

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

АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ

РАЙИМБАЕВ ДЖАВЛАНБЕК РАДЖАПБАЕВИЧ

**АЙЛАНУВЧИ НЕЙТРОН ЮЛДУЗЛАРНИНГ
ЭНЕРГЕТИК ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.03.01-Астрономия

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

Тошкент – 2020

**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**

Райимбаев Джавланбек Раджапбаевич

Айланувчи нейтрон юлдузларнинг энергетик хусусиятлари -5

Rayimbaev Djavlanbek Radjapbaevich

Energetic Properties of rotating neutron stars -26

Райимбаев Джавланбек Раджапбаевич

Энергетические свойства вращающихся нейтронных звезд..... -48

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

АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ

РАЙИМБАЕВ ДЖАВЛАНБЕК РАДЖАПБАЕВИЧ

**АЙЛАНУВЧИ НЕЙТРОН ЮЛДУЗЛАРНИНГ
ЭНЕРГЕТИК ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.03.01-Астрономия

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

Тошкент – 2020

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2020.3.PhD/FM156 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Астрономия институтида бажарилган.

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

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

Расмий оппонентлар: **Абдужаббаров Ахмаджон Адилжанович,**
физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Муждабаев Исмёт Шевкетович
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етакчи 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 2020 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).

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 2020 йил « ____ » _____ куни тарқатилди.
(2020 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 диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Магнитланган нейтрон юлдузлар компакт ва массив объектлар сифатида турли гравитация назарияларини кучли гравитация майдони режимида текшириш ва ушбу назариялар параметрларига чегаравий қийматлар олиш мазкур соҳа тадқиқотчилари эътиборини тортиб келмоқда. Шу билан бирга, улар атрофидаги энергетик жараёнлар физикасини назарий тадқиқ этиш радиопульсар, аномал рентген пульсар ва такрорланувчи юмшоқ гамма-нурланиш манбалари сифатида кузатиловчи нейтрон юлдузлар энергетик хусусиятларини чуқурроқ англашга имкон беради. Бугунги кунга қадар, уч мингга яқин пульсарлар, ўттиздан ортиқ магнитарлар кузатилган бўлиб кузатув маълумотлари ўта синчковлик билан ўрганилишига қарамай, уларнинг электромагнит нурланиш механизмларини тушунтирувчи аниқ ва ягона физик модель мавжуд эмас. Маълумки, умумий нисбийлик назарияси ҳозиргача кўплаб астрофизик жараёнларда синалган бўлиб, у кузатув ва тажриба маълумотларига мос келади. Аммо, ушбу синовлар кўпчилик ҳолларда кучсиз гравитация режимида бажарилганини инобатга олсак, умумий нисбийлик назариясининг компакт гравитацион объектлар физикасини тўла тавсифлаб бериши учун етарли бўлиш ёки бўлмаслиги тўғрисидаги савол ҳали ҳануз жавобсиз қолмоқда. Шу сабабли, нейтрон юлдузлар кузатувлари орқали муқобил гравитация назарияларини текшириш ҳам релятивистик астрофизикадаги муҳим ва долзарб масалалардан биридир.

Дунёнинг етакчи тадқиқотчилари ва илмий муассасалари томонидан ушбу диссертация мавзуси бўйича бир қатор илғор кашфиётлар қилинган. Жумладан, 2018 йилда RX J0806.4-4123 ва бир неча қисман нурланувчи пульсарлар кузатувларининг инфрақизил соҳасида аномал нурланишлар мавжудлиги аниқланган. Уни бир неча йўллар орқали изоҳлаш мумкин: пульсар атрофидаги иссиқ (қайноқ) аккрецион диск, бирор номаълум туманлик, ҳ.к. Бундан ташқари, айнан шу йили кашф этилган ва биздан тақрибан 500 млн ёруғлик йили узоқликда жойлашган галактикадан келаётган FRB 180916.J0158+65 тез радиочақнаши (ТРЧ) 13 ой давомида кузатилиб, унинг даврий такрорланиши аниқланган. Яна бошқа бир такрорланувчи ТРЧ FRB 121102 эса 157 кунлик давр билан такрорланади. Бироқ, такрорланувчи ТРЧлар манбалари ва уларнинг нурланиш механизмлари физикаси ҳали ҳануз аниқ эмас, шу боис турли моделларда турлича талқин қилиниб келинмоқда. Ушбу юқорида келтирилган фактлар нейтрон юлдузлар нурланиш механизмларини турли гравитация назариялари доирасида ўрганиш релятивистик астрофизиканинг муҳим ва долзарб мавзуларидан бири эканлигидан далолат беради.

Юртимизда ҳам релятивистик компакт гравитацион объектлар бўлган нейтрон юлдузлар ва қора ўралар физикаси ҳамда уларнинг нурланиши механизмларини ўрганишга катта эътибор қаратилган. Ҳозирда республикамызда нейтрон юлдузларнинг электромагнит ва гравитацион нурланиш механизмлари, компакт объектларда гравитацион линзаланиш

эффектлари, улар атрофидаги майдонлар хоссалари ва зарралар ҳаракати ҳамда фазо-вақт геометриясининг хусусиятларига бағишланган илмий тадқиқотлар жадал олиб борилмоқда.

Ушбу диссертация иши вазифалари тасдиқланган давлат норматив ҳужжатлари, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПҚ-4947 “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш учун чора-тадбирлар стратегияси тўғрисида” фармони ва 2017 йил 18-февралдаги ПҚ-2789 сонли «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» қарори талабларига мос келади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиясининг II устувор йўналиши “Энергетика, энергия ва ресурсларни тежаш” га мувофиқ бажарилди.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.

Айланувчи магнитланган релятивистик гравитацион объектлар атрофида кучли гравитация режимида электромагнит майдонларнинг тузилиши Европа, АҚШ ва бир қатор ривожланган давлатлар олимлари томонидан ўрганилган (Дойтч, Гинзбург, Озерной, Реццолла, Абишев). Айланувчи магнитланган нейтрон юлдузлар атрофида плазма магнитосферасининг мавжудлиги илк бор Голдрайх ва Жулианлар томонидан таклиф этилган ва турли гравитация моделлари доирасида Бескин, Хардинг, Муслимов ва Циганлар томонидан умумнисбийлик эффектларни ҳисобга олган ҳолда ривожлантирилган. Магнитланган объектлар атрофида зарядланган зарралар динамикаси, эквипотенциал сиртлари Бакала, Стухлик, Колош, Эпп ва Мастеровалар томонидан тадқиқ этилган. Нейтрон юлдузлар яқин атрофи муқобил гравитация доирасида Якобсон, Элинг ва Миллерлар томонидан тадқиқ этилган. Ушбу гравитация хусусиятлари ва назарий тадқиқотлар натижасида М87 қора ўрасининг сояси, қора ўраларнинг тўқнашишидаги гравитация тўлқини қайд этилиши, қўшалок пульсарлар тизимлари ва гамма нур чакнашларидан олинган кузатув маълумотларини солиштириш асосида ушбу гравитация параметрларига чекловлар Моффат, Юнес, Яги, Цу ва Юсуфилар томонидан олинган.

Республикамізда умумнисбийлик назариясида айланувчи ва тебранувчи магнитланган нейтрон юлдузларнинг электродинамикаси Ахмедов, Туримов, Абдужаббаров, Морозова ва Абдикамаловлар томонидан тадқиқ этилган.

Аммо, магнитланган нейтрон юлдузларнинг электромагнит майдонлари учун Максвелл тенгламаларининг ечимларида, плазма магнитосферадаги энергетик жараёнларга ва пульсарлар электромагнит нурланишлари ўчиш чизиғига нейтрон юлдузнинг деформацияси таъсири инобатга олинмаган. Бундан ташқари, айланувчи магнитланган нейтрон юлдузлар атрофидаги релятивистик зарралар динамикасига ва энергетик сиртлар профилларига умумнисбийлик эффектлари инобатга олинмаган. Кузатувдаги яқкаланган нейтрон юлдузларнинг кузатув маълумотлари асосида муқобил гравитация

назарияларининг параметрлари қийматларига чегаравий қийматлар олиш усули ишлаб чиқилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Астрономия институти илмий-тадқиқотлар режасининг ФЕ2-ФА-Ф113 “Релятивистик астрофизика ва космологияда гравитацион ва электромагнит жараёнлар, қуйи хароратлардаги бозонлар тизимлари” (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 магнитланган нейтрон юлдузлар атрофидаги вакуум ва плазма магнитосферасида содир бўладиган энергетик жараёнларининг моделларини турли гравитация назариялари доирасида ривожлантириш ва уларни кузатувдаги астрофизик объектларга қўллашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

айланувчи нейтрон юлдузларнинг вакуум электромагнит майдонини деформацияланган фазо-вақтда ўрганиш;

айланувчи нейтрон юлдузларнинг плазмали магнитосферасидаги энергетик жараёнларини ўрганишни деформацияланган фазо-вақт геометриясида ривожлантириш;

айланувчи магнитланган компакт объектлар атрофидаги энергетик ва эквипотенциал сиртларни ўрганиш;

плазмали магнитосферадаги энергетик жараёнларни назарий изланишлар натижалари ва пульсарларнинг кузатув маълумотларини солиштирган ҳолда эфирдаги Эйнштейн гравитация параметрларига чекловлар олиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида магнитланган айланувчи компакт релятивистик гравитацион объектлар – нейтрон юлдузлар танланган.

Тадқиқотнинг предмети сифатида магнитланган нейтрон юлдузларнинг вакуум ва плазмали магнитосфераси, қутб шапкаси соҳадаги нурланиш механизмлари қаралган.

Тадқиқотнинг усуллари сифатида умумий нисбийлик назариясида магнитланган нейтрон юлдузлар электродинамикаси математик аппарати, ночизиқли ва чизиқли дифференциал тенгламаларни аналитик ва сонли ечиш усулларидадан фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

илк бор фазо-вақт деформациясини инобатга олган ҳолда айланувчи магнитланган нейтрон юлдуз электр ва магнит майдонлари учун Максвелл тенгламаларининг аниқ аналитик ечимлари олинган ва мусбат деформация юлдуз сиртидаги магнит майдонини кучайтириши кўрсатилган;

мусбат деформацияланган кучли магнитланган нейтрон юлдузлар қутб шапкаси соҳаси ўлчами деформация натижасида камайиши ва кузатув

натижалари билан мос равишда нейтрон юлдузларнинг кутбидаги жетингичкалашиши кўрсатилган;

деформация параметри радио пульсарларнинг нурланиш қувватини 10^9 мартагача ошириши кўрсатилди ва олинган натижа тез радио чакнашлари манбаи физикасини изоҳловчи модель сифатида таклиф этилган;

илк бор нейтрон юлдузлар атрофидаги фазо-вақтининг мусбат ва манфий деформацияланган ҳолатларида радио пульсарлар ўчиш чизиғи мос ҳолда юқорига ва пастга силжиши кўрсатилган ва олинган натижа қисман нурланувчи пульсарлар табиатини назарий тушунтирувчи физик модель сифатида таклиф этилган;

илк бор яккаланган нейтрон юлдузларнинг юқори аниқликдаги кузатув маълумотлари асосида турли гравитация моделлари параметрларига чегаравий қийматлар олишнинг янги услуби ишлаб чиқилган ва эфирдаги Эйнштейн гравитация назариясига тадбиқ қилинган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

илк бор нейтрон юлдузлар плазма магнитосфераси учун назарий натижаларни радио пульсарлардан олинган кузатув маълумотлари билан таққослаш орқали бир қатор пульсарлар ўлчамсиз деформация параметри учун қуйи чегара қийматлари топилган;

нейтрон юлдузнинг мусбат деформацияланишни натижасида магнитодиполь ва магнитосферик электромагнит нурланиш қуввати сезиларли ортиши кўрсатилган;

мусбат деформацияланган нейтрон юлдуз кутб шапкаси соҳасидаги магнит майдон куч чизиқларига параллел бўлган тезлаштирувчи электр майдон кучланганлигининг қиймати ортиши кўрсатилган;

кутб шапкаси соҳасида зарядланган зарралар тезлашишининг назарий тахлили фазо-вақтнинг мусбат деформацияси нейтрон юлдуз атрофида қўшимча гравитация эффектини ҳосил қилишини кўрсатган;

тескари Комптон сочилиши ва эгрилик нурланишлари учун ўчиш чизиғига олинган назарий натижаларни яккаланган нейтрон юлдузлар, радиопульсарлар ва такрорланувчи юмшоқ гамма нурланиш манбаларидан олинган кузатув маълумотлари билан солиштириш орқали эфирдаги Эйнштейн гравитацияси параметрлари учун чегаравий қийматлар олинган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қуйидагилар билан таъминланади: нисбийлик назариясининг замонавий усуллари ва назарий физика ҳамда юқори самарали сонли усул ва алгоритмлари қўлланилди; олинган назарий натижаларнинг кузатув маълумотлари ва бошқа муаллифларнинг натижаларига мувофиқлиги синчковлик билан текширилди; хулосалар компакт гравитацион объектлар майдон назариясининг асосий қонуниятларига яхши мос келади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти тадқиқот натижаларини нейтрон юлдузлар атрофидаги юқори энергияли жараёнлар асосида нурланиш механизмларини тушунтириш ва кузатув маълумотлари асосида муқобил гравитация назарияларини текшириш учун қўллаш мумкинлиги билан белгиланади. Фазо-вақтнинг кичик деформациясини

айланувчи нейтрон юлдузлар атрофидаги вакуумли ва плазмали магнитосферасидаги энергетик жараёнларга таъсири, ҳусусан деформация мавжудлигида нурланиш ёрқинлиги ва радио пульсарлар ўчиш чизигига оид аҳамиятли натижалар олинди ҳамда улар қисман нурланувчи пульсарлар ва такрорланувчи тез радио чакнашлари манбалари учун янги моделлар сифатида қўлланилиши мумкин. Секин айланувчи нейтрон юлдузлар атрофидаги релятивистик заррачалар динамикаси ва эквипотенциал сиртлари тадқиқ этилди, бунда олинган натижалар пульсарларнинг кузатувдаги частотавий профилларини назарий таҳлил этишда қўлланиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий этилиши

Магнитланган айланувчи нейтрон юлдузларнинг плазма магнитосферасидаги энергетик жараёнларга деформациянинг таъсирига оид олинган натижаларда таклиф этилган тез радио чакнашлари манбаи физикасини излохловчи модель тадқиқи Калифорния Давлат Университети (Калифорния Давлат Университети маълумотномаси, 27 июль 2020). Илмий натижалар қўлланилиши пульсарлар кузатув маълумотлари асосида ўзгартирилган гравитация назариялари параметрларига чегаравий қийматлар олиш имконини берган.

Қисман нурланувчи пульсарлар табиатини назарий тушунтирувчи физик моделларига Опавадаги Силезия Университети, Чехия Фанлар жамғармасининг Альберт Эйнштейн гравитация ва астрофизика маркази (Чехия) тадқиқотчилари томонидан нейтрон юлдузлар атрофида динамик жараёнларга қўлланилган (Опавадаги Силезия Университети маълумотномаси, 29 июнь, 2020). Илмий натижалар қўлланилиши муқобил гравитация назарияларини текшириш имконини берган.

Деформацияланган нейтрон юлдузлар электромагнит майдонлари ва улар атрофидаги плазма магнитосферасидаги энергетик жараёнлар бир қатор муаллифлар томонидан астрофизик ходисаларига жорий этилган (Journal of Plasma Physics (Vol.82,635820502,2016), Astrophysics and Space Science (Vol. 361, 112, 2016), Physical Review D (Vol. 98, 024022, 2018; Vol. 97, 124005, 2018; Vol. 99, 104009, 2019), Progress of Physics (Vol.67, 1900077, 2019)). Олинган натижалар нейтрон юлдузларнинг плазма магнитосферасидаги кучли гравитация режимида астрофизик жараёнларни таҳлил қилиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси Диссертация натижалари 4 та халқаро, 3 та маҳаллий конференцияларда ва бир қатор ҳорижий илмий семинарларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация натижалари бўйича 25 та илмий иш, шу жумладан ОАК рўйхатига кирувчи халқаро ва республика илмий журналларда 10 та илмий мақола chop этилди.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўрт боб, хулоса ва адабиётлар рўйхатидан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертациянинг долзарблиги ва унинг аҳамияти, ишнинг мақсад ва вазифалари ҳамда ундаги илмий ва амалий янгилиги кўрсатилиб ўтилган бўлиб, шу билан бирга олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамиятлари муҳокама этилган.

I боб “**Айланувчи магнитланган деформацияга эга релятивистик юлдузларнинг вакуум электромагнит майдонлари**” деб номланган бўлиб, у деформацияланган фазо-вақтдаги айланувчи магнитланган нейтрон юлдузларнинг электромагнит майдонлари учун Максвелл тенгламаларининг ечимларини олишга бағишланган.

Деформацияланган секин айланувчи нейтрон юлдуз ташқарисидаги фазо-вақт метрикаси қуйидагича ёзилади

$$ds^2 = (1+h) \left[-N^2 dt^2 + N^{-2} dr^2 \right] + r^2 \left[d\theta^2 + \sin^2 \theta (d\phi^2 - 2\omega(1+h) dt d\phi) \right], \quad (1)$$

бу ерда

$$N^2 = 1 - \frac{2GM}{c^2 r}, \quad r \geq R, \quad (2)$$

ҳамда M ва R лар мос ҳолда магнитланган нейтрон юлдузнинг массаси ва радиуси. $\omega = 2GaM / (c^2 r^3)$ Лензе-Тирринг (инерциял санок системаларининг судралиши) бурчак тезлиги ва $a = J / (Mc)$ нейтрон юлдузининг солиштирма бурчак моменти ва радиал деформация фунцияси $h = h(r)$ деформация параметри орқали қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$h = \epsilon \left(\frac{GM}{c^2 r} \right)^3. \quad (3)$$

Максвелл тенгламаларининг биринчи ва иккинчи жуфтлари:

$$\partial_\mu \left(\sqrt{-g} F^{\mu\nu} \right) = 4\pi \sqrt{-g} J^\nu \text{ and } \partial_\mu \left(\sqrt{-g} {}^*F^{\mu\nu} \right) = 4\pi \sqrt{-g} J^\nu, \quad (4)$$

бу ерда $F_{\alpha\beta}$ - электромагнит майдон тензори, J^α - эса тўрт ўлчамли электр токи вектори ва ${}^*F^{\mu\nu}$ - дуал электр майдон тензорининг. Максвелл тенгламаларнинг ечимини олиш учун магнит майдон ташкил этувчилари қуйидаги кўринишда олинди

$$\hat{B}^r(r, \theta, \phi, t) = F^*(r)(\cos \chi \cos \theta + \sin \chi \sin \theta \cos \phi), \quad (5)$$

$$\hat{B}^\theta(r, \theta, \phi, t) = G^*(r)(\cos \chi \sin \theta - \sin \chi \cos \theta \cos \phi), \quad (6)$$

$$\hat{B}^\phi(r, \phi, t) = H^*(r) \sin \chi \sin \phi, \quad (7)$$

$F^*(r)$, $G^*(r)$ ва $H^*(r)$ магнит майдон ташкил этувчилари учун номаълум радиал функциялар, $\phi = \varphi - \Omega t$ - вақтга боғлиқ бўлган азимутал булчак, χ - диполь магнит майдонининг айланиш ўқига нисбатан оғиш бурчаги.

