

ОБРАЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЛИНИЙ В ДВИЖУЩИХСЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКАХ С БОЛЬШОЙ СКВАЖНОСТЬЮ

С.Г.ШУЛЬМАН

Поступила 27 декабря 2016

Принята к печати 7 марта 2017

Рассматривается образование резонансных линий в газовых потоках, образующихся в результате взаимодействия околозвездного газа с магнитосферой звезды. Предложен эффективный метод расчета таких линий в условиях большой скважности магнитосферного ветра. В качестве примера проведено моделирование резонансных линий натрия, наблюдаемых в спектре звезды типа UX Ori RZ Psc. Показано, что наблюдаемые в коротковолновых крыльях этих линий узкие абсорбции могут быть образованы при рассеянии излучения звезды в двух полупрозрачных в частотах линий газовых струях при пересечении ими луча зрения.

Ключевые слова: *магнитосфера звезды; резонансные линии; синтетический спектр*

1. *Введение.* Линии резонансного дублета натрия являются хорошо известными индикаторами аккреционной активности молодых звезд, еще не достигших Главной последовательности. В спектрах звезд типа Т Тельца и Ae/Be Хербига линии D Na I часто демонстрируют сложные сильно переменные профили с широкими эмиссионными компонентами и околозвездными абсорбциями на скоростях до нескольких сотен км/с. Такие спектры одновременно имеют признаки и аккреции, и эмиссии вещества [1]. Расчеты показывают возможность объяснения наблюдаемых у звезд типа Т Тельца профилей в рамках модели магнитосферной аккреции [2].

Исключением является звезда RZ Psc, прошедшая стадию активно аккрецирующей звезды типа Т Тельца (ее возраст оценивается как 25 ± 5 млн лет [3]). В ее спектре наблюдаются лишь очень слабые признаки остаточной аккреции, хотя в линиях щелочных металлов есть явные признаки истечения вещества [4-6]. Дискретная переменная структура дополнительных абсорбционных компонент, сопровождаемая отсутствием эмиссии в линиях D Na I, говорит о сильной анизотропии истечения и большой скважности, что требует соответствующего моделирования с отказом от предположений о симметричности движений.

В данной работе реализован эвристический метод расчета взаимодействия излучения с оптически полутонким веществом, занимающим в пространстве

область произвольной геометрии, и произведены расчеты спектра звезды, получаемого при сложной геометрии рассеивающего вещества в предположении о его малой оптической толщине. Расчет переноса излучения основан на отслеживании траекторий движения отдельных фотонов. При этом особое внимание уделяется тому, чтобы не рассматривать те фотоны, траектории которых не пересекают рассеивающую среду. В условиях большой скважности лишь малая часть испущенных звездой фотонов будет попадать в околозвездную среду и вносить вклад в рассеянное излучение. Поэтому концентрация внимания и вычислительных мощностей именно на этих фотонах существенно повышают эффективность метода.

На рис.1 показаны два спектра RZ Psc, демонстрирующие переменные абсорбционные компоненты. Подробные результаты двух серий спектральных наблюдений линий резонансного дублета натрия, проведенных в сентябре и декабре 2014г., представлены в работе [5]. На полученных спектрах прослеживается изменение положения линий за сутки. В ходе спектрального мониторинга, кроме переменных компонент в линиях натрия, было замечено наличие слабых переменных дискретных абсорбционных компонент в линиях кальция и калия.

