

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

«УТВЕРЖДАЮ»

Федеральное государственное  
автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Новосибирский национальный  
исследовательский государственный  
университет»  
(Новосибирский государственный  
университет, НГУ)

Ректор Федерального  
государственного автономного  
образовательного учреждения  
высшего образования  
«Новосибирский национальный  
исследовательский  
государственный университет»,

ул. Пирогова, д. 2, Новосибирск, 630090.  
Тел. (383) 330-32-44. Факс (383) 330-32-55.

Адрес в интернете: //www.nsu.ru

E-mail: rector@nsu.ru

19 МАИ 2015 № 1277/301-07

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

д.ф.-м.н., профессор

М.Г. Федорук

« 19 »



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Мастеровой Марии Александровны «Динамика заряженной частицы в поле вращающегося намагниченного небесного тела», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Диссертационная работа М. А. Мастеровой посвящена исследованию динамики заряженных частиц в поле вращающегося намагниченного тела, магнитная ось которого не совпадает с осью вращения.

Стационарный случай, когда направление магнитного момента небесного тела совпадает с направлением оси вращения этого тела, исследован довольно подробно. В частности, решение уравнений движения частицы в поле Земли предсказывает существование так называемых радиационных поясов Ван-Аллена. Однако, как мы знаем, в самых интересных объектах с сильным магнитным полем – пульсарах, ось вращения не совпадает с магнитной осью. В этом случае магнитное поле становится переменным, вследствие чего индуцируется электрическое поле. Важно, что при этом система теряет азимутальную симметрию и, следовательно, момент импульса частицы уже не сохраняется, что существенно осложняет анализ и решение уравнений движения. В большинстве имеющихся работ на эту тему уравнения движения заряженных частиц решаются методами численного моделирования. В представленной работе динамика заряженных частиц исследована аналитическими методами и найдены разрешенные и запрещенные для движения заряженных частиц области в зависимости от их энергии. До сих пор остается много вопросов, связанных со сложными физическими процессами,

происходящими в магнитосфере пульсаров: ускорением частиц, образованием коллимированных джетов и т.п. Поэтому данная работа, результаты которой могут быть применены для анализа вышеуказанных явлений, безусловно, **актуальна.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения.

**Первая глава** посвящена исследованию динамики нерелятивистской заряженной частицы в поле вращающегося дипольного момента на расстояниях, много меньших радиуса светового цилиндра. В частности, с помощью перехода в сопутствующую систему отсчета найдена и исследована эффективная потенциальная энергия для частицы в таком поле. Найдены стационарные точки эффективной потенциальной энергии и показано, что они соответствуют частным решениям уравнений движения заряженной частицы в поле вращающегося дипольного момента. Изучены области, разрешенные и запрещенные для движения заряженных частиц.

**Во второй главе** выполнено исследование динамики релятивистской заряженной частицы в поле вращающегося наклонного намагниченного небесного тела во всем пространстве внутри светового цилиндра. В ковариантной форме найден интеграл движения, с использованием которого была определена эффективная потенциальная энергия. Найдены стационарные точки эффективной потенциальной энергии. Подробно исследовано их поведение вблизи светового цилиндра в случае сильных магнитных полей. Построены сечения эквипотенциальных поверхностей для положительно и отрицательно заряженных частиц. Также исследована эффективная потенциальная энергия для заряженной частицы вблизи поверхности однородно намагниченной сферы. Для этого случая также построены сечения эквипотенциальных поверхностей.

**Третья глава** диссертации посвящена изучению бессиловой поверхности, определяемой условием  $(E\mathbf{H})=0$ . В частности, построены ее сечения для разных углов наклона магнитной оси к оси вращения намагниченного тела и для разных значений приведенного радиуса намагниченной сферы. Показано, что с удалением от центра тела бессиловая поверхность начинает закручиваться вокруг оси вращения тела.

Каждая глава сопровождается краткими выводами. Общие итоги по работе представлены в заключении. Они соответствуют заявленным целям и задачам исследования, характеризуют заявленную научную новизну и практическую значимость работы.

**Научное и прикладное значение полученных результатов** заключается в том, что исследование динамики заряженных частиц в поле намагниченного небесного тела может быть использовано для исследования магнитосферы планет и звезд, для расчета энергий заряженных частиц, выбрасываемых подобными системами, а также для построения механизма излучения пульсаров. Результаты исследования структуры бессиловой поверхности могут



быть использованы при объяснении распределения релятивистской плазмы в магнитосфере нейтронных звезд и генерации космических лучей в окрестности этих звезд.

**Достоверность результатов** полученных в работе основывается на корректном применении математического аппарата, стандартных методов классической электродинамики и классической механики. Следствия из полученных результатов для различных частных случаев совпадают с результатами, полученными ранее другими авторами. Материалы диссертации прошли апробацию на шести международных и российских конференциях. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в российских и зарубежных рецензируемых научных журналах.

