

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Подзолко Михаила Владимировича на тему:
«Моделирование радиационных условий в гелиосфере для
межпланетной миссии к системе Юпитера»
по специальности 01.03.03 «Физика Солнца»

Диссертация М. В. Подзолко посвящена моделированию радиационных условий для космической исследовательской миссии межпланетного зонда к спутникам Юпитера. Рассматривается миссия «Лаплас» госкорпорации (ГК) «Роскосмос» и подобные других мировых космических агентств. Актуальность темы работы обусловлена необходимостью обеспечения успешной реализации этой и подобных космических миссий в части минимизации радиационного воздействия на чувствительные элементы зонда на каждой стадии перелета с учетом галактических космических лучей (ГКЛ), солнечных космических лучей (СКЛ) и захваченной радиации Земли и планет, а также выбора траектории полета, мест посадки и других существенных факторов. Как отмечалось в ряде публикаций, проблемы при реализации ряда предыдущих космических миссий ГК «Роскосмос» могли быть обусловлены воздействием космической радиации. В связи с этим при принятии решений об осуществлении новых амбициозных миссий на этапе планирования особое внимание должно быть уделено радиационному фактору космических перелетов.

Во введении рассмотрены и обоснованы актуальность, цель, задачи работы, новизна, научная и практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

Актуальность поставленной в диссертации задачи не вызывает сомнений, однако при ее формулировке – «получение оценок радиационных условий и поиск путей минимизации радиационных рисков» – автором допущена определенная неточность. В работе по сути рассматривается возможность минимизации уровней радиационного воздействия на разных этапах космической миссии. Под радиационным же риском принято понимать вероятность какого-либо вредного эффекта в результате облучения. Например, в практике обеспечения радиационной безопасности пилотируемых космических полетов это вероятность неблагоприятных радиобиологических эффектов у человека. Вероятность успешной реализации миссии, обусловленная радиационным воздействием, в работе не рассчитывается и не рассматривается, поэтому и само использование термина «радиационный риск» здесь и в некоторых других местах работы не всегда оправданно.

Научная новизна работы связана с моделированием радиационных условий для всех этапов новой российской космической исследовательской миссии «Лаплас», в рамках которой автоматическая межпланетная станция должна быть впервые доставлена на орбиту и поверхность спутника Юпитера Европа или Ганимед. Практическая значимость работы, как справедливо отмечает и сам автор, обусловлена возможностью применения методики, выработанной в данной диссертации, для анализа радиационных условий других межпланетных миссий.

Глава 1 посвящена рассмотрению моделей энергичных заряженных частиц в гелиосфере, воздействующих на космический аппарат на разных этапах миссии. Рассмотрены современные модели солнечных и галактических космических лучей, радиационных поясов Земли и энергичных заряженных частиц в магнитосфере Юпитера, а также проникновение СКЛ и ГКЛ в магнитосферу Юпитера.

В Главе 2 проведено собственно моделирование радиационных условий полёта на межпланетном и околоземном этапах. На межпланетном этапе полёта учитываются воздействия солнечных и галактических космических лучей; на околоземном этапе полета – воздействие радиационных поясов Земли.

В Главе 3 проводится моделирование радиационных условий на орбите и на поверхности спутников Юпитера Европа и Ганимед. Достаточно подробно рассмотрены и проанализированы радиационные условия в области орбит Европы и Ганимеда, включая факторы, влияющие на изменение потоков заряженных частиц радиационных поясов Юпитера вблизи Европы. Моделирование потоков энергичных электронов вблизи Европы проведено с учётом их долготного и широтного дрейфа в магнитном поле Юпитера относительно Европы, также проведен учет ларморовского движения частиц вблизи поверхности Европы и анизотропия потоков частиц, захваченных магнитным полем Юпитера. Учтены также отличия плоскости орбиты Европы от плоскости магнитного экватора Юпитера. На основе модельных расчетов пространственного распределения доз радиации вблизи Европы проанализирован и осуществлен выбор оптимального места посадки и параметров низкой орбиты вокруг Европы. Рассмотрены факторы, влияющие на потоки заряженных частиц вблизи Ганимеда.

В Главе 4 рассчитываются радиационные условия на траектории полёта в системе Юпитера. Приведена общая схема гравитационных манёвров в системе Юпитера и предложен выбор оптимальной траектории первого витка орбиты вокруг Юпитера. Проведена оптимизация последующих гравитационных манёвров для выхода на орбиту вокруг Европы. Далее определена траектория гравитационных манёвров для выхода на орбиту вокруг Ганимеда с низкой радиационной нагрузкой и приемлемыми затратами характеристической скорости.

В целом представленные в диссертационной работе научные положения и выводы в достаточной степени обоснованы и достоверны. Автором поставлены и решены актуальные научные задачи с использованием современного уровня в области моделирования радиационных условий в космическом пространстве. Представленные материалы демонстрируют самостоятельный стиль автора в проведении научного анализа и формулировании вытекающих из него выводов.

В то же время работа не лишена отдельных недостатков.

1. Среди факторов радиационного воздействия при рассматриваемой межпланетной миссии фактически учитываются только полная поглощенная доза и в ряде случаев внутренняя электризация. Не учтен отдельно вклад тяжелых заряженных частиц с высокой линейной передачей энергии, не представлен спектр линейной передачи энергии таких частиц, приводящих к единичным сбоям в электронных элементах приборов, что существенно на отдельных этапах миссии.

2. При моделировании радиационных условий вблизи Юпитера недостаточное внимание уделено вкладу протонов высокой энергии, захваченных магнитным полем Юпитера, что может быть существенно при осуществлении различных гравитационных маневров в системе Юпитера. Недостаток имеющихся экспериментальных данных не позволяет полностью исключить наличие захваченных протонов с энергиями в сотни МэВ и более на этих траекториях.

3. В работе при оценке дозовых нагрузок использовалась «эталонная» толщина защиты 2.2 г/см^2 , эквивалентная толщине защиты «Galileo», а сами расчеты проводились по программе COSRAD для «эталонной» сферической конфигурации защиты. При этом не учитывалась реальная конфигурация защиты межпланетного зонда, что может быть существенно для расчетов в сильно анизотропном поле излучения, давая в ряде случаев также дополнительный фактор для снижения дозовых нагрузок за счет

оптимальной ориентации космического аппарата. В работе не рассмотрены возможности оптимизации защиты от, например, электронов с использованием специально подобранных слоев материалов с различным Z (что, возможно, выходит за рамки специальности 01.03.03 «Физика Солнца»). Рекомендуется учесть эти вопросы при будущем продолжении работы.

4. На стр. 48 утверждается, что «максимальные энергии электронов в поясах Земли составляют 7–8 МэВ», что хотя и соответствует максимальным энергиям, представленным в современных моделях, все же представляется не достаточно корректным из-за отсутствия физического ограничения на именно такие энергии для электронов, захваченных магнитным полем Земли.

5. При расчете вклада в поглощенную дозу от СКЛ используется вероятность превышения $p = 0.1$, означающая, что для 10% случаев при рассматриваемых миссиях вклад в дозу СКЛ может быть существенно больше. С учетом общего уровня надежности подобных космических миссий представляется целесообразным использовать более консервативную оценку вклада СКЛ.

6. Наряду с отмеченными выше замечаниями, в работе имеются отдельные опечатки и мелкие неточности оформления. На стр. 28 имеется опечатка в формуле.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова к работам такого рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.03 «Физика Солнца» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель М. В. Подзолко заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 «Физика Солнца».

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Ведущий научный сотрудник – заведующий отделом «Радиационная безопасность пилотируемых космических полетов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

Шуршаков Вячеслав Александрович

12 декабря 2018 г.

Контактные данные: тел.: 8 (499) 193-74-16, e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц»

Адрес места работы: 123007, Россия, г. Москва, Хорошевское шоссе, д. 76-А

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Тел. 8 (499) 193-74-16, e-mail:

Подпись сотрудника ГНЦ РФ – ИМБП РАН В. А. Шуршакова удостоверяю:

Ученый секретарь ГНЦ РФ – ИМБП РАН,

докт. биол. наук

М. А. Левинских

12 декабря 2018 г.

М.П.