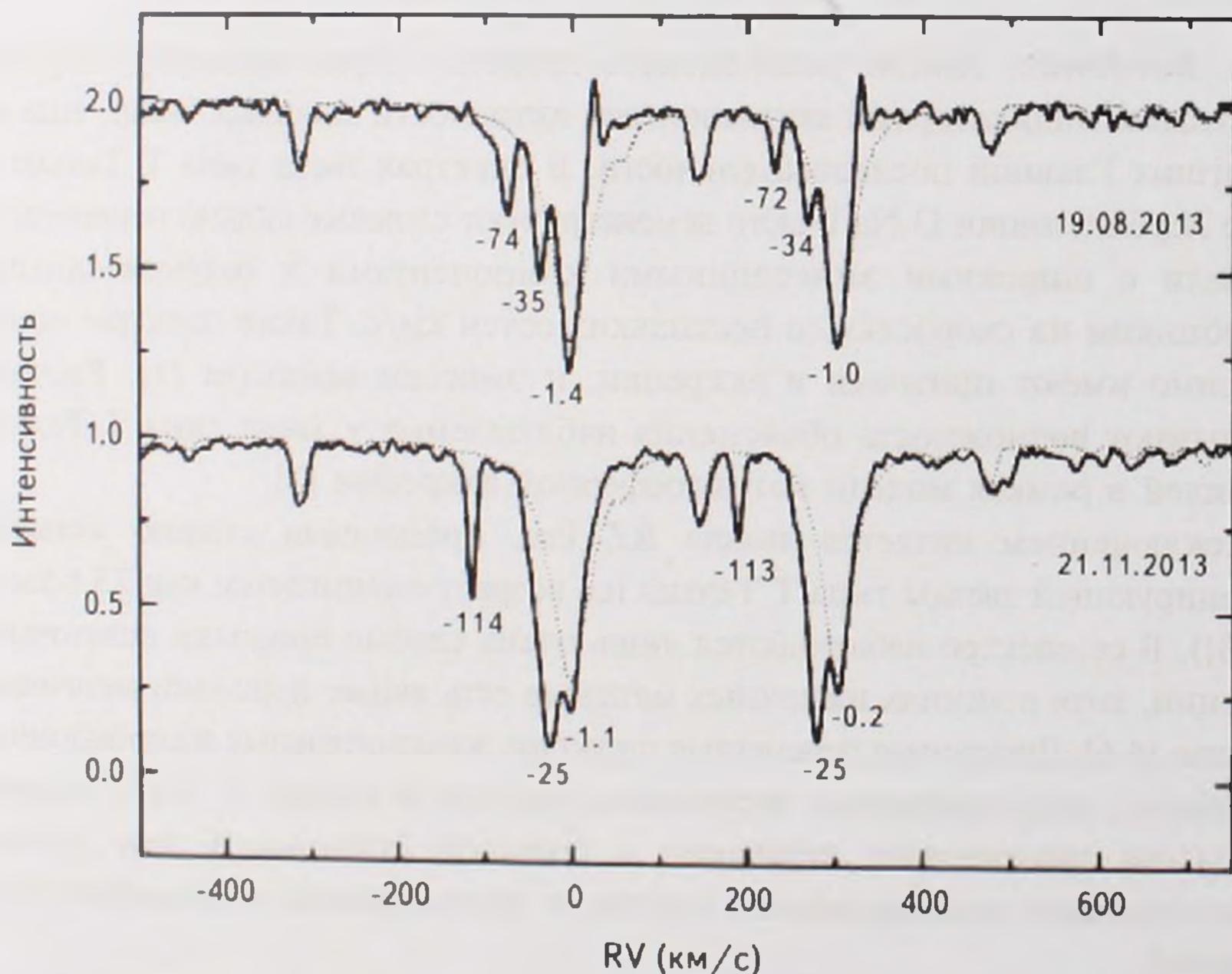


Рис.1. Пример дискретных абсорбционных компонент в линиях резонансного дублета натрия в спектре RZ Psc [6].

Наблюдаемые дискретные абсорбционные компоненты имеют ряд свойств, которые следует учитывать при их моделировании и сравнении модельных спектров с наблюдениями. В спектрах RZ Psc присутствуют не более трех дополнительных компонент, смещения которых соответствуют скоростям до 110 км/с. Четкая периодичность положений абсорбционных компонент не прослеживается. При этом компоненты с близкими смещениями могут наблюдаться несколько ночей подряд, а в другой серии наблюдений таких компонент может быть не видно на протяжении недели. По сравнению с синтетическим спектром, в наблюдениях может быть очень слабая эмиссия, связанная с их условиями проведения. Низкоскоростная компонента бывает более насыщенной, чем компонента с сильным смещением.

При моделировании пространственной геометрии рассеивающего вещества учитывались наблюдательные данные о RZ Psc, представленные в работах Потравнова и др. [4,5]: расстояние до RZ Psc оценивается как ~ 160 пк, ее светимость составляет $0.7 L_{\odot}$, радиус $\sim 0.9 R_{\odot}$. Угол наклона луча зрения к оси вращения звезды примерно равен 70° , а скорость вращения $V \sin i$ полагается равной 12 км/с, что дает период вращения T около 3.6 дня.

2. Методика расчетов. В данной работе при изучении рассеяния в спектральной линии предполагается, что рассеивающая среда имеет малую оптическую толщину в рассматриваемой линии и пренебрежимо малую толщину в континууме, что позволяет рассматривать только рассеяния в линии. Индикатриса рассеяния считается сферической. Вероятность выживания фотона принимается равной единице. Геометрические размеры изучаемых систем позволяют считать звезду точечным источником излучения.

Частота фотона, взаимодействующего с движущейся средой, изменяется согласно эффекту Доплера, который приводит к смещению компонент относительно частоты поглощения линии. Фотон, излученный на длине волны λ_{em} , реагирует с движущейся средой, как фотон с длиной волны

$$\lambda_{scat} = \lambda_{em} \left(1 + \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}}{c} \right), \quad (1)$$

где c - скорость света, \mathbf{n} - направление движения фотона, а \mathbf{v} - вектор скорости движения вещества относительно звезды.

Аналогично получается длина волны фотона после рассеяния, с которой его регистрирует неподвижный наблюдатель:

$$\lambda_{obs} = \lambda_{scat} \left(1 - \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}}{c} \right). \quad (2)$$

Знак в формуле изменился из-за того, что изначально положительное произведение $\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}$ отвечало удалению приемника излучения от источника (рассеивающей среды от звезды), а после рассеяния стало соответствовать

приближению источника к приемнику (рассеивающей среды к наблюдателю).

Коэффициент поглощения в линии на частоте $\nu = c/\lambda$ выражается по формуле [7]:

$$a_{\nu}^L = n \cdot k_{\nu_0} \cdot e^{-x^2}, \quad (3)$$

где n - концентрация поглощающих атомов, k_{ν_0} - коэффициент поглощения в центре линии, рассчитанный на один поглощающий атом, а безразмерное расстояние от центра линии, x , описывается соотношением

$$x = \frac{c}{v_{thermal}} \left(\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} \right). \quad (4)$$

$v_{thermal}$ - тепловая скорость атомов натрия в потоке, λ - длина волны, а λ_0 - длина волны, соответствующая центру линии.

Коэффициент поглощения в центре линии, рассчитанный на один поглощающий атом, в неподвижной среде зависит от температуры. Мы не знаем точно температуру газа в потоке, но можем считать, что она, скорее всего, ниже 5000 К, поскольку при более высокой температуре газа мы должны были бы наблюдать абсорбционные компоненты и в линии Na. Исходя из этого