

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. М.В. ЛОМОНОСОВА

Государственный астрономический институт

им П.К. Штернберга

на правах рукописи

УДК 524.338.5

СМИРНОВ Даниил Анатольевич

# ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МОЛОДЫХ ЗВЕЗД МАЛОЙ МАССЫ

Специальность 01.03.02 астрофизика и радиоастрономия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

МОСКВА, 2006

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 Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга по научной работе*

**Официальные оппоненты:**

кандидат физико-математических наук Рябчикова Татьяна Александровна  
*старший научный сотрудник отдела нестационарных звезд и звездной спектроскопии Института астрономии РАН*

доктор физико-математических наук Соколов Дмитрий Дмитриевич  
*профессор кафедры математики Физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова*

**Ведущая организация:**

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Защита состоится 9 ноября 2006 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Диссертационного совета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, шифр Д.501.001.86

Адрес: 119992, Москва, Университетский проспект, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ (Москва, Университетский проспект, 13)

Автореферат разослан 6 октября 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат физ.-мат. наук  
·  
·  
Алексеев С.О.

# Общая характеристика работы

## Актуальность темы

Звезды типа Т Тельца (T Tauri stars, TTS) – это молодые звезды с массой  $\leq 2M_{\odot}$  и возрастом около  $10^6 - 10^7$  лет, находящиеся на стадии сжатия к главной последовательности. Они были выделены в отдельный класс астрофизических объектов еще А. Джоем по их характерным эмиссионным спектрам, напоминающим спектр солнечной хромосферы (Joy, 1945). На диаграмме Герцшпрунга-Рессела звезды типа Т Тельца располагаются справа над главной последовательностью, в области спектральных классов G-M. Различают классические звезды типа Т Тельца (Classical T Tauri Stars, CTTS) и звезды типа Т Тельца со слабыми линиями (Weak Line T Tauri Stars, WTTS).

По современным воззрениям, активность CTTS обусловлена управляемой магнитным полем аккрецией вещества протопланетного диска на центральную звезду. Идея взаимодействия аккреционного диска с магнитосферой центрального объекта привлекается для объяснения природы весьма широкого класса астрономических объектов: ядер активных галактик и квазаров, рентгеновских пульсаров, полярных, молодых звезд. Моделировать этот процесс весьма сложно, поскольку для этого нужны нестационарные трехмерные магнитогидродинамические расчеты. При этом приходится вводить различные упрощающие предположения, адекватность которых может быть проверена лишь путем сравнения результатов расчета с наблюдениями. CTTS относительно близки к нам и это позволяет считать их наиболее перспективными кандидатами для проверки теоретических расчетов (Romanova et al., 2003). Таким образом, изучение характера аккреции на CTTS имеет значение выходящее за рамки изучения свойств молодых звезд, которое, конечно же, актуально само по себе.

В традиционных теориях магнитосферной аккреции предполагается, что угловая скорость вращения центральной звезды равна кеплеровской скорости вращения диска в том месте, где диск «обрезается» силовыми линиями магнитного поля. В случае CTTS исследователям представляется хорошая возможность проверить эти теории на практике, ибо многие параметры теории (такие как масса звезды, радиус, скорость вращения, величина магнитного поля и темп аккреции) являются, в принципе, наблюдаемыми – см. к примеру Johns-Krull & Gafford, (2002). Konigl (1991), Cameron & Campbell (1993) и Shu et al. (1994) аналитически исследовали взаимодействие дипольного магнитного поля (ось которого совпадает с осью вращения звезды) с аккреционным диском. Позднее Romanova et al. (2003, 2004) выполнили трехмерные

МГД-расчеты процесса аккреции на замагниченную звезду. При этом оказалось, что картина течения вещества и геометрия магнитного поля должны быть много сложнее, нежели предполагалось в упомянутых выше теориях. Хорошим тестом состоятельности этого является непосредственное измерение величины и конфигурации магнитных полей CTTS.

Уверенность в том, что магнитное поле играет ключевую роль в эволюции CTTS настолько велика, что выражения «классические звезды Т Тельца» и «молодые магнитные звезды с аккреционными дисками» все чаще и чаще употребляются как синонимы. Поэтому любая достоверная информация о величине и структуре магнитного поля TTS имеет весьма важное значение.

## Цель работы

Цель диссертации – исследование величины и структуры магнитных полей молодых звезд малой массы на основе спектрополяриметрических наблюдений, выполненных на 6 м телескопе САО РАН. В главах I и II рассматриваются CTTS Т Тау и ВР Тау соответственно, а в главе III – фуор FU Ori.

На защиту выносятся следующие **основные результаты** диссертации.

1. Результаты измерений средней величины продольной компоненты магнитного поля ( $B_{\parallel}$ ) в *фотосфере* звезды Т Тау, величина которой менялась с течением времени в интервале от  $\simeq 150 \pm 30$  до  $15 \pm 30$  Гс.

2. Результаты измерений средней величины  $B_{\parallel}$  в *магнитосфере* Т Тау (в области формирования линии He I 5876), которая менялась с течением времени в диапазоне от 350 до 1100 Гс.

3. Оценки параметров магнитного поля Т Тау в предположении о его дипольной конфигурации ( $B_p \simeq 4$  кГс, угол между осью вращения звезды и магнитной осью  $\simeq 85^\circ$ ), а также вывод о том, что если угол между осью вращения Т Тау и лучом зрения превышает  $10^\circ$ , то поле в *фотосфере* Т Тау существенно отличается от дипольного.

4. Впервые полученные оценки величины магнитного поля в диске ( $B < 300$  Гс), дисковом ветре ( $B < 300$  Гс) и в области формирования эмиссионной компоненты линии  $H_{\alpha}$  ( $B < 100$  Гс) для фуора FU Ori.

Все перечисленные пункты определяют также **научную новизну** результатов.

Основные результаты работы опубликованы в 4 статьях в журнале «Письма в Астрономический Журнал» и одной статье в журнале «Astronomy & Astrophysics». В список положений, вынесенных на защиту, включены лишь те результаты и выводы, в которых вклад автора был основным, или, по крайней мере, равным вкладу других соавторов.

**Апробация.** Результаты полученные в диссертации докладывались и обсуждались на конференции молодых ученых «Ломоносов-2003», на конференции по Астрофизике высоких энергий в Москве «HEA-2002», на конференции в Бразилии «Open Issues in Local Star Formation» в апреле 2003г., на конференции «Магнитные звезды» в САО РАН в августе 2004 г., и научном семинаре в ФИАНе.

## Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 76 наименований. Общий объем диссертации составляет 83 страницы, включая 19 рисунков и 10 таблиц.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации и кратко излагается современный взгляд на природу активности молодых звезд типа Т Тельца. Формулируется цель работы и результаты, вынесенные на защиту. Кроме того, во Введении приведен список публикаций по теме диссертации.

## Глава I. Исследование магнитного поля в фотосфере и магнитосфере Т Тау

Глава посвящена измерениям напряженности магнитного поля звезды Т Тау и интерпретации полученных результатов. Ее основные результаты изложены в наших работах [1], [2], [4] (см. «Список печатных работ содержащих основные результаты диссертации»).

В разделе I.1 представлено описание наблюдательного материала – спектров Т Тау и вспомогательных звезд, полученных на 6м телескопе САО в фокусе Нэсмит-2 на спектрографе ОЗСП, оснащенный анализатором круговой поляризации. Приведено описание условий наблюдений, аппаратуры и параметров спектрографа.

