

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА  
имени МИРЗО УЛУГБЕКА**

*На правах рукописи  
УДК 530.12:531.51*

**АБДУЖАББАРОВ АХМАДЖОН АДИЛЖАНОВИЧ**

**ОБЩЕРЕЛЯТИВИСТСКИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
В СТАЦИОНАРНЫХ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ  
ПРОСТРАНСТВАХ**

*01.03.02 – Астрофизика, радиоастрономия*

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

**Ташкент – 2009**

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

**Научный руководитель:** доктор физико – математических наук  
**АХМЕДОВ БОБОМУРОТ ЖУРАЕВИЧ**  
(ИЯФ АН РУз, г. Ташкент)

**Официальные оппоненты:** доктор физико – математических наук,  
**проф. САТТАРОВ ИСРОИЛ**  
(ТГПУ, г. Ташкент)

кандидат физико – математических наук,  
**доц. ФАЙЗУЛЛАЕВ БИРУНИ**  
**АМАНУЛЛАЕВИЧ**  
(НУУз, г. Ташкент)

**Ведущая организация:** Кыргызско-Российский Славянский  
университет (КРСУ), г. Бишкек

Защита состоится 18 июня 2009 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании  
Специализированного Совета Д067.02.13 при НУУз имени Мирзо Улугбека  
по адресу: 100174, г. Ташкент, Вузгородок, физический факультет (кабинет-  
музей академика С.Азимова) НУУз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального  
университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью, просьба присылать по  
адресу Физического факультета Национального университета Узбекистана  
имени Мирзо Улугбека.

Автореферат разослан 18 мая 2009 г.

**Ученый секретарь**  
**Специализированного Совета**  
**кандидат физ.-мат.наук**



**К.Т. МИРТАДЖИЕВА**

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность работы.** Современная теория тяготения - общая теория относительности (ОТО) долгое время оставалась математизированной теорией имеющей малое практическое применение в астрофизике в основном из-за слабости гравитационных полей в рамках солнечной системы. До 60-х годов прошлого столетия ОТО давала лишь малые поправки, доступные измерению только точнейшим прецизионным приборам.

Однако, современные достижения экспериментальной техники астрофизических наблюдений сделали возможным и необходимым учитывать влияние общерелятивистских эффектов на результаты многих повседневных астрономических наблюдений, связанных, например, с наблюдениями компактных массивных астрономических объектов (галактических и внегалактических) с сильными гравитационными и электромагнитными полями, играющих роль уникальных астрофизических релятивистских лабораторий. Поэтому исследование влияния риманова характера геометрии вблизи компактных релятивистских объектов на результаты астрономических наблюдений является актуальным. При современных точностях измерений астрофизика становится релятивистской, а ОТО - рабочим инструментом астрономии, а именно практически значимой важной теорией описывающей релятивистские астрофизические процессы.

В частности, к сильному изменению облика релятивистской астрофизики и космологии привели открытия, произведенные в 60-70-е годы XX-столетия. Это прежде всего - открытие микроволнового космологического излучения и являющееся веским доказательством в пользу «горячей модели Вселенной», предложенной Гамовым еще в 1948 г., а также открытие пульсаров Д. Беллом и Э. Хьюишом 1968 г., которые представляют собой быстро вращающиеся сильно намагниченные компактные нейтронные звезды (НЗ).

В настоящее время имеются многочисленные доказательства существования сверхмассивных черных дыр (ЧД) в центре многих галактик и вращающихся ЧД звездной массы в центре аккреционных дисков. Особую актуальность исследованию эволюционных процессов в ЧД и к их моделированию придает тот факт, что современные астрономические наблюдения основаны на регистрации электромагнитных сигналов астрономического происхождения в широком спектральном диапазоне, а влияние искривленного пространства-времени на электромагнитные поля имеет фундаментальный интерес, который возрастает, когда эти эффекты могут быть связаны с богатой наблюдательной феноменологией.

Следующий этап развития теории гравитации связан в первую очередь с неожиданным открытием в 1997 году ускоренного расширения Вселенной. Дальнейшие открытия в релятивистской астрономии и космологии (открытие сверхмассивных ЧД в центре галактик, темной материи, темной энергии, магнитаров, аномальных рентгеновских пульсаров и т.д.) подтолкнули исследователей в области ОТО к поиску адекватных теоретических

объяснений эффектам связанным с этими новыми революционными открытиями.

В последнее время в связи с открытием новых форм материи во Вселенной в релятивистской астрофизике усилился интерес к гравитационным объектам содержащим темную энергию или темное вещество, в частности к работам, в которых обсуждаются решения уравнений Эйнштейна, описывающие проходимые кротовые норы (КН) и исследованиям альтернативных конфигураций, что привело к нахождению решения для так называемого гравастара, гравитационной вакуумной звезды, состоящей из темной энергии.

И наконец, важной и актуальной проблемой в настоящее время является экспериментальная проверка современной теории гравитации. Проведенные классические гравитационные эксперименты не коснулись основного свойства гравитационного поля, предсказываемого ОТО, - его тензорности. Такие знаменитые эффекты как красное смещение, отклонение луча света гравитационном полем (Солнца), прецессия перигелия Меркурия, запаздывание радарного эха, описываются диагональными членами метрического тензора и подтверждают наличие малых общерелятивистских поправок к ньютоновским гравитационным эффектам.

Недавно полученные точные решения для внешнего гравитационного поля релятивистских звезд на бранах создали интерес к изучению эффекта напряженности брана на различные астрофизические процессы.

Актуальность исследования звездных систем с сильно намагниченными компактными объектами – магнитарами стала мотивом их наблюдений как во многих крупных обсерваториях, так и в частности в Астрономическом институте АН РУз.

Мотивация данного исследования обусловлена тем, что тестирование сильного гравитационного поля и обнаружение возможных отклонений от стандартной ОТО, дающих сигнал о наличии новой физики, остаются одними из наиболее важных задач наблюдательной астрофизики. В силу своей компактности, ЧД и НЗ обеспечивают идеальные условия для проведения точных релятивистских измерений, в частности, наблюдательной проверки решений уравнения поля в модели на бранах.

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время представляет интерес изучение электромагнитных полей и движения частиц в Керр-Тауб-НУТ пространстве с целью получения нового инструмента для изучения важных общерелятивистских эффектов, которые связаны с недиагональными компонентами метрического тензора и не имеют ньютоновских аналогов. Исследование электромагнитных процессов в окрестности Керр-Тауб-НУТ компактного гравитационного объекта обусловлено тем, что эффекты ОТО в метрике Керр-Тауб-НУТ могут дать возможность экспериментального обнаружения гравитационного монополярного момента, общерелятивистский эффект увлечения инерциальных систем отсчета (ИСО), поскольку наличие сильных электромагнитных полей считается одной из наиболее важных особенностей вращающихся НЗ, наблюдаемых как пульсары и магнитары.

Хотя в литературе исследована возможность существования круговых орбит вокруг КН, влияние форм параметра и собственного электромагнитного поля на движения заряженных частиц остаются неизученным. Несмотря на то, что несколько астрофизических аспектов решения для гравастара, таких как термодинамические свойства, моды квазинормальных колебаний и нестабильность эргорегиона, обсуждались в литературах, электромагнитное поле внутри гравастара остается малоизученным.

Эффект напряженности брана на конфигурацию магнитного поля вращающихся релятивистских компактных звезд еще не изучен. Поскольку магнитное поле определяет феноменологию наблюдений компактных звезд, исследование напряженности брана на звездные магнитные поля является актуальной задачей. Задача об исследовании электромагнитного поля и движение частиц вокруг вращающихся ЧД на бранах, находящихся в асимптотически однородном магнитном поле до сих пор остается нерешенной. Изучение орбит пробных частиц может обеспечить определения характеристик, физической природы и свойств соответствующей метрики пространства-времени. Одним из неизученных вопросов является вопрос об устойчивости бессиловой магнитосферы вращающейся ЧД, помещенной во внешнее магнитное поле, который ответствен за эффективность механизма Блэндфорда-Знаека.

**Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.** Диссертационная работа выполнена в ИЯФ АН РУз и АИ АН РУз в период 2006-2009 гг. в рамках научных проектов ЦНТ и ККРНТ Ф – 2.1.9, Ф – 2.2.6, ФА – Ф2 – Ф079, ФА – Ф2 – Ф061, и ФПФИ АН РУз № 1 – 06, 5 – 08, 29 – 08.

**Цель исследования.** Целью данной диссертационной работы является изучение электромагнитных полей и движения пробных частиц в пространстве-времени а) Керр-Тауб-НУТ, б) вращающейся намагниченной КН, в) в оболочке гравитационной вакуумной звезды из темной энергии, г) ЧД на бранах во внешнем однородном магнитном поле; получить точные аналитические решения для зависимости радиуса стабильной круговой орбиты (СКО) от бран параметра для движения пробной частицы вокруг ЧД на бранах; исследование влияния спина и гравитомагнитного момента ЧД на процессы извлечения энергии вращающейся ЧД.

**Задачи исследования.** Для достижения вышеуказанных целей нам надо было решить нижеследующие задачи:

- Получить аналитические и численные результаты для звездного магнитного поля для рассматриваемых различных моделей аксиально—симметричных гравитационных объектов.
- Найти основные уравнения Максвелла в пространстве-времени сферических компактных объектов на бране. Анализ внутреннего магнитного поля для различных уравнений состояния внутри разных намагниченных гравитационных объектов. Найти точные аналитические внутренние решения уравнений Максвелла и Эйнштейна для звездного вещества с жестким уравнением состояния.

- Проинтегрировать внешние уравнения Максвелла из асимптотической бесконечности до поверхности звезды и найти численное решение для магнитного поля вне звезды на бранах. Численно проинтегрировать уравнения для магнитного поля внутри релятивистских звезд.
- В качестве астрофизических применений полученных результатов найти изменение мощности электромагнитного магнитодипольного излучения вращающейся звезды из-за эффекта брана.
- Рассмотреть движение заряженных частиц в окрестности а) Керр-Тауб-НУТ объекта, б) КН, в) компактных объектов на бране помещенной во внешнее однородное магнитное поле.
- Исследовать электромагнитные поля вращающейся намагниченной звезды на бранах с различными конфигурациями магнитного поля.
- Исследовать устойчивость бессиловой магнитосферы вращающейся ЧД, помещенной во внешнее магнитное поле.
- Проанализировать итоговые результаты исследований, сопоставить их с аналогичными результатами зарубежных авторов.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются релятивистские компактные объекты - ЧД, КН, НЗ, гравастары. Предметом исследования являются электромагнитные поля в окрестности и внутри компактных намагниченных гравитационных объектов, СКО пробных частиц вокруг рассматриваемых объектов, извлечение энергии вращающихся ЧД.

**Методы исследований.** В теоретическом плане методами исследования являются математический аппарат макроскопической электродинамики в ОТО и метрической афинной дифференциальной геометрии, аналитические и численные методы решения дифференциальных уравнений поля и движения.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Точные аналитические решения для электромагнитного поля а) в пространстве - времени Керр-Тауб-НУТ, б) вращающейся намагниченной НЗ с гравитомагнитным зарядом. Влияние магнитного поля доминирует по сравнению с НУТ параметром на движение заряженных частиц в пространстве Керр-Тауб-НУТ. Показано, что НУТ параметр существенно усиливает процессы Блэндфорда-Знаека и Пенроуза по извлечению энергии ЧД.
2. Точное вакуумное решение уравнений Максвелла в пространстве – времени вращающейся намагниченной КН. Установленная сильная зависимость движения частиц от форм параметра КН и магнитного поля. Аналитические выражения для компонент внутреннего дипольного магнитного поля гравастара.
3. Внутреннее магнитное поле в намагниченной релятивистской звезде на бране. Оригинальное точное решение для значения нижней границы внутренней СКО пробной частицы в окрестности ЧД на бране. Верхний предел для бран параметра из астрофизических наблюдений аккреционных дисков ЧД.

4. Доказана устойчивость плазменной магнитосферы в окрестности вращающейся ЧД во внешнем магнитном поле, что подтверждает эффективность процесса Блэндфорда-Знаека по извлечению энергии ЧД.

**Научная новизна** определяется тем, что в диссертации впервые: найдены точные аналитические решения для электромагнитного поля а) в пространстве - времени Керр-Тауб-НУТ, б) вращающейся намагниченной НЗ с гравитомагнитным зарядом. Впервые показано, что влияние магнитного поля является доминирующим по сравнению с НУТ параметром на движение заряженных частиц в пространстве Керр-Тауб-НУТ. Показано, что НУТ параметр существенно усиливает процессы Блэндфорда-Знаека и Пенроуза по извлечению энергии ЧД. Впервые найдено точное вакуумное решение уравнений Максвелла в пространстве – времени вращающейся намагниченной КН. Впервые установлена сильная зависимость движения частиц от форм параметра КН и магнитного поля. Впервые найдены аналитические выражения для компонент внутреннего дипольного магнитного поля гравастара. Впервые найдено внутреннее магнитное поле в намагниченной релятивистской звезде на бране. Впервые получено оригинальное точное решение для нижней границы внутренней СКО пробной частицы в окрестности ЧД на бране. Из астрофизических наблюдений аккреционных дисков ЧД получен верхний предел для бран параметра. Показано, что плазменная магнитосфера в окрестности вращающейся ЧД является устойчивой, что подтверждает эффективность процесса Блэндфорда-Знаека по извлечению энергии ЧД.

**Научная и практическая значимость результатов исследования** состоит в том, что полученные результаты могут играть важную роль в обнаружении и исследовании монополярного гравитомагнитного заряда, существование которого теоретически предсказано в рамках ОТО, но до сих пор не обнаружено. Полученные теоретические данные также могут быть сравнены с экспериментальными наблюдательными данными о существовании и отличии КН от кандидатов в ЧД. Полученное выражение магнитного поля гравастара может быть полезной для описания различных электромагнитных процессов в гравастаре. Данные позволяют получить верхний предел на величину бран параметра из данных по наблюдению аккреции вещества на вращающую ЧД.

**Реализация результатов.** Результаты данной работы включены в специальные курсы по теории гравитации и релятивистской астрофизики в рамках бакалавриатуры и магистратуры по направлениям «Астрономия» и «Теоретическая физика» в Национальном университете Узбекистана.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на семинарах Межуниверситетского центра астрономии и астрофизики (МЦАА, Пуна, Индия); на международной конференции "Низкочастотное электромагнитное излучение во Вселенной", Национальный центр радиоастрономии (Индия, 8-12 декабря, 2008 г.); на летней школе по космологии (Триест, Италия, 21 июля-1 августа 2008 г.); на семинарах ИЯФ АН РУз; на семинарах АИ АН РУз; на научно-практической конференции

"Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики" (Ташкент, 2008 г.); на научно-практической конференции студентов и молодых ученых "Роль молодежи в сегодняшнем развитии физики" (Ташкент, 2008 г.); на республиканской конференции молодых ученых (Самарканд, 2008 г.); на II республиканской конференции молодых физиков Узбекистана (Ташкент, 2008 г.); на конференции "Современная физика и ее перспективы" (Ташкент, 2009 г.).

**Опубликованность результатов.** По материалам диссертации опубликовано 12 научных статей: из них 6 в научных рецензируемых журналах – 3 в международных журналах, 3 в местных журналах, 1 препринт, 5 в сборниках трудов республиканских конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из Введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы из 148 наименований. Она изложена на 120 страницах основного текста, включая 30 рисунков и 9 таблиц.

**Личный вклад диссертанта.** В работах, выполненных совместно с научным руководителем и соавторами, вклад автора диссертации был определяющим. Автор выполнил основные численные и аналитические расчеты, приведенные в диссертации, активно участвовал в обсуждениях постановки задач и при анализе полученных результатов. Обобщение результатов и основные выводы, приведенные в заключительном разделе диссертации, сформулированы лично автором.

## 2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы её цель и задачи, определены основные положения, выдвигаемые на защиту и дается ее краткая характеристика.

**В первой главе** исследуется электромагнитные поля движение частиц в пространстве-времени Керр-Тауб-НУТ и медленно вращающейся намагниченной НУТ звезды. Предполагается, что Керр-Тауб-НУТ объект находится (а) в однородном магнитном поле и (б) в дипольном магнитном поле, создаваемом круговым током в аккреционном диске. Вычислены электрические и магнитные поля в непосредственной близости от Керр-Тауб-НУТ компактного объекта, используя метод построения вакуумных решений уравнений Максвелла в аксиально-симметричном стационарном пространстве-времени, предложенный Уолдом в 1974 г. Пространство-время Керр-Тауб-НУТ компактного гравитационного объекта в сферических координатах описывается метрикой:

$$ds^2 = -\frac{1}{\Sigma}(\Delta - a^2 \sin^2 \theta)dt^2 + \frac{2}{\Sigma}[\Delta\chi - a(\Sigma + a\chi)\sin^2 \theta]dtd\varphi + \frac{1}{\Sigma}[(\Sigma + a\chi)^2 \sin^2 \theta - \chi^2 \Delta]d\varphi^2 + \frac{\Sigma}{\Delta}dr^2 + \Sigma d\theta^2, \quad (1)$$

где параметры  $\Sigma$ ,  $\Delta$  и  $\chi$  определяются как  $\Sigma = r^2 + (l + a \cos \theta)^2$ ,  $\Delta = r^2 - 2Mr - l^2 + a^2$ ,  $\chi = a \sin^2 \theta - 2l \cos \theta$ , здесь  $l$  - гравитомагнитный монополярный момент,  $a$  – удельный угловой импульс на полную массу  $M$ .



Четырехмерный потенциал  $A_\alpha$  электромагнитного поля принимает следующий вид:

$$A_0 = -\frac{B}{\Sigma} \left\{ \Delta \left( a - \frac{\chi}{2} \right) + a \left[ \frac{1}{2} (\Sigma + a\chi) - a^2 \right] \sin^2 \theta \right\} = -\frac{BK}{\Sigma}, \quad (2)$$

$$A_3 = \frac{B}{\Sigma} \left\{ \Delta \chi \left( a - \frac{\chi}{2} \right) + (\Sigma + a\chi) \left[ \frac{1}{2} (\Sigma + a\chi) - a^2 \right] \sin^2 \theta \right\} = \frac{BL}{\Sigma}. \quad (3)$$

В связи с тем, что движение заряженной частицы вокруг выше рассмотренного объекта вызывает огромный интерес с точки зрения астрофизики, рассматривается уравнение Гамильтона-Якоби:

$$g^{\mu\nu} \left( \frac{\partial S}{\partial x^\mu} - eA_\mu \right) \left( \frac{\partial S}{\partial x^\nu} - eA_\nu \right) = -m^2, \quad (4)$$

где  $e$  и  $m$  - заряд и масса частицы соответственно, а  $S$  это действие, которое для рассматриваемого случая можно написать в виде:

$$S = -\mathcal{E}t + \mathcal{L}\varphi + S_{r\varphi}(r, \varphi), \quad (5)$$

здесь  $\mathcal{E}$  и  $\mathcal{L}$  энергия и момент пробной частицы. При таком виде действия уравнение Гамильтона-Якоби принимает следующий вид:

$$\Delta \left( \frac{\partial S_{r\theta}}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{\partial S_{r\theta}}{\partial \theta} \right)^2 + \frac{(\Sigma + a\chi)^2 \sin^2 \theta - \chi^2 \Delta \left( \mathcal{E} + \frac{eBK}{\Sigma} \right)^2}{\Delta \sin^2 \theta} - \frac{2(\Delta\chi - a(\Sigma + a\chi)\sin^2 \theta)}{\Delta \sin^2 \theta} \left( \mathcal{E} + \frac{eBK}{\Sigma} \right) \left( \mathcal{L} + \frac{eBL}{\Sigma} \right) + \frac{\Delta - a^2 \sin^2 \theta}{\Delta \sin^2 \theta} \left( \mathcal{L} + \frac{eBL}{\Sigma} \right)^2 - m^2 \Sigma = 0. \quad (6)$$

Разделить переменные в уравнение (6) оказывается возможным в экваториальной плоскости, т.е.  $\theta = \pi/2$  и радиальное уравнение движения принимает следующий вид:

$$\left( \frac{dr}{d\sigma} \right)^2 = \mathcal{E}^2 - 1 - 2V(\mathcal{E}, \mathcal{L}, r, b, a, l), \quad (7)$$

где  $\sigma$  - собственное время вдоль траектории частицы. Величину:

$$V(\mathcal{E}, \mathcal{L}, r, b, a, l) = -\left( \mathcal{E} + \frac{bK}{M\Sigma} \right) \frac{bK}{M\Sigma} + \frac{b^2 K^2}{2M^2 \Sigma^2} - \frac{a^2}{\Sigma} \left( 1 + \frac{a^2}{2\Sigma} \right) \left( \mathcal{E} + \frac{bK}{M\Sigma} \right)^2 - \frac{2l^2 + 2Mr - a^2}{2\Sigma} + \frac{\Delta - \Sigma - a^2}{\Sigma^2} a \left( \mathcal{E} + \frac{bK}{M\Sigma} \right) \left( \mathcal{L} + \frac{bL}{M\Sigma} \right) - \frac{\Delta - a^2}{2\Sigma^2} \left( \mathcal{L} + \frac{bL}{M\Sigma} \right)^2 \quad (8)$$

можно определить как эффективный потенциал радиального движения, где безразмерный параметр  $b = eBM/m$  определяет внешнее поле, и в уравнениях (7) и (8) величины энергии  $\mathcal{E}$  и момента  $\mathcal{L}$  нормированы в единицах массы.

Для определения круговых орбит использованы следующие условия экстремума:  $dr/d\sigma = 0$ ,  $\partial V(\mathcal{E}, \mathcal{L}, r, b, a, l)/\partial r = 0$ , а также условие СКО:  $\partial^2 V(\mathcal{E}, \mathcal{L}, r, b, a, l)/\partial r^2 \leq 0$ . Алгебраические уравнения, определяющие радиусы СКО полученных после математических вычислений этих уравнений, решить аналитически не возможно. Были проведены ряд численных вычислений, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Круговые орбиты заряженной частицы вокруг Керр-Тауб-НУТ

источника в однородном магнитном поле.

b=0.1	3.66650	3.66460	3.66154	3.62072	3.53294
b=0.2	2.83292	2.83288	2.82876	2.79448	2.72020
b=0.3	2.55504	2.55500	2.55162	2.52360	2.46338
b=0.4	2.41614	2.41610	2.41326	2.38984	2,33994
b=0.5	2.33282	2.33280	2.33036	2.31032	2.26794

Из результатов приведенных в таблице 1. можно увидеть, что с увеличением гравитомангнитного монопольного момента радиус СКО перемещается к компактному объекту, в то время как внешнее поле также притягивает орбиты к гравитационному источнику.

