

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Вибе Д.З.

на диссертацию Годенко Егора Алексеевича

«Особенности распределения межзвездных пылевых частиц в гелиосфере»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальностям 1.3.1 — «Физика космоса,
астрономия» и 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы»

Межзвёздное вещество является составной частью Галактики, с которой Солнечная система контактирует непосредственно, что открывает возможность прямого анализа его компонентов, включая межзвёздную пыль. Космические пылинки — важнейший фактор физико-химической эволюции межзвёздной среды (МЗС). Они играют существенную роль в тепловом балансе МЗС, вносят искажения в наблюдения в широком спектральном диапазоне — от ультрафиолетового до миллиметрового излучения. На поверхностях пылинок происходят каталитические процессы, в значительной степени обеспечивающие наблюдаемое молекулярное разнообразие МЗС. Вместе с тем, несмотря на важность в самых разных аспектах и десятилетия исследований, состав и другие свойства космических пылинок остаются достаточно неопределёнными.

Вместе с тем полёты космических аппаратов по Солнечной системе позволяют сейчас проводить прямой анализ пылевого компонента межпланетной среды, включая и влетевшие в Солнечную систему межзвёздные пылинки, в том числе, и с доставкой этих пылинок на Землю. Однако интерпретация этих данных невозможна без понимания деталей проникновения пылинок в Солнечную систему и их распространения по ней. Разобраться в этих деталях невозможно, без тщательного разбора закономерностей свойств пылинок и их взаимодействия с межпланетным магнитным полем. Особенно важными в этом аспекте представляются результаты, относящиеся к образованию областей накопления пылинок внутри Солнечной системы, а также предложенные способы оценки конфигурации магнитного поля в окружающей межзвёздной среде. Сделанные в

диссертации выводы также критичны с точки зрения разработки программ будущих миссий с предполагаемыми исследованиями межпланетной пыли. Это делает решаемую в диссертации задачу безусловно **актуальной**.

Обоснованность представленных в диссертации выводов обеспечивается согласованностью результатов, полученных с использованием разных методов и тщательным контролем погрешностей, а также сопоставлением результатов автора диссертации с результатами, полученными в других работах. Достоверность подтверждается публикацией результатов в ведущих мировых астрономических журналах и их представлением на авторитетных конференциях. Новизну результатов обеспечивает использование автором оригинальных подходов, прежде не использовавшихся другими авторами.

Значимость результатов диссертации не ограничивается только Солнечной системой. Представленные в ней методы и сделанные выводы найдут своё применение и при исследовании пылевого компонента астросфер — образований, аналогичных гелиосфере, возникающих при взаимодействии других звёзд с межзвёздным веществом. Гибкость предложенных в диссертации методов позволит применять их в ситуациях с другими параметрами звёзд и окружающего их вещества. Больше того, эти методы могут применяться и в других задачах, например, при моделировании движения пылинок в окрестностях звёзд или даже в окологалактическом пространстве. Представленные в диссертации идеи и методики могут быть полезными в работах по темам, реализуемым в ИНАСАН, ГАИШ МГУ, СПбГУ, САО РАН, ЮФУ и других российских и зарубежных научных организациях.

Диссертантом получены новые и важные результаты, а именно:

- Показано, что в результате взаимодействия пылевых частиц с гелиосферным магнитным полем внутри гелиосферы возникают области накопления пыли. Исследованы особенности формирования этих областей на различных фазах цикла солнечной активности, а

также в зависимости от характеристик скоростей частиц, влетающих в гелиосферу.

- Детально исследованы процессы формирования зарядов пылевых частиц в гелиосфере. Исследована допустимость предположения о равновесности заряда для пылинок различных размеров.
- Продемонстрировано, что поведение частиц внутри гелиосферы существенно зависит от учёта изменений в структуре магнитного поля, связанных с фазой солнечной активности. Показано, что даже частицы небольших размеров в результате взаимодействия с гелиосферным ударным слоем могут проникать на малые гелиоцентрические расстояния. Более крупные частицы (500 нм и более) проходят через границу гелиосферы беспрепятственно.
- Показано, что распределение пыли внутри гелиосферы чувствительно к изменению направления межзвёздного магнитного поля. Поэтому его изучение при помощи космических аппаратов представляет собой новый способ удалённой диагностики процессов, происходящих на границе гелиосферы.

Существенных замечаний по диссертационной работе у меня не возникло. Главный вопрос, пожалуй, может относиться к тому, что в диссертации рассматриваются только силикатные пылинки (неоднократно ошибочно называемые кремниевыми). Автор объясняет это тем, что углистые пылинки в большей степени подвержены давлению излучения, которое не даёт им проникать на малые гелиоцентрические расстояния. Поскольку это утверждение основано на измерениях, выполненных на борту аппарата «Кассини», речь идёт о расстояниях порядка 10 а.е. Это предположение можно было бы проверить, в том числе, исследовав зависимость этого эффекта от размера, а также выяснив, насколько он важен на больших гелиоцентрических расстояниях. Кроме того, реальная ситуация с составом и оптическими свойствами пылинок может быть

сложнее. Например, межзвёздные пылинки могут не быть чисто силикатными и углистыми, их состав (и оптические свойства) может меняться при распространении по гелиосфере. Впрочем, это не претензия к диссертации, а скорее пожелание к будущим исследованиям.

Хотелось бы видеть более детальное обоснование возможности пренебречь силами трения между пылинками и окружающей плазмой. Так же неясно, насколько важным может быть вклад в движение пылинок от других (помимо Солнца) тел Солнечной системы. Не должно ли в формуле (1.3) стоять геометрическое сечение пылинки πa^2 (без множителя 4)?

В выводах к Главе 4 приведены результаты для пылинок размером 500 нм, однако в самом тексте главы соответствующих результатов практически нет, так как они даны в приложении. Представляется, что если результат достаточно важен, чтобы быть упомянутым в выводах не только к главе, но и ко всей диссертации, его стоило описать в основном тексте.

В работе также имеются стилистически неудачные места и опечатки (хотя их немного): например, в подписи к рис. 3.1, на стр. 109, на стр. 159. Как уже отмечалось, силикатные пылинки систематически называются кремниевыми. Вряд ли в отношении структурной формулы твёрдых частиц может использоваться термин «молекула».

Приведенные выше замечания не умаляют значимости результатов диссертационного исследования. Диссертационная работа Годенко Е.А. представляет собой законченное исследование в области изучения Солнечной системы. Результаты диссертационного исследования опубликованы в российских и зарубежных журналах, индексируемых в международных системах цитирования, а также представлены на российских и международных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает её содержание.

Диссертационная работа Годенко Е.А. отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальностям 1.3.1 —

«Физика космоса, астрономия» и 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы», а её автор — Годенко Егор Алексеевич — несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, заведующий отделом физики и эволюции звёзд Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт астрономии Российской академии наук



Вибе Дмитрий Зигфридович

Подпись Д.З. Вибе заверяю

Ученый секретарь ИНАСАН



М.С. Мурга

29 апреля 2025 г.

Контактные данные: тел. +7 (916) 602-82-41, e-mail: dwiebe@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.03.02 – “Астрономия, радиоастрономия”

Адрес места работы: 119017, г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук