

Отзыв

официального оппонента профессора Владимира Семёновича Семенова на диссертацию **Ольги Олеговны Царевой**

«Динамика заряженных частиц в геомагнитном поле в процессе его инверсии. Радиационная обстановка Земли и Европы, спутника Юпитера»

на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - Теоретическая физика.

Среди многочисленных вызовов (таких как глобальное потепление, астероидная опасность и т.п.), стоящих перед человеческой цивилизацией, в последнее время в специальной литературе и даже в СМИ все чаще упоминается инверсия глобального магнитного поля Земли. Опасения связаны прежде всего с тем, что скорость миграции северного магнитного полюса за последние 50 лет возросла в три раза до 60 км/год. К тому же дипольный момент за сто лет уменьшился примерно на 10%, а за 2000 лет даже на 30%. Такое поведение расценивается как предвестник близкого наступления инверсии (или хотя бы экскурса) глобального магнитного поля. Следует, впрочем, понимать, что согласно палеомагнитным данным средний промежуток времени между инверсиями составляет сотни тысяч и даже миллионы лет, а собственно процесс смены полярности занимает тоже несколько тысяч лет. Таким образом, какой либо сиюминутной опасности инверсия магнитного поля, скорее всего, не несет, тем не менее этот процесс вызывает у населения определенную тревогу.

Следует еще учесть, что проблема движения заряженных частиц в сложном магнитном поле, присущем периодам инверсии, является интересной и важной задачей теоретической физики. Поэтому выбранная О.О.Царевой тема диссертации представляется важной и актуальной.

Целью работы является обобщение теории Штермера движения заряженных частиц на случай сложного магнитного поля во время его инверсии для выяснения зон захвата, радиационной обстановки на разных высотах и оценки атмосферных потерь. На основе развитых методов предполагается также дать оценку радиационной обстановки на Европе (спутнике Юпитера).

Диссертация состоит из Введения, четырех Глав, Заключения, трех Приложений и списка литературы, содержит 112 страниц текста.

Во Введении дан краткий и вместе с тем емкий обзор сведений о земной магнитосфере, динамо теории, периодах инверсии, моделях магнитного поля Земли, возможных угрозах во время инверсии, а также об особом интересе к спутнику Юпитера Европе. В конце Введения содержатся необходимые для диссертационной работы сведения – обоснована актуальность темы, обсуждена степень ее разработанности, сформулированы положения, выносимые на защиту. Приведен также список публикаций автора (6 статей) по теме диссертации в рецензируемых научных журналах, причем одна из них опубликована в столь авторитетном в России научном журнале как УФН.

Глава 1 посвящена обобщению теории Штермера на случай магнитного поля во время инверсии. Прежде всего конкретизируется модель геомагнитного поля, которая затем используется в вычислениях: предполагается, что во время переполусовки или экскурса дипольное поле становится слабее квадрупольного поля, которое сохраняет современное значение. Для простоты магнитное поле считается осесимметричным, причем все три оси (вращения, диполя и квадруполья) совпадают. В этих предположениях было рассмотрено движение заряженных частиц и определены возникающие зоны захвата.

В Главе 2 рассматривается диссипация земной атмосферы во время инверсии, когда напряженность магнитного поля ослабевает на порядок по сравнению с современным значением. При этом возникает опасение, что магнитосфера уже не сможет защитить Землю от воздействия солнечного ветра. Однако, оказалось, что расстояние до подсолнечной точки квадрупольной магнитосферы не меньше, чем $2.3 R_e$ при критическом значении $1.2 R_e$, и, таким образом, даже квадрупольная магнитосфера способна защитить Землю от проникающей радиации солнечного ветра. Проведенный анализ показал, что основными механизмами потерь являются полярный и авроральный ветры через открытые силовые линии. Согласно проведенным оценкам скорости потерь ионов водорода и кислорода вполне сопоставимы с их современными значениями (а для чисто квадрупольной магнитосферы даже вдвое меньше).

В Главе 3 оцениваются уровни радиации на различных высотах во время инверсии. В рамках модели закрытой магнитосферы частицы ГКЛ и СКЛ запускаются со сферической границы на расстоянии $12.5 R_e$ в диапазоне энергий от 10 МэВ до 100 ГэВ, и затем в результате трассирования рассчитываются энергетические спектры на высотах 100 и 400 км, а также дозы излучения на поверхности Земли. Показано, что дозы радиации на поверхности Земли возрастут незначительно (в 2-3 раза), тогда как на высоте 400 км потоки СКЛ возрастут в 14 раз, что уже может представлять опасность для космонавтов.