(5)-(7) тенгламаларни (4) Максвелл тенгламаларига олиб бориб қўйиб номаълум радиал функциялар учун қуйидаги дифференциал тенгламалар системаси олинди

$$(r^2 F^*),_r + \frac{2r}{N} \sqrt{1+h} G^* = 0, \quad (8)$$

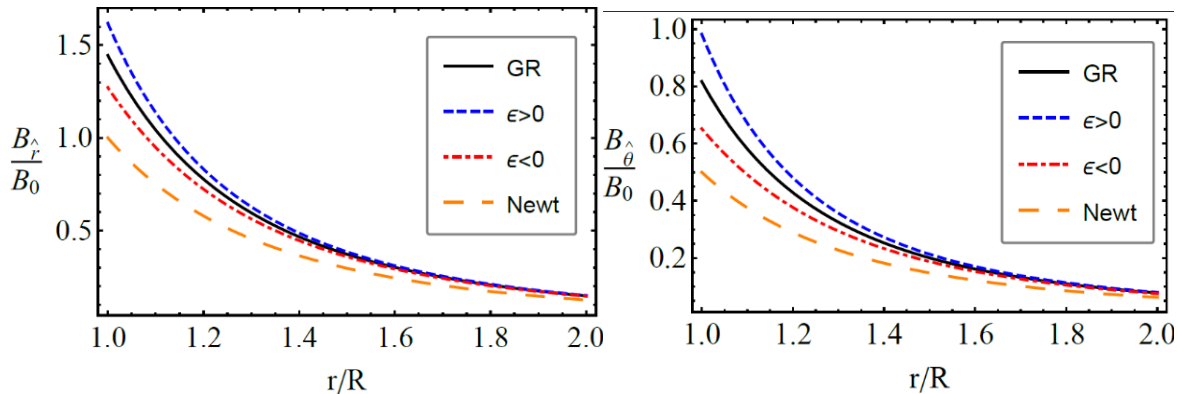
$$\left(N\sqrt{1+hH^*}\right)_{,r} + (1+h)F^* = 0, \quad (9)$$

$$H^* = G^*. \quad (10)$$

(8) ва (9) дифференциал тенгламалар системасидан $F(r)$ радиал функция учун қуйидаги иккинчи тартибли дифференциал тенглама олинди

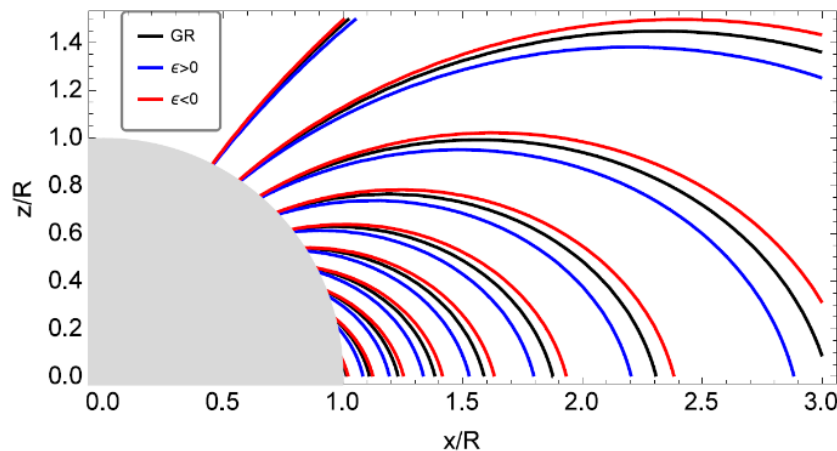
$$\left[N^2(r^2F^*)_{,r}\right]_{,r} - 2(1+h)F^* = 0. \quad (11)$$

Фазо-вақт деформациясининг магнит майдонининг радиал ва азимутал ташкил этувчиларига таъсирини кўриш учун (11) тенгламанинг ечимини (8) тенгламага олиб бориб қўйиб, G^* радиал функцияни аниқладик.



1-расм. Деформация параметрининг турли қийматлари учун магнит майдонининг кутб соҳасидаги радиал ва азимутал ташкил этувчиларининг масофага боғланиши ҳамда умумий нисбийлик назарияси ва Ньютон механикасида олинган қийматлари билан солиштиришлари.

1-расмда кўринганидек, мусбат деформация параметри магнит майдонни оширади, манфий деформация эса камайтиради. Деформациянинг ушбу таъсирини нейтрон юлдузи атрофидаги магнит куч чизиқларини тасвирлаш орқали кўрсатиш мумкин.



2-расм: Магнитланган нейтрон юлдузнинг магнит куч чизиқларининг мусбат ва манфий деформация ҳамда умумий нисбийлик назарияси доирасида тасвирланиши.

2-расмда тасвирланганидек, мусбат деформация таъсирида куч чизиқларининг умумий нисбийлик назариясида олинган натижасига нисбатан

зичроқ бўлишини кўриш мумкин, бу эса магнит майдоннинг мусбат деформация таъсирида кучайишини билдиради ва манфий деформация эса аксинча таъсир этади.

Максвел тенгламаларидан электр майдон ташкил этувчилари учун ечимларни топилди. Магнит майдон ташкил этувчиларини билган ҳолда электр майдон ташкил этувчилари учун ечимларни қуйидаги кўринишда, ўзгарувчиларни ажратиш усули орқали изланади

$$E^r(r, \theta, \varphi, t) = [f_1^*(r) + f_3^*(r)](\cos \chi(3\cos^2 \theta - 1) + 3\sin \chi \sin \theta \cos \theta \cos \phi), \quad (12)$$

$$E^\theta(r, \theta, \varphi, t) = [f_2^*(r) + f_4^*(r)](\cos \chi \sin \theta \cos \theta - \frac{1}{2} \sin \chi \cos 2\theta \cos \phi) + \frac{2r}{N}(\Omega - \omega)F^*(r) \sin \chi \cos \phi, \quad (13)$$

$$E^\varphi(r, \theta, \varphi, t) = \left\{ \frac{1}{2} [f_2^*(r) + f_4^*(r)] - \frac{2r}{N} [\Omega - \omega(r)] F^*(r) \right\} \sin \chi \cos \theta \sin \phi. \quad (14)$$

(12)-(14) ифодаларни Максвелл тенгламаларига қўйган ҳолда $f_1^*(r) - f_4^*(r)$ электр майдон ташкил этувчилари учун радиал функциялар қуйидаги кўринишдаги дифференциал тенгламалари системаси ҳосил бўлади

$$(r^2 f_1^*)_{,r} + \frac{r}{N} \sqrt{1+h} f_2^* = 0, \quad (15)$$

$$(rN \sqrt{1+h} f_2^*)_{,r} + 6(1+h) f_1^* = 0, \quad (16)$$

$$(r^2 f_3^*)_{,r} + \frac{r}{N} \sqrt{1+h} f_4^* = 0, \quad (17)$$

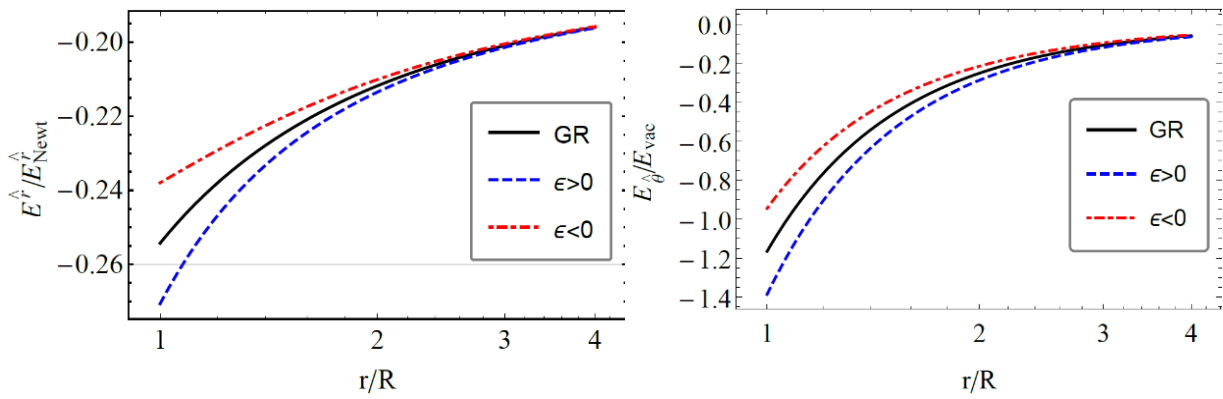
$$(rN \sqrt{1+h} f_4^*)_{,r} + 6(1+h) f_3^* = 3\omega r F^*. \quad (18)$$

Баъзи мураккаб бўлмаган алгебраик соддалаштиришлардан сўнг $f_1^*(r)$ ва $f_3^*(r)$ номаълум радиал функциялар учун иккинчи тартибли дифференциал тенгламаларга олиниб, махсус усулда ечилади

$$\left[N^2 (r^2 f_1^*)_{,r} \right]_{,r} - 6(1+h) f_1^* = 0, \quad (19)$$

$$\left[N^2 (r^2 f_3^*)_{,r} \right]_{,r} - 6(1+h) f_3^* = 3\omega r F^*. \quad (20)$$

Фазо-вақт деформациясининг электр майдон ташкил этувчиларига таъсирини (19) ва (20) дифференциал тенгламаларнинг ечимларини олиб мос ҳолда (15) ва (17) дифференциал тенгламаларга қўйгандан кейин график кўринишда тасвирлаган ҳолда кўриб чиқилди.



3-расм. Магнитланган айланувчи нейтрон юлдузнинг Ньютон механикасидаги қийматига нормаллаштирилган радиал (ўнгда) ва азимутал (чапда) электр майдон ташкил этувчиларининг масофага боғланиши келтирилган.

Электр майдон ташкил этувчиларининг ҳар икала ташкил этувчилари мусбат (манфий) деформация таъсирида ортишини (камаишини) 3-расмдан кўриш мумкин.

II боб “Деформацияланган фазо-вақтдаги нейтрон юлдузлар плазмали магнетосферасини” деб номланади ва фазо-вақт деформациясининг нейтрон юлдузлар плазма магнитосферасидаги энергетик жараёнларга таъсирини ўрганишга бағишланади.

Аслида, айланувчи магнит диполи бўлган магнитланган нейтрон юлдуз ўз сиртида электр майдонини ҳосил қилади, бу электр майдон эса ўз навбатида юлдуз сиртида индукцияланган электр зарядларини келтириб чиқаради. Бу зарядлар юлдуз атрофидаги фазога киради ва улар Лоренц кучлари туфайли тезлашади ҳамда электрон-позитрон жуфтларини пайдо қилувчи каскад жараёнини бошлайдиган юқори энергияли гамма-квантларини чиқаради. Одатда, электрон ва позитронлар жуфт-жуфт рекомбинациялар ҳосил қилади, аммо айланувчи компакт объектлар атрофида эса ҳосил бўлган мусбат ва манфий зарядлар фазонинг айланиши ва геометрик эффектлар туфайли ажралади ва шундан сўнг нейтрон юлдузи маълум бир заряд тақсимолига эга бўлган қалин электрон-позитронли плазма билан ўралади. Бу фазовий заряд магнит майдон чизиқларига параллел бўлган қўшимча электр майдонини ҳосил қилади ва зарядлар юлдуз сиртидан узоқлашиб тезлашишига олиб келади ва пульсар джетларини келтириб чиқаради. Ушбу қўшимча индукцион фазовий заряд Голдрайх-Жулиан заряди деб номланади ва у умумий ҳолда қуйидаги ифода орқали аниқланади.

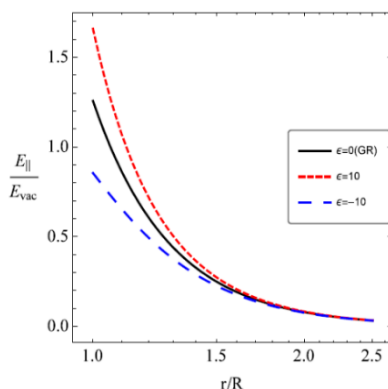
$$\rho_{GJ} = -\frac{1}{4\pi} \vec{\nabla} (N\sqrt{1+h}\vec{g} \times \vec{B}). \quad (21)$$

Нейтрон юлдуз магнит майдонини стационар ва у билан бирга қўшилиб айланади деб фараз қилган ҳолда скаляр потенциал Φ учун Пуассон тенгламаси қуйидача ёзилади

$$\vec{\nabla} \left(\frac{1}{\sqrt{-g_{tt}}} \vec{\nabla} \Phi \right) = -4\pi (\rho - \rho_{GJ}), \quad (22)$$

$\rho - \rho_{GJ}$ эффектив фазовий заряд зичлиги бўлиб, у магнит майдон чизиклари бўйлаб йўналувчи экранлашмаган электр майдонининг манбасидир. Электр майдонининг параллел ташкил этувчиси $\vec{E}_{\parallel}$ тезлаштирувчи электр майдони вазифасини бажариб, скаляр потенциалнинг градиенти орқали ифодаланади

$$\vec{E}_{\parallel} = -\frac{\partial \Phi}{\partial r} . \quad (23)$$



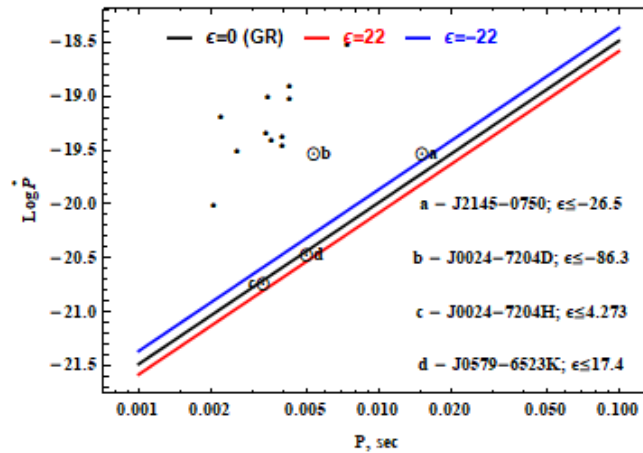
4-расм. Параллел электр майдонининг масофага боғланиши турли деформация параметрларидаги ва умумнисбийлик назариясидаги қиймати билан таққослаши келтирилган.

Пуассон тенгламасини ечиш орқали скаляр потенциал ва параллелэлектр майдон учун ифодалар олинди. Деформация параметрининг ортиши электр майдонни кучайтириши аниқланди.

Юқорида таъкидланганидек, тезлаштирилган зарралар гамма нурни чиқаради ва бу нурлар кучли магнитланган майдонда электрон-позитрон жуфтларини ҳосил қилади. Шу тарзда, нейтрон юлдуз нурланиш туфайли кинетик энергиясини йўқотади ва секинлашади (магнит майдони ўзгармас бўлганда). Қутб соҳасида зарраларнинг тезланиши тезлаштирувчи магнит майдонига параллел электр майдонига ва электр майдони эса ўз навбатида сиртдаги магнит майдонига мутаносиб бўлиб нейтрон юлдузнинг айланиш даврига тескари пропорционалдир. Нейтрон юлдузи секинлашиб бориши билан унинг айланиш давр ўсиб боради ва тезлаштирувчи индукцион электр майдон қиймати пасаяди. Шундай қилиб, зарядли зарралар эгрланиш нурланиши ёки тескари Комптон сочилиши натижасида ҳосил бўлган фотонлар кам энергияли бўлганлиги сабабли электрон-позитрон жуфтларини ҳосил қила олмайди. Яъни плазма магнитосферасида бошқа электрон-позитрон жуфтлиги ҳосил бўлмайди. Ниҳоят, пульсар берилган (радио) диапазонда «портлашни» тўхтатади ва пульсар «ўчади». Пульсарнинг «ўчиш чизиғи» учун (бошқача айтганда энергия шарти) фазо-вақтнинг деформацияси мавжуд бўлган ҳолда $P - \dot{P}$ диаграммада қуйидаги тенглама олинди

$$\lg P = \frac{2}{3} \lg \dot{P}_{-15} + 3.046 + \lg f_B(\epsilon), \quad (24)$$

$\dot{P}_{-15} = \dot{P} \times 10^{-15} \text{ s} \cdot \text{s}^{-1}$ ва $f_B(\epsilon)$ буни сезгирлик функцияси деб номланади ва бу ўчиш чизиғининг деформация параметрига нисбатан сезгирлигини билдириб ва у сферик симметрия ҳолатида $\epsilon = 0$ да, $f_B(0) = 1$.



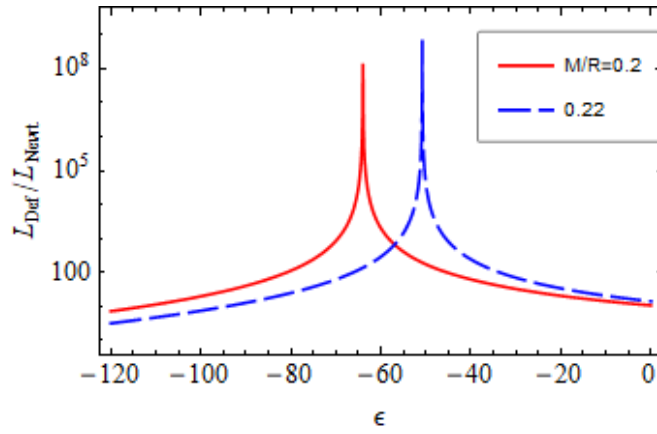
5-расм. $P-\dot{P}$ диаграммасидаги радиопульсарларнинг ўчиш чизиғи.

