzbekistan, Abstract Book – P. 102-104.

12. Hakimov A.A., Abdujabbarov A.A., Magnetic fields of spherical compact stars in  $f(R)$  gravity // International conference Nuclear Science and its application, Samarkand, Uzbekistan, September 25 – 28, 2012, p. 82-84.

13. Hakimov A.A., Quantum Interference Effects in Spacetime of Slowly Rotating Compact Objects in Conformal Weyl Gravity // 12<sup>th</sup> Asia – Pacific Regional IAU Meeting (APRIM 2014), Daejeon, Korea, August 18-22, 2014. ВЗС-5-3.

14. Hakimov A.A., Abdujabbarov A.A., Magnetic fields of spherical compact stars in modified theories of gravity:  $f(R)$  type gravity and Hořava-Lifshitz gravity // 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E1.12-32-14.

15. Hakimov A.A., Abdujabbarov A.A., Magnetic fields of spherical compact stars in  $f(R)$  gravity // Материалы международной научной конференции, посвященной 75-летию академика НАН РК Абдильдина М.М. «Актуальные проблемы современной физики» г. Алматы, 15-16 марта 2013 г. с. 26.

16. Хакимов А.А., Абдужаббаров А.А., Стабильные круговые орбиты вокруг черной дыры в модели Хоравы-Лифшица // «Замонавий физика ва астрономиянинг долзарб муаммолари», Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги Қарши давлат университети, 2010 йил 21 – май. стр. 129 – 130.

17. Хакимов А.А., Возможность проверки модели Хоравы-Лифшица с помощью эффектов квантовой интерференции // III Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана “Ядерная физика и ядерные технологии”, сборник докладов, 1-2 декабря, 2010 года, Ташкент, Узбекистан, стр. 48-53.

18. Hakimov A.A., The Sagnac effect in conformal Weyl gravity // “Ulug’bek Imlari”, Мирзо Улуғбек таваллудининг 620-йилига бағишланади, Тошкент 2014, с. 149-152.

19. Hakimov A.A., Toshmatov B., Quantum interference effects in spacetime of slowly rotating compact objects in conformal Weyl gravity // IV Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана “Ядерная физика и ядерные технологии”, 2-3 декабря 2014г, Ташкент, с. 45-51.

20. Hakimov A.A., Atamurotov F.S., Amplifications of geometrical optics in conformal Weyl gravity // Сборник тезисов докладов Республиканской научно-

практической конференции молодых ученых, с. 7-8, 18-декабря, Ташкент-2014.

21. Хакимов А.А., Абдувохидов А., Движение частиц в пространстве-времени вокруг компактного объекта в модели хорава-лифшиц // Ёш олимлар илмий -амалий конференция – 2015, маъруза тезислари тўплами, с. 154-156, Тошкент 2015 йил, 22 декабрь.

22. Hakimov A.A., Urinov S., Rotation of polarization vector of electromagnetic waves propagating in spacetime of black hole in conformal Weyl gravity // Назарий ва ядро физикасининг долзарб муаммолари, Илмий конференция, 23-24 октябрь, с. 65-68, Тошкент 2015.

23. Hakimov A.A., Rakhmatov A., Raimov X., Effects of quantum interference in fourth – order conformal weyl gravity // “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни”, ИАК-VIII, Илмий-амалий конференция материаллари, с. 35-37, Тошкент 2015, 24 – 25 – апрель.

24. Hakimov A.A., Ovchinnikov D., Nazrullaev B., Deflection of light by non – Schwarzschild black hole in the presence of plasma // “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни”, ИАК-VIII, Илмий-амалий конференция материаллари, с. 32-34, Тошкент 2015, 24 – 25 – апрель.

25. Hakimov A.A., Raimov X., Rakhmatov A.S., Deflection of light by black hole surrounded with plasma in conformal weyl gravity // “Физика фани муаммолари ва унинг ривожиди истеъдодли ёшлар ўрни” – РИАК-IX, Илмий-амалий конференция мақолалари тўплами, с. 93-95, Тошкент, 2016.

26. Hakimov A.A., Rakhmatov A.S., Deflection of light by black hole in conformal Weyl gravity // Symposium proceedings IPS 2016, New trends of development fundamental and applied physics: problems, achievements and prospects, 10-11 November 2016, Tashkent, pp-124-125.

27. Hakimov A., Nazrilloev B., Juraev B., The anisotropy of the speed of light in conformal Weyl gravity // Academy of Sciences of Uzbekistan, Scientific association “Physics – Sun”, Fundamental and applied problems of physics, Proceedings of international conference, Tashkent 13 – 14 June, 2017, pp – 144 – 147.



---

Босишга рухсат этилди 23.04.2021. Қоғоз ўлчами 60x84 – 1/16  
Ҳажми 2,75 б.т. 100 нусха. Буюртма № 0074.  
ТИҚХММИ босмахонасида чоп этилди.  
Тошкент 100000, Қори-Ниёзий кўчаси 39 уй.