

ОТЗЫВ

официального оппонента Янке Виктора Гуговича на диссертационную работу

Царевой Ольги Олеговны

“Динамика заряженных частиц в геомагнитном поле в процессе его инверсии.

Радиационная обстановка Земли и Европы — спутника Юпитера”,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности

01.04.02 - Теоретическая физика.

В диссертационной работе Царевой О.О. исследована нелинейная динамика заряженных частиц в геомагнитном поле в процессе его инверсии и в магнитном поле Юпитера вблизи его спутника — Европы. Собственное магнитное поле Земли, существующее благодаря работе внутреннего динамо-механизма, которое претерпевает постоянные изменения, самые длительные и глобальные из которых — инверсии. Последняя геомагнитная инверсия произошла около 780 тысяч лет назад, и ее продолжительность составляла 7 тысяч лет. В настоящее время геомагнитное поле ослабевает, а его магнитные полюса смещаются. Это может быть следствием начала новой инверсии (или экскурса), или же просто вековой вариации геомагнитного поля. Поскольку магнитное поле защищает Землю от космического излучения, возникают опасения, что его инверсия может угрожать жизни на Земле. Поэтому выбранная Царевой О.О. тема диссертации представляется важной и актуальной.

Целью данной работы являлись исследования изменений радиационной обстановки на Земле и в околоземном пространстве, изменений радиационных поясов и атмосферы Земли в процессе геомагнитной инверсии, а также оценка радиационного фона на поверхности Европы для будущих миссий по изучению ее обитаемости. Спутник Юпитера — Европа — имеет подледниковый океан, в котором не исключено наличие микроскопической жизни. Но ее обнаружение на поверхности Европы может быть ограничено из-за сильного излучения радиационных поясов Юпитера. Диссертационная работа О.О. Царевой является заметным шагом вперед в изучении этих проблем.

Диссертационная работа О.О. Царевой состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 111 страниц и 23 рисунка. Список литературы содержит 168 наименований.

Во Введении изложены цели и задачи работы, обоснована их актуальность, сделан краткий обзор предпосылок будущей геомагнитной инверсии, ее наблюдательных и теоретических обоснований, а также обзор исследований причинно-следственных связей между жизнью и эволюцией геомагнитного поля. Сформулирована цель и показаны научная новизна исследований и практическая значимость полученных результатов, а также представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе для анализа эволюции радиационных поясов в процессе геомагнитной инверсии, была обобщена классическая теория Штермера, описывающая динамику заряженных частиц в дипольном поле, на случай осесимметричной суперпозиции дипольного и квадрупольного полей. Определены разрешенные и запрещенные области движения заряженных частиц в дипольно-квадрупольном поле, и их

области захвата, обеспечивающие устойчивое существование радиационных поясов во время геомагнитной инверсии. Показано, что согласно инверсионному сценарию, при ослабевании дипольной компоненты возникнет, и будет увеличиваться новая область захвата частиц в южной доле поля. А сепаратриса между северной и южной долями магнитного поля, которая наряду с магнитными полюсами обеспечивает еще один путь проникновения заряженных частиц на Землю, будет мигрировать с юга к экватору.

Во второй главе оценена скорость диссипации атмосферы в процессе геомагнитной инверсии. Собственное магнитное поле Земли защищает атмосферу от распыления и захвата ионов конвекцией солнечного ветра, но способствует полярному и авроральному ветрам через открытые силовые линии. Показано, что во время инверсии магнитное экранирование атмосферы Земли будет все еще эффективно. По мере того, как магнитный дипольный момент убывает, площадь полярных шапок, и, соответственно, скорость потери ионов из них увеличивается до тех пор, пока не изменится конфигурация магнитного поля. Новая конфигурация поля содержит квадрупольный экваториальный пояс и две полярные шапки, чья общая площадь достигает минимума при исчезновении дипольной компоненты, поэтому суммарная скорость потери ионов резко падает, а затем увеличивается с уменьшением напряженности квадрупольного поля. Оценено, что в предположении постоянного притока частиц от Земли в атмосферу скорость потери атмосферных ионов в процессе инверсии увеличится в 2.5 раза, но в чистой квадрупольной конфигурации скорость потери частиц уменьшится в 2 раза.

В третьей главе для определения доз радиации и их распределения на поверхности планеты была разработана численная модель динамики заряженных частиц в произвольном магнитном поле. В рамках модели, согласно инверсионному сценарию, в котором дипольная компонента магнитного поля обратится в ноль, и квадрупольная не изменится, оценена радиационная опасность на Земле и на высоте 400 км, соответствующей орбите МКС. Показано, что время минимума солнечной активности (при условии постоянных свойств атмосферы) средние эффективные дозы радиации протонов ГКЛ должны увеличиться примерно в три раза по сравнению с уровнем 2015 года. Изменение конфигурации магнитного поля приведет к перераспределению областей повышенной радиации на поверхности Земли, которые в настоящее время расположены вокруг Северного и Южного магнитных полюсов. Во время инверсии при максимальной солнечной активности мощность эффективной дозы СКЛ и ГКЛ на орбите МКС может увеличиться в 14 раз, что связано с широтным перераспределением радиации.

В четвертой главе создана модель динамики протонов и электронов радиационных поясов Юпитера для оценки радиационной обстановки на поверхности Европы. Она включает в себя более реалистичное поле Юпитера, крылья Альфвена, индуцированное и собственное магнитные поля Европы. Для валидации модели проведено сравнение результатов моделирования и приближения ведущего центра. Показано, что области высыпания электронов на поверхность Европы в наклонном диполе Юпитера больше по размеру и концентрации частиц, чем области в осесимметричном диполе, используемом в приближении ведущего центра. Индуцированное поле снижает дозы радиации на поверхности Европы, увеличивая области их распространения. Крылья Альфвена не влияют на общую дозу облучения, но перераспределяют ее. А внутреннее магнитное поле

Европы небольшой интенсивности незначительно уменьшает и перераспределяет радиацию. Получено, что индуцированное и собственное поля Европы снижают максимальную дозу на поверхности почти в 2 раза. Проведенные исследования могут быть полезными для планируемых в ближайшем будущем миссий на Европу.

В Заключении сформулированы основные результаты работы. Геомагнитная инверсия приводит к реконфигурации радиационных поясов, атмосферным изменениям и ухудшению радиационной обстановки. Однако полученные результаты не свидетельствуют о критическом повышении радиационного фона на Земле или о потере значительной части атмосферы через диссипацию. Радиационные пояса могут сохраняться в процессе инверсии, но с меньшими дозами, если переходное геомагнитное поле квазисимметрично. В противном случае радиационные пояса не устойчивы. Моделирование динамики заряженных частиц вблизи Европы позволило дополнить известные результаты, полученные с помощью приближения ведущего центра. Новая карта доз радиации на поверхности Европы отличается увеличенной областью поражения, но пониженной мощностью доз.

Заключительные замечания по диссертационной работе:

Диссертационная работа оставила ощущения актуального, очень хорошо выполненного и хорошо представленного научного исследования. Структура диссертации логична, оформление текста и рисунков качественное и производит хорошее впечатление. Читать диссертацию было интересно, познавательно и увлекательно.

Следует отметить хорошее владение литературным материалом, на основе которого была выполнена формулировка основных идей, тенденций, использования материала для обоснования теоретической базы исследования.

Проведенный анализ достаточно детален и методически выверен, выводы хорошо обоснованы. Вместе с тем есть некоторые критические замечания и пожелания на будущее.

1. Среди палеомагнитологов весьма популярна модель магнитного диполя с осью направленной на Солнце во время инверсии, которую диссертанту тоже стоило бы рассмотреть.

2. Оценивая дозы радиации на Земле в момент геомагнитной инверсии, автор использовал модель закрытой магнитосферы. Возникает вопрос, как изменятся дозы радиации с учетом межпланетного поля, а также во время геомагнитных бурь с повышенным потоком СКЛ. Данное замечание можно рассматривать как рекомендацию диссертанту к возможному улучшению модели нелинейной динамики заряженных частиц.

3. Имеются незначительные неточности: стр 9/абзац 1; стр 15/абзац 5; не Рисунок 1, а Таблица 1 - стр 15/абзац 5 и стр 16/абзац 1; стр 49/абзац 2.

В целом, диссертационная работа Царевой О.О. выполнена на высоком теоретическом уровне и является законченным оригинальным научным исследованием в области теоретической физики. Отмеченные недостатки не касаются фундаментальных вопросов, изложенных в диссертации, и положений, вынесенных на защиту, но указывают на потенциал дальнейших исследований и профессионального роста диссертанта. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения и свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации в науку.

Предложенные автором решения аргументированы и сопоставлены с другими известными решениями.

Практическая ценность работы заключается в возможности использования результатов в будущих исследованиях: 1) даже отвлекаясь от далеких по времени переполусовок, результаты работы уже сегодня дают понимание процессов, происходящих в магнитном поле Земли и тенденций его изменений; 2) результаты позволят учесть радиационную обстановку в планируемых миссиях на Европу с целью исключения разрушения возможной органической жизни, проникающей через разломы льда из океана на поверхность спутника, в процессе взятия проб.

Уверен, что результаты работы О.О. Царевой будут использованы в ИЗМИРАН, НИИЯФ, МГУ, ФИАН, МФТИ, ИФЗ, СПбГУ и других российских и зарубежных научных организациях, в которых проводятся исследования по данной тематике.

Новизна и научная значимость диссертационной работы О.О. Царевой не вызывает сомнений. Основные результаты исследований опубликованы в журналах, перечень которых утвержден ВАК. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа рассматривалась на семинаре ИЗМИРАН по солнечно-земной физике 18 февраля 2021 года.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата (доктора) наук, а ее автор, Царева Ольга Олеговна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Официальный оппонент Янке Виктор Гугович,
кандидат физ.-мат. наук,
зав. отделом космических лучей ИЗМИРАН,

Тел. 8(495) 851-09-25, e-mail: yanke@izmiran.ru

Адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, РАН (ИЗМИРАН).

18 февраля 2021 года

Подпись В.Г. Янке удостоверяю.

Директор ИЗМИРАН, д.ф.-м.н



В.Д.Кузнецов