5-расмдан кўриш мумкинки, манфий деформация ўчиш чизиғини сезиларли даражада юқорига силжитади, мусбати эса ўчиш чизиғини пастга силжитади. Шундай қилиб, $P-\dot{P}$ фазода ўчиш чизиғида бўлган ON-фазада (радио баланд овозли режимда) кўринадиган деформацияланмаган радио пульсар, (хатто кичкина бўлса ҳам) OFF-фазага (радио-тинч режимга) айланади) манфий деформация ёки аксинча, мусбат деформация ҳолатида, ўчиш чизиғидан пастда жойлашган кўринмайдиган радио пульсар кўрилади (радио диапазонида). Бошқача қилиб айтганда, радиопульсарнинг мусбат деформацияси туфайли плазма магнитосферасида электрон-позитрон жуфти ҳосил бўлиш жараёни пасаяди ва радиопульсар ортиқ нурланмайди. Шундай қилиб, у кўринмай қолади (ўчади) ва мусбат деформация ўчиш чизиғининг вазиятини пастга силжитади. Бу шуни англатадики, деформация электрон-позитрон жуфти ҳосил бўлиш жараёнини қайта фаоллаштиради ва кузатувда йўқолиб қолган радио пульсар (ёқилади) яна пайдо бўлади. Нихоят, таклиф қилинган квазипериодик физик модель қисман нурланувчи пульсарнинг кузатув маълумотлари ёрдамида қисман нурланувчи пульсарлар «ишлаш» муҳанизмини тушуниш учун фойдаланиладиган сценарийларидан бири бўлиши мумкин деган хулосага келиш мумкин.

Айланувчи магнитланган нейтрон юлдузларнинг плазма магнитосферасини ва ундаги энергетик жараёнларнинг астрофизик қўлланилиши сифатида, биринчи навбатда, айланувчи магнитланган юлдуз соф магнит-диполь нурланиш орқали радио пульсар сифатида кузатилади, деб тахмин қиламиз. Диполь электромагнит нурланиш туфайли релятивистик юлдузнинг ёрқинлиги қуйидагига тенг

$$L_{em} = \frac{B_*^2 \Omega_*^4}{6c^3} R^6 \sin^2 \chi, \quad (25)$$

бу ерда $\Omega_*^2 = \Omega / N(1+h)^{1/2}$ нейтрон юлдузларнинг бурчак тезлиги ва B_* сиртидаги магнит майдон қиймати.



6-расм. Нурланиш ёрқинлигининг деформация параметрига боғлиқлиги турли компакт параметрларида.

Қутб шапкаси соҳасида ҳосил бўладиган энергия нурланишининг деформация параметрига боғлиқлиги 6-расмда келтирилган. Деформация параметрининг ўсиши ёрқинликни пасайтиради ва энергия нурланишини секинлаштиради. Бу эффект компактлик даражаси юқори релятивистик юлдузлар учун янада кучлироқ. Бундан ташқари, деформация параметрининг (компакт параметрига боғлиқ бўлган) критик қийматида максимал ёрқинлик (10^{46} эрг/с) мавжуд, бу одатий (нейтрон юлдузларнинг Ньютон механикасида ҳисобланган) ёрқинликка (10^{38} эрг/с) нисбатан юз миллион маротаба кўпроқ деганидир. Ушбу ҳолатни агар нейтрон юлдузни юқори магнитланган магнитар деб ҳисобласак ва унинг деформацияси вақтга боғлиқ деб фарз қилсак, юқори энергияли такрорланадиган ТРҚ магнитарлардан келиб чиқиши механизмини тушунтиришга ёрдам беради. Деформация параметри нурланиш ёрқинлигини максимал даражада оширадиган критик қийматга етганда, магнитар жуда юқори ёрқинликка эга пульс сифатидаги қисқа радиотўлқинни чиқаради.

III бобда магнитланган релятивистик юлдузлар атрофидаги зарядли зарраларнинг динамикаси ўрганилган ва **“Магнитланган нейтрон юлдузлари атрофидаги зарядли зарралар эквипотенциал сиртлари”** деб номланади.

Бу бобда магнитланган нейтрон юлдузларини атрофида релятивистик зарядланган зарралар учун энергетик ва эквипотенциал сиртларга умумий релятивистик эффектларини таҳлили келтирилган. Бунда дастлаб секин айланадиган магнитланган нейтрон юлдузнинг магнит ва электр майдонлари учун Максвелл тенгламасининг аналитик ечими ёрдамида электромагнит майдон учун вектор потенциалларини аниқлашдан бошланади

$$A_t = -\omega A_\varphi + \Phi(r) - \frac{Nr}{6} [f_2(r) + f_4(r)] \{ (3\cos^2 \theta - 1) \cos \chi + 3 \sin \chi \sin \theta \cos \theta \cos \phi \},$$

$$A_r = 0; \quad A_\theta = -\frac{1}{2} F(r) r^2 \sin \chi \sin \phi;$$

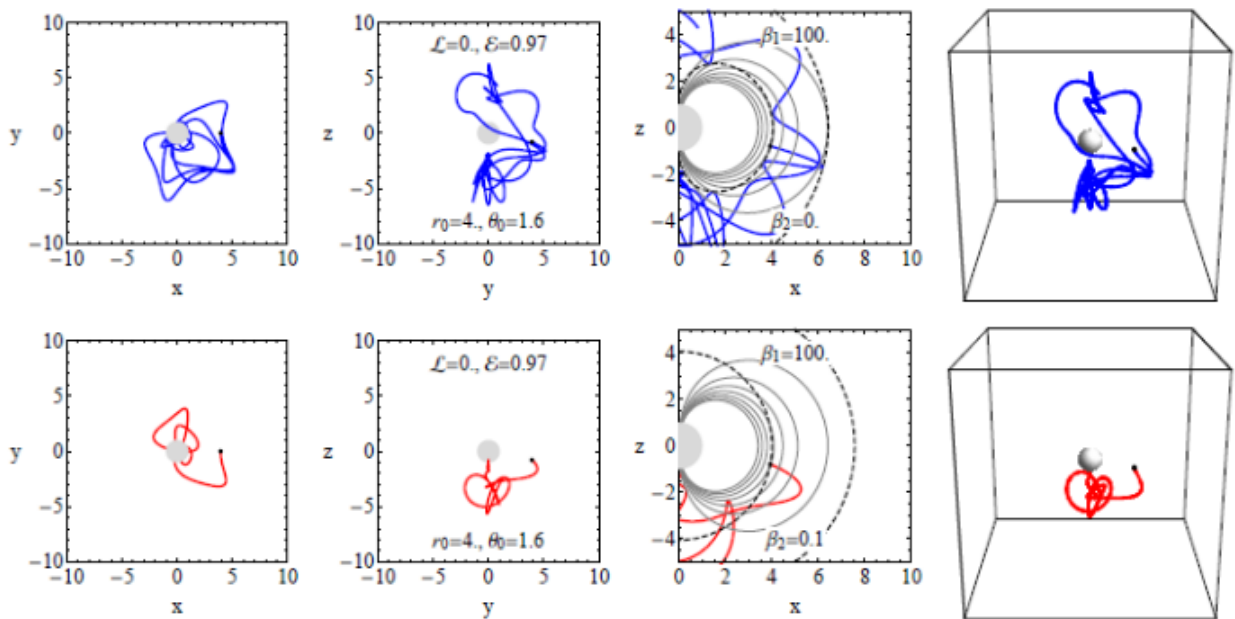
$$A_\varphi = \frac{1}{2} F(r) r^2 \sin \theta (\cos \chi \cos \theta + \sin \chi \sin \theta \cos \phi), \quad (26)$$

бунда $\Phi(r) = \frac{2a\mu}{r^3} - aN^2 F(r)$.

Ташки электромагнит майдонида массаси m ва электр заряди q бўлган синов заряд учун ҳаракат тенгламаси қуйидагича ёзилади

$$\frac{du^\mu}{d\tau} + \Gamma_{\alpha\beta}^\mu u^\alpha u^\beta = \frac{q}{m} F_\nu^\mu u^\nu. \quad (27)$$

Зарранинг заряди ва нейтрон юлдуз магнит майдони ҳамда айланиш даври учун янги параметрлар: $\beta_1 \approx 10^5 \left(\frac{B}{10^{12} G} \right) \left(\frac{R}{10^6 \text{ см}} \right) \left(\frac{q}{e} \right) \left(\frac{m_e}{m} \right)$ нейтрон юлдузнинг магнит майдони ва зарядли зарра орасидаги ўзаро таъсирни ифодалаш учун ва $\beta_2 = \frac{2\pi R_6}{30} \left(\frac{P}{1 \text{ ms}} \right)$ нейтрон юлдузнинг айланиш даври ва радиусини ифодалаш учун киритилди.



7-расм. Зарядли зарраларнинг магнитланган нейтрон юлдузлар атрофидаги траекториялари. Бунда ўзаро таъсир параметри $\beta_1 = 100$ ва зарранинг хусусий бурчак моменти нолга тенг деб олинган. Айланмайдиган (юқоридаги расмлар) ва секин айланувчи нейтрон юлдузлари учун (пастдаги расмлар). Кулранг доира нейтрон юлдузни кўрсатади. Координата ўқлари эса нейтрон юлдуз радиусига нормаллаштирилган.

Ҳаракат тенгламалари рақамли усулда турли ҳил шартларда ечилди. 7-расмда юқори қатордаги траекториялар магнитланган айланмайдиган нейтрон юлдуз атрофида зарядли зарралар траекторияси ва пастки қаторда эса айланадиган нейтрон юлдуз атрофидаги траекториялар кўрсатилган. Бу ерда ўзаро таъсир параметр $\beta_1 = 100$ ва айланиш параметри $\beta_2 = 0.1$ га тенг қилиб танладик. Ҳар икала ҳолда ҳам зарранинг бошланғич энергияси $\mathcal{E} = 0.97$ ва хусусий бурчак моменти $L = 0$. Ушбу расмдан кўриш мумкинки, нейтрон юлдузнинг айланиши зарра траекториясининг барқарорлигини пасайтиради.

Релятивистик зарраларнинг компакт объектнинг стационар гравитацион ва электромагнит майдонлардаги умумий энергияси $\mathcal{E}$ қуйидагича аниқланади

$$\mathcal{E} = \frac{mN}{\sqrt{1+v^2}} + \omega L + q(A_t + \omega A_\phi). \quad (28)$$

(28) ифодадаги тўла энергияни кинетик ва потенциал энергияларга қуйидагича ажралади

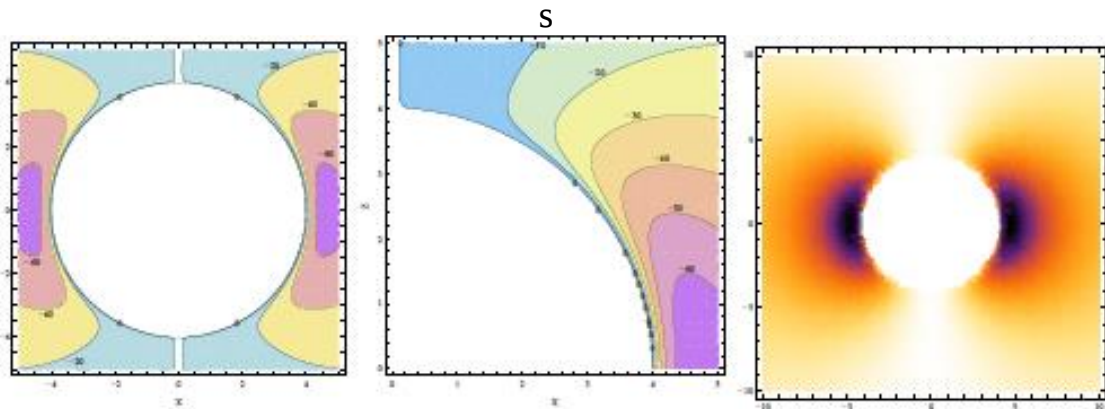
$$\mathcal{E} = T + U, \quad (29)$$

бу ерда кинетик энергия T

$$T = mN \left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2}} - 1 \right) + \omega L, \quad (30)$$

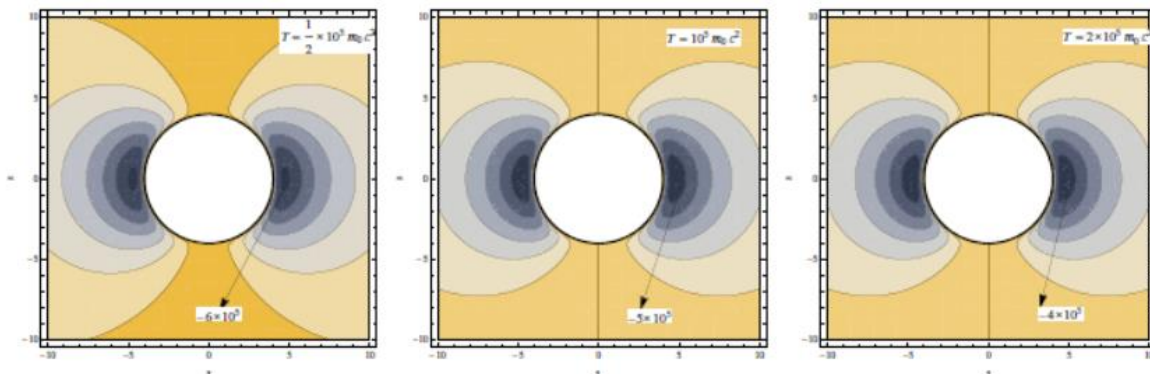
ва потенциал энергия эса $U = Vmc^2$ қуйидагича ўлчовсиз шаклда ёзиб олинади

$$V = N + \frac{q}{m} (A_t + \omega A_\phi). \quad (31)$$



8-расм: Зарядли зарраларнинг оғмаган магнитланган нейтрон юлдуз атрофидаги эквипотенциал сиртларининг кесими ва ёрқинлик графиги.

8-расмдаги эквипотенциал сиртлар z - x текислигида олинган бўлиб бунда нейтрон юлдуз массаси M , 1.4 Куёш массасига тенг ва радиуси $R = 10$ km, даври $P = 0.1$ секунд. Ушбу расмдан сирти яқинида энергетик сиртлар ажралишини кўриш мумкин, аммо экватор текислигида сиртга жуда яқин масофаларда эквипотенциал сиртлар жуда зичлашиб боради ва бу гравитация эффектининг устунлик қилишини билдиради.



9-расм. Оғмаган магнитланган нейтрон юлдузлар атрофида айланиш ўқига параллел текисликда зарядланган зарралар учун энергияли юзаларни тасвирланиши.

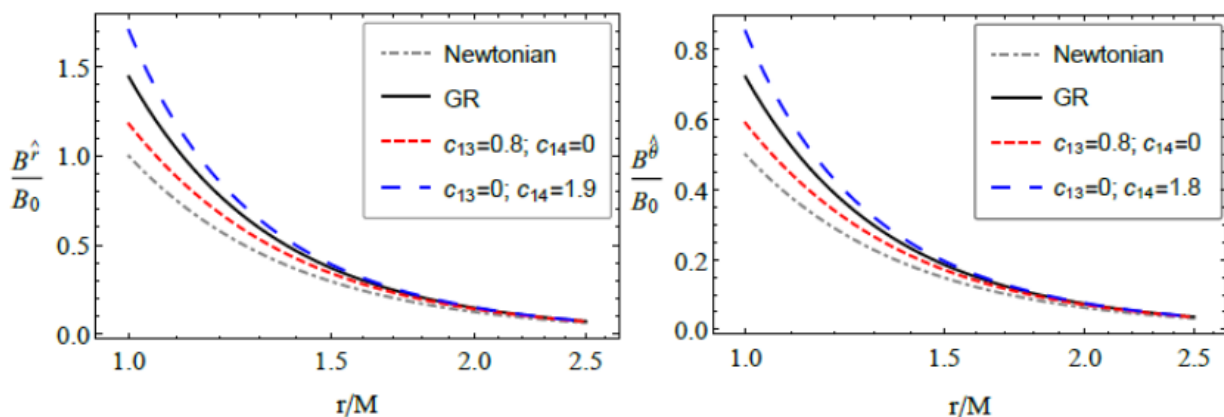
9-расмда турли кинетик энергияли релятивистик зарядли зарраларнинг тўла энергетик сиртлари тасвирланган. Кўриш мумкинки, кинетик

энергиянинг ортиши билан зарранинг тўла энергияси камайиб боради ва у янада ичкаридаги манфий энергетик қаватдан ўрин олади ва зарядли зарралар қанчалик релятивистик тезликка эга бўлишига қарамасдан ушбу соҳадан на чиқиб кета олади ва на иш бажариб нурлана олади. Бошқа сўз билан айтганда қуйи энергетик сатҳлардаги зарядли зарраларнинг тезликлари катта бўлади.

IV боб “эфирдаги Эйнштейн гравитация назариясида пульсарлар айланишининг секинлашиши ва радио-шовқинлиги” деб номланади ва радио-шовқинли пульсарларнинг физикаси ва яққаланган нейтрон юлдузларнинг айланишининг секинланиши эфирдаги Эйнштейн гравитация назарияси доирасида ўрганилади. Ушбу гравитация параметрлари (c_{13} ва c_{14}) га пульсарлардан олинган кузатув маълумотларига асосланиб чекловлар олинади. Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси назариясида секин айланувчи компакт объект атрофидаги фазо-вақт метрикаси (1) ифода кўринишда бўлиб ундаги гравитация функцияси N^2 қуйидагича ифодаланади бу ерда

$$N^2 = 1 - \frac{2M}{r} \left(1 + \frac{2c_{13} - c_{14}}{1 - c_{13}} \frac{M}{4r} \right), \quad r \geq R \quad (32)$$

Ушбу бобда c_{13} ва c_{14} параметрларининг айланадиган магнитланган нейтрон юлдузларнинг магнит майдонига таъсири эфирдаги Эйнштейн гравитацияси фазо-вақтида магнит майдони учун Максвелл тенгламаларининг аниқ аналитик ечимини олиш орқали ўрганилган. c_{14} параметрнинг мусбат қийматлари сирт юзасига яқин масофаларда магнит майдон қийматини бироз кучайтиради, аммо c_{13} параметри эса уни сезиларли даражада сусайтиради (10-расм).



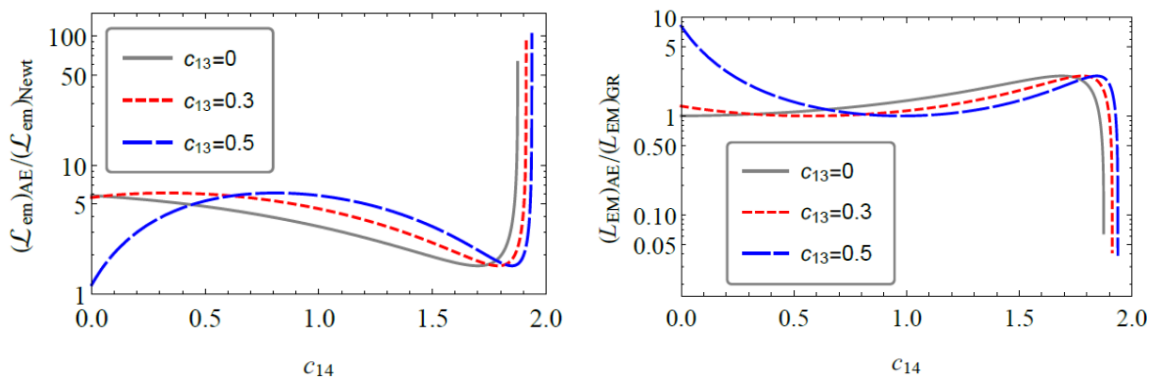
1-расм. Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси параметрларининг турли қийматларида магнит майдоннинг радиал ва бурчак ортонормал компонентларининг радиал координатага боғланиши.