Получены внешние аналитические общерелятивистские выражения для электромагнитных полей медленно вращающейся намагниченной НЗ с ненулевым гравитомангнитным зарядом. Звезда является изолированной и находится в вакууме, а также в качестве примера рассмотрена НЗ с монополярным магнитным полем направленным вдоль радиальной координаты.

**Во второй главе** рассмотрено движение заряженных пробных частиц в гравитационном и электромагнитном полях медленно вращающейся КН с магнитным дипольным моментом, используя уравнение Гамильтона-Якоби, чтобы найти влияние обеих полей на эффективный потенциал радиального движения пробных частиц. Метрика, которая описывает пространство-время вокруг аксиально-симметричной медленно вращающейся КН может быть записана в следующем виде:

$$ds^2 = -e^{2\phi(r)} dt^2 + \left(1 - \frac{b(r)}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) - 2\omega(r)r^2 \sin^2 \theta d\varphi dt, \quad (9)$$

где  $\phi(r)$  - функция красного смещения,  $b(r)$  - метрическая функция формы горловины КН.  $\omega(r)$  - угловая скорость увлечение ИСО.

Предполагается, что во-первых, вне КН нет вещества, откуда следует, что проводимость  $\lambda=0$ ; во-вторых, магнитный момент КН не меняется во времени из-за очень высокой проводимости вещества внутри КН. Однако, компоненты электромагнитного поля будут меняться периодически из-за угла наклона  $\chi$  между направлениями магнитного диполя  $\mu$  и осью вращения. Внешнее решение уравнения Максвелла для компонент 4-потенциала электромагнитного поля принимает следующий вид:

$$A_0 = \frac{\mu\Omega r_0^2}{3r^3} [\cos \chi (3 \cos^2 \theta - 1) + 3 \sin \chi \cos \lambda \sin \theta \cos \theta],$$

$$A_1 = 0, \quad A_2 = 0, \quad A_3 = \frac{2\mu}{r} [\cos \chi \sin \theta - \sin \chi \cos \lambda \cos \theta]. \quad (10)$$

Решение уравнений Эйнштейна для КН можно сравнить с решением Райсснера-Нордстрема для компактных объектов с верхним пределом для магнитного заряда, при этом метрические компоненты КН (9) записываются в виде:  $\exp(\phi) = (1 - r_h/r)^{1+\delta}$ ,  $b(r) = r_h [1 + (1 - r_h/r)^{1-\delta}]$ ,  $r_h$  - радиус горизонта событий

ЧД. Значение  $\delta$  в этих выражениях может быть найдено из трансцендентного уравнения  $b(r_0) = r_0$ :  $\delta = \ln(r_h / r_0) / \ln(1 - r_h / r_0)$

На рисунке 1 показана радиальная зависимость эффективного потенциала радиального движения заряженной пробной частицы в экваториальной плоскости медленно вращающейся намагниченной КН при различных значениях а) форм параметра КН  $\delta$  и б) магнитного дипольного момента  $\mu$ . Из этой зависимости можно получить качественную картину радиального движения заряженных частиц в экваториальной плоскости КН. Как видно из рисунка 1 параметр  $\delta$  изменяет форму эффективного потенциала только вблизи объекта. На больших расстояниях от центрального объекта влияние параметра оказывается незначительным, а это значит, что отличить КН от ЧД (или компактного объекта с уравнениями состояния нормального вещества) можно только вблизи этих объектов.

Получены выражения для компонент дипольного магнитного поля гравастара - звезды из темной энергии – с магнитным дипольным моментом  $\mu$ .

$$B^r(r, \theta) = -\frac{3\mu r_a^3}{4r^3 M^3} \left[ \ln N_a^2 + \frac{2M}{r_a} \left( 1 + \frac{M}{r_a} \right) \right] \frac{\frac{r}{R} - \operatorname{arctanh} \frac{r}{R}}{\frac{r_a}{R} - \operatorname{arctanh} \frac{r_a}{R}} \cos \theta, \quad (11)$$

$$B^\theta(r, \theta) = \frac{3\mu r_a^2 L N_a^2}{4r^3 L_a M^2} \left[ \frac{r_a}{M} \ln N_a^2 + \frac{1}{3N_a^2} - \frac{2N_a^2}{3} + \frac{7}{3} \right] \frac{\frac{r}{R} - \operatorname{arctanh} \frac{r}{R}}{\frac{r_a}{R} - \operatorname{arctanh} \frac{r_a}{R}} \sin \theta. \quad (12)$$

здесь  $L = (1 - r^2 / R^2)$ ,  $N^2 = (1 - 2M / r)$  и подстрочный знак а указывает на значения, измеряемые при  $r = r_a$ ,  $R = \sqrt{r_a^3 / 2M}$ . Выражение для магнитного поля гравастара может быть полезным при описании различных физических процессов в гравастаре.

**В третьей главе** приведены результаты по изучению стационарных электромагнитных полей изолированной медленно вращающейся релятивистской компактной звезды на бране в предположении, что магнитное поле заморожено в звездную кору из-за высокой проводимости. Исследованы эффекты бран параметра на магнитное поле звезды при выбранных граничных условиях. Приведены точные решения для внутреннего магнитного поля внутри звезды с уравнением состояния жесткого вещества. Результаты проведенных численных расчетов учитывают эффект напряженности брана на структуру электромагнитного поля вне вращающейся звезды и на конфигурации внутреннего магнитного поля в звездной среде с постоянной плотностью.

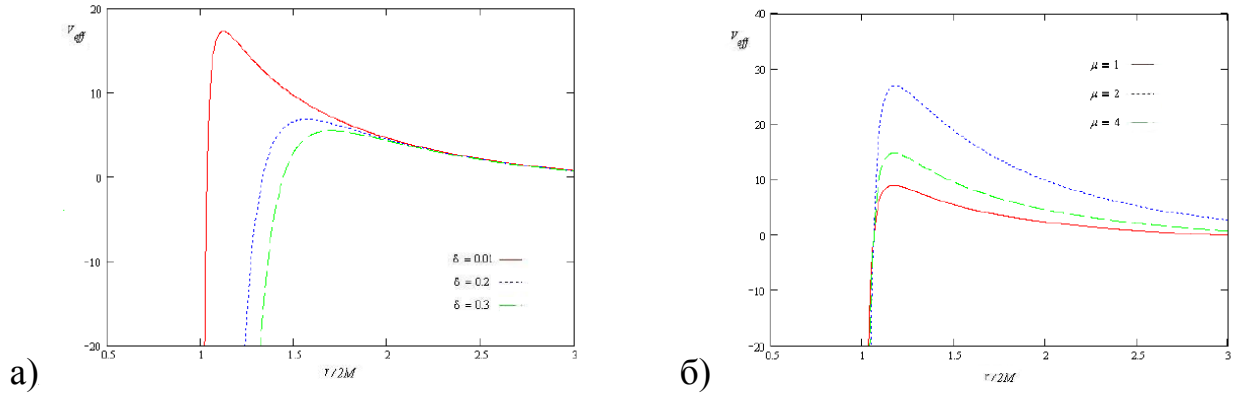


Рис.1. Радиальная зависимость эффективного потенциала радиального движения заряженных частиц вблизи намагниченной КН для различных значений а) параметра  $\delta$  и б) магнитного дипольного момента  $\mu$ .

Предположив, что компактный объект помещен в однородное магнитное поле  $B$ , направление которого параллельно оси вращения центрального объекта найдены точные аналитические решения для компонент 4-потенциала электромагнитного поля в окрестности ЧД на бранах во внешнем однородном магнитном поле:

$$A_0 = \frac{aB}{2\Sigma} \left\{ (2 + \sin^2 \theta)(a^2 \sin^2 \theta - \Delta) - \Sigma \sin^2 \theta \right\}, \quad A_1 = 0, \quad A_2 = 0, \\ A_3 = \frac{B \sin^2 \theta}{2\Sigma} \left\{ (\Sigma + a^2 - \Delta)(2 + \sin^2 \theta)a^2 + \Sigma(\Sigma + a^2 \sin^2 \theta) \right\}, \quad (13)$$

где  $\Delta = r^2 - 2Mr + Q^*$ ,  $\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$ ,  $M$  - полная масса ЧД, и  $Q^*$  - бран заряд.