**Результаты диссертационной работы могут быть использованы** в университетах и научных организациях, занимающихся исследованиями в области астрофизики. К таковым, в частности, относятся Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга при МГУ, "ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики", Новосибирский государственный университет, Томский государственный университет.

**Основные результаты работы** заключаются в следующем:

Найдена эффективная потенциальная энергия заряженной частицы, движущейся в поле вращающегося магнитного дипольного момента. Доказано существование замкнутых эквипотенциальных поверхностей, вращающихся совместно с полем диполя. Построены эквипотенциальные поверхности, ограничивающие области движения положительно и отрицательно заряженных частиц.

Найдены семь частных решений уравнений движения заряженных частиц в поле прецессирующего диполя, соответствующих движению по окружности. Показано, что найденные решения соответствуют точкам соприкосновения двух разрешенных для движения областей. Показана неустойчивость данных решений. Этот результат представляется особенно важным.

Исследована динамика релятивистской заряженной частицы в поле вращающейся намагниченной проводящей сферы. Построены сечения эквипотенциальных поверхностей для положительно и отрицательно заряженных частиц. Показано, что с ростом магнитного поля все стационарные точки эффективной потенциальной энергии асимптотически приближаются к поверхности светового цилиндра.

В работе получено уравнение бессиловой поверхности для электромагнитного поля вращающейся намагниченной проводящей сферы, которое справедливо на расстояниях вплоть до светового цилиндра. Описана геометрия этой поверхности.

Все основные результаты диссертации являются новыми и впервые опубликованы в работах автора.

**К недостаткам работы можно отнести:**

1. В разделе 1.5.1 диссертации рассмотрены эквипотенциальные поверхности для частного случая, когда магнитная ось небесного тела совпадает с осью вращения. Динамика частиц в этом случае исследована довольно подробно другими авторами и автору диссертации следовало бы проверить, насколько согласуются построенные здесь замкнутые эквипотенциальные поверхности для движения заряженных частиц с радиационными поясами Ван-Аллена.

2. Учитывая наиболее важную область применения полученных результатов – физику магнитосфер пульсаров, следовало бы привести больше численных оценок для полученных соотношений с использованием параметров, характерных для пульсаров: масса порядка массы Солнца, период порядка долей секунды, напряженность магнитного поля порядка  $10^{12}$  Гс. и т.д. Такого рода оценки в тексте есть, но их немного.

3. Величина  $N$  появляется в формулах уже на стр. 35, однако её определение даётся четырьмя страницами ниже, в формуле (1.76).

4. Диссертация довольно грамотно написана (хотя знаки препинания расставлены не всегда корректно), однако по тексту встречается характерная ошибка: «пропажа» слова. Например, на стр. 30 в предложении «Динамику заряженной частицы в электромагнитном можно исследовать решая уравнения движения частицы» пропало слово «поле» (и запятая после «исследовать»). Это слегка сбивает при чтении.

Тем не менее, отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку работы, ее научную ценность и полезность проведенных исследований. Более того, хотелось бы указать на возможность применения полученных в диссертации результатов в неожиданной области. Хорошо известно, что в пост-ньютоновском приближении уравнения общей теории относительности могут быть записаны в виде, напоминающем уравнения Максвелла для электромагнитного поля (так называемая гравимагнитная аналогия, см. подробнее, например, Kaplan, Nichols and Thorne, Phys. Rev. D, 80, 12, 2009). Представляется, что применение используемых диссертантом подходов, в частности, метода эффективной энергии, могло бы оказаться чрезвычайно полезным уже для исследования гравитационного поля в окрестности аксиально-несимметричных динамических систем, таких, как близкие пары нейтронных звезд (или черных дыр). Такие системы, являющиеся мощными источниками гравитационного излучения, чрезвычайно важны для астрофизики: с ними, в частности, возможно, связаны гамма-всплески и вспышки сверхновых звезд. Таким образом, область применимости полученных

в диссертации результатов может оказаться значительно шире запланированной.

Диссертация М.А. Мастеровой выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу.

Результаты работы полностью опубликованы в рецензируемых научных изданиях, прошли апробацию в форме докладов и обсуждений на семинарах и международных конференциях. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Мастеровой Марии Александровны «Динамика заряженной частицы в поле вращающегося намагниченного небесного тела» удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Отзыв обсужден и утвержден на семинаре Лаборатории космологии и элементарных частиц Новосибирского государственного университета, протокол № 2 от 14/05/2015

Отзыв составил

Научный сотрудник Лаборатории космологии и элементарных частиц федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», кандидат физико-математических наук (защищен по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, 01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия)

Юдин Андрей Викторович

630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2.

Тел: (383) 330-32-44,

E-mail: [rector@nsu.ru](mailto:rector@nsu.ru),

<http://www.nsu.ru/>