Қияланган ҳолда айланувчи пульсарлар асосан икки кўринишда нурланади: магнето-дипольяр (вакуумли) нурланиш (Пойнтинг) ва магнитосферадаги тезлаштирилган зарядланган зарралардан келиб чиқадиган механизмлар орқали ҳосил бўлувчи плазма магнитосфера нурланишлари. Ушбу бобда асосий эътибор иккала нурланиш турларининг ҳар бирига эфирдаги Эйнштейн гравитациясининг таъсири ўрганишга қаратилган. Плазма

магнитосферасидаги энергия йўқолиш жараёнларини эфирдаги Эйнштейн гравитацияси доирасида магнитланган нейтрон юлдузнинг плазма магнитосферасининг электродинамикасини ўрганиш орқали қараш мумкин. Эфирдаги Эйнштейн гравитациясида нейтрон юлдузлар кутб соҳасидаги тезлашган зарядли зарралар ёрдамида ҳосил бўлувчи плазма магнитосфера нурланишлар тўла ёрқинлигини қуйидаги ифода билан ҳисоблаш мумкин

$$L_{EM} = \frac{3}{2} \kappa \left(1 + \frac{\varepsilon}{3} \frac{c_{14} - 2c_{13}}{1 - c_{13}} \right) \left[1 - \kappa \left(1 + \frac{\varepsilon}{3} \frac{c_{14} - 2c_{13}}{1 - c_{13}} \right) \right] \dot{\varepsilon}_{rot}, \quad (33)$$

бу ерда $\dot{\varepsilon}_{rot} = (\dot{\varepsilon}_{rot})_{Newt} / f^2(1; \varepsilon, c_{13}, c_{14})$ кинетик энергиясининг камайиши (йўқолиши) ва $f(1; \varepsilon, c_{13}, c_{14})$ эса эфирдаги Эйнштейн гравитацияси эффектлари таъсирини кўрсатувчи фактор.



11-расм. Магнитодиполь (чапда) ва плазма магнитосферадаги нурланишлар (ўнгда) ёрқинлигининг Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси параметрларига боғланиши

c_{14} параметрининг кичик қийматларида, ушбу параметрнинг ортиши билан вакуум нурланишлари ёрқинлиги аста-секин пасаяди ва минимал қийматидан кейин тез ўса бошлайди ва c_{13} параметри максимал нуқтани оширади (11-расм, чапда). Шунга ўхшаш эффектларни нейтрон юлдуз магнитосферасидаги нурланишининг ёрқинлиги учун ҳам кузатиш мумкин. $c_{13} = 0$ учун, ёрқинлиги- c_{14} параметрга боғлиқлик эгри чизиғи максимал нуқтага эга: c_{14} параметр ортиши билан ёрқинлик ортади, кейин эса тез сураб пасая боради. Аммо, c_{13} параметр ортиши билан ёрқинликни янада пасайишига олиб келадиган қўшимча минимал қийматни ҳосил қилади (11-расм, ўнгда).

Кутб шапкаси моделига биноан фазо-вақт айланиши инобатга олган ҳолда электрон-позитрон жуфти манбаи бўлган тескари Комптон ва эгрилик нурланишлари учун "ўчиш чизиғи" нурланиш энергетик шарти эфирдаги Эйнштейн гравитацияси доирасида ўрганилди. Нейтрон юлдуз сиртидан энергия олган бирламчи электронлар учун Лоренц фактори $10^5 \div 10^7$ эгрилик нурланишлари ва $10 \div 10^2$ га қадар эса тескари Комптон (термал рентген) нурлари ёрдамида электрон-позитрон жуфти ҳосил қилувчи каскад жараёнини узлуксизлигини таъминлайди. Плазма магнитосфера моделлари, электрон-позитрон жуфтлари ҳосил қилувчи каскад жараёнининг узлуксизлиги пульсар электромагнит (радио) нурланишлари манбаи бўлиб у

очик чизиклар бўйлаб ҳосил бўлиши мумкин, агар сирт магнит майдони учун қуйидаги шарт бажарилса

$$B_{cr} \geq B_{surf} \geq B_{DL}, \quad (34)$$

бунда $B_{surf} = 6.4 \times 10^{19} \sqrt{P\dot{P}}$ (гауссларда) сирт магнит майдони бўлиб, кузатувдаги пульсар спини ва унинг секинланиш даражаси орқали ифодалаш мумкин. $B_{cr} = B_{Schw} = m^2 c^3 / e \hbar \approx 4.4 \times 10^{13} G$ Швингер квант чегараси бўлиб бу магнит майдонида электроннинг циклотрон энергияси электроннинг тинчликдаги энергиясига тенг бўладиган чегаравий магнит майдонни билдиради.

Шундай қилиб, B_{DL} - электрон-позитрон жуфти ишлаб чиқаришни тўхтатиб қўядиган, “ўчиш чизиғи” режимини белгилайдиган, магнит майдоннинг минимал қиймати. Ўчиш чизиклари нейтрон юлдузнинг сиртдаги магнит майдонга, шунингдек, электрон-позитрон жуфти ҳосил қиладиган гамма квантини ҳосил қилувчи эгрилик нурланишлари ва тескари Комптон сочилишлари механизмига боғлиқ.

Радио пульсарлар учун “ўчиш чизиғи” тезлаштирилган зарядланган заррачалар γ -факторининг максимал қиймати билан скаляр потенциал максимал қийматга тенг бўлган масофалар тўғри келадиган шарт билан аниқланади. Тескари Комптон сочилиши ва эгриланиш нурланиши Эфирдаги Эйнштейн гравитация назариясида “ўчиш чизиғи” тенгламаси (энегетик шarti) қуйидагича ёзилади

$$\lg P = 3.8094 + \frac{2}{3} [\lg \dot{P}_{-15} + \lg D(c_{13}, c_{14})], \quad (35)$$

$$\lg P \approx -7.37 + \frac{4}{9} [\lg \dot{P}_{-15} + \lg \rho_6(c_{13}, c_{14})], \quad (36)$$

бу ерда $D(c_{13}, c_{14})$ эфир гравитация параметрлари ўз ичига оловчи тузатма функцияси ва $\rho_6(c_{13}, c_{14})$ очик магнит майдон эгри чизиклари радиусининг нейтрон юлдуз радиусига нормаллаштирилган қиймати бўлиб у эфир назарияси параметрларини ўз ичига олади.

Секин айланадиган магнитланган нейтрон юлдузлар плазма магнитосферасида олиб борилган барча изланишларни умумлаштирган ҳолда пульсарлар кузатув маълумотлари билан бирлаштириш орқали Эфирдаги Эйнштейн назарияси гравитация параметрларига чекловлар олиш ушбу бобнинг муҳим мақсадларидан бири. Плазма магнитосферасида бажарилган назарий ҳисоб-китоблар яккаланган нейтрон юлдуз моделлари билан боғлиқ бўлиб, улар асосан уларнинг айланиш кинетик энергияси ҳисобидан нурланишидир. Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси параметрларига чегаравий қийматлар олиш учун биз кузатилган қуйидаги яккаланган нейтрон юлдузларининг параметрларини билан солиштирдик: (1-жадвал) айланиш кинетик энергияси ҳасобига нурланадиган пульсарлар; (2-жадвал) аномал рентген пульсарлари (3-жадвал); такрорланувчи юмшоқ гамма нурланиш манбалари (4-жадвал); айланадиган радио ўтказгичлар ва рентген нурли яккаланган нейтрон юлдузлар (5-жадвал). Ўчиш чизиғининг таърифига кўра, $P-\dot{P}$ диаграммада пульсарнинг жойлашуви ўчиш чизиғи остида бўлганида,

плазма магнитосферасида электрон позитрон жуфт ҳосил бўлиш каскад жараёни узилаши сабабли пульсар электромагнит нурланишини чиқара олмайди ва шунинг учун радио диапазонда уни кузатиб бўлмайди. Эфирдаги Эйнштейн назарияси гравитация параметрлари қийматлари юқори (қуйи) чегаравий қийматлардан юқори (кам) бўлганида пульсар радио кузатувлардан йўқолади ва пульсар ўчиш чизиғи остида ётган деб тахмин қилинади. Бошқача қилиб айтадиган бўлсак, c_{13} ва c_{14} параметрларининг қандай қийматлари оралиғида ўчиш чизиғи вазияти юқорига кўтарилади ва $P-\dot{P}$ фазодаги радио шовқинли пульсар вазиятига етиб у радио тинч пульсарга айланади. Олинган чекловлар Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси хусусиятини янада аниқроқ тушунишга ёрдам беради.

Қуйида кузатилган турли изоляцияланган пульсарлар (нейтрон юлдузлар) учун Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси параметрларига юқори чегараларни жадваллар кўринишда тақдим этилди.

1-жадвал

Радио-шовқинли изоляцияланган нейтрон юлдузлари

Нейтрон юлдуз	Даври, P миллисек	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS (ТКС)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS(ТКС)	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR(ЭН)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR(ЭН)
PSR J1057 – 52269	197.114	5.83	0.952158	-39.8041	0.98342	-42.3326
PSR J1509 – 5850	88.925	9.17	0.951734	-39.4366	0.98658	-41.6524
PSR J1952 + 3252	39.534	5.83	0.951968	-39.9528	0.98698	-42.1368
PSR J2030 + 3641	200.129	6.51	0.952169	-39.8139	0.97986	-43.0021
PSR J2043 + 2740	96.131	1.23	0.952085	-39.7405	0.97963	-43.0124

2-жадвал

Радио-тинч изоляцияланган нейтрон юлдузлари

Нейтрон юлдуз	Даври, P миллисек	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS (ТКС)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS(ТКС)	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR(ЭН)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR(ЭН)
PSR J1746 – 3239	199.541	6.56	0.952171	-39.8153	0.98465	-42.6547
PSR J0106 + 4855	83.157	0.428	0.951896	-39.3827	0.98015	-43.0154
PSR J1836 + 5925	173.264	1.5	0.951938	-39.3482	0.98652	-43.65812
PSR J2028 + 3332	176.707	4.86	0.952156	-39.8026	0.9845	-42.6895
PSR J2139 + 4716	282.849	1.8	0.951767	-39.4654	0.98432	-43.0098
PSR J2030 + 4415	227.070	6.49	0.952144	-39.7917	0.98654	-42.3651
PSR J1957 + 5033	374.806	6.83	0.952022	-39.6858	0.97986	-42.3651
PSR J2055 + 2539	319.561	4.11	0.95196	-39.6324	0.9814	-41.9856

3- жадвал

Миллисекунд даврли пульсарлар

Нейтрон юлдуз	Даври, P миллисек	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS (TKC)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS(TKC)	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR(ЭН)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR(ЭН)
MPS J1448 – 2446aj	2.96	14.1232	0.94949	-37.6018	-	-
MPS J1448 – 2446ak	1.89	8.8495	0.90317	-18.6547	0.95624	-30.154
MPS J1832 – 0836	2.7191	0.862(5)	0.93545	-28.9865	0.9687	-35.6598
PSR J1326 – 7428 A	4.1088	2.7349	0.941174	-31.983	0.96547	-36.172
PSR J1944 + 2236	3.61799	0.7(5)	0.92367	-24.2052	0.9468	-32.687
PSR J1944 + 0907 A	5.1852	1.713(2)	0.930695	-26.8579	0.95364	-36.7654
PSR J1844 + 0115	7.1855	1.07(2)	0.875762	-14.0982	0.94689	-25.3654
PSR J1850 + 0124	3.5597	1.09(5)	0.932877	-27.796	0.96547	-36.145
PSR J1944 + 2236	4.9092	0.59(2)	0.872144	-13.6426	0.9465	-21.4468

4- жадвал

Рентген нурли изоляцияланган нейтрон юлдузлари

Нейтрон юлдуз	Даври, P миллисек	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS (TKC)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS(TKC)	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR(ЭН)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR(ЭН)
RX J0720.4 – 3125	8.39	7.01	0.950961	-38.7836	0.9688	-42.6687
RX J1308.6 + 2127	10.31	11.2	0.951088	-38.89	0.98744	-41.9978
RX J0806.4 – 4123	11.37	5.5 ± 3.0	0.950229 ± 0.00007	-38.1841 ± 0.0564	0.98035 $\pm$ 0.0014	-41.7768 ± 0.0996
RX J 1856.5- 3754	7.06	2.97 ± 0.07	0.950353 ± 0.000028	-38.2851 ± 0.023	0.98664 $\pm$ 0.00095	-42.0036 ± 0.1455
RX J2143.0 + 0654	9.43	4.1 ± 1.8	0.94998 ± 0.00066	-37.9894 $\pm$ 0.526	0.97886 ± 0.00142	-41.4766 ± 0.0836

5- жадвал

Аномал рентген пульсарлари

Нейтрон юлдуз	Даври, P миллисек	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS (TKC)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS(TKC)	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR(ЭН)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR(ЭН)
CXOU J010043.1 – 721134	8.02	1.9	0.95233	-39.9552	0.97994	-42.556
4U 0142 + 61	8.69	0.2	0.952178	-39.8216	0.98112	-42.6654
1E 1547.0 – 5408	2.07	2.3	0.952368	-39.9883	0.97442	-43.3387
CXOU J164710.2 – 455216	10.6	0.092	0.951998	-39.6649	0.98664	-43.6819
1RXS J170849.0 – 400910	11	2.4	0.952323	-39.9493	0.98447	-43.0067

6- жадвал

Юмшоқ гамма нур такрорловчилар

Нейтрон юлдуз	Даври, P миллисек	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS (TKC)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS(TKC)	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR(ЭН)	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR(ЭН)
SGR 0418 + 5729	9.1	0.011	0.951211	-38.993	0.97664	-41.9975
SGR 0501 + 4516	5.76	0.71	0.952314	-39.9119	0.98006	-43.0011
SGR 0526 – 66	8.05	6.5	0.952357	-39.9788	0.98771	-42.7768
SGR 1627 – 41	2.59	1.9	0.952363	-39.984	0.98132	-42.6681
SGR 1833 – 0832	7.6	0.72	0.952296	-39.9256	0.98552	-43.2254

Кузатув маълумотларини ўрганиш натижасида Эфирдаги Эйнштейн гравитацияси параметрларига чегаравий қийматлар олинди. Натижалар 1-6 жадвалларда келтирилган. Радиошовқинсиз нейтрон юлдузлар, рентген пульсарлар ва такрорланувчи юмшоқ гамма нурланиш манбалари деярли бир хил натижалар беради ($c_{14} \sim -40$ ва $c_{13} \sim 0.95$). Миллисекунд пульсарларда олинган натижаларда c_{14} нинг дисперсияси каттароқ.

Хулоса

“Айланувчи нейтрон юлдузларнинг энергетик хусусиятлари” диссертацияси доирасида бажарилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар олинди:

1. Илк бор, айланувчи магнитланган нейтрон юлдузлар электромагнит майдонлари учун Максвелл тенгламаларининг аниқ аналитик ечими деформацияланган фазода олинди.
2. Илк бор, радио пульсарларнинг ўчиш чизиғи $P-\dot{P}$ диаграммасидаги вазияти деформация параметрининг мусбат (манфий) қийматида пастга (юқорига) силжиши кўрсатилди. Олинган натижалар деформация параметри квази-даврий кўринишда вақтга боғлиқ бўлган ҳолда қисман нурланувчи (радио) пульсарлар нурланиш механизмини тушинтириб берувчи физик модель ишлаб чиқилди.
3. Илк бор, радио пульсарларнинг электромагнит нурланишлар равшанлигининг деформация параметрига боғланиш ифодаси топилди. Равшанлик манфий (мусбат) деформация таъсирида одатдаги қийматидан бир неча ўнлаб миллион марта ортиши (камаيши) кўрсатилди ва натижалар тез радио чакнашлар нурланиш манбалари табиатини тушунтирди.
4. Илк бор, магнитодиполь (магнетосферик) нурланишлар эфирдаги Эйнштейн гравитация параметрларининг критик қийматлари яқинида бир неча ўн минглаб марта ортиши кўрсатилди.
5. Илк бор, яккаланган айланувчи нейтрон юлдузларининг кузатув маълумотлари асосида тескари Комптон сочилиш ва эгрланиш нурланишлари ўчиш чизиғи орқали эфирдаги Эйнштейн гравитация параметрларига чегаравий қийматлар олинди.

ASTRONOMICAL INSTITUTE

RAYIMBAEV DJAVLANBEK RADJAPBAEVICH

ENERGETIC PROPERTIES OF ROTATING NEUTRON STARS

01.03.01 - Astronomy

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

Tashkent – 2020

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. B2020.3.PhD/FM156.

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 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:

Abdujabbarov Ahmadjon Adiljanovich

doctor of physical and mathematical sciences, senior
researcher

Mujdabaev Ismet Shevketovich

Candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor

Leading organization:

**Al-Farabi Kazakh National University Almaty,
Kazakhstan**

The defense of the dissertation will be held on “____th” _____ 2020 at ____ in the meeting of the Scientific Council No. DSc.02/30.12.2019.FM.15.01 at the Astronomical Institute (Address: UBAI, 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. ph.: (+99871) 2358102; fax: (+99871) 2344867; e-mail: info@astrin.uz).

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

The Abstract of dissertation was distributed on “____” _____ 2020.
(Registry record No. _____ dated “____” _____ 2020.)

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. Magnetized neutron stars being highly compact and massive objects, draw attention of many researchers as a powerful tool of testing different gravity theories in strong field regime as well as constraining and estimating parameters of those theories, which may help to get deeper insights into the physics of energetic processes which play a most important role around neutron stars observed as radio pulsars, anomaly X-ray pulsars and soft gamma-ray repeaters. Up to now, no unique theory has been developed to properly explain the observational data from the compact objects in a different wavelength. In spite of thousands of neutron stars and dozens of magnetars are observed and studied in detail, still, there is no exact model for explanation of electromagnetic radiation from them. It is also important to test alternative theories of gravity. Despite general relativity (GR) being tested in a number of astrophysical processes and is generally consistent with observations and experiments, tests have been usually constructed in weak field regime which leaves the question whether GR is enough for full description of physics of compact gravitational objects open.

Leading researchers of the world made several discoveries relevant to the dissertation topic. The observation of several part-time pulsars and pulsar RX J0806.4-4123 in 2018 showed anomaly emission of electromagnetic waves in the infrared band, which can be explained by several ways: hot accretion disc around the pulsar, some mysterious type of nebula, etc. Moreover, the first fast radio burst (FRB 180916.J0158+65) discovered in 2018 and sourced from a spiral galaxy located approximately 500 million light-years away from the Solar system has been observed over a period of 13 months and found that the FRB is repeating with a accurately regular period. The second repeating FRB 121102 repeats with the period 157 days coming from deep space. Physics of emission mechanisms of the repeating FRBs are still not clear and strongly model dependent. These facts indicate that the study of radiative mechanisms of neutron stars is one of the most important and hot topics of astrophysics.