Внешняя метрика ЧД на бранах в сферической системе координат представлена следующим образом:

$$ds^2 = -\frac{\Delta}{r^2} dt^2 + \frac{r^2}{\Delta} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2. \quad (14)$$

Используя уравнения Гамильтона-Якоби найдено уравнение движения частицы в гравитационном поле ЧД на бранах. При этом действие  $S$  представлено в форме (5). В итоге уравнения движения принимают следующий вид:

$$\frac{dt}{d\sigma} = \mathcal{E} \frac{r^2}{\Delta}, \quad \frac{d\varphi}{d\sigma} = \frac{\mathcal{L}}{r^2}, \quad \left( \frac{dr}{d\sigma} \right)^2 = \mathcal{E}^2 - \frac{\Delta}{r^2} \left( 1 + \frac{\mathcal{L}^2}{r^2} \right), \quad (15)$$

где  $\sigma$  - собственное время вдоль траектории частицы, энергия  $\mathcal{E}$  и угловой момент  $\mathcal{L}$  частицы нормированы в единицах массы. Введя новую переменную  $u = 1/r$  и пользуясь уравнениями (15) получено уравнение описывающее траекторию пробной частицы вокруг ЧД:

$$\left( \frac{du}{d\varphi} \right)^2 = -Q^* u^4 + 2Mu^3 - \left( 1 + \frac{Q^*}{\mathcal{L}^2} \right) u^2 - \frac{1 - \mathcal{E}^2}{\mathcal{L}^2} = f(u). \quad (16)$$

Условия возникновения круговых орбит имеют вид  $f(u) = 0$ ,  $f'(u) = 0$  из

которых найдены выражения для энергии и углового момента частицы движущейся по круговой орбите вокруг ЧД:

$$\mathcal{E}^2 = \frac{(1 - 2Mu + Q^* u^2)^2}{1 - 3Mu + 2Q^* u^2}, \quad \mathcal{E}^2 = \frac{M - Q^* u}{2Q^* u^3 - 3Mu^2 + u}. \quad (17)$$

Отсюда найден минимальный радиус круговой орбиты

$$r_{\text{mc}} > \frac{4Q^*}{3M - \sqrt{9M^2 - 8Q^*}}. \quad (18)$$

Из условия  $f''(u) = 0$  и используя выражения (17) получено выражение для радиуса внутренней СКО:

$$r_{\text{ISCO}} = \frac{4Q^*}{3M + \sqrt[3]{A - B} + \sqrt[3]{A + B}}, \quad (19)$$

$$A = 8MQ^* - 9M^3, \quad B = 4\sqrt{(4MQ^* - 5M^3)(MQ^* - M^3)}.$$

Зависимость минимального радиуса для круговой орбиты  $r_{\text{mc}}$  и радиуса внутренней СКО  $r_{\text{ISCO}}$  вокруг ЧД от бран параметра приведена на рис. 2, где значения соответствующие ЧД Шварцшильда достигаются при  $Q^* = 0$ . Из рис 2. а) видно, что наличие бран заряда сдвигает радиус круговой орбиты от центрального объекта в направлении удаленного наблюдателя на бесконечности.

Изменение  $Q^*$  также влияет на положение СКО, то есть сдвигает СКО, как это представлено в рис.2 б). Увеличение модуля бран заряда приводит к увеличению радиуса  $r_{\text{ISCO}}$ : с уменьшением значения  $Q^*$  от 0 до -5,  $r_{\text{ISCO}}$  принимает большие значения.

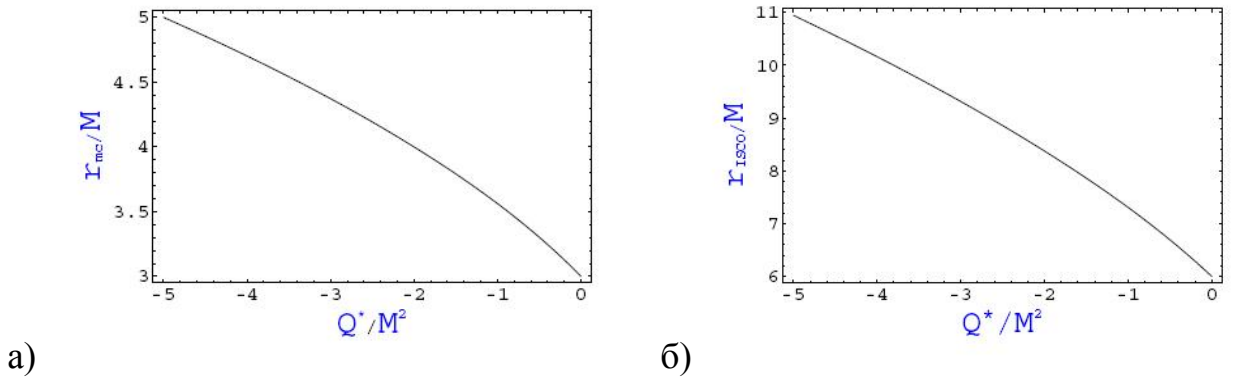


Рис.2. Зависимость минимального радиуса круговой орбиты (а) и радиуса СКО (б) вокруг ЧД от бран заряда.

Недавно проведенные измерения радиуса  $r_{\text{ISCO}}$  в аккреционных дисках вокруг некоторых ЧД позволяют получить альтернативные ограничения на численные значения бран заряда. Астрофизические величины, связанные с наблюдаемыми свойствами аккреционного диска определяются из свойств пространства-времени ЧД и наблюдения аккреционного диска в инфракрасном и рентгеновском диапазонах излучения предоставили важную

информацию о спине ЧД. В частности обнаружено, что вращающаяся ЧД имеет спин в диапазоне  $0.5 \leq a \leq 1$ , в соответствии с наблюдениями, согласно которым, радиусы СКО в основном смещаются в сторону центрального объекта, и не существует какого-либо измеренного эффекта от бран параметра, который действует в противоположном направлении.

Поскольку результаты астрономических наблюдений радиуса внутренней СКО частиц  $r_{\text{ISCO}}$  в аккреционных дисках вокруг ЧД не подтверждают влияние бран параметра до величины порядка  $10^{-8} \text{ см}^2$ , то из анализа СКО в окрестности ЧД на бранах, получено, что бран заряд имеет верхний предел  $10^{-9} \text{ см}^2$ .

**В четвертой главе** найдена азимутальная компонента потенциала электромагнитного поля из решений общерелятивистских уравнений Максвелла. В бессиловом приближении найдено эволюционное уравнение для электромагнитного поля и решено с помощью метода последовательных приближений.

Рассмотрен гравитирующий компактный объект, первоначально невращающийся и имеющий аксиально-симметричное магнитное поле, где точное решение для ненулевой компоненты потенциала электромагнитного поля имеет вид:

$$A_\varphi(r) = Fr^2 \sin^2 \theta = \frac{3\mu r^2}{8M^3} \left[ \ln \left( 1 - \frac{2M}{r} \right) + \frac{2M}{r} \left( 1 + \frac{M}{r} \right) \right] \sin^2 \theta, \quad (20)$$

$\mu$  – дипольный момент центрального объекта массой  $M$ . Если ввести адиабатическое возмущение состояния гравитирующего объекта, таким образом, чтобы он постепенно приобрел момент импульса; пространство - время в этом случае может быть описано с помощью метрики Керра в приближении медленного вращения с переменным во времени моментом импульса  $a = a(t)$ . Получены решения, согласно которым полоидальное электрическое и тороидальное магнитное поля растут адиабатически. Этот результат свидетельствует, что плазменная магнитосфера в окрестности вращающейся ЧД является устойчивой и подтверждает эффективность процесса Блэндфорда-Знаека по извлечению энергии ЧД.

