

## ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации Шульмана Сергея Георгиевича  
«Трехмерное моделирование затмений звезд типа UX Ori»,  
представленной для соискания ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 астрофизика и звездная астрономия.

Неправильные переменные звезды типа UX Ori занимают особое место среди молодых звезд. Доказано, что наблюдаемые у них спорадические ослабления блеска вызваны небольшим наклоном околозвездных дисков относительно луча зрения. При таком наклоне излучение звезды ослабляется по пути к наблюдателю при прохождении сквозь неоднородную пылевую атмосферу диска. Поскольку других значимых источников переменности у этих звезд нет, то фотометрический мониторинг их активности дает уникальную возможность наблюдать нестационарные процессы во внутренних областях дисков. Особую ценность представляют синхронные многоканальные наблюдения линейной поляризации и блеска звезд типа UX Ori. Такие наблюдения были начаты в 1986 году в Крымской астрофизической обсерватории и продолжаются до сих пор. В течение первых нескольких лет они выполнялись в кооперации с обсерваторией Санглок (Таджикистан). На их основе и был сделан вывод о небольшом наклоне дисков к лучу зрения, как главной причине бурной фотометрической активности звезд этого типа.

Моделирование затмений на основе фотополяриметрических наблюдений звезд типа UX Ori открыло новые возможности для изучения нестационарных процессов в протопланетных дисках и оптических свойств околозвездной пыли. Одно из наиболее важных и наиболее цитируемых исследований в этой области было опубликовано в 2000 году в статье Natta & Whitney. Эти авторы рассчитали поляриметрические свойства классического (flared) диска и показали, что они хорошо объясняют крымские наблюдения звезд типа UX Ori. Однако спустя всего год Natta et al. (2001) показали, что классическая модель околозвездного диска должна быть пересмотрена. В новой модели диска появилось утолщение в зоне испарения пыли, что позволило объяснить избыток излучения молодых звезд в ближней инфракрасной области спектра.

Хотя с тех пор прошло почти 20 лет, поляриметрические свойства новой модели до сих пор не были исследованы. В диссертации С.Г. Шульмана этот пробел ликвидирован. Моделируя утолщенную область диска с помощью дискового ветра, С.Г.Шульман показал, что новая модель диска, как предельный случай (при малых темпах аккреции) включает модель Natta & Whitney. При более высоких темпах аккреции в новой модели проявились качественно новые свойства. Наиболее интересным из них является изменение позиционного угла поляризации при изменении длины волны излучения  $\lambda$ . Такие изменения были обнаружены у ряда молодых звезд в работе Pereyra et al. (2009) при сравнении поляризационных наблюдений звезд в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. В диссертации показано, что их причиной является зависимость эффективной толщины утолщения в диске от  $\lambda$ , обусловленная зависимостью от  $\lambda$  экстинкции пылевой компоненты дискового ветра.

Другим интересным результатом, полученным диссертантом, является объяснение большого разброса степени линейной поляризации, наблюдаемого у многих звезд типа UX Ori: при одном и том же уровне блеска степень поляризации может меняться в полтора – два раза. Его причиной является хорошо известный из наблюдений факт нестационарного характера процесса аккреции на молодые звезды. Флуктуации темпа аккреции порождают флуктуации темпа истечения вещества в виде дискового ветра. В результате флуктуирует эффективная толщина диска в зоне испарения пыли, что и вызывает разброс параметров поляризации.

Последняя глава диссертации посвящена моделированию продолжительных затмений звезд типа UX Ori. Они наблюдаются довольно редко, и поведение параметров поляризации во время таких затмений сильно отличается от поведения поляризации во время более коротких затмений. Такие затмения наблюдались у двух звезд типа UX Ori: у WW Vul и у самой UX Ori. В обоих случаях позиционный угол поляризации повернулся на заключительной фазе затмений на несколько десятков градусов. В диссертации показано, что из-за большого размера возмущения в атмосфере диска, создающего протяженное затмение, оно создает за собой обширную зону тени на диске, что влияет на поляризацию рассеянного диском излучения. Кроме того пылевой экран, рассеивая излучение звезды, сам становится источником поляризованного света. Расчеты показали, что это и могло быть причиной наблюдавшихся аномалий в поведении поляризации на выходе из минимумов. Параметры возмущения и, прежде всего, его высота позволяют предположить, что его источником может быть азимутальная неоднородность в дисковом ветре.

Следует подчеркнуть, что все модельные расчеты, положенные в основу диссертации, выполнены с помощью метода, разработанного ее автором. Таким образом, диссертационная работа С.Г. Шульмана имеет ярко выраженный инновационный характер. Все полученные им результаты являются новыми и актуальными. Работая над статьями, на основе которых написана диссертация, ее автор продемонстрировал блестящие способности к научной работе в области теоретической астрофизики. Считаю, что Сергей Георгиевич Шульман вполне заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Главный научный сотрудник,  
и.о. заведующего Лабораторией звездообразования ГАО РАН  
д.ф.-м.н., профессор В. П. Гринин

/В.П. Гринин/

Подпись В. П. Гринина заверяю

*заведующая ОК ГАО РАН*  
*29.04.2020г.*



*Ю.А. Смирнова*