There is also much attention being paid to study the neutron stars and black holes in our country. There is a wide on-going research on electromagnetic and gravitational radiation and mechanisms of energy extraction from neutron stars, details of gravitational lensing on compact objects, particle motion in their vicinity, features of spacetime geometry, etc.

This dissertation work corresponds to the tasks by the following state regulatory documents: Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-4947 "On the Strategy of Actions for the Further Development of the Republic of Uzbekistan" dated February 07, 2017, Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PP-2789 "On Measures for Further Improvement Academy of Sciences, organization, management and financing of research activities "from 18.02.2017.

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.

The structure of electromagnetic fields around rotating magnetized compact objects in strong gravity regime has been studied by Deutsch, Ginzburg, Ozernoy, Rezzolla, Abishev. Plasma magnetospheric model of rotating magnetized neutron stars has been proposed by Goldreich and Julian, and developed by Beskin, Harding, Muslimov and Tsygan taking into account general relativistic effects. Dynamics of charged particles, equipotential and energetic surfaces around rotating magnetized neutron stars have been studied by Bakala, Stuchlik, Epp, Masterova and Kolos. Neutron star properties in alternate theories gravity have been explored by Jacobson, Eling and Miller. Constraints on parameters of alternative theories of gravity have also been obtained comparing the theoretical predictions with observational data from shadow of M87 black hole, gravitational wave events, binary pulsars and gamma-ray bursts by Moffat, Yunes, Yagi, Zhu and Yusufi.

In our republic electrodynamics of rotating and oscillating magnetized neutron stars in general relativity have been developed by Ahmedov, Abdujabbarov, Morozova, Turimov and Abdikamalov.

However, in derivation of solutions of Maxwell equations for electromagnetic fields of rotating magnetized neutron stars the possible presence of spacetime deformations has not been taken into account. Effects of deformation on energetic processes in the plasma magnetosphere surrounding the neutron stars and deathline for pulsars have not been explored. Moreover, equipotential surfaces and dynamics of relativistic charged particles around rotating magnetized compact objects in general relativity have not been studied. Observational properties of isolated neutron stars have not been applied to get limiting values on parameters of alternative and extended theories of gravity.

Connection of the topic of dissertation with the scientific researches of the higher educational/research institutions, where the dissertation was carried out. The dissertation work was carried out in the framework of the scientific projects of 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 of the dissertation is to develop the models of energetic processes in vacuum and plasma magnetosphere surrounding magnetized neutron stars in different theories of gravity and their applications to the observational objects.

The tasks of the research:

to study the vacuum electromagnetic fields of rotating magnetized neutron stars in the background of deformed spacetime.

to develop the study of energetic processes in plasma magnetosphere surrounded deformed neutron stars.

to study energetic and equipotential surfaces around rotating magnetized compact objects.

to obtain constraints on parameters of Einstein-aether gravity using comparison of theoretical studies of plasma magnetospheric radiation mechanisms with observational data from pulsars.

The objects of the research are rotating relativistic compact gravitating magnetized objects – neutron stars.

The subjects of the research are vacuum and plasma magnetosphere of neutron stars; radiation mechanisms in polar cap region.

The methods of the research are general relativistic pulsar electrodynamics mathematics apparatus and methods of numerical and analytical calculations of some differential equations.

The scientific novelty of the research is as follows:

for the first time, the exact analytical solutions of Maxwell equations for electric and magnetic fields exterior to rotating magnetized neutron star have been obtained in the presence of spacetime deformation around the star and shown that positive deformation increases the surface magnetic field of the star;

for the first time it was shown that the negative and positive deformation causes the shift of the deathline up and down, respectively, being useful to explain the mysterious nature of part-time pulsars;

for the first time, it is shown that positive deformation decreases the size of the polar cap of magnetized neutron star being consistent with the observations of shrinking of the neutron star jets;

for the first time, the irradiance of radio pulsars was shown to increase 10^9 times at a critical value of the space-time deformation parameter, and the result obtained could be used as a model to explain the physics of repeating fast radio bursts source;

for the first time, a new physical tool to obtain constraints for the limiting values of parameters of extended gravity theories based on observational data from isolated neutron stars has been developed and applied to the Einstein-aether gravity.

Practical results of the research are as follows:

for the first time, the critical value of deformation parameter causing the pulsar turned from radio-load mode to radio-quiet one has been obtained;

for the first time, it is shown that luminosity of magneto-dipole and magnetospheric radiations of rotating magnetized neutron stars significantly increases due to the positive deformation of the neutron star;

for the first time, it is shown that the accelerating electric field being parallel to magnetic field lines on the polar cap of magnetized neutron star increases due to the existence of positive deformation of the star;

the study of charged particle acceleration in the polar cap region has shown that positive deformation can occur as an additional gravitational effect around the neutron star;

for the first time it was obtained constraints on the parameters of Einstein-aether gravity using inverse Compton and curvature radiations deathline which is responsible to radio and gamma ray radiations cut-off together with observational properties of isolated neutron stars, radio-load pulsars, Soft-gamma ray repeaters and millisecond pulsars.

Reliability of the research results is provided by the following: modern methods of general relativity and the theoretical physics and highly effective numerical methods and algorithms are used; careful check of a consistency of the received theoretical results with observational data and results of other authors is performed; conclusions are well consistent with the main provisions of the field theory of gravitational compact objects.

Scientific and practical significance of the research is defined by the possibility of using dissertation research results to explain radiation mechanisms in description of high-energy processes around neutron stars. Results on effect of small spacetime deformation on electromagnetic fields of rotating neutron stars and processes in plasma magnetosphere were obtained, particularly on effect of spacetime deformation on radiation luminosity and radio pulsar deathline. The results can be used to create a new model of part-time pulsar physics. Moreover, dynamics and energetic surfaces of relativistic particles around slowly rotating neutron stars were studied, result obtained in these studies can be used in theoretical analysis of observed frequency profiles of pulsars. Finally, a new methodology for obtaining constraints on the parameters of different gravity models based on observational data from isolated pulsars was developed at the range of electromagnetic waves from radio to gamma rays and it is applied to Einstein-aether gravity.

Applications of the research results

The results of the study of plasma magnetosphere of pulsars in the presence of background deformed spacetime have been applied as follows:

results of the study on effects of spacetime deformation on plasma magnetosphere of neutron stars, especially the models suggested to explain origin of repeating fast radio bursts have been used by the researchers of California state university (confirmation from California state university, 27 July 2020). The results were used to get limiting values for parameters of extended theories of gravity;

the suggested model for explaining physics of part time pulsars by the researchers from Silesian University in Opava and Albert Einstein Centre for Gravitation and Astrophysics under the Czech Science Foundation in research of dynamic processes around neutron stars (confirmation from Silesian University in

Opava, 29 June, 2020); The results were used to get limiting values for parameters of modified theories of gravity based on observational data from pulsars.

Results of the study of vacuum and plasma magnetosphere of magnetized neutron stars and energetic processes in it has been used by several authors (Journal of Physics (Vol.82,635820502,2016), Astrophysics and Space Science (Vol. 361, 112, 2016), Physical Review D (Vol. 98, 024022, 2018; Vol. 97, 124005, 2018; Vol. 99, 104009, 2019), Progress of Physics (Vol.67, 1900077, 2019)). The results were used to analyse astrophysical processes in plasma magnetosphere of neutron stars in strong gravity regime.

Approbation of the research results. The results of the dissertation have been discussed in 4 international and 3 local conferences, and several workshops and seminars.

Publication of the research results. 25 scientific publications have been made on research results, 10 of them - research papers in the refereed journals.

Volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, appendix and list of references all in 124 pages.

MAIN CONTENTS OF THE DISSERTATION

In **Introduction** topicality and significance of the dissertation are outlined, aims and tasks are defined, scientific novelty and practical results are shown and their theoretical and practical importance is discussed.

Chapter I entitled ‘**Vacuum electromagnetic field of rotating magnetized deformed relativistic stars**’ is dedicated to obtain exact analytical solutions of general relativistic Maxwell equations for electromagnetic fields of rotating neutron stars in deformed spacetime background. The spacetime metric exterior to the slowly rotating deformed neutron star is

$$ds^2 = (1+h) \left[-N^2 dt^2 + N^{-2} dr^2 \right] + r^2 \left[d\theta^2 + \sin^2 \theta (d\phi^2 - 2\omega(1+h) dt d\phi) \right], \quad (1)$$

with

$$N^2 = 1 - \frac{2GM}{c^2 r}, \quad r \geq R \quad (2)$$

where M and R are the mass and the radius of magnetized neutron star, respectively. $\omega = 2aGM / (c^2 r^3)$ is angular velocity of dragging of inertial frames and $a = J / (Mc)$ is the specific angular momentum of the star, function of spacetime deformation $h = h(r)$ can be expressed through dimensionless deformation parameter ϵ as

$$h = \epsilon \left(\frac{GM}{c^2 r} \right)^3. \quad (3)$$

First and second pairs of Maxwell equations can be expressed as follows

$$\partial_\mu (\sqrt{-g} F^{\mu\nu}) = 4\pi \sqrt{-g} J^\nu \quad \text{and} \quad \partial_\mu (\sqrt{-g} {}^*F^{\mu\nu}) = 4\pi \sqrt{-g} J^\nu, \quad (4)$$

here $F_{\alpha\beta}$ is the tensor of electromagnetic field, ${}^*F^{\mu\nu}$ is dual form of the electromagnetic field tensor and J^α is four- electric current. Here we look for solutions of the Maxwell equations (4) for magnetic field components in the following form

$$\hat{B}^r(r, \theta, \phi, t) = F^*(r)(\cos \chi \cos \theta + \sin \chi \sin \theta \cos \phi), \quad (5)$$

$$\hat{B}^\theta(r, \theta, \phi, t) = G^*(r)(\cos \chi \sin \theta - \sin \chi \cos \theta \cos \phi), \quad (6)$$

$$\hat{B}^\phi(r, \phi, t) = H^*(r) \sin \chi \sin \phi, \quad (7)$$

where $F^*(r)$, $G^*(r)$ and $H^*(r)$ are unknown radial functions for the components of magnetic field, $\phi = \phi - \Omega t$ is time dependent azimuthal angle, χ is inclination angle between rotation axis and magnetic field at the polar cap.

From the system of Eqs (5)-(7) one can now easily obtain differential equations for the unknown radial functions as

$$(r^2 F^*),_r + \frac{2r}{N} \sqrt{1+h} G^* = 0, \quad (8)$$

$$\left(N \sqrt{1+h} H^* \right)_{,r} + (1+h) F^* = 0, \quad (9)$$

$$H^* = G^*. \quad (10)$$

From the system of Eqs. (8) and (9) one can easily obtain single and the second-order differential equation for the function $F(r)$ as follows

$$\left[N^2(r^2 F^*)_{,r} \right]_{,r} - 2(1+h)F^* = 0. \quad (11)$$

One may see the effect of spacetime deformation on radial and azimuthal components of magnetic field of rotating magnetized neutron star solving the differential equations (11) and substituting the solution for F^* into equation (8).

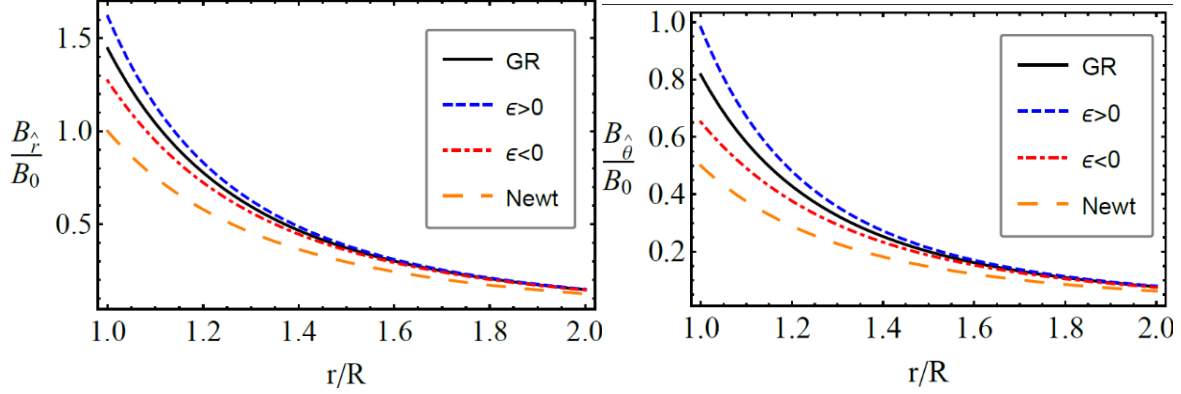


Figure 1: Comparison of the radial dependence of the dimensionless radial and azimuthal components of the magnetic field on the polar cap of the magnetized compact object near the surface in general relativistic and Newtonian cases for the different values of dimensionless deformation parameter.

As illustrated in Fig.1 the positive deformation increases magnetic field, while negative one decreases it and one may show the effect by illustrating magnetic field lines of inclined magnetized neutron stars.

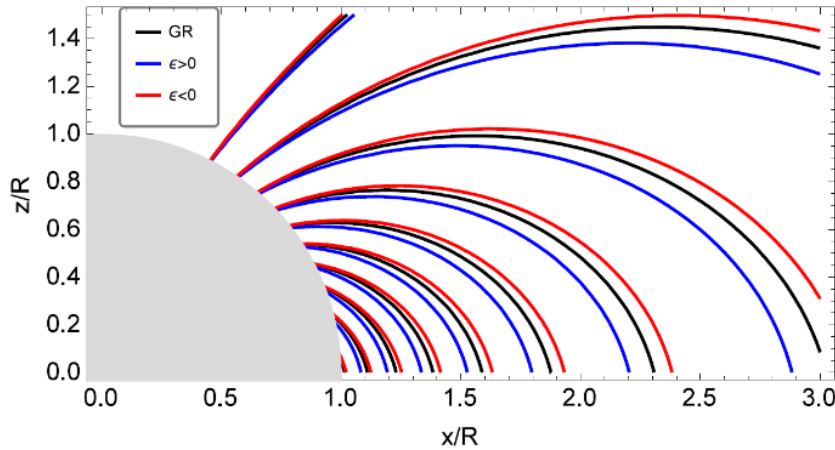


Figure 2: Profile of magnetic field lines of inclined magnetized neutron star for the negative and positive values of deformation parameter with the comparison to GR. Gray painted area represents NS.

Magnetic field lines become more concentrated (compared to GR), so the strength of the field increases with positive deformation and the opposite effect is observed in case of negative deformation as shown in Fig.2.

We have found the analytical solutions of the Maxwell equations for the electric field of the slowly rotating magnetized star with nonzero deformation parameter. Using the expressions for the components of the magnetic field, one can immediately write the Maxwell equations for the electric field exterior to the misaligned rotating relativistic star. One can look for the components of the electric field in the following separable form

$$E^{\hat{r}}(r, \theta, \phi, t) = [f_1^*(r) + f_3^*(r)](\cos \chi (3\cos^2 \theta - 1) + 3\sin \chi \sin \theta \cos \theta \cos \phi), \quad (12)$$

$$E^{\hat{\theta}}(r, \theta, \phi, t) = [f_2^*(r) + f_4^*(r)](\cos \chi \sin \theta \cos \theta - \frac{1}{2} \sin \chi \cos 2\theta \cos \phi) + \frac{2r}{N}(\Omega - \omega)F^*(r)\sin \chi \cos \phi, \quad (13)$$

$$E^{\hat{\phi}}(r, \theta, \phi, t) = \left\{ \frac{1}{2}[f_2^*(r) + f_4^*(r)] - \frac{2r}{N}[\Omega - \omega(r)]F^*(r) \right\} \sin \chi \cos \theta \sin \phi. \quad (14)$$

Substituting expressions (12)-(14) into the Maxwell equations (4), one can obtain the following differential equations for the unknown radial functions $f_1^*(r)$ – $f_4^*(r)$ for the components of electric field.

$$(r^2 f_1^*)_{,r} + \frac{r}{N} \sqrt{1+h} f_2^* = 0, \quad (15)$$

$$(rN \sqrt{1+h} f_2^*)_{,r} + 6(1+h) f_1^* = 0, \quad (16)$$

$$(r^2 f_3^*)_{,r} + \frac{r}{N} \sqrt{1+h} f_4^* = 0, \quad (17)$$

$$(rN \sqrt{1+h} f_4^*)_{,r} + 6(1+h) f_3^* = 3\omega r F^*. \quad (18)$$

After making algebraic calculations, one can get the second-order differential equation for the function $f_1^*(r)$ and $f_3^*(r)$

$$[N^2(r^2 f_1^*)_{,r}]_{,r} - 6(1+h) f_1^* = 0, \quad (19)$$

$$[N^2(r^2 f_3^*)_{,r}]_{,r} - 6(1+h) f_3^* = 3\omega r F^*. \quad (20)$$

One may show the effect of spacetime deformation on the components of electric field substituting the solutions of the differential equations in to the equations (15) and (17).

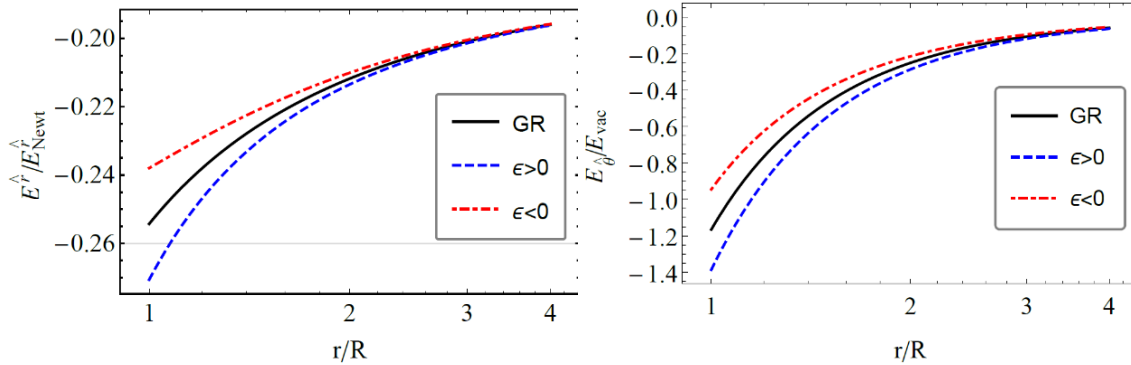


Figure 3: The radial dependence of azimuthal (right panel) and radial (left panel) components of the electric field normalized to its value at the surface of the magnetized neutron star.

Components of the electric field decrease (increase) with the growth of positive (negative) deformation parameter, as shown in Fig. 3.