В разделе I.2 описана методика обработки спектров. Особое внимание уделено учету систематических инструментальных ошибок: в наблюдениях 1996 г. использовался анализатор на ромбах Френеля, без возможности вращения фазосдвигающего элемента, а в последующих наблюдениях применялся новый анализатор на осно-

ве кальцитового поляроида, в котором реализована возможность поворота фазовой пластинки. Этим обусловлено отличие в методиках обработки спектров полученных в 1996 г. и в последующие года. В 1996 г. для этого мы использовали спектры звезды  $\epsilon$  Тау. Поскольку эта звезда является гигантом, предполагалось, что напряженность магнитного поля на поверхности этой звезды близка к нулю. Таким образом, мы предполагали, что отличные от нуля величины относительного смещения спектральных линий в право- и левополяризованном спектре в спектре  $\epsilon$  Тау являются следствием *только* инструментальных эффектов.

В последующих наблюдениях мы использовали возможность вращать фазосдвигающий элемент спектрографа, так что право- и левополяризованные спектры менялись на ПЗС-матрице местами. При этом изменяется знак величины относительного смещения спектральных линий вызванного эффектом Зеемана, знак же величины смещения порожденного инструментальными эффектами не изменяется. Тем самым, мы получаем простой и эффективный способ устранить систематические инструментальные ошибки.

Разделе I.3 приведены результаты измерений величины  $B_{\parallel}$  (т.е. величины продольной компоненты напряженности магнитного поля) по фотосферным линиям.

В 1996 г. по абсорбционным линиям получено значение  $B_{\parallel} = +162$  Гс с ошибкой измерения  $\sigma_B = 30$  Гс. Также подробно описана процедура устранения инструментальных эффектов с помощью звезды-стандарта  $\epsilon$  Тау. Достигнутая точность учета ошибок составила величину  $\sigma_C \simeq 20$  Гс. Итого, по результатам наблюдений 1996 г. была принята оценка  $B_{\parallel} = +160 \pm 40$  Гс.

В последующих наблюдениях (в 2002 и 2003 гг.) по фотосферным линиям были получены значения  $B_{\parallel} = +140 \pm 50$  Гс и  $B_{\parallel} = +15 \pm 30$  Гс соответственно. При этом точность учета систематических ошибок составила величину  $\sigma_C \simeq 10$  Гс.

Поскольку приведенные величины лежат вблизи порога чувствительности нашей аппаратуры (на уровне  $3 - 4\sigma$ ), в разделе приведены дополнительные тесты демонстрирующие, что наблюдаемое смещение спектральных линий имеет магнитную природу.

Раздел I.4 посвящен результатам измерений величины  $B_{\parallel}$  в магнитосфере Т Тау. Полученные нами в 2003 г. спектры Т Тау занимают спектральный диапазон от  $5700 \text{ \AA}$  до  $6050 \text{ \AA}$ , в который попадает эмиссионная линия гелия He I 5876. По современным представлениям эмиссионные линии гелия образуются у СТТС в аккрецируемом веществе в магнитосфере молодой звезды, т.е. за пределами фотосферы. Поэтому у Т Тау мы отдельно измерили величину  $B_{\parallel}$  по профилю линии He I 5876. Полученные значения заметно менялись от ночи к ночи (от 400 до 1100 Гс). По слу-

чайному совпадению наблюдения двух ночей пришлось практически на одну и ту же фазу вращательного периода, однако величина  $B_{\parallel}$  в эти две ночи отличается почти в три раза. Профили линии гелия в эти ночи также были разными, что, впрочем, характерно и для других CTTS – см., например, Alencar, Batalia (2002). Обсуждаются возможные причины этого феномена.

