

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
Государственный астрономический институт
имени П.К. Штернберга

На правах рукописи

УДК 524.338.5



Додин Александр Владимирович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В АККРЕЦИОННЫХ
ПЯТНАХ ЗВЕЗД ТИПА Т ТЕЛЬЦА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ
СПЕКТРОВ

01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

МОСКВА – 2013 г.

Работа выполнена на кафедре астрофизики и звездной астрономии физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Ламзин Сергей Анатольевич
заместитель директора по научной работе
Государственного астрономического института
им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор,
Гринин Владимир Павлович
зав. лабораторией звездообразования
главной астрономической обсерватории РАН

доктор физико-математических наук,
доцент,
Машонкина Людмила Ивановна
ведущий научный сотрудник
Института астрономии РАН

Ведущая организация: НИИ "Крымская астрофизическая
обсерватория"
(Украина, Крым, пгт. Научный)

Защита состоится 16 мая 2013 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д501.001.86 при Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ), расположенном по адресу: Университетский проспект, дом 13, 119991, Москва

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119991, г. Москва, Ломоносовский проспект, д.27, Фундаментальная библиотека).

Автореферат разослан 15 апреля 2013 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических
наук



С.О. Алексеев

Общая характеристика работы

Актуальность работы.

Нет сомнений в том, что эмиссия в линиях и континууме, наблюдаемая в спектрах классических звезд типа Т Тельца (CTTS), обусловлена аккрецией вещества протопланетного диска на молодые звезды малой массы и сопровождающим этот процесс истечением вещества. Наблюдения показывают, что эмиссионные линии в оптических спектрах CTTS состоят из двух компонент: узкого ($FWHM \sim 30$ км/с) и широкого ($FWHM \sim 100$ км/с), которые формируются в различных пространственных областях. Можно считать доказанным, что узкие компоненты эмиссионных линий формируются в атмосфере CTTS, прогреваемой излучением аккреционной УВ: наблюдательные аргументы в пользу этой точки зрения приведены в работах Петрова и др. 2001, 2011 [11, 12]; Гама и др. 2008 [6], а также в диссертации. Представленные в диссертации ЛТР-расчеты в рамках простой модели круглого однородного пятна согласуются с наблюдаемым спектром узких компонент: для всех рассмотренных в диссертации CTTS удается подобрать модель, спектр которой похож на наблюдаемый, по крайней мере в том, что линии, показывающие эмиссию в наблюдаемых спектрах, показывают эмиссии и в моделях, а проведенные не-ЛТР расчеты для атомов Ca и He позволяют количественно интерпретировать наблюдаемые спектры. Широкие компоненты, по-видимому, образуются в магнитосфере звезды на значительном ($\sim 1 - 3R_*$) расстоянии от фотосферы – см., например, Гомес де Кастро и Вердуго (2003) [7] и Додин и др. (2012) [16]. Заметный вклад в широкие компоненты некоторых линий может также давать истекающее вещество.

В последние несколько лет Ж.-Ф. Донати с коллегами опубликовал серию работ по доплеровскому картированию CTTS, используя для этих целей абсорбционные линии фотосферы и узкие компоненты эмиссионных линий – см. обзор Донати и Ландстрит (2009) [3] и приведенные там ссылки. Эти работы широко цитируются, а полученная информация используется для глобальных выводов о структуре магнитного поля молодых звезд и характере их взаимодействия с протопланетным диском – см., например, Донати и др. (2010) [4]. Однако достоверность результатов, полученных в работах группы Донати, вызывает у нас серьезные сомнения по следующим причинам:

1) Основа доплеровского картирования – информация о зависимости спектральной интенсивности I_ν от косинуса угла μ между локальной нормалью к поверхности и лучом зрения, т.е. $I_\nu = I_\nu(\mu)$. Группа Донати не располагает для зоны аккреции такими зависимостями, которые принципиально отличаются от зависимостей для обычной звездной атмосферы, поскольку, как показано в диссертации, в горячем пятне имеет место не потемнение к краю, как в невозмущенной атмосфере, а "посветление", из-за того, что температура в

горячем пятне растет наружу.

2) Принято считать, что наблюдаемое уменьшение глубины фотосферных линий в спектрах CTTS по сравнению со звездами главной последовательности тех же спектральных классов вызвано тем, что на фотосферный спектр молодой звезды накладывается т.н. вуалирующий континуум (Хартиган и др., 1989, [8]). Однако наблюдения и расчеты, представленные в диссертации, показали, что существенный вклад в вуалирование вносят эмиссионные линии, возникающие в горячем пятне и частично заполняющие фотосферные линии. В диссертации показано, что степень вуалирования линиями, как правило, отличается в несколько раз даже в пределах узкого спектрального диапазона. Иными словами, эмиссия в линиях искажает профили разных фотосферных линий в различной степени. Между тем группа Донати для доплеровского картирования использует т.н. LSD метод, суть которого сводится к анализу единственного профиля, который получается усреднением большой совокупности фотосферных линий, естественно, без учета искажения их профилей эмиссионными линиями горячего пятна.

В диссертации показано, что если не учитывать вуалирование фотосферного спектра эмиссионными линиями горячего пятна, то возникает непредсказуемые ошибки в оценках параметров аккреционного пятна и таких параметров звезды, как T_{ef} , $v \sin i$, A_V . Иными словами, есть основания полагать, что все измерения этих параметров, выполненные до сих пор, являются в той или иной мере неточными. И напротив, учет вуалирования линиями решает как проблему немоного распределения вуалирования, описанную в работе Стемпельса и Пискунова (2003) [14], так и проблему вуалирования в ИК области, поставленную в работе Фишера и др. (2011) [5]. Воспроизведение наблюдаемого спектра эмиссионных линий позволяет получить оценки параметров аккреционной зоны, которые не зависят от неопределенности в величине и законе межзвездного поглощения, более того, при наличии спектров CTTS в абсолютных единицах, можно восстановить сам закон межзвездного поглощения в направлении на изучаемые CTTS.

В последнее десятилетие рядом авторов были выполнены трехмерные численные МГД-расчеты, моделирующие процесс магнитосферной дисковой аккреции на звезды различных типов: от нейтронных звезд и белых карликов до CTTS – см. обзор Романовой и др. (2009) [13] и приведенные там ссылки. Из-за сложности расчетов авторы вводят различные упрощения, оправданность которых можно выяснить только путем сравнения получаемых результатов с наблюдениями. Метод доплеровского картирования – весьма перспективный подход для такого сравнения, а CTTS – самые подходящие объекты, поскольку в спектрах этих звезд проявляются все составляющие аккреционного потока: от точки остановки на границе магнитосферы до поверхности

звезды – см. работу Аленкар (2007) [1] и приведенные там ссылки. При этом многие СТТС удалены от Солнца на расстояние менее 150 пк, что позволяет получать для них спектры высокого качества, необходимые для доплеровской томографии. Поняв физику магнитосферной аккреции в случае СТТС, можно использовать полученные результаты и для звезд других типов.

Цель диссертационной работы.

Количественная интерпретация спектров СТТС в рамках модели магнитосферной аккреции на основе расчетов спектра излучения аккреционной зоны; определение физических условий в аккреционной зоне. Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих основных **задач**:

1. Расчет структуры и спектра аккреционного пятна для набора параметров падающего газа и подлежащей звезды.
2. Расчет спектра звезды с аккреционным пятном.
3. Поиск и подготовка наблюдаемых спектров звезд типа Т Тельца для сравнения с модельными спектрами.
4. Определение параметров падающего газа, размеров и ориентации аккреционного пятна для каждого отобранного наблюдаемого спектра, путем сравнения с теоретическим.
5. Измерение магнитного поля в зоне аккреции.

Научная новизна.

Основные результаты работы являются новыми и заключаются в следующем:

- Получена зависимость $I(\mu)$ для зоны аккреции СТТС в линиях и континууме.
- В рамках модели магнитосферной аккреции удастся одновременно воспроизвести фотосферный спектр, вуалирование и спектр узких компонент эмиссионных линий, путем подбора физических параметров ударной волны.
- По оптическим спектрам СТТС определено среднее по области аккреции значение концентрации падающего газа, которое для большинства звезд составило около 10^{13} см^{-3} или более.
- Найдено объяснение немонотонного распределения вуалирования с длиной волны и степени вуалирования в ИК области.

- Вычисление спектра звезды с аккреционной зоной позволило выделить широкий эмиссионный компонент у линии He II 4686 Å.
- В спектрах CTTS найдены наблюдаемые проявления неоднородности аккреционной зоны.
- Проведен спектрополяриметрический мониторинг звезды RW Aur и найдено, что звезда имеет две зоны аккреции с противоположной полярностью магнитного поля. Обнаружено магнитное поле в ветре звезды RW Aur.

Практическая и научная значимость полученных результатов определяется возможностью их применения для количественной интерпретации наблюдений индивидуальных CTTS. Особый интерес в этой связи представляет использование результатов расчета спектра аккреционной зоны в комбинации с недавно появившимися численными 3D-моделями аккреции на замагниченную звезду.

Полученные модели в перспективе могут быть использованы при проведении доплеровского картирования и магнитного доплеровского картирования. Аккуратное воспроизведение спектра фотосферы и аккреционной зоны позволяют найти новые и уточнить профили известных линий, область формирования которых не относится к звезде и зоне аккреции. Это может быть использовано при изучении широких компонент линий, образующихся в истечении. Полученные результаты могут быть использованы для определения межзвездной экстинкции в направлении на молодые звезды.

В соответствии со сказанным, результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы во всех научных учреждениях, где изучают проблемы звездообразования, звездного магнетизма, а также теорию магнитосферной аккреции.

Основные положения выносимые на защиту:

1. Рассчитаны спектры интенсивности излучения горячего пятна, возникающего на поверхности CTTS в результате прогрева ее атмосферы излучением аккреционной ударной волны.
2. Показано, что вуалирование спектров CTTS происходит не только континуумом, но и эмиссионными линиями, которые формируются в горячем пятне, причем относительный вклад линий в вуалирование возрастает с уменьшением плотности потока аккреционной энергии.
3. Найдено, что средняя плотность вещества перед фронтом ударной волны для большинства звезд составляет около 10^{13} см^{-3} .

4. Показано, что учет не-ЛТР эффектов при расчете спектра линий Ca I позволяет воспроизвести наблюдения для всех исследованных CTTS (9 звезд).
5. У звезды RW Aur A обнаружена переменная средняя продольная составляющая магнитного поля в зоне аккреции с напряженностью до 1.5 кГс и в ветре до 0.8 кГс.

Работы автора по теме диссертации.

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ из них 6 из списка ВАК.

- [1] Додин А.В., Ламзин С.А., Чунтонов Г.А. *Магнитное поле молодой звезды RW Aur. Письма в Астрономический журнал*, 38, 194 (2012).
- [2] Додин А.В. и Ламзин С.А. *Интерпретация эффекта вуалирования фотосферного спектра звезд типа T Тельца в рамках аккреционной модели. Письма в Астрономический журнал*, 38, 727 (2012).
- [3] Бисикало Д.В., Додин А.В., Кайгородов П.В., Ламзин С.А., Малоголовец Е.В., Фатеева А.М. *Реверсное вращение аккреционного диска RW Aur A: наблюдения и физическая модель. Астрономический журнал*, 89, 761 (2012).
- [4] Додин А.В., Ламзин С.А., Ситнова Т.М. *Не-ЛТР моделирование узких эмиссионных компонент линий He и Ca в оптических спектрах классических звезд T Тельца. Письма в Астрономический журнал*, 39, 353 (2013).
Доступно по адресу <http://arxiv.org/abs/1302.1825>.
- [5] Додин А.В. и Ламзин С.А. *О природе вуалирования спектров классических звезд T Тельца в ближней инфракрасной области. Письма в Астрономический журнал*, 39, в печати (2013).
Доступно по адресу <http://arxiv.org/abs/1302.5357>.
- [6] Додин А.В., Ламзин С.А., Чунтонов Г.А. *Результаты измерения магнитного поля молодых звезд DO Tau, DR Tau, DS Tau. Астрофизический бюллетень*, 68, в печати (2013).
Доступно по адресу <http://arxiv.org/abs/1303.0826>.
- [7] Dodin A.V., Chountonov G.A., Lamzin S.A. *Magnetic field of young star RW Aur*. In "Magnetic Stars" Proceedings of the International Conference. Nizhniy Arkhyz, 2011.

Апробация.

Основные положения диссертационной работы докладывались на Всероссийской молодежной астрономической конференции "Наблюдаемые проявления эволюции звезд" 15-19 октября 2012, САО РАН, на международной конференции "Magnetic Stars-2010", на Международном молодежном научном форуме "ЛОМОНОСОВ-2010"; семинарах "Магнитоплазменные процессы в релятивистской астрофизике" в 2011, 2012, 2013 гг.

Личный вклад автора в совместных работах.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, вклад диссертанта в работах 1-2 и 4-7 был определяющим. В работах 1) и 6) наблюдения и редукция выполнялась соавторами. В работе 3) автору принадлежит только обработка наблюдательных данных. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором. Соискатель в равной степени с другими соавторами участвовал в постановке задач, имея определяющую роль на этапах разработки методов, их тестирования, проведения расчетов, получения и представления результатов и выводов. Автором модифицированы программы ATLAS9, SYNTHЕ, DETAIL для расчета структуры и спектра аккреционной зоны. Автором написаны программы для подбора теоретических моделей, описывающих наблюдаемые спектры, и программы для измерения магнитного поля.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы. Список использованной литературы содержит 133 наименования. Текст диссертации содержит 137 страниц машинописного текста, включая 56 рисунков и 11 таблиц.

Содержание работы

Во **Введении** излагаются представления о звездах типа Т Тельца, обосновывается актуальность темы и формулируются цель работы и положения выносимые на защиту.

Глава 1. Структура и спектр излучения зоны аккреции в ЛТР приближении

В первой главе ставится вопрос о необходимости нового моделирования спектра горячего пятна, которое бы учитывало не только излучение в континууме (как это сделано в работе Кальвет и Гуллбринг, 1998 [2]), но также излучение в линиях. Описываются модельные предположения и диапазон рассматриваемых параметров аккреционной ударной волны. Производится

расчет структуры зоны перед фронтом ударной волны, которая не только переизлучает коротковолновое излучение УВ обратно в направлении звезды, но и поглощает излучение горячего пятна, изменяя его спектр. Зона перед фронтом УВ рассчитывалась приближенно в программе CLOUDY и только для континуума.

Расчеты структуры и спектра горячего пятна были выполнены с помощью модифицированной программы ATLAS9 (Куруц, 1970 [9]) в рамках ЛТР-приближения для плоскопараллельного слоя с солнечным обилием элементов. Тестовые вычисления показали, что программа работает правильно. Оказалось, что основные параметры задачи – скорость V_0 и плотность N_0 аккрецируемого газа перед фронтом УВ и T_{ef} звезды. Спектр пятна зависит, главным образом, от отношения K мощности внешнего излучения к мощности излучения невозмущенной атмосферы, причем при малых значениях K горячее пятно проявляет себя, в основном, в линиях, а заметная эмиссия в континууме появляется при больших K . При одинаковых K , но разных значениях V_0 и N_0 различия спектров пятна невелики, однако не следует забывать, что в рамках ЛТР-приближения вид спектров определяется, прежде всего, зависимостью $T = T(\tau_{Ross})$, поэтому учет отклонений от ЛТР может существенно изменить этот вывод.

Предполагая, что на поверхности звезды с T_{ef} от 3750 К до 5000 К имеется одно пятно круглой формы, в пределах которого значения V_0 и N_0 одинаковы, было рассчитано, как должны выглядеть результирующие спектры системы звезда+пятно при разных относительных размерах пятна f и его положении относительно наблюдателя, характеризуемого углом α между лучом зрения и осью симметрии пятна. Для каждой из звезд, у которых было обнаружено вуалирование линиями (Гам и др., 2008 [6]; Петров и др., 2011 [12]), удалось подобрать модель, спектр которой похож на наблюдаемый, по крайней мере, в том, что линии, показывающие эмиссию в наблюдаемых спектрах, показывают эмиссии и в моделях.

Из расчетов следует, что в видимом диапазоне разброс степени вуалирования r индивидуальных линий особенно велик в интервале длин волн 5000-5500 Å, в результате чего среднее значение r в этом интервале возрастает. До нашей работы наличие локального максимума на зависимости $r = r(\lambda)$ в районе $\lambda \approx 5300$ Å интерпретировалось, как немонотонное распределение энергии в спектре эмиссионного континуума, причина которого была непонятна.

Было показано, что если при расчете спектра аккреционного горячего пятна учитывать эмиссию не только в континууме, но и в линиях, а также корректно суммировать вклады в общее излучение от пятна и невозмущенной фотосферы звезды, то наблюдаемое вуалирование спектров CTTS в ближней

ИК области можно объяснить без привлечения дополнительных источников вуалирующего континуума.

Наличие узких эмиссионных компонент внутри фотосферных линий приводит к искажению относительных глубин линий и к изменению формы их профиля, что может привести к систематическим ошибкам в определении параметров звезды: эффективной температуры и $\lg g$. Перемещение пятна относительно наблюдателя при вращении звезды вокруг оси приводит к смещению положения эмиссионных компонент внутри абсорбционных линий, что воспринимается как переменность лучевой скорости звезды. Одновременно меняется и ширина фотосферных линий, что выглядит как переменность величины $v \sin i$. Важно подчеркнуть, что величина эффекта зависит от того, какие именно фотосферные линии будут выбраны для измерений, поскольку даже внутри сравнительно узкого спектрального интервала степень вуалирования линий r может отличаться в несколько раз.

Показана ограниченность использования вуалирования при определении параметров аккреционного пятна, поскольку примерно одинаково вуалированные спектры могут быть получены при различных параметрах пятна, особенно, если спектры рассчитаны в ЛТР приближении. Поэтому для определения параметров ударной волны, необходимо использовать более сильные линии, которые явным образом проявляют себя как узкие эмиссионные компоненты и которые необходимо рассчитывать с учетом отклонений от ЛТР. Чувствительные к не-ЛТР эффектам линии могут помочь преодолеть неопределенность при одновременном определении параметров аккреции N_0 и V_0 , поскольку интенсивность линий, показывающих отклонение от ЛТР, должна зависеть от поля излучения, которое определяется величиной V_0 . Учет отклонений от ЛТР для этих линий может оказаться важным при интерпретации спектров: в частности, П. П. Петров (частное сообщение) обнаружил, что в спектре звезды DR Tau фотосферные линии Ca I, в отличие от линий других металлов, вуалируются только континуумом. Наши ЛТР-расчеты не позволяют объяснить этот эффект, который, впрочем, может быть связан с дефицитом кальция в аккрецируемом газе.

Содержание главы отображено в двух статьях Додин и Ламзин (2012, 2013) [17, 19].

Глава 2. Учет отклонений от ЛТР для атомов He и Ca

Глава посвящена не-ЛТР моделированию спектров атомов He и Ca, на основе ЛТР моделей атмосфер, рассчитанных в первой главе. Сначала описываются модель атома He, использованные атомные данные и программа расчета населенности уровней, которая была написана самостоятельно. В случае атома Ca была использована модель атома и атомные данные из работы Машонкиной и др. (2007) [10] и программа для расчета населенности атомных

уровней DETAIL, которая была мною модифицирована для учета внешнего излучения. После тестирования программ расчета населенностей уроней, описываются программы для расчета спектров: для гелия программа была полностью написана самостоятельно, для расчета спектра Ca была модифицирована программа SYNTHЕ.

Моделирование спектров CTTS впервые позволило обнаружить, что линия He II 4686 Å состоит не только из узкого, но и из широкого эмиссионного компонента. Совместные измерения величины вуалирования и эквивалентной ширины узкого компонента линии He II 4686 Å позволяют определить плотность аккреционного потока.

Для 22-х спектров 9-ти CTTS были подобраны параметры аккрецируемого газа так, чтобы расчетный спектр в модели круглого однородного горячего пятна хорошо совпадал с наблюдаемым в широком спектральном диапазоне. Оказалось, что из 9-ти CTTS 7 аккрецируют вещество с плотностью $N_0 \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$. При такой плотности спектр Ca близок к ЛТР. Сравнение с наблюдениями показало, что при высокой плотности аккреционного потока спектр других элементов обычно хорошо описывается ЛТР-спектром.

