

ОТЗЫВ

научного консультанта о диссертации Борщевой Екатерины Владимировны
«Процессы в адсорбированном веществе и их влияние на химическую эволюцию
дозвёздных ядер и протопланетных дисков»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертационная работа Е. В. Борщевой посвящена решению актуальной задачи современной молекулярной астрофизики по исследованию механизмов химической эволюции областей образования звезд и планет. По современным представлениям, поверхность холодных (<100 К) межзвездных пылевых частиц выступает местом протекания химических реакций, играющих ключевую роль в образовании как важнейших простых молекул, среди которых молекулярный водород (H_2), так и сложных органических соединений, представляющих интерес с точки зрения возникновения жизни во Вселенной. По-видимому, слой льда, формирующийся на холодных пылевых частицах в результате адсорбции атомов и молекул из газа (т. н. «ледяная мантия»), представляет собой эффективный химический «реактор», в котором образуются многие наблюдаемые в межзвездной среде молекулы. При этом механизмы образования ряда сложных органических молекул в межзвездных льдах в настоящее время изучены недостаточно хорошо. В диссертационной работе Е. В. Борщевой развиваются численные модели химической эволюции межзвездной среды, с акцентом на исследовании механизмов протекания химических процессов в межзвездных льдах. Появление в последние годы большого объема лабораторных экспериментов по протеканию химических процессов в адсорбированном веществе при криогенных температурах, новые результаты наблюдений межзвездных льдов на космическом телескопе имени Джеймса Уэбба (JWST), а также планируемый запуск космических обсерваторий Спектр-УФ и Миллиметрон делают задачу исследования актуальной и имеющей прикладную перспективу.

В данной диссертационной работе впервые проведено сравнение потенциальных индикаторов вспышек светимости в протопланетном диске для двух- и трёхфазной астрохимических моделей. Впервые с помощью астрохимической модели, включающей в себя недиффузионные процессы на пыли, успешно воспроизведены наблюдаемые обилия сложных органических соединений (CH_3OH , CH_3CHO , CH_3OCH_3 , $HCOOCH_3$, NH_2CHO), а также их радиальные распределения и положение метанольного пика в дозвёздном ядре L1544. Показано, что сложные органические молекулы могут образовываться на поверхности пылевых частиц и доставляться в газ путём реактивной десорбции, эффективность которой должна составлять $\sim 0.1\%$. Показано, что в ядре L1544 содержания сложных органических соединений в твёрдой фазе составляют 0.1–3% по отношению к водяному льду. Впервые рассчитана сетка моделей с варьированием отношения энергии диффузии поверхностных частиц к их энергии десорбции и выявлено значение данного параметра, при котором достигается наилучшее согласие с наблюдениями. Впервые проведено сравнение

расчётов, выполненных недиффузионным астрохимическим кодом, с однородным набором карт обилий формальдегида, полученных для холодных плотных ядер, и выявлены ограничения для астрохимических моделей, которые позволили бы точнее воспроизводить наблюдаемое содержание формальдегида и его корреляцию с метанолом.

Основные результаты исследования были неоднократно представлены Е. В. Борщевой на российских и международных конференциях, а также научных семинарах. По материалам кандидатской диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК.

Считаю, что полученные результаты представляют несомненный теоретический и практический интерес, а работа в целом соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Е. В. Борщева в ходе работы над диссертацией продемонстрировала творческий подход к исследовательской работе, самостоятельность при получении и анализе результатов, способность решать сложные и нестандартные исследовательские задачи. Считаю, что Екатерина Владимировна выросла в зрелого специалиста и достойна присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный консультант,

Заведующий научной лабораторией астрохимических исследований кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды института естественных наук и математики УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, к.ф.-м.н., Dr. rer. nat. (PhD) Антон Иванович Васюнин.

15.10.2025 г.

Подпись А. И. Васюнина заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета УрФУ, к.т.н.



А. И. Васюнин

В. А. Морозова