В разделе I.5 приводится оценка параметров магнитного поля Т Тау на основании полученных результатов. В подразделе I.5.1 производится анализ влияния аккреции на точность оценки наблюдаемых величин напряженности магнитного поля. Расчеты Romanova et al. (2003) показали, что при дисковой аккреции на молодую звезду, обладающую дипольным магнитным полем, вещество падает, главным образом, в районе магнитных полюсов, т.е. на область с наибольшей напряженностью магнитного поля. Аккрецируемое вещество нагревает поверхность звезды, и если вклад «горячих» областей в формирование некоторой спектральной линии мал, то оценка средних значений величин напряженности магнитного поля полученная из анализа данной линии, окажется заниженной. Мы оценили величину этого эффекта. Оказалось, что пренебрегая наличием горячих пятен мы ошибаемся в оценке значений  $B$  (усредненная по поверхности напряженность магнитного поля) и  $B_{\parallel}$  не более, чем на 15 %, что меньше современной точности измерения этих величин у молодых звезд. Причина столь малого эффекта – сравнительно небольшая ( $\sim 10\%$ ) доля поверхности звезды, в пределах которой выделяется подавляющее большинство аккреционной энергии (Romanova et al., 2003, 2004).

В подразделе I.5.2 производится оценка параметров магнитного поля Т Тау в предположении о его дипольном характере. Guenther et al. (1999), а также Johns-Krull et al. (2001) нашли для Т Тау  $B = 2.3 \pm 0.15$  кГс, а в наших наблюдениях были получены следующие оценки значений  $B_{\parallel}$  :  $+150 \pm 50$  Гс в 1996 и 2002 гг. и  $+15 \pm 30$  Гс в 2003 г. Если поле у Т Тау – дипольное и стационарное, то отличие наблюдаемых значений  $B_{\parallel}$  и  $B$  более чем на порядок можно объяснить тем, что угол  $\delta$  между осью диполя и лучом зрения во время наших наблюдений был близок к  $90^\circ$ . (При  $\delta = 90^\circ$  компоненты поля  $B_{\parallel}$  направленные к наблюдателю и от него взаимно компенсируются, поэтому наблюдаемое значение  $B_{\parallel}$  в этом случае должно быть равно нулю.) Мы рассмотрели этот вопрос с количественной точки зрения, опираясь на результаты наших наблюдений. Оказалось, что наши результаты и результаты Guenther et al. (1999), Johns-Krull et al. (2001) в рамках дипольной модели не противоречат друг другу в том лишь случае, если:

1)  $3 \text{ кГс} < B_0 < 4.3 \text{ кГс}$ , где  $B_0$  – напряженность магнитного поля на полюсе диполя.

2)  $\alpha < 80^\circ$  и/или  $i > 10^\circ$ , где  $\alpha$  – угол между осью вращения звезды и осью магнитного диполя,  $i$  – наклон оси вращения к лучу зрения.

Отсюда можно сделать два следующих утверждения:

1) Если будущие наблюдения (с помощью интерферометра VLTI, например), покажут, что наклон оси вращения Т Тау к лучу зрения превышает  $10^\circ$ , то результаты измерений величин  $B$  и  $B_{\parallel}$  означают, что поле этой звезды вблизи ее поверхности существенно отличается от дипольного.

2) Если же окажется, что  $i < 10^\circ$ , то наблюдения не противоречат гипотезе о том, что поле Т Тау – дипольное, причем ось диполя образует с осью вращения угол  $\simeq 85^\circ$ .

Раздел I.6 посвящен обсуждению полученных в главе I результатов.

## Глава II. Магнитное поле в магнитосфере ВР Тау

Глава посвящена измерениям напряженности магнитного поля в магнитосфере звезды ВР Тау и интерпретации полученных результатов. Основные результаты главы изложены в работе [5].

В разделе II.1 представлено описание наблюдательного материала – спектров ВР Тау, полученных на 6м телескопе САО в фокусе Нэсмит-2 на спектрографе ОЗСП, оснащенный анализатором круговой поляризации. Приведено описание условий наблюдений, аппаратуры и параметров спектрографа.

В следующем разделе излагается методика обработки спектров и полученные результаты. Особое внимание уделено описанию методов измерения сдвигов спектральных линий в спектрах с противоположной поляризацией и оценки ошибок измерения. Измеренные нами значения продольной компоненты магнитного поля ВР Тау (от 900 до 2700 Гс) в области формирования линии He I 5876 близки к результатам аналогичных измерений Johns-Krull et al. (1999), Valenti et al. (2003), Symington et al. (2005).

Раздел II.3 посвящен обсуждению полученных результатов. Symington et al. (2005) использовали свои результаты, приведенные в упомянутых выше работах, для оценки параметров магнитного поля ВР Тау, полагая, что линия He I 5876 формируется вблизи магнитного полюса звезды в струе газа, которая падает на звезду практически вдоль оси магнитного диполя. Сравнивая вычисленные в рамках этой модели величины  $B_{\parallel}$  с наблюдаемыми авторы получили следующие значения:  $B_p \simeq 3$  кГс,  $\beta \simeq 40^\circ$  (здесь  $B_p$  – напряженность магнитного поля на полюсе диполя,  $\beta$  – угол между осью вращения и магнитной осью).

Мы задались целью уточнить эти результаты и оценить достоверность принятой



модели используя наши наблюдения. При этом мы использовали иную методику, нежели Symington et al. (2005), поскольку в их работе в явном виде не учитываются ошибки индивидуальных измерений. Полученный нами результат ( $B_p \simeq 2.5$  кГс и  $\beta \simeq 40^\circ$ ) находится в разумном соответствии с результатами Symington et al. (2005). Однако, оказалось, что вероятность принятия гипотезы о соответствии наблюдаемых и теоретических данных  $\ll 1\%$ .

В этой связи в диссертации рассматривается, насколько реалистична модель аккреции, в которой предполагается, что газ падает на звезду вдоль магнитной оси. Показано, что если для анализа наблюдательных данных использовать модель из работы Symington et al. (2005), то оценка величины  $B_p$  окажется заниженной, а полученное значение  $\beta$  не будет иметь никакого отношения к реальности.

На основании вышесказанного мы полагаем, что плохое согласие расчетной кривой с наблюдениями связано с неудачно выбранной моделью, а оценка значений  $B_p$  и  $\beta$ , полученная Symington et al. (2005), не заслуживает доверия. Тем более нельзя на основании *имеющихся* данных судить о том, является ли магнитное поле ВР Тау дипольным или нет.

Наряду с переменностью напряженности магнитного поля ВР Тау демонстрирует также переменность профиля линии гелия. При этом интенсивность линии гелия уменьшается с ростом величины  $B_{\parallel}$ . Обосновывается гипотеза о том, что это связано с изменением структуры магнитного поля звезды.

### Глава III. Поиск магнитного поля у фуора FU Ori

Глава посвящена результатам измерения магнитного поля в диске, дисковом ветре и в области формирования эмиссионной компоненты линии  $H_{\alpha}$  у фуора FU Ori. Основные результаты этой главы изложены в работе [3].

В разделе III.1 представлено описание наблюдательного материала – спектров FU Ori и вспомогательных звезд, полученных на 6м телескопе САО в фокусе Нэсмит-2 на спектрографе ОЗСП, оснащенный анализатором круговой поляризации.

Раздел III.2 посвящен результатам измерений. В полученных нами спектрах присутствовали как абсорбционные линии металлов, так и линия водорода  $H_{\alpha}$ . По линиям металлов получено значение  $B_{\parallel} = +30 \pm 130$  Гс, т.е. в области формирования линий металлов величина  $B_{\parallel}$  не превышает 350-400 Гс (по уровню  $3\sigma$ .)

Что касается линии  $H_{\alpha}$ , то ее абсорбционная и эмиссионная компоненты, по видимому, образуются в различных областях (Errico et al., 2003). Поэтому мы измеряли величину зеемановского смещения для этих компонент по отдельности. Для абсорбционной компоненты было получено значение  $B_{\parallel} = +30 \pm 68$  Гс, а для эмисси-

онной –  $B_{\parallel} = -10 \pm 32$  Гс. Таким образом, в области формирования абсорбционной компоненты линии  $H_{\alpha}$ ,  $B_{\parallel} \leq 200$  Гс, а эмиссионной –  $B_{\parallel} \leq 100$  Гс (по уровню  $3\sigma$ ).

В разделе III.3 обсуждаются полученные результаты. Hartmann & Calvet (1995) показали, что линии металлов образуются в аккреционном диске FU Ori, а у наиболее сильных линий имеется и смещенный в коротковолновую область компонент, формирующийся в ветре. Если принять скорость и плотность газа в ветре равными  $300$  км/с и  $3 \cdot 10^{12}$  см $^{-3}$  соответственно (Calvet et al, 1993), то из соотношения  $\rho_w V_w^2 / 2 \leq B^2 / 8\pi$  следует, что для того, чтобы контролировать движение ветра требуется поле с напряженностью не менее  $300$  Гс. Найденные нами верхние пределы напряженности *продольной компоненты* поля, полученные по линиям металлов и по абсорбционному компоненту линии не противоречат этому значению.

В недавней работе Donati et al. (2005) приведены результаты измерения продольной компоненты магнитного поля FU Ori: используя для анализа  $4700$  спектральных линий, авторы достигли очень высокой точности: заявленная величина  $B_{\parallel} = 32 \pm 8$  Гс, что согласуется с полученным нами верхним пределом.

Согласно Calvet et al. (1993) линии тока дискового ветра FU Ori почти перпендикулярны плоскости диска, ось вращения которого наклонена к лучу зрения под углом  $30^{\circ} - 45^{\circ}$ . Поэтому из полученных нами ограничений на величину  $B_{\parallel}$  следует, что полная напряженность поля в области формирования линий, не превышает  $300$  Гс. Таким образом, если магнитное поле действительно коллимирует ветер FU Ori, то его напряженность существенно не превосходит минимально необходимую для этого величину.

По оценке Errico et al. (2003) напряженность магнитного поля  $B$  в области формирования *эмиссионной* компоненты линии  $H_{\alpha}$ , должна быть  $\sim 10^3$  Гс, тогда как полученный нами верхний предел величины  $B_{\parallel}$  составляет всего  $100$  Гс. Отсюда следует, что либо оценка величины  $B$  сильно завышена, либо в момент наблюдения силовые линии поля были почти перпендикулярны лучу зрения. На основании имеющихся данных трудно судить, какое из этих объяснений правильно.

В диссертации отмечено, что критическим тестом для модели Errico et al. (2003) была бы оценка величины  $B_{\parallel}$  вблизи момента максимальной интенсивности эмиссионной компоненты линии  $H_{\alpha}$ . Между тем, во время наших наблюдений интенсивность эмиссионного пика линии  $H_{\alpha}$  была более чем вдвое меньше максимального значения.

**В Заключение** приведены основные выводы и результаты работы.

Всего по теме диссертации опубликовано  $5$  статей в журналах «Письма в Астрономический Журнал» и «Astronomy & Astrophysics», также результаты опубликованы в материалах трех конференций.

**Список печатных работ, содержащих основные результаты диссертации:**

1. Smirnov D.A., Fabrika S.N., Lamzin S.A., Valyavin G.G., 2003, «*Possible detection of a magnetic field in T Tau*», Astronomy & Astrophysics 401, 1057-1061.

2. Д.А.Смирнов, С.А.Ламзин, С.Н.Фабрика, Г.А. Чунтонов, «*О возможной переменности магнитного поля T Tau*», 2004, Письма в Астрономический Журнал, т.30 стр. 506

3. Смирнов Д.А., Ламзин С.А., Фабрика С.Н., «*Измерение продольной компоненты напряженности магнитного поля FU Ori*», 2003, Письма в Астрономический Журнал, Т.29, С.300-304.

4. Смирнов Д.А., Романова М.М., Ламзин С.А., «*Анализ результатов измерения магнитного поля T Tau*», 2005, Письма в Астрономический Журнал, т. 31 стр. 335

5. Чунтонов Г.А., Смирнов Д.А., Ламзин С.А., «*Новые результаты измерений магнитного поля BP Tau*», 2007, Письма в Астрономический Журнал, в печати.

6. Ламзин С.А., Смирнов Д.А., Фабрика С.Н. «*On the structure of magnetic field of T Tau*», AphSSLib, Vol. 299, Proc. of Conf. «Open Issues in Local Star Formation» (Brazil, 5-10 April), CD, 2003.

7. Смирнов Д.А. «*Измерение магнитных полей молодых звезд*», сборник тезисов докладов конференции «Ломоносов-2003», Физический ф-т МГУ, стр.10, 2003.

8. Кравцова А.С., Ламзин С.А., Смирнов Д.А., Фабрика С.Н. «*Дисковая аккреция на намагниченные молодые звезды*», сборник тезисов докладов Всероссийской конференции «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра (HEA-2002)», ИКИ РАН, стр.14, 2002.

## Список литературы

Alencar S.H.P., Batalha C., *Variability of Southern T Tauri Stars. II. The Spectral Variability of the Classical T Tauri Star TW Hydrae*, *Astrophys.J.* 571, 378 (2002).

Calvet N., Hartmann L., Kenyon S. J., *Mass loss from pre-main-sequence accretion disks. I - The accelerating wind of FU Orionis*, *Astrophys.J.*, 402, 623 (1993).

Donati J.F., Paletou F., Bouvier J., Ferreira J., *Direct detection of a magnetic field in the innermost regions of an accretion disk*, *Nature*, Volume 438, Issue 7067, pp. 466-469 (2005).

Errico L., Vittone A., Lamzin, S.A., *Variability of the  $H_\alpha$  and Na I D Line Profiles in the Spectrum of FU Ori*, *Astronomy Letters*, vol. 29, p. 105-110 (2003).

Guenther Eike W., Lehmann H., Emerson James P., Staude J., *Measurements of magnetic field strength on T Tauri stars*, *Astron. Astrophys.* 341, 768 (1999).

Hartmann L., Calvet N., *Observational constraints on FU ORI winds*, *Astronomical J.*, 109, 1846 (1995).

Joy A.H., *T Tauri Variable Stars*, *Astrophys. J.* 102, 168 (1945).

Johns-Krull, C.M., Valenti J.A., Koresko C., *Measuring the Magnetic Field on the Classical T Tauri Star BP Tauri*, *Astrophys. J.* 516, 900 (1999).

Johns-Krull C.M., Valenti J.A., *New Infrared Veiling Measurements and Constraints on Accretion Disk Models for Classical T Tauri Stars*, *Astrophys. J.* 561, 1060 (2001).

Johns-Krull, C.M., Gafford, A.D., *New Tests of Magnetospheric Accretion in T Tauri Stars*, *Astrophys. J.* 573, 685 (2002).

Koenigl A., *Disk accretion onto magnetic T Tauri stars*, *Astrophys. J.* 370, 39 (1991)

Romanova M.M., Ustyugova G.V., Koldoba A.V., Wick J.V., Lovelace R.V.E., *Relativistic Poynting Jets from Accretion Disks*, *Astrophys.J.* 595, 1009 (2003).

Romanova M.M., Ustyugova G.V., Koldoba A.V., Lovelace R.V.E., *The Propeller Regime of Disk Accretion to a Rapidly Rotating Magnetized Star*, *Astrophys.J.* 616, 151 (2004).

Shu F., Najita J., Ostriker E., Wilkin F., Ruden S., Lizano S., *Magnetocentrifugally driven flows from young stars and disks*, *Astrophys. J.* 429, 781 (1994).

Symington N.H., Harries T.J., Kurosawa R., Naylor T., *T Tauri stellar magnetic fields: HeI measurements*, *MNRAS* 358, 977 (2005).

Valenti J.A., Johns-Krull C.M., *Observations of Magnetic Fields on T Tauri Stars*, *Astrophysics and Space Science*, v. 292, Issue 1, p. 619-629 (2004).