Для большинства рассмотренных звезд спектр Ca хорошо описывается моделями с содержанием Ca, близким к солнечному. Только для звезды TW Нуа требуется пониженное примерно в три раза содержание Ca в аккрецируемом газе. Обоснованный вывод о содержании других элементов (прежде всего Fe, Mg, Ti) в аккрецируемом газе может быть сделан только после не-ЛТР моделирования спектра этих элементов. Однако, так же как для Ca, нам не потребовалось вводить отклонения содержания элементов от солнечного для успешного описания наблюдаемого спектра звезд с высокой плотностью аккреционного потока.

На примере звезды TW Нуа показана необходимость учета неоднородности аккреционного пятна для одновременного воспроизведения линий Ca I, Ca II, He II и степени вуалирования, поскольку оказалось, что линии Ca II преимущественно образуются в протяженных областях аккреционной зоны с низким значением плотности потока аккреционной энергии.

Полученные характеристики аккреционного потока не зависят от оценки межзвездного поглощения, поскольку были использованы спектры, нормированные на уровень континуума.

Содержание главы отражено в статье Додин и др. (2013) [18].

Глава 3. Измерения магнитного поля в аккреционной зоне

В первом разделе описывается методика измерений магнитного поля, которая основана на эффекте Зеемана. Описывается тестирование методики путем измерений магнитных полей у звезд с заранее известной напряженностью поля. Показывается возможность определения магнитного поля для от-

носителем слабых звезд Т Тельца по измерению поляризации сильных узких эмиссионных линий в их спектрах: впервые измерено поле у звезд DO Tau, DR Tau, DS Tau.

Во втором разделе описан спектрополяриметрический мониторинг звезды RW Aur. Полученные в 2006-2009 гг. 18 измерений среднего значения продольной компоненты магнитного поля RW Aur A разбросаны по времени, однако из анализа имеющихся данных был сделан ряд выводов.

Результаты наших измерений противоречат гипотезе о том, что периодические изменения лучевой скорости звезды вызваны ее орбитальным движением с периодом $\simeq 2.77^d$, но согласуются с моделью двух горячих пятен с различной полярностью магнитного поля, расположенных в противоположных полушариях и периодом осевого вращения звезды $P \simeq 5.6^d$. Наши данные не хватает для того, чтобы установить точное значение периода. В частности, при $P = 5.576^d$ и $P = 5.6659^d$ получаются фазовые кривые, на которых экстремумы B_z противоположного знака поля в пятнах смещены по фазе на $\simeq 0.5$, чего и следует ожидать, если пятна отстоят друг от друга по долготе на 180° . Наблюдаемая величина продольной составляющей индукции магнитного поля в аккреционных пятнах составляла от -1.5 до $+1.1$ кГс.

В 2-х из 11-ти случаев было обнаружено отличное от нуля поле в линиях Na I D. Измеренные значения B_z отличаются от нуля $> 3\sigma$, а V -кривые имеют идентичную форму для обеих линий дублета. При этом можно утверждать, что поле с индукцией до $\simeq 0.8$ кГс присутствует в участке профиля, который соответствует истечению вещества в интервале скоростей от 0 до $\simeq -180$ км/с.

Верхний предел B_z (по уровню 3σ), полученный усреднением всех наблюдений, для фотосферы равен 180 Гс, а для области формирования линий H_α и [O I] 6300 – 220 Гс и 230 Гс соответственно. Нам также не удалось обнаружить поле в области формирования широких компонент эмиссионных линий: $B_z < 600$ Гс.

Содержание главы отображено в трех статьях: Додин и др. (2012, 2013) [16, 20] и Бисикало и др. (2012) [15].

В **Заключении** обсуждаются полученные результаты, задаются направления для дальнейшего изучения, обсуждаются перспективы представлено в диссертации моделирования при изучении широких эмиссионных компонент и картировании зон аккреции.