Chapter II entitled ‘**Neutron star plasma magnetosphere in deformed spacetime**’ is dedicated to studying the effects of spacetime deformation on the energetic processes in the plasma magnetosphere of neutron star. Being essentially a rotating magnetic dipole, the magnetized NS induces the electric field which, in

turn, creates the induced electric charges at the stellar surface. Those charges get injected into the space surrounding the star, where they are accelerated due to Lorentz force and radiate gamma quants, which start the cascade of electron-positron pair production. In usual circumstances, produced pairs recombine, but in the vicinity of rotating compact objects, produced charges get separated due to frame dragging and geometric effects, and after that the neutron star becomes surrounded with a thick layer of plasma with a specific charge distribution of electrons and positrons. It is believed that this spatial charge induces an additional electric field which is parallel to magnetic field lines and might cause the charges to accelerate away from the stars, creating pulsar jets. The additional induced spatial charge is called Goldreich-Julian charge and it is calculated using the following general expression

$$\rho_{GJ} = -\frac{1}{4\pi} \vec{\nabla} \cdot (N \sqrt{1+h} \vec{g} \times \vec{B}). \quad (21)$$

Assuming that the magnetic field of a neutron star is stationary in the co-rotating frame one can get the Poisson equation for the scalar potential Φ as

$$\vec{\nabla} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{-g_{tt}}} \vec{\nabla} \Phi \right) = -4\pi(\rho - \rho_{GJ}), \quad (22)$$

effective space charge density is given as $\rho - \rho_{GJ}$ which is able to explain production of unscreened parallel electric field along the open magnetic field lines. Component of electric field $\vec{E}_{\parallel}$ produced by the gradient of this potential will look like

$$\vec{E}_{\parallel} = -\frac{\partial \Phi}{\partial \vec{r}}. \quad (23)$$

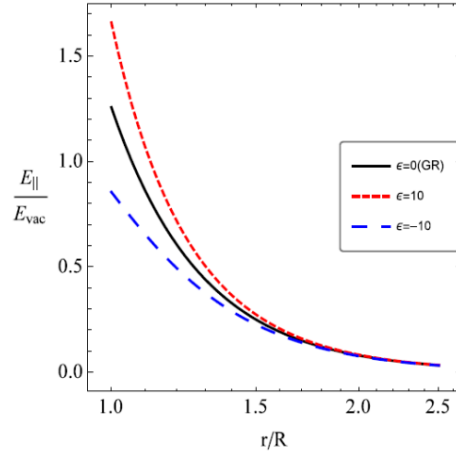


Figure 4: Radial dependence of accelerating electric field for the different values of deformation parameter ϵ with the comparison to the results in GR.

Solving the Poisson equation, expressions for scalar potential and unscreened parallel accelerating field are obtained. As shown in Fig. 4, positive deformation makes the accelerating electric field stronger, while negative deformation weakens it.

As we have mentioned above the accelerated particles produce γ -rays and the γ -rays create electron-positron pairs in a strong magnetic field. Thus, the NS

loses its kinetic energy due to the radiation and slows down (when the value of magnetic field is constant). The particle acceleration in the polar cap region strongly depends on the (magnetic field) accelerating parallel electric field and the electric field, in turn, is proportional to the surface magnetic field and inversely proportional to the period of NS rotation. As the NS slows down, the period increases, the acceleration field value decreases and the particles radiate through CR/ICS photons with less energy which at some stage does not produce enough plasma pairs (even a two-photon pair of electrons– positron). No further electron–positron pair is ejected in the plasma magnetosphere. Finally, the pulsar stops “shining” in the given (radio) band, and the pulsar dies. The “death line” equation (in other words energy (budget) condition) of a pulsar in the presence of spacetime deformation is defined in the $P - B$ space and/or $P - \dot{P}$ diagram as

$$\lg P = \frac{2}{3} \lg \dot{P}_{-15} + 3.046 + \lg f_B(\epsilon), \quad (24)$$

where $\dot{P}_{-15} = \dot{P} \times 10^{-15} \text{ s} \cdot \text{s}^{-1}$ and $f_B(\epsilon)$ is the function of “sensitivity” (a “sensitive” function) of the death line equation from the spacetime deformation and it shows how sensitive the death line equation to variable ϵ and for spherical case, when $\epsilon = 0$, $f_B(0) = 1$.

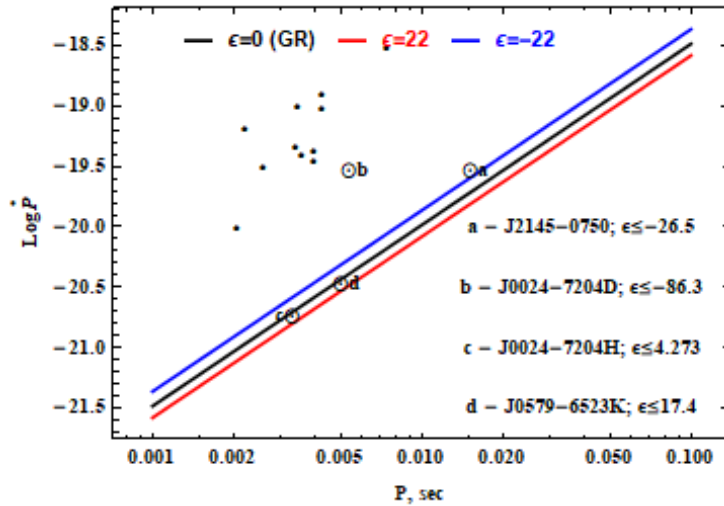


Figure 5: Deathline of the radio pulsars in the $P - \dot{P}$ diagram for the different values of deformation parameter ϵ .

Figure 5 shows that the negative deformation shifts the death line upward significantly and the positive one shifts the death line downward, but the effect of positive deformation is smaller when compared with the negative one. Thus, a visible non-deformed radio pulsar “working” in ON-phase (radio-loud regime), which is lying on death line in $P - \dot{P}$ space, becomes in OFF-phase (radio-quiet regime) in the presence of (even small) negative deformation or vice versa in the case of positive deformation, the invisible radio pulsar lying just below the death line becomes visible (in radio band). In other words, due to the negative deformation of the radio pulsar, pair formation process in plasma magnetosphere diminishes and the radio pulsar cannot radiate any more. So, it becomes invisible (switches OFF) and the positive deformation shifts downward the death line. It means that the deformation causes to reactivate the pair formation process and the

lost radio pulsar in observation will be visible (switches ON) again. Finally, one may conclude that the suggested quasiperiodic model can be one of the useful scenarios to explain/understand the mysterious physics (the existence) of part-time pulsars using the observational data of a part-time pulsar.

As an astrophysical application of the studies of plasma magnetosphere of rotating magnetized neutron stars and energetic processes in it, first, we assume that the rotating magnetized star is observed as radio pulsar through pure magnetodipolar radiation. The luminosity of the relativistic star due to dipolar electromagnetic radiation is given by

$$L_{em} = \frac{B_*^2 \Omega_*^4}{6c^3} R^6 \sin^2 \chi, \quad (25)$$

where $\Omega_*^2 = \Omega / N(1+h)^{1/2}$ is the angular velocity of the neutron star and B_* is the surface magnetic field in the polar cap of the NS.

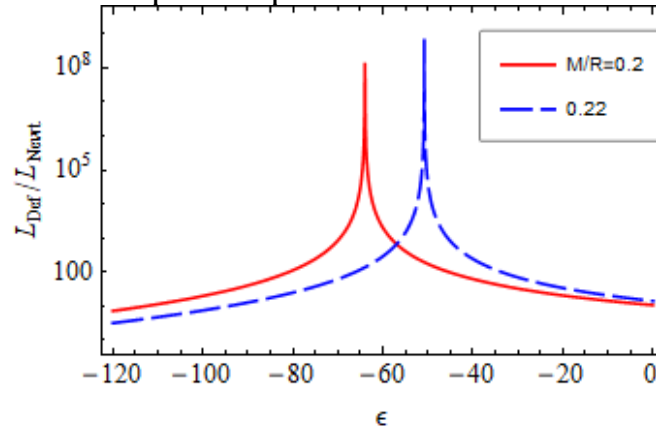


Figure 6: Dependence of the energy loss from the deformation parameter for different values of the compactness of the neutron star.

Dependence of the luminosity of energy radiation generated in polar cap from deformation parameter is presented in Fig. 6. Growth of the deformation parameter makes the luminosity lower, effectively slowing down the emission of energy. This effect is more prominent for the relativistic stars with higher compactness values. Moreover, there is a maximum in luminosity (10^{46} erg/s) at critic value of the deformation parameter which is hundreds million times more energetic than normal luminosity (10^{38} erg/s). This effect may help to explain mechanism of origin of high energetic repeating FRBs from magnetars considering the magnetar's deformation is quasi-periodically time dependent. When the deformation parameter reaches its critic value which makes radiation luminosity maximum the magnetar emits short radio wave as a pulse with extremely high luminosity.

Dynamics of the charged particle around rotating magnetized compact stars is investigated in Chapter III entitled '**Equipotential surfaces for charged particles around slowly rotating magnetized neutron star**'

Here we have focused on analysing the general relativistic effects of energetic and equipotential surfaces of relativistic charged particle moving around inclined rotating magnetized NS. First, the expressions for the vector potential of the electromagnetic field of the slowly rotating magnetized neutron star, by using

an analytical solution of Maxwell equation for the magnetic and the electric fields of the star are derived as

$$\begin{aligned}
A_t &= -\omega A_\varphi + \Phi(r) - \frac{Nr}{6} [f_2(r) + f_4(r)] \{ (3\cos^2\theta - 1)\cos\chi + 3\sin\chi \sin\theta \cos\theta \cos\phi \}, \\
A_r &= 0; \quad A_\theta = -\frac{1}{2} F(r) r^2 \sin\chi \sin\phi; \\
A_\varphi &= \frac{1}{2} F(r) r^2 \sin\theta (\cos\chi \cos\theta + \sin\chi \sin\theta \cos\phi),
\end{aligned} \tag{26}$$

where $\Phi(r) = \frac{2a\mu}{r^3} - aN^2 F(r)$.

The equation of motion of a test charged particle with mass m and electric charge q in presence of electromagnetic field has the general form

$$\frac{du^\mu}{d\tau} + \Gamma_{\alpha\beta}^\mu u^\alpha u^\beta = \frac{q}{m} F_\nu^\mu u^\nu. \tag{27}$$

We have introduced the following new parameters for particle's charge, magnetic field and period of neutron star: $\beta_1 = 10^5 \left(\frac{B}{10^{12} G} \right) \left(\frac{R}{10^6 \text{ sm}} \right) \left(\frac{q}{e} \right) \left(\frac{m_e}{m} \right)$ is responsible for interaction between charged particle and magnetic field of NS and $\beta_2 = \frac{2\pi R_6}{30} \left(\frac{P}{1 \text{ ms}} \right)$ stands for period and radius of the star.

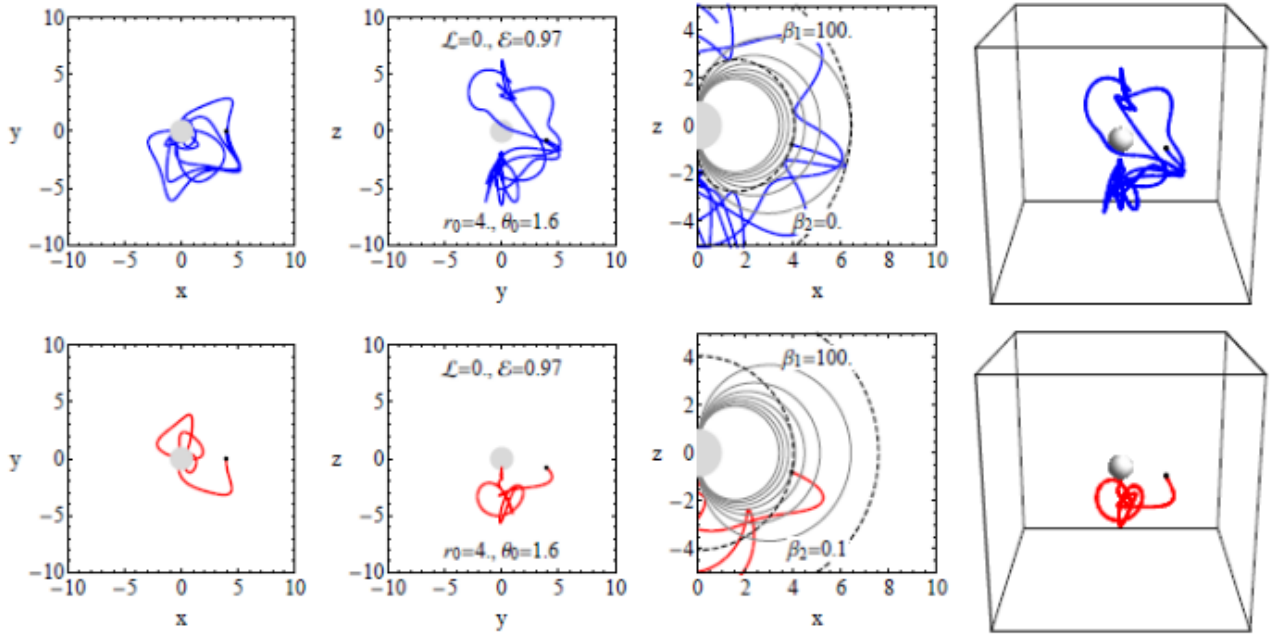


Figure 7: Trajectories of charged particles around magnetized neutron stars with the interaction parameter $\beta_1 = 100$ and zero proper angular momentum, in the non-rotating (top panel) and slowly rotating (bottom panel) approximations. Gray shaded region represents central object and axis are normalized to radius of the central compact object-magnetized neutron star.

Equations of motion were solved numerically for the different settings. Figure 7 demonstrates trajectories of charged particles around magnetised neutron star. In upper row of the profiles show the particle trajectory with the charge parameter $\beta_1 = 100$ around non-rotating magnetized object and the bottom ones demonstrate the particle with the same charge parameter trajectories around

rotating magnetized compact object with the rotation parameter $\beta_2 = 0.1$. In both cases we have chosen for the values of the specific energy $\mathcal{E} = 0.97$ and the specific angular momentum $L = 0$. One can see from the Figure 7 that particle trajectories of the particle are more stable in the case of non-rotating magnetized neutron star.

The total energy E of a relativistic particle in a stationary gravitational field of compact object in the stationary gravitational and the electromagnetic field is

$$\mathcal{E} = \frac{mN}{\sqrt{1+v^2}} + \omega L + q(A_t + \omega A_\phi). \quad (28)$$

The total energy in the expression (28) can be separated into the kinetic and potential energies as follows

$$\mathcal{E} = T + U, \quad (29)$$

where the kinetic energy T reads as

$$T = mN \left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2}} - 1 \right) + \omega L, \quad (30)$$

and the potential energy is defined as $U = Vmc^2$ with the following dimensionless potential energy

$$V = N + \frac{q}{m} (A_t + \omega A_\phi). \quad (31)$$

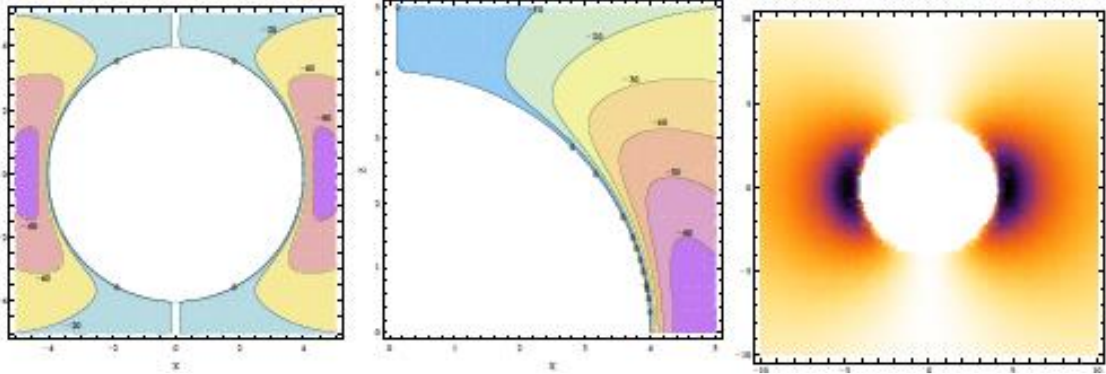


Figure 8: Sectional view of equipotential surfaces of charged particles around non-inclined magnetized neutron star.

Fig. 8 demonstrates equipotential surfaces for electrons in the z - x plane, where the z axis is aligned along rotation and magnetic dipole axes of the neutron star. Here, we consider typical neutron star with mass $M = 1.4M_\odot$ and radius $R = 10$ km, and angular velocity $\Omega = 2\pi/P$ ($P = 0.1$ sec). Here, we have shown that the surface lines are separable at the surface of neutron star; however, it is not possible for the separated the lines the close to the neutron star in the equatorial and off-equatorial planes and indicates that the gravity effects are dominates at the close distances to the surface of the star.

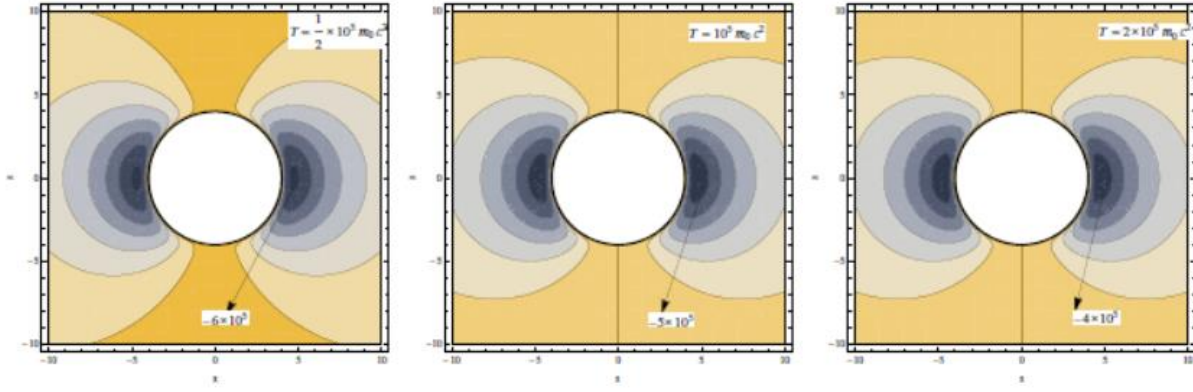


Figure 9: Illustration of the energetic surfaces for charged particles in meridional plane around non-inclined magnetized neutron stars.

Figure 9 illustrates that the charged particle can reach the last energetic level, depending on the initial kinetic energy of the charged particle. It is clear from Fig.9 that an increase in the value of the initial kinetic energy of the charged particle coming from infinity increases the energy of surface for which charged particles cannot escape far away. In other words, kinetic energy of the charged particles at the lower energetic levels is greater.

Chapter IV entitled ‘**Radio loudness and spindown of pulsars in Einstein-aether gravity**’ is dedicated to physics of radio-loud pulsars and spindown of isolated neutron stars in Einstein-aether gravity and to obtain constraints on the parameters of the aether gravity c_{13} and c_{14} . The spacetime metric around slowly rotating compact objects is described by the metric (1) with the following lapse function which includes the effects of exterior aether parameters

$$N^2 = 1 - \frac{2M}{r} \left(1 + \frac{2c_{13} - c_{14}}{1 - c_{13}} \frac{M}{4r} \right), \quad r \geq R. \quad (32)$$

First, the effect of the parameters c_{13} and c_{14} on magnetic field of rotating magnetized neutron stars is studied obtaining the exact analytical solution of Maxwell equations for magnetic field in spacetime Einstein-aether gravity. Obtained that positive values of c_{14} slightly amplify magnetic field close to the surface, while c_{13} significantly weakens it (Fig. 10).

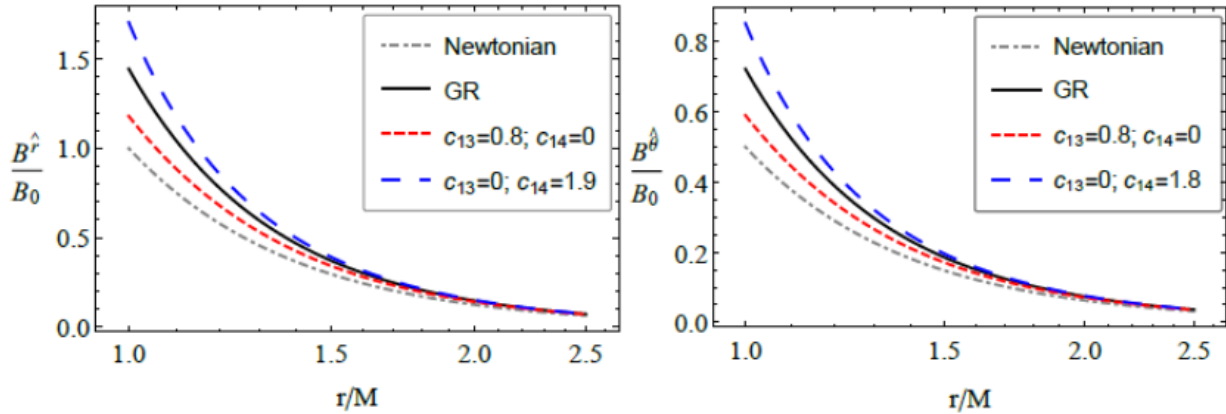


Figure 10: Radial dependence of radial and azimuthal components of magnetic field for different values of Einstein-aether gravity parameters.

Inclined pulsars radiate in two ways: magnetodipolar (vacuum) radiation (Poynting), and plasma magnetospheric radiation which comes from accelerated charged particles by different mechanisms depending on magnetospheric conditions. Here we will focus on studying the effects of Einstein-aether gravity on each of these two types of radiation. Now, we turn towards plasma magnetosphere and consider the effect of Einstein-aether gravity on electrodynamics of inner plasma magnetosphere of the magnetized neutron star. This has potential applications in the theory of pulsar electrodynamics. One can calculate the total luminosity of the plasma magnetospheric radiation by accelerated charged particles in Einstein-aether gravity by the following expression

$$L_{EM} = \frac{3}{2} \kappa \left(1 + \frac{\varepsilon}{3} \frac{c_{14} - 2c_{13}}{1 - c_{13}} \right) \left[1 - \kappa \left(1 + \frac{\varepsilon}{3} \frac{c_{14} - 2c_{13}}{1 - c_{13}} \right) \right] \dot{E}_{rot}, \quad (33)$$

where $\dot{E}_{rot} = (\dot{E}_{rot})_{Newt} / f^2(1; \varepsilon, c_{13}, c_{14})$ is the loss of kinetic energy in the aether gravity and $f(1; \varepsilon, c_{13}, c_{14})$ - a correction function that reflects the aether gravity effects.

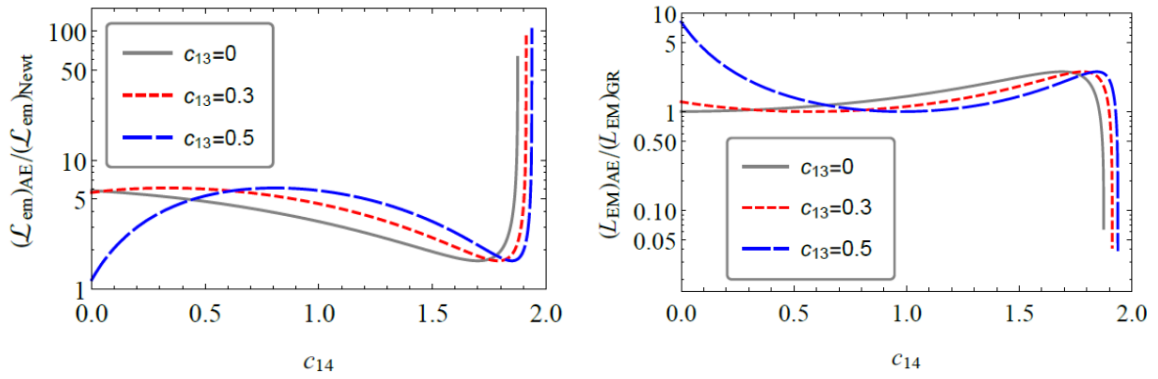


Figure 11: Dependence of luminosity of magneto-dipolar (on left) radiation and radiations of plasma magnetosphere (on right) of NS in Einstein-aether gravity from the parameter c_{14} for the different values of parameters c_{13}

The dependence curve of vacuum radiation luminosity from c_{14} has a minimum, for smaller values of parameter luminosity slowly decreases with its growth, switching to rapid increase after the minimum. Introduction of c_{13} adds the maximum point, making the dependence more complicated (Fig. 11 on left). Similar effects can be observed for magnetospheric radiation luminosity from NS. For $c_{13}=0$, luminosity- c_{14} dependence curve has a maximum point: luminosity increases with increase of c_{14} then switching to rapid falloff. Introduction of c_{13} creates additional minimum point, making luminosity decrease with increasing c_{14} for small values of the parameter (Fig. 11 on right).

“Deathline” within the framework of Einstein-aether gravity in polar cap model with inverse-Compton and curvature radiation photons as the source of pairs taking into account the effect of inertial frames dragging in the Einstein-aether theory is also studied. The primary electrons extracted by the strong electric field from the stellar surface can be accelerated up to Lorentz factor $10^5 \div 10^7$ and $10 \div 10^2$ by curvature radiation and inverse Compton scattering of thermal X-ray, respectively, which in turn provides the pairs cascade production. The plasma magnetospheric models predict that the pulsar’s electromagnetic radio emission

could be generated along the open field lines in the electron-positron plasma produced by the cascade generation of the electron-positron pairs taking place only if the following conditions are fulfilled.

$$B_{cr} \geq B_{surf} \geq B_{DL}, \quad (34)$$

where $B_{surf} = 6.4 \times 10^{19} \sqrt{P\dot{P}}$ (in Gauss) is stellar magnetic field at surface that could be extracted from the rich observational data in precise measurement of pulsar's spin period and its derivative. $B_{cr} = B_{Schw} = m^2 c^3 / e \hbar \approx 4.4 \times 10^{13} G$ is the quantum Schwinger limit which is define the threshold magnetic field at which the cyclotron energy of electron exactly equal to the rest mass energy of electron.

Consequently, B_{DL} is the minimum value of the magnetic field defining the “death line” regime which switches off the pair production. The deathlines strongly depend on configurations of the magnetic field at the stellar surface as well as on mechanism whether the origin of gamma quanta being responsible for pair production is curvature radiation or inverse Compton scattering.

Based on space charge limited flow model radio pulsar's turnoff through cut-off of inverse Compton radiations in the polar cap of the magnetized neutron star is studied. The deathline of the pulsar is defined by the condition when the position of accelerated charged particle radiation with maximum value of the γ -factor corresponds to the distance where the potential drop has maximum value. ICS and CR deathline equations in Einstein-aether gravity reads

$$\lg P = 3.8094 + \frac{2}{3} [\lg \dot{P}_{-15} + \lg D(c_{13}, c_{14})], \quad (35)$$

$$\lg P \simeq \frac{4}{9} \lg \dot{P}_{-15} - 7.37 + \frac{4}{9} \lg \rho_6(c_{13}, c_{14}), \quad (36)$$

where the function of the aether parameter $D(c_{13}, c_{14})$ stands as a correction to the theory and $\rho_6(c_{13}, c_{14})$ is curvature radius of the open magnetic field lines normalized to the typical radius 10^6 cm of the neutron star which depends on the parameters of the aether theory.

The important issue on obtaining constraints on the parameters of Einstein-aether gravity by combining all studies performed on the plasma magnetosphere of slowly rotating magnetized neutron stars with observational data on pulsars periods is explored. The performed calculations on the plasma magnetosphere are linked with the isolated neutron star models for which the luminosity is powered by their rotational kinetic energy. In order to obtain upper limits for the values of Einstein-aether gravity parameters, we explore the parameters of observed isolated neutron stars by (i) rotation powered pulsars (RPPs), (ii) anomalous X-ray pulsars (AXPs) (iii) soft gamma-ray repeaters (SGRs) (iv) rotating radio transients (RRATs) and (v) X-ray dim isolated neutron stars (XDINS). According to the definition of deathline, when the position of a pulsar in diagram is under the deathline, the pulsar cannot radiate electromagnetic radiation due to lack of plasma magnetosphere and hence cannot be observed in radio wave observations. One can get upper limits for the parameters of Einstein-aether gravity based on the condition that at the values of the Einstein-aether gravity parameters being greater than the upper limit values a pulsar disappears from the radio observations,

assuming the pulsar lies on the deathline with its current observed parameters in Einstein-aether gravity with the corresponding parameters. In other words, we are looking for the range of values of the parameters c_{13} and c_{14} when the deathline shifts due to the effect of Einstein-aether field up to the position of the radio-loud pulsar in space. The obtained constrains can help understand more clearly the nature/feature of Einstein-aether gravity. Below, we provide tables for different types of observed isolated pulsars (neutron stars) and get numerically the upper limits for Einstein-aether gravity parameters.

Table 1

Radio-load isolated neutron stars

Neutron star	Period, P millisecond	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR
PSR J1057 – 52269	197.114	5.83	0.952158	-39.8041	0.98342	-42.3326
PSR J1509 – 5850	88.925	9.17	0.951734	-39.4366	0.98658	-41.6524
PSR J1952 + 3252	39.534	5.83	0.951968	-39.9528	0.98698	-42.1368
PSR J2030 + 3641	200.129	6.51	0.952169	-39.8139	0.97986	-43.0021
PSR J2043 + 2740	96.131	1.23	0.952085	-39.7405	0.97963	-43.0124

Table 2

Radio-quiet isolated neutron stars

Neutron star	Period, P millisecond	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR
PSR J1746 – 3239	199.541	6.56	0.952171	-39.8153	0.98465	-42.6547
PSR J0106 + 4855	83.157	0.428	0.951896	-39.3827	0.98015	-43.0154
PSR J1836 + 5925	173.264	1.5	0.951938	-39.3482	0.98652	-43.65812
PSR J2028 + 3332	176.707	4.86	0.952156	-39.8026	0.9845	-42.6895
PSR J2139 + 4716	282.849	1.8	0.951767	-39.4654	0.98432	-43.0098
PSR J2030 + 4415	227.070	6.49	0.952144	-39.7917	0.98654	-42.3651
PSR J1957 + 5033	374.806	6.83	0.952022	-39.6858	0.97986	-42.3651
PSR J2055 + 2539	319.561	4.11	0.95196	-39.6324	0.9814	-41.9856

Table 3

Millisecond Pulsars

Neutron star	Period, P millisecond	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR
MPS J1448 – 2446aj	2.96	14.1232	0.94949	-37.6018	-	-
MPS J1448 – 2446ak	1.89	8.8495	0.90317	-18.6547	0.95624	-30.154
MPS J1832 – 0836	2.7191	0.862(5)	0.93545	-28.9865	0.9687	-35.6598
PSR J1326 – 7428 A	4.1088	2.7349	0.941174	-31.983	0.96547	-36.172
PSR J1944 + 2236	3.61799	0.7(5)	0.92367	-24.2052	0.9468	-32.687
PSR J1944 + 0907 A	5.1852	1.713(2)	0.930695	-26.8579	0.95364	-36.7654
PSR J1844 + 0115	7.1855	1.07(2)	0.875762	-14.0982	0.94689	-25.3654
PSR J1850 + 0124	3.5597	1.09(5)	0.932877	-27.796	0.96547	-36.145
PSR J1944 + 2236	4.9092	0.59(2)	0.872144	-13.6426	0.9465	-21.4468

Table 4

The X-ray Dim Isolated Neutron Stars

Neutron star	Period, P millisecond	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR
RX J0720.4 – 3125	8.39	7.01	0.950961	-38.7836	0.9688	-42.6687
RX J1308.6 + 2127	10.31	11.2	0.951088	-38.89	0.98744	-41.9978
RX J0806.4 – 4123	11.37	5.5 ± 3.0	0.950229 ± 0.00007	-38.1841 ± 0.0564	0.98035 $\pm$ 0.0014	-41.7768 ± 0.0996
RX J 1856.5- 3754	7.06	2.97 ± 0.07	0.950353 ± 0.000028	-38.2851 ± 0.023	0.98664 $\pm$ 0.00095	-42.0036 ± 0.1455
RX J2143.0 + 0654	9.43	4.1 ± 1.8	0.94998 ± 0.00066	-37.9894 $\pm$ 0.526	0.97886 ± 0.00142	-41.4766 ± 0.0836

Table 5

Anomalous X-ray Pulsars

Neutron star	Period, P millisecond	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR
CXOU J010043.1 – 721134	8.02	1.9	0.95233	-39.9552	0.97994	-42.556
4U 0142 + 61	8.69	0.2	0.952178	-39.8216	0.98112	-42.6654
1E 1547.0 – 5408	2.07	2.3	0.952368	-39.9883	0.97442	-43.3387
CXOU J164710.2 – 455216	10.6	0.092	0.951998	-39.6649	0.98664	-43.6819
1RXS J170849.0 – 400910	11	2.4	0.952323	-39.9493	0.98447	-43.0067

Table 6

Soft Gamma-ray Repeaters

Neutron star	Period, P millisecond	$\dot{P}_{-15}$	$c_{13}, (c_{14}=0)$ ICS	$c_{14}, (c_{13}=0)$ ICS	$c_{13}, (c_{14}=0)$ CR	$c_{14}, (c_{13}=0)$ CR
SGR 0418 + 5729	9.1	0.011	0.951211	-38.993	0.97664	-41.9975
SGR 0501 + 4516	5.76	0.71	0.952314	-39.9119	0.98006	-43.0011
SGR 0526 – 66	8.05	6.5	0.952357	-39.9788	0.98771	-42.7768
SGR 1627 – 41	2.59	1.9	0.952363	-39.984	0.98132	-42.6681
SGR 1833 – 0832	7.6	0.72	0.952296	-39.9256	0.98552	-43.2254

Study of the observational data allowed to get constrains of Einstein-aether gravity parameters. Details are shown in Tables 1-6. Radio-quiet neutron stars, X-ray pulsars and soft gamma ray repeaters yield almost the same constrains with c_{14} around -40 and $c_{13} \sim 0.95$. However, in case of millisecond pulsars estimations of c_{14} have much more variance.

Conclusion

Following conclusions have been obtained based on the results of the research for the PhD dissertation “Energetic properties of rotating neutron stars”:

1. For the first time, exact analytical solutions of the Maxwell equations for rotating magnetized neutron stars in space-time with deformation have been obtained.
2. For the first time, it is shown that positive and negative deformation shifts the line of switching off pulsars up and down, respectively. A new model with a quasiperiodic time dependence of deformation has been developed that describes the radiation mechanism of partially emitting radio pulsars.
3. For the first time, expressions have been found for the luminosity of electromagnetic radiation of radio pulsars in space-time with deformation. It is shown that the luminosity increases (decreases) under the influence of positive (negative) deformation and reaches a maximum that is several tens of millions of times higher than the standard value and can explain the nature of sources of repeated fast radio bursts (FRB) from magnetars.
4. It is shown for the first time that the luminosity of magneto-dipole (magnetospheric) radiation increases (decreases) by 10^3 – 10^4 times for the critical values of the parameters of the alternative theory of gravitation - Einstein-aether gravity.
5. For the first time, the limiting values for the parameters of Einstein-aether gravity were obtained by comparing the calculations of Compton backscattering and curvature radiation with the observed precision values of the rotation periods of isolated radio pulsars and millisecond pulsars.

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

РАЙИМБАЕВ ДЖАВЛАНБЕК РАДЖАПБАЕВИЧ

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ВРАЩАЮЩИХСЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД**

01.03.01- Астрономия

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

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № B2020.3.PhD/FM156.

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) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

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

Официальные
оппоненты: **Абдужаббаров Ахмаджон Адилжанович,**
доктор физико-математических наук, с.н.с.
Муждабаев Исмат Шевкетович
кандидат физико-математических наук, доцент

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

Защита диссертации состоится «___» _____ 2020 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.

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 «___» _____ 2020 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2020 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)

Актуальность и востребованность темы диссертации.

Намагнитенные нейтронные звёзды, являющиеся гравитационными компактными и массивными объектами, привлекают внимание многих исследователей в качестве мощного средства проверки различных теорий гравитации в режиме сильного поля и получения оценок и ограничений на предельные значения различных параметров, ответственных за эти теории. Это может способствовать более глубокому пониманию физики энергетических процессов, играющих важную роль в окрестностях нейтронных звёзд, наблюдаемых как радиопульсары, аномальные рентгеновские пульсары, а также как источники мягких повторяющихся гамма-всплесков и быстрых радио-всплесков (БРВ) от магнитаров. До настоящего времени не существует единой теории, которая могла бы объяснить всё разнообразие наблюдательных данных от компактных гравитационных объектов в разных спектральных диапазонах электромагнитных волн. Несмотря на наблюдения и детальное изучение несколько тысяч нейтронных звёзд и десятков магнитаров, не существует точной модели механизма генерации их электромагнитного излучения. Кроме того, не менее важна и проверка альтернативных теорий гравитации. Несмотря на то, что общая теория относительности была проверена во множестве астрофизических сценариев и в целом соответствует астрономическим наблюдениям и опытам, проверка, в основном, проводилась в режиме слабого поля, что оставляет открытым вопрос о том, достаточно ли общей теории относительности для полного описания астрофизики компактных гравитационных объектов.

Ведущими исследователями и учреждениями мира сделан ряд открытий, имеющих прямое отношение к теме диссертации и определяющих её актуальность и востребованность. Так, в наблюдениях нескольких частично излучающих пульсаров и пульсара RX J0806.4-4123 в 2018 году было обнаружено аномальное электромагнитное излучение в инфракрасном диапазоне, которое можно объяснить по-разному: горячий аккреционный диск, туманность вокруг пульсара и т.д. и т.п. Кроме того, было обнаружено, что открытый в 2018 г. и наблюдавшийся в течение 13 месяцев быстрый радио - всплеск (БРВ) FRB 180916.J0158+65, исходящий от спиральной галактики на расстоянии около 500 млн. световых лет, повторяется с высокой квазипериодичностью. Так же был обнаружен второй повторяющийся (период ~ 157 дней) БРВ, идущий из глубокого космоса. Физика повторяющихся БРВ до сих пор не ясна, и разрабатываемые модели сильно отличаются одна от другой. Все эти факты свидетельствуют о том, что механизм излучения нейтронных звёзд остаётся одним из важных вопросов релятивистской астрофизики.

Изучению нейтронных звёзд в нашей стране также уделяется большое внимание. В частности, ведутся обширные исследования по электромагнитному и гравитационному излучению и механизмам извлечения

энергии нейтронных звёзд, изучаются особенности гравитационного линзирования на гравитационных объектах, движение частиц и фотонов в их окрестностях, особенности геометрии пространства-времени и прочее.

Данная диссертационная работа соответствует задачам, утвержденным в государственных нормативных документах: Указе президента Республики Узбекистан № УП-4947 “О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан” от 7 февраля 2017 года, Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию Академии Наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 18.02.2017 года.

Соответствие исследования приоритетным областям научно-технического развития Республики Узбекистан. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Степень изученности проблемы.

Структура электромагнитного поля в окрестности вращающихся намагниченных объектов в сильном гравитационном режиме изучена рядом авторов Европы, США и другие стран мира (Дойч, Гинзбург, Озерной, Реццолла, Милер, Коджима, Абишев). Плазменная магнитосфера вокруг вращающейся намагниченной нейтронной звезды была впервые предложена Гольдрайхом и Джулианом, и далее разработаны различные модели с учетом эффектов общей теории относительности (Бескин, Муслимов, Цыган, Хардинг, Миллер). Движение заряженных пробных частиц, эквипотенциальные и энергетические поверхности в окрестностях медленно вращающихся намагниченных нейтронных звёзд были изучены рядом авторов (Бакала, Стухлик, Турсунов, Эпп, Мастерова, Колош).

Электродинамика нейтронов звезд в общей теории относительности была развита рядом авторов (Ахмедов, Абдужаббаров, Туримов, Абдикамалов и Морозова) в республике Узбекистан.

Отметим, что в вышеперечисленных исследованиях не было рассмотрено влияние деформации пространства-времени на электромагнитные поля в вакууме и на энергетические процессы в плазменной магнитосфере намагниченных нейтронных звезд. Кроме того, эффекты общей теории относительности не учтены в динамике заряженных частиц, на эквипотенциальные и энергетические поверхности в окрестности вращающихся намагниченных компактных объектов. Получение ограничений на параметры различных моделей гравитации на основе данных астрономических наблюдений от изолированных пульсаров не было разработано.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов

Астрономического института ФЕ2-ФА-Ф113 “Гравитационные и электромагнитные процессы в релятивистской астрофизике и космологии, системы бозонов при низких температурах (2012-2016), ЕФ2-ФА-О-25046 “Движение частиц со спином и распространение электромагнитных волн в окрестностях компактных гравитационных объектов” (2014-2015), ВА-ФА-Ф2-008 “Астрофизические процессы в статических и динамических релятивистских гравитационных объектах” (2017-2020), MRB – AN – 2019 – 29 «Моделирование компактных астрофизических объектов и расчеты их наблюдательных характеристик к параметрам телескопа РТ-70 и российского орбитального телескопа Гамма-400» (2019-2021 гг.).

Целью исследования является разработка моделей энергетических процессов, происходящих в окрестности намагниченных нейтронных звезд в вакууме и в плазменной магнитосфере, в различных теориях гравитации и их применение к астрофизическим наблюдаемым объектам.

Задачи исследования:

изучить вакуумные электромагнитные поля вращающихся намагниченных нейтронных звезд в деформированном пространстве-времени.

развить теоретическое изучение энергетических процессов в плазменной магнитосфере, окружающей деформированные нейтронные звезды.

исследовать энергетические и эквипотенциальные поверхности вокруг вращающихся намагниченных компактных объектов численными и аналитическими методами.

получить ограничения на параметры эйнштейновской гравитации в эфире, используя сравнение теоретических исследований механизмов магнитосферного излучения плазмы с данными наблюдений от пульсаров

Объектом исследования являются вращающиеся намагниченные релятивистские компактные гравитационные объекты – нейтронные звёзды.

Предметом исследования является вакуумная и плазменная магнитосфера нейтронных звёзд и механизмы излучения в полярной шапке.

Методами исследования являются математический аппарат общерелятивистской электродинамики пульсаров и численные и аналитические методы решения дифференциальных уравнений поля и движения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые получены решения уравнений Максвелла для медленно вращающейся намагниченной деформированной нейтронной звезды и показано, что значение магнитного поля растет под влиянием положительной деформации;

впервые показано, что положительная и отрицательная деформация сдвигает линию выключения радио пульсаров вверх или вниз,

соответственно, предложенный модель позволить объяснить физика частично излучающих пульсаров;

показано, что положительная деформация уменьшает размер полярной шапки намагниченной нейтронной звезды, что согласуется с наблюдаемыми тонкими струйными выбросами вдоль осисимметрии нейтронных звезд;

впервые получены ограничения на параметры эйнштейновской гравитации в эфире путем сравнения расчетов обратного комптоновского рассеяния и излучения кривизны с наблюдаемыми свойствами изолированных нейтронных звёзд, радиопульсаров, источников мягких повторяющихся гамма-всплесков и миллисекундных пульсаров;

разработана новая методология получения ограничений на параметры различных моделей гравитации на основе данных астрономических наблюдений от изолированных пульсаров и применена к эйнштейновской гравитации в эфире.

Практические результаты исследования:

впервые получено критическое значение параметра деформации, при котором радио пульсар становится ненаблюдаемым;

показано, что светимости магнитодипольного и магнитосферного излучений нейтронных звезд растет под влиянием положительной деформации;

показано, что величина ускоряющего электрического поля параллельного магнитному полю вблизи поверхности нейтронной звезды убывает с ростом параметра деформации;

изучение ускорения заряженных частиц в полярной шапке показало, что положительная деформация может проявлять себя как дополнительный гравитационный эффект;

впервые показано, что пиковая светимость радиопульсаров увеличивается в 10^9 раз при критическом значении параметра пространственно-временной деформации. Полученный результат может быть использован в качестве модели для объяснения природы источников повторяющихся быстрых радиовсплесков как проявлений активности магнетаров.

Достоверность результатов исследования обеспечена следующим: использование современных методов теории поля и эффективных численных методов и алгоритмов; тщательная проверка соответствия полученных теоретических результатов наблюдательным данным и результатам других авторов; согласованность выводов с основными положениями теории поля компактных гравитационных объектов.

Научная и практическая значимость результатов исследования обуславливается возможностью использования полученных в диссертационном исследовании результатов для объяснения механизмов излучения при описании высокоэнергетических процессов в окрестностях нейтронных звёзд. В диссертационной работе получены результаты о влиянии малой деформации пространства-времени на электромагнитные

поля вращающихся нейтронных звёзд и на энергетические процессы в плазменной магнитосфере, в частности, влияние на светимости излучения и линии выключения радио пульсаров. Полученные результаты можно применить для создания новой модели физики частично излучающих пульсаров. Кроме того, исследована динамика и энергетические поверхности релятивистских частиц вокруг медленно вращающихся нейтронных звёзд. Полученные при этом результаты могут быть использованы в теоретических исследованиях наблюдаемых частотных профилей пульсаров.

Внедрение результатов исследования.

Результаты исследования влияния деформации пространства-времени на плазменную магнитосферу нейтронной звезды, в частности, результаты модели, предложенные для объяснения происхождения повторяющихся быстрых радиовсплесков были использованы исследователями из Калифорнийского государственного университета (справка Силезийского университета в Опаве, Чешская республика, от 27 июля 2020 г.) . Использование научных результатов позволило получения предельных значений параметров модифицированных теорий гравитации на основе данным наблюдений пульсаров.

Результаты предложенной модели для объяснения физики частично излучающих пульсаров использованы учеными из Силезского университета в Опаве и Центра гравитации и астрофизики Альберта Эйнштейна при Чешском научном фонде в исследованиях динамических процессов в окрестности нейтронных звезд (справка Силезийского университета в Опаве, Чешская республика, от 29 июня 2020 г.). Использование научных результатов позволило тестировать альтернативных теории гравитации.

Результаты исследования вакуумной и плазменной магнитосферы намагниченных нейтронных звезд и энергетических процессов в ней использовались несколькими авторами (Journal of Plasma Physics (Vol.82,635820502,2016), Astrophysics and Space Science (Vol. 361, 112, 2016), Physical Review D (Vol. 98, 024022, 2018; Vol. 97, 124005, 2018; Vol. 99, 104009, 2019), Progress of Physics (Vol.67, 1900077, 2019)). Использование научных результатов позволило анализировать астрофизических процессах в плазменные магнитосфере нейтронных звезд.

Аппробация результатов исследования. Результаты, полученные в диссертационной работе, были доложены на 4 международных и 3 республиканских конференциях, а так же на ряде зарубежных научных семинаров.

Опубликованность результатов исследования. По результатам диссертационного исследования опубликовано 25 научных работ, из них 10 статей в реферируемых журналах.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе получены и исследованы решения уравнений Максвелла

в окрестности нейтронной звезды в пространстве-времени с деформацией.

Во второй главе исследовано влияние деформации пространства-времени на энергетические процессы в плазменной магнитосфере нейтронной звезды.

В третьей главе рассмотрена динамика движения частиц вокруг медленно вращающейся нейтронной звезды и их эквипотенциальные и энергетические поверхности.

В четвертой главе исследована природа и физика радио громких/тихих пульсаров и торможения вращения изолированных нейтронных звезд в рамках эйнштейновской гравитации в эфире.

Заключение

По результатам исследований, проведенных по теме PhD диссертации “Энергетические свойства вращающихся нейтронных звёзд”, представлены следующие выводы:

1. впервые получены точные аналитические решения уравнений Максвелла для вращающейся намагниченной нейтронной звезды в пространстве-времени с деформацией;
2. впервые показано, что положительная и отрицательная деформация сдвигает линию выключения пульсаров вверх или вниз, соответственно. Разработана новая модель с квазипериодической временной зависимостью деформации, описывающая механизм излучения частично излучающих радиопульсаров;
3. впервые найдены выражения для светимости электромагнитного излучения радиопульсаров в пространстве-времени с деформацией. Показано, что светимость растёт (убывает) под влиянием положительной (отрицательной) деформации и достигает максимума, который в несколько десятков миллионов раз превышает стандартное значение и может объяснить природу источников повторяющихся быстрых радио-всплесков (БРВ) от магнитаров;
4. впервые показано, что светимость магнитодипольного (магнитосферного) излучения увеличивается (уменьшается) в $10^3 - 10^4$ раз для критических значений параметров альтернативной теории гравитации - "Эйнштейновской гравитации в эфире";
5. впервые получены предельные значения на параметры "Эйнштейновской гравитации в эфире" путем сравнения расчетов обратного комптоновского рассеяния и излучения кривизны с наблюдаемыми прецизионными значениями периодов вращения изолированных радиопульсаров и миллисекундных пульсаров.

ЭЪЛОН Қ ИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
I бўлим (I часть; part I)

1. Rayimbaev J.R., Ahmedov B.J., Jurayeva N.B., Rakhmatov A.S. Magnetosphere of magnetized deformed neutron stars // Astrophysics and Space Science. – Berlin Heidelberg: Springer (Germany), 2015. Vol. 356, issue 2, pp. 301-308. (№ 1. Web of Science: IF=1.885)
2. Rayimbaev J.R. Magnetized particle motion around deformed compact objects immersed in an external uniform magnetic field // Astrophysics and Space Science. – Berlin Heidelberg: Springer (Germany), 2016. Vol. 361, issue 9, id. 288, 11 pages. (№ 1. Web of Science: IF=1.885)
3. Rayimbaev J.R., Turimov B.V., Ahmedov B.J. Braneworld effects in plasma magnetosphere of a slowly rotating magnetized neutron star // International Journal of Modern Physics D. –Word Scientific (Singapore), 2019. –Vol. 28, issue 10, id 1950128-209 (21 pages). (№ 1. Web of Science: IF=2.004)
4. Rayimbaev J.R., Turimov B.V., Palvanov, S.R., Marcos Figueora, Rakhmatov A.S., Particle acceleration and electromagnetic field around deformed neutron stars, Modern Physics Letters A. –Word Scientific (Singapore), 2020. –Vol. 28, issue 09, id.2050056 (25 pages) (№ 1. Web of Science: IF=1.367)
5. Javlon Rayimbaev, Marcos Figueroa, Zdeněk Stuchlík and Bakhtinur Juraev, Test particle orbits around regular compact objects in general relativity combined with nonlinear electrodynamics, Physical Review D, 101, issue 10, 104045 (2020) (№ 1. Web of Science: IF=4.394)
6. Javlon Rayimbaev, Pulat Tadjimuratov, Can modified gravity silence radio-loud pulsars? Physical Review D, 102, issue 2, 024019, (2020). (№ 1. Web of Science: IF=4.394)
7. Rayimbaev J.R., Rakhmatov A.S., Palvanov, S.R., Mamadjanov A. Test particle motion around brany compact objects immersed in an external asymptotically uniform magnetic field // Bulletin of National University of Uzbekistan: Mathematics and Natural Sciences, 2019. Vol.2, issue 2, pp. 113-124. (№5 01.00.00)
8. Djavlanbek Rayimbaev, Satimbay Palvanov, Maksud Umaraliyev, Malika Khudoyberdiyeva, Death line for radio pulsars in braneworlds, // Bulletin of National University of Uzbekistan: Mathematics and Natural Sciences, 2020. Vol.3, issue 1, pp. 110-120. (№5 01.00.00)
9. Rayimbaev J.R., Turimov B.V., Palvanov, S.R., Plasma magnetosphere of slowly rotating magnetized neutron star in braneworld // International Journal of Modern Physics: Conference Series. –Word Scientific (Singapore), Vol. 49, id 1960019 (2019). (№ 1. Web of Science: IF=0.54)
10. Turimov B.V., Rayimbaev J.R., Rakhmatov A.S. Gravitational field energy of brany compact objects, Proceedings of RAGtime 17-19: Workshops on black holes and neutron stars, 17-19/23-26 Oct., 1-5 Nov. 2015/2016/2017, Opava, Czech Republic, Z. Stuchlík, G. Török and V. Karas editors, Silesian

II бўлим (II часть; part II)

11. Rayimbaev J.R. - "Neutron stars" // 9th scientific seminars training of young astronoms " Samarkand, Uzbekistan, April 9-12, 2019.
12. Rayimbaev J.R. Radio Pulsars and magnetars study in Uzbekistan // International conference on " Present Status and Future Prospects of the Radio observatory at Plateu Suffa in Uzbekistan " // Tashkent, Uzbekistan, August 27-29, 2018.
13. Rayimbaev J.R. Plasma magnetosphere of slowly rotating magnetized neutron star in braneworld // International workshop on "New aspects of the Hadron and Astro/Nuclear Physics" Tashkent, Uzbekistan, November 5-10, 2018.
14. Rayimbaev J.R., Boboqambarova M., Qurbanov N. and Muzaffarov A, Particle collision around non-Schwarzschild black hole in the presence of magnetic field // ФИЗИКА ФАНИНИНГ РИВОЖИДА ИСТЕЪДОДЛИ ЁШЛАРНИНГ ЎРНИ, РИАК-XI-2018, 11-12 may 2018, 135-137pp.
15. Rayimbaev J.R. V-th International Conference on Cosmology, Relativistic and Nuclear Astrophysics (ICCRNA 2017) // KazNU named after AL-FARABI, Almaty, Kazakhstan
16. Rayimbaev J.R. Phenomenology of strong gravity. // NAZARBAYEV UNIVERSITY, Astana, Kazakhstan, September 14-16, 2016.
17. Rayimbaev J.R., Nazrilloyev B.M. Influence of magnetic fields on magnetized particle motion around non-Schwarzschild black hole. International symposium on "New trends of development fundamental and applied Physics: Problems, Achievements and Prospects" pp. 65-66
18. Rayimbaev J.R., Abdikamalov A.B. Influence of space-time deformation on magnetic field of magnetized neutron stars. International symposium on "New trends of development fundamental and applied Physics: Problems, Achievements and Prospects" pp.128-130
19. Rayimbaev J.R. Urinov S.N. Jurayeva N.B. Magnetized particle acceleration around non-Schwarzschild black hole immersed in a uniform magnetic field // "Физика фани муаммолари ва уларнинг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни" Республика илмий-амалий конференция материаллари тўплами РИАК-IX Тошкент -2016 90-93 вв.
20. Rayimbaev J.R., S. Nuraliev, N. Yuldashov. Scalar potential polar cap of slowly rotating non – Kerr neutron stars // "Role of new talents in Physics" scientific conference, pp.42-43, Tashkent, 2015
21. Rayimbaev J.R. Equipotential surfaces for a relativistic charged particle around slowly rotating neutron stars // Apply-scientific conference of Young scientist // Ёш олимлар илмий-амалий конференцияси -2015 // Маъруза тезислари тўплами 22.12.2015 14-16 вв.

22. Rayimbaev J.R., Hakimov A.A. Energy losses of the rotating deformed neutron stars // Fundamental and apply questions in physics, Republican conferency dedicated to 100 years of academic S.A. Azimov, Nov. 6 – 7, 2014 y., p.29
23. Hakimov A, Rayimbaev J.R. Quantum interference effects in conformal Weyl gravity // Fundamental and apply questions in physics, Republican conferency dedicated to 100 years of academic S.A. Azimov, Nov. 6 – 7, 2014 y., p.16
24. Rayimbaev J.R. Accelerating electrical fields on the slowly rotating non-Kerr neutron stars // IV ‘Nuclear phycs and technology’ Republican conferency of junior physics of Uzbekistan., 2 – 3 December, 2014 y., Tashkent, pages: 35 – 51.
25. Rayimbaev J.R., Juraeva N.B. Plasma magnetosphere of deformed neutron stars // Republic conference of “Studies of Ulughbek”, Tashkent, NUU.2014y., issue3, pages:80-83.