И, наконец, в Главе 4 развитые в диссертации методы применены для оценки радиационной обстановки на Европе (спутнике Юпитера). Была разработана численная модель движения заряженных частиц в наклонном магнитном поле Юпитера с учетом индуцированного и внутреннего полей Европы, а также альфвеновских крыльев. С ее помощью удалось значительно улучшить оценки радиационной обстановки на Европе, сделанные другими авторами. В частности показано, что учет индуцированного поля снижает дозы радиации, тогда как альфвеновские крылья лишь перераспределяют суммарную дозу радиации.

В Заключение кратко сформулированы полученные результаты.

К числу наиболее значимых новых результатов, представленных в диссертации О. О. Царевой, можно отнести:

1. Обобщение теории движения заряженных частиц Штермера на случай магнитного поля, присущего временам инверсии или экскурса глобального магнитного поля

Земли, в частности описание зон захвата заряженных частиц для поля инверсии, состоящего из слабого дипольного и квадрупольного магнитного полей.

2. Оценка диссипации земной атмосферы во время инверсии. Показано, что даже если напряженность магнитного поля уменьшится на порядок по сравнению с современным значением, то и тогда квадрупольная магнитосфера сможет защитить Землю от прямого проникновения солнечного ветра. При этом атмосферные потери, зависящие прежде всего от полярного и аврорального ветров, примерно соответствуют их современному уровню.
3. Оценка потоков энергичных частиц на различных высотах, а также доз радиации на поверхности Земли во время инверсии. Показано, что катастрофического повышения доз радиации на поверхности Земли не ожидается (повышение в 2-3 раза). Наиболее заметно (в 14 раз) возрастут потоки СКЛ на высоте 400 км, что может представлять опасность для космических полетов.
4. Оценка радиационной обстановки на Европе с учетом наклонного магнитного поля Юпитера, индуцированного и внутреннего полей Европы, а также альфвеновских крыльев. В частности показано, что учет индуцированного поля снижает дозы радиации, тогда как альфвеновские крылья лишь перераспределяют суммарную дозу радиации.

Работа не лишена недостатков.

1. В работе предполагается, что магнитное поле во время инверсии является осесимметричным, причем все три оси (вращения, диполя и квадруполь) совпадают. Однако существуют, так называемые, анти-динамо теоремы Т. Каулинга, согласно которым и сферически симметричное, и осесимметричное динамо невозможны. Поэтому принятое в диссертации предположение об осесимметричном магнитном поле во время инверсии представляется чересчур упрощенным.
2. Между второй и третьей главами существует определенная нестыковка. При расчете диссипации атмосферы (Глава 2) используется модель открытой магнитосферы, а в следующей Главе 3, где решается в общем родственная задача о потоках заряженных частиц, магнитосфера предполагается закрытой.

Эти замечания не умаляют общей высокой оценки работы О. О. Царевой, которая содержит большое количество новых, интересных результатов уже заслуживших международное признание.

Новизна и научная значимость диссертационной работы О. О. Царевой не вызывают сомнений. Основные результаты многократно доложены на российских и международных конференциях и достаточно полно отражены в 6 публикациях в научных журналах из списка ВАК. Результаты работы Ольги Олеговны могут быть использованы в научных учреждениях, занимающихся космической физикой: ИКИ, НИЯФ МГУ, СПбГУ, ПГИ, ИЗМИРАН, СибИЗМИР и др. Основные результаты диссертации были

доложены О. О. Царевой на семинаре кафедры физики Земли физического факультета СПбГУ 09.02.2021. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа О. О. Царевой «Динамика заряженных частиц в геомагнитном поле в процессе его инверсии. Радиационная обстановка Земли и Европы, спутника Юпитера» удовлетворяет всем требованиям ВАК для кандидатских диссертаций, а ее автор О. О. Царева заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - Теоретическая физика.

профессор

В. С. Семенов

физического факультета СПбГУ

Петергоф, ул. Ульяновская 1, 198504

тел. 8 812 428 4627

e-mail: v.s.semenov@spbu.ru



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей

Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.html>