Список литературы

- [1] Alencar S., in "Star-Disk Interaction in Young Stars Proc. IAU Symp. **243**, 71 (2007)
- [2] Calvet N., Gullbring E., "*The Structure and Emission of the Accretion Shock in T Tauri Stars*", *Astrophys. J.* **509**, 802 (1998).
- [3] Donati J.-F., Landstreet J. D., "*Magnetic Fields of Nondegenerate Stars*", *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **47**, 333 (2009).
- [4] Donati J.-F., Skelly M. B., Bouvier J. et al., "*Magnetospheric accretion and spin-down of the prototypical classical T Tauri star AA Tau*", *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **409**, 1347 (2010).
- [5] Fischer W., Edwards S., Hillenbrand L., Kwan J., "*Characterizing the IYJ Excess Continuum Emission in T Tauri Stars*", *Astrophys. J.* **730**, 73 (2011).
- [6] Gahm G. F., Walter F. M., Stempels H. C., Petrov P. P., Herczeg G. J., "*Unveiling extremely veiled T Tauri stars*", *Astron. Astrophys.* **482**, L35 (2008).
- [7] Gómez de Castro A. I., Verdugo E., "*Hubble Space Telescope STIS Spectrum of RW Aurigae A: Evidence for an Ionized Beltlike Structure and Mass Ejection in Timescales of a Few Hours*", *Astrophys. J.* **597**, 443 (2003).
- [8] Hartigan P., Hartmann L., Kenyon S., Hewett R., Stauffer J., "*How to unveil a T Tauri star*", *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **70**, 899 (1989).
- [9] Kurucz R., "*Atlas: a Computer Program for Calculating Model Stellar Atmospheres*", *SAO Sp. Rep.* **309** (1970).
- [10] Mashonkina L., Korn A. J., Przybilla N., "*A non-LTE study of neutral and singly-ionized calcium in late-type stars*", *Astron. Astrophys.* **461**, 261 (2007).

- [11] Petrov P. P., Gahm G. F., Gameiro J. F. et al., *"Non-axisymmetric accretion on the classical TTS RW Aur A"*, *Astron. Astrophys.* **369**, 993 (2001).
- [12] Petrov P. P., Gahm G. F., Stempels H. C., Walter F. M., Artemenko S. A., *"Accretion-powered chromospheres in classical T Tauri stars"*, *Astron. Astrophys.* **535**, 6 (2011).
- [13] Romanova M. M., Ustyugova G. V., Koldoba A. V., Lovelace R. V. E., *"Launching of conical winds and axial jets from the disc-magnetosphere boundary: axisymmetric and 3D simulations"*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **399**, 1802 (2009).
- [14] Stempels H. C., Piskunov N., *"The photosphere and veiling spectrum of T Tauri stars"*, *Astron. Astrophys.* **408**, 693 (2003).
- [15] Бисикало Д. В., Додин А. В., Кайгородов П. В., Ламзин С. А., Малооголовец Е. В., Фатеева А. М. *"Реверсное вращение аккреционного диска RW Aur A: наблюдения и физическая модель"*, *Астрон. Ж.*, **89**, 761 (2012).
- [16] Додин А. В., Ламзин С. А., Чунтонов Г. А., *"Магнитное поле молодой звезды RW Aur"*, *Письма в Астрон. Ж.*, **38**, 194 (2012).
- [17] Додин А. В. и Ламзин С. А., *"Интерпретация эффекта вуалирования фотосферного спектра звезд Т Тельца в рамках аккреционной модели"*, *Письма в Астрон. Ж.*, **38**, 727 (2012).
- [18] Додин А. В., Ламзин С. А., Ситнова Т. М., *"He-LTP моделирование узких эмиссионных компонент линий He и Ca в оптических спектрах классических звезд Т Тельца"*, *Письма в Астрон. Ж.*, **39**, 353 (2013). Доступно по адресу <http://arxiv.org/abs/1302.1825>
- [19] Додин А. В. и Ламзин С. А., *"О природе вуалирования спектров классических звезд Т Тельца в ближней инфракрасной области"*, *Письма в АЖ*, **39**, в печати (2013). Доступно по адресу <http://arxiv.org/abs/1302.5357>.
- [20] Додин А. В., Ламзин С. А., Чунтонов Г. А., *"Результаты измерения магнитного поля молодых звезд DO Tau, DR Tau, DS Tau"*, *Астрофизический бюллетень*, **68**, в печати (2013). Доступно по адресу <http://arxiv.org/abs/1303.0826>.