Метрика аксиально-симметричного гравитационного поля в сферических координатах описывается следующим образом:

$$ds^2 = -\alpha^2 dt^2 + \sum_{i=1}^3 h_i^2 (dx^i - \omega_i dt)^2 = -\alpha^2 dt^2 + \sum_{i=1}^3 (h_i dx^i - \alpha \beta_i dt)^2, \quad (21)$$

где коэффициенты  $h_i$  – масштабный параметр координат  $x_i$ ,  $\omega_i$  – угловая скорость вращения,  $\alpha$  – метрическая функция красного смещения,  $\beta_i = h_i \omega_i / \alpha$  – вектор смещения в метрике Керр-Тауб-НУТ принимают следующий вид:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta \sin^2 \theta}{(\Sigma + a\chi)^2 \sin^2 \theta - \chi^2 \Delta}}, \quad h_1 = \sqrt{\frac{\Sigma}{\Delta}}, \quad h_2 = \sqrt{\Sigma}, \quad h_3 = \sqrt{\frac{(\Sigma + a\chi)^2 \sin^2 \theta - \chi^2 \Delta}{\Sigma}},$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 0, \quad \beta_3 = -\frac{1}{\sqrt{\Delta}} \frac{\Delta\chi - a(\Sigma + a\chi)\sin^2\theta}{\Sigma \sin\theta}, \quad \omega_3 = \frac{\Delta\chi - a(\Sigma + a\chi)\sin^2\theta}{(\Sigma + a\chi)^2 \sin^2\theta - \chi^2 \Delta},$$

а параметры  $\Sigma$ ,  $\Delta$  и  $\chi$  определяются точно также как для метрики пространства-времени (1).

Конечное выражение для плотности энергии на бесконечности, которая ответственна за электромагнитное поле имеет следующий вид:

$$\alpha e_{EM}^\infty = h_3^2 (\hat{B}^p)^2 \Omega_F (\Omega_F - \omega_3), \quad (22)$$

где  $\Omega_F$  - угловая скорость вращения силовых линий магнитного поля, величина  $\hat{B}^p = \mathbf{B} - B_\varphi \mathbf{e}_\varphi$  - полоидальное магнитное поле. Из выражения (8) видно, что при  $\Omega_F < \omega_3$  энергия на бесконечности принимает отрицательные значения и энергия извлекается из гравитационного объекта в виде перемещения отрицательной электромагнитной энергии магнитного поля на бесконечности внутрь компактного объекта. Это и соответствует эффекту Блэндфорда-Знаека в метрике Керр-Тауб-НУТ. Зависимость знака  $\Omega_F - \omega_3$  от НУТ параметра приведена на рис. 3 а). При этом видно что, наличие гравитомагнитного монопольного момента компактного гравитационного объекта уменьшает абсолютное значение  $\omega_3$ , и соответственно, интервал значений  $\Omega_F$ , что отвечает за извлечения энергии компактного объекта.

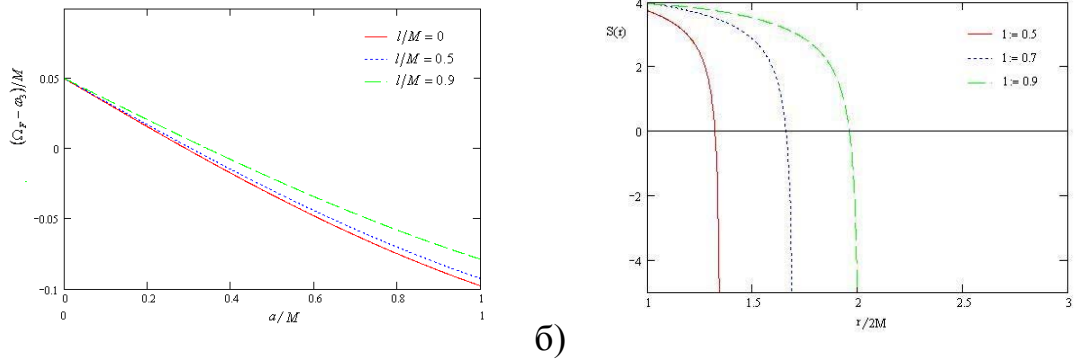


Рис.3. Зависимость а) величины  $\Omega_F - \omega_3/M$  от параметра  $a/M$  и б) функции  $S_1(r)$  от радиуса при разных значениях  $l/M$ .

Получено выражение для энергии на асимптотической бесконечности с ненулевой массой покоя  $m$  в точке  $\mathbf{r}_p(t)$  в отсутствии электромагнитного поля:

$$E^\infty = \alpha \gamma m (1 - \beta_3 v^3), \quad (23)$$

где  $\gamma = [1 - (v/c)^2]^{-1/2}$  - фактор Лоренца. Видно что выражение (23) принимает отрицательные значения только в эргосфере, где выполняется условие  $\beta_3 > 1$ . При делении частицы А на частиц В и С, т.е. при  $A \rightarrow B + C$ , законы сохранения записаны следующим образом:

$$E_A^\infty = E_B^\infty + E_C^\infty, \quad L_A = L_B + L_C, \quad E_I^\infty = \alpha \gamma_I m_I + \omega_3 L_I, \quad I = A, B, C. \quad (24)$$

С помощью условия деления  $L_B = h_3 m_B \gamma_B \hat{v}_B^3 < -h_3 m_B / \sqrt{(\beta_3)^2 - 1}$  получено, что

$E_B^\infty < 0$  и следовательно  $E_A^\infty < E_C^\infty$ , что означает частица  $C$  покидает компактный объект, тогда как частица  $B$  остается внутри эргосферы и падает на объект. На рис. 3 б) показана зависимость знака  $S_1(r) = h_3 m_B \gamma_B \hat{v}_B^3 + h_3 m_B / \sqrt{(\beta_3)^2 - 1}$  от НУТ параметра из которого видно, что с увеличением гравитомагнитного монопольного момента место происхождения процесса Пенроуза сдвигается в сторону удаленного наблюдателя.

**В заключении** приведены выводы и перечислены основные результаты, полученные в этой диссертации.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Найлены точные выражения для электромагнитного поля в пространстве-времени Керр-Тауб-НУТ, которые свидетельствуют о том, что электромагнитное поле зависит от величины гравитомагнитного заряда. Причем, индуцированное электрическое поле зависит от НУТ параметра линейно, а магнитное поле зависит от него квадратично.
2. Найлены аналитические общерелятивистские выражения для электромагнитных полей медленно вращающейся намагниченной НЗ с ненулевым гравитомагнитным зарядом  $l$ . Показано, что общерелятивистские поправки, возникающие за счет эффекта увлечения ИСО и наличия гравитомагнитного заряда, не присутствуют в выражении для дипольного магнитного поля. В частности, показано, что увлечение ИСО и гравитомагнитный заряд генерируют дополнительные индуцированные электрические поля, которые аналогичны случаю вращения намагниченных звезд в пределе плоского пространства.
3. Изучено движение заряженных частиц вокруг Керр-Тауб-НУТ источника, расположенного во внешнем а) однородном и б) дипольном магнитном поле, с помощью анализа уравнения Гамильтона-Якоби. Показано, что в присутствии НУТ параметра и магнитного поля форма эффективного потенциала изменяется, причем изменение, вызванное внешним электромагнитным полем является доминирующим. Исследование устойчивости движения заряженных частиц показывает, что внешнее магнитное поле сдвигает орбиты пробных частиц к источнику гравитационного поля в обоих случаях, в то время как НУТ параметр сдвигает их к источнику в случае однородного магнитного поля и в обратном направлении в случае присутствия токопроводящей петли вокруг компактного объекта.
4. Приведено точное вакуумное решение уравнений Максвелла в пространстве-времени медленно вращающейся намагниченной КН. Получены результаты по движению заряженных частиц и показана сильная зависимость движения частиц от форм параметра КН и величины магнитного поля.
5. Получены выражения для компонент дипольного магнитного поля в проводящей коре гравастара, которое может быть полезным для описания



- различных физических процессов внутри гравастара.
6. Изучены стационарные электромагнитные поля изолированной медленно вращающейся релятивистской компактной звезды на бране полагая, что магнитное поле заморожено в звездную кору из-за высокой проводимости среды, а также, эффекты бран параметра на звездное магнитное поле. Найдены точные аналитические внутренние решения уравнений Максвелла, а также, точные решения для внутреннего магнитного поля внутри звездного вещества с уравнением состояния жесткого вещества.
  7. Проведены численные расчеты, которые учитывают эффект напряженности брана на структуру электромагнитного поля вне вращающейся звезды и на конфигурации внутреннего магнитного поля в звездной среде с постоянной плотностью.
  8. Получены точные значения для эффективного потенциала и радиуса СКО для различных значений параметров, характеризующих вакуумное решение уравнений поля в модели на бранах. Найдено точное выражение для нижней границы внутренней СКО пробной частицы в окрестности ЧД на бранах.
  9. Приведены результаты исследований об извлечении энергии компактного гравитационного объекта, в частности, с помощью эффекта Блэндфорда-Знаека и процесса Пенроуза в пространстве Керр-Тауб-НУТ.
  10. В бессиловом приближении найдено эволюционное уравнение для электромагнитного поля и решено с помощью метода последовательных приближений. Результаты свидетельствует, что плазменная магнитосфера в окрестности вращающейся ЧД является устойчивой к возмущениям, что подтверждает эффективность процесса Блэндфорда-Знаека по извлечению энергии ЧД.

#### 4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ:

1. **Abdujabbarov A.A.**, Ahmedov B.J., and Kagramanova V.G. Particle motion and electromagnetic fields of rotating compact gravitating objects with gravitomagnetic charge // *Gen. Rel. Grav.* – Berlin Heidelberg: Springer, 2008. – Vol. 40. – P. 2515-2532.
2. Туримов Б.В., **Абдужаббаров А.А.**, Рахматов А.С. Электромагнитные поля и движение пробных частиц в гравитационном поле кротовых нор // *Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики: Материалы научно-практической конференции.* – Ташкент: НУУз, 30-31 мая 2008. – С. 52-55.
3. **Абдужаббаров А.А.**, Рахматов А.С., Рафиева Э., Мамаджанов А.И. Движение частиц в окрестности компактных гравитационных объектов с НУТ параметром во внешнем магнитном поле // *Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни: Иқтидорли талабалар ва ёш олимларнинг илмий-амалий конференцияси материаллари.* – Тошкент: ЎзМУ, 4-5 июнь 2008. – С. 3-8.
4. **Абдужаббаров А.А.** Об извлечении энергии компактного гравитационного объекта // *Табиий фанларнинг долзарб муаммолари:*

- Республика ёш олимлар илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. – Самарқанд, 14-15 сентябрь 2008. – С. 5-6.
5. Turimov B.V., **Abdujabbarov A.A.** Motion of the Charged Particles Around Wormholes // Табиий фанларнинг долзарб муаммолари: Республика ёш олимлар илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. – Самарқанд, 14-15 сентябрь 2008. – С. 147-149.
  6. **Абдужаббаров А.А.**, Мамаджанов А.И. Эффект Пенроуза в гравитационном поле компактного объекта с гравитомангнитном монополярном зарядом // II республиканская конференция молодых физиков Узбекистана: Тез. докл. – Ташкент, 25-26 ноября 2008. – С. 237-240.
  7. **Абдужаббаров А.А.** Эффект Блэндфорда-Знаека в пространстве – времени Керр-Тауб-НУТ // Доклады АН РУз. – Ташкент, 2008. – №. 6. – С. 27-30.
  8. **Abdujabbarov A.A.**, Ahmedov B.J. Electromagnetic Fields and Charged Particle Motion Around Magnetized Wormholes // *Astrophys. Space Sci.* – Berlin Heidelberg: Springer, 2009. – Vol. 322, – Issue 1-2. – P. 1-8. [DOI 10.1007/s10509-009-0023-9].
  9. Turimov B.V., Ahmedov B.J., and **Abdujabbarov A.A.** Electromagnetic Fields of Slowly Rotating Magnetized Gravastars // *Mod. Phys. Lett. A.* – Singapore: World Scientific, 2009. – Vol. 24, – No. 10. – P. 733-737.
  10. **Abdujabbarov A.A.**, Rakhmatov A.S., Turimov B.V. The Relation Between Maxwell Equations and Some Approximation of the Einstein Equations // *Узбекский физический журнал.* – Ташкент, 2009. – Т. 11, – № 1. – С. 30-35.
  11. **Abdujabbarov A.A.**, Mamadjanov A.I., Rakhmatov A.S. The Blandford-Znajek and Penrose Mechanisms in Plasma Magnetospheres in Kerr-Taub-NUT Spacetime // *Вестник НУУз.* – Ташкент, 2009. – No. 2. – С. 75-81.
  12. **Abdujabbarov A.A.**, Ahmedov B.J. Charged Particle Motion Around Rotating Black Hole in Braneworld Immersed in Magnetic Field // Preprint, Cornell University: Cornell. – 2009. – No. gr-qc/0905.2730. – P.1-9 [<http://arxiv.org>].

\* \* \*

Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю д.ф.-м.н. Б.Ж. Ахмедову за постановку задачи, обсуждение результатов и постоянную поддержку при подготовке диссертации. Автор также выражает благодарность директору ИЯФ АН РУз, профессору У.С. Салихбаеву и директору АИ АН РУз, профессору Ш.А. Эгамбердиеву за поддержку, искреннее внимание к работе, полезные советы, а также, предоставленную возможность пользоваться информационными и материальными ресурсами организаций. Автор выражает искреннюю признательность научным коллегам В.Г. Каграмановой, В.С. Гилянской, Ф.Ж. Фаттоеву, к.ф.-м.н. К.Т. Миртаджиевой, д.ф.-м.н. З.Я.Туракулову, к.ф.-м.н. Ю.А. Тиллаеву, к.ф.-м.н. О.А. Бурханову, д.ф.-м.н. И.С. Саттарову, к.ф.-м.н. Х.Б. Султанову, к.ф.-м.н. А.С. Рахматову, к.ф.-м.н. С.П. Ильясову, к.ф.-м.н. Р.М. Залалетдинову, к.ф.-м.н. А.В. Хугаеву за неоценимую помощь в процессе подготовки диссертационной работы.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Абдужаббарова Ахмаджона Адилжановича на тему: «Общерелятивистские астрофизические процессы в стационарных аксиально-симметричных пространствах» на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и радиоастрономия

**Ключевые слова:** релятивистская астрофизика, движение частиц, электромагнитные поля, точные решения уравнения Эйнштейна.

**Объекты исследования:** черные дыры, кротовые норы, гравастары.

**Цель работы:** изучение электромагнитных полей и движения пробных частиц в пространстве-времени а) Керр-Тауб-НУТ б) вращающейся намагниченной КН в) ЧД на бранах, г) звезды из темной энергии; получить точные аналитические решения для зависимости радиуса СКО от бран параметра ЧД на бранах; исследование влияния спина и гравитомагнитного момента ЧД на процессы извлечения энергии вращающейся ЧД.

**Методы исследования:** математический аппарат макроскопической электродинамики в ОТО, метрической афинной дифференциальной геометрии, численные методы вычисления на ЭВМ, с дальнейшим развитием методики численных вычислений для поставленных задач.

**Полученные результаты и их новизна:** впервые найдены решения для электромагнитного поля а) в пространстве - времени Керр-Тауб-НУТ, б) намагниченной НЗ с НУТ зарядом, в) намагниченной КН, г) гравастара, д) компактных объектов на бране. Впервые показано, что влияние магнитного поля доминирует по сравнению с НУТ параметром на движение заряженных частиц в пространстве Керр-Тауб-НУТ и НУТ параметр усиливает процессы Блэндфорда-Знаека и Пенроуза. Впервые установлена сильная зависимость движения частиц от форм параметра КН и магнитного поля. Впервые получено точное решение для нижней границы СКО пробной частицы в окрестности ЧД на бране и верхний предел для бран параметра. Показано, что плазменная магнитосфера ЧД является устойчивой.

**Практическая значимость:** полученные результаты могут играть важную роль в обнаружении и исследовании НУТ параметра. Полученные данные могут быть сравнены с наблюдательными данными о существовании и отличии КН от ЧД. Выражение магнитного поля гравастара может быть полезной для описания электромагнитных процессов в гравастаре. Данные позволяют получить верхний предел на величину бран параметра из данных по наблюдению аккреции на вращающейся ЧД.

**Степень внедрения и экономическая эффективность:** диссертация носит теоретический характер. Его результаты используется для изучения компактных объектов в астрофизике. Эти научные результаты внедрены в специальный курс «Теория гравитации», читаемых в рамках магистратуры в Национальном университете Узбекистана.

**Области применения:** релятивистская астрофизика, физика черных дыр, астрофизика компактных объектов.

Физика – математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор  
Абдужаббаров Ахмаджон Адилжановичнинг 01.03.02–астрофизика ва  
радиоастрономия ихтисослиги бўйича «Стационар аксиал-симметрик фазода  
умумнисбий астрофизик жараёнлар» мавзусидаги диссертациясининг

### РЕЗЮМЕСИ

**Таянч сўзлар:** релятивистик астрофизика, заррачалар ҳаракати, электромагнит майдонлар, Эйнштейн тенгламасининг аниқ ечимлари.

**Тадқиқот объектлари:** қора ўралар, юмронқозик ини, гравастарлар.

**Ишнинг мақсади:** а) Керр-Тауб-НУТ б) айланувчи магнитланган юмронқозик ини в) брандаги қора ўралар, г) қоронғи энергиядан иборат юлдузлар фазо-вақтида электромагнит майдонлар ва заррачалар ҳаракатини ўрганиш; брандаги қора ўралар атрофида стабил айланма ҳаракат орбитаси радиусининг бран параметрга боғлиқлик аналитик ифодасини топиш; қора ўралар спини ва гравитомагнитик моментининг ундан энергия олиш процессларига таъсирини ўрганиш.

**Тадқиқот усули:** умумий нисбийлик назариясидаги макроскопик электродинамикаси, метрик аффин дифференциал геометриясининг математик аппарати, ЭХМ да ҳисобланувчи ва қўйилган масалаларга қараб ривожланувчи рақамли усуллар.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги:** илк бор а) Керр-Тауб-НУТ фазо-вақти, б) магнитланган НУТ зарядли нейтрон юлдуз, в) магнитланган юмронқозик ини, г) гравастар, д) брандаги компакт объектлар электромагнит майдон ечимлари олинди. Илк бора Керр-Тауб-НУТ фазо-вақтда зарралар ҳаракатига магнит майдони НУТ зарядга қараганда кучлироқ таъсир қилиши ва НУТ заряд Блэндфорд-Знаек ва Пенроуз процессларини эффективлигини ошириши кўрсатилди. Илк бора зарралар ҳаракатининг юмронқозик ини шакл параметрига кучли боғланиши кўрсатилди. Илк бора стабил айланма ҳаракат орбиталарининг қуйи чегаралари учун аниқ аналитик ечим, ҳамда бран параметр учун юқори чегараси олинди. Қора ўранинг плазмали магнитосферасининг турғунлиги кўрсатилди.

**Амалий аҳамияти:** олинган натижалар ва маълумотлар НУТ параметрни аниқлаш ва тадқиқ этишда муҳим ўрин тутди, шунингдек юмронқозик ини ва қора ўраларнинг мавжудлиги ва фарқи ҳақидаги кузатув натижалари билан таққосланиши мумкин. Гравастар магнит майдони ифодаси ундаги электромагнит ходисаларни тавсифлаш учун фойдали бўлиши мумкин. Олинган натижалар ва қора ўралар атрофидаги аккрецион дисклар ҳақидаги астрономик кузатув маълумотлари ёрдамида бран параметр қиймати учун юқори чегарани олиш имконини беради.

**Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги:** диссертация назарий характерга эга. Унинг натижалари астрофизикада компакт объектларни ўрганишда ишлатилади, ҳамда улар Ўзбекистон Миллий Университети магистратураси доирасида ўқиладиган «Гравитация назарияси» курси таркибига киритилган

**Қўлланиш соҳаси:** релятивистик астрофизика, қора ўралар физикаси, компакт объектлар астрофизикаси.

## RESUME

Thesis of Abdujabbarov Ahmadjon Adiljanovich on the academic degree competition of the candidate of physics and mathematics sciences, on speciality 01.03.02 – astrophysics and radioastronomy

subject: «General relativistic astrophysical processes in stationary axial-symmetric spacetimes».

**Key words:** relativistic astrophysics, particle motion, electromagnetic fields, exact solutions of the Einstein equations.

**Object of the research:** black holes, wormholes, gravastars, neutron stars.

**Aim of the research:** study of electromagnetic fields and particle motion in i) the Kerr-Taub-NUT spacetime, spacetime of ii) rotating magnetized wormhole, iii) black hole on brane, iv) gravastars; derivation of the exact analytic solutions for dependence of radii of stable circular orbits from brane parameter of black holes on brane; study the influence of spin and gravitomagnetic monopole momentum of the black hole on processes of energy extraction from rotating black hole.

**Methods of the research:** mathematical methods of macroscopic electrodynamics in general relativity, differential geometry, numerical methods of calculation on computers, with further developing of the numerical methods for considered problems.

**The results achieved and their novelty:** the solutions for electromagnetic fields i) in the Kerr-Taub-NUT spacetime, spacetime of ii) magnetized neutron star with NUT charge, iii) magnetized wormhole, iv) gravastar, v) compact gravitating objects on brane have been found. It has been shown that influence of magnetic field dominates with compare to the NUT charge on charged particle motion in the Kerr-Taub-NUT spacetime and NUT parameter increases the efficiency of Blandford-Znajek and Penrose processes. Strong dependence of particle motion from form parameter of wormhole has been observed. Exact solution for minimum value of the radii of stable circular orbits around black hole on brane and upper limit for brane parameter have been evaluated. It has been shown that plasma magnetosphere of rotating black hole is stable.

**Practical value:** Obtained results can play significant role on detection and study of NUT, brane and other parameters of compact objects. Obtained data can be compared with observed data in order to find the existence and difference wormholes from black holes. Expression for magnetic field of gravastar can be used to describe electromagnetic processes in gravastar. Results allow to get upper limit on value of brane parameter from astrophysical observations on accretion disc around rotating black holes.

**Degree of embed and economic effectivity:** The dissertation is of theoretical character. The results obtained could be used for studying compact objects in relativistic astrophysics. These scientific results are introduced in the special course «Theory of Gravitation» delivered to graduate students at the National University of Uzbekistan.

**Sphere of usage:** Relativistic astrophysics, black hole physics, astrophysics of compact objects.

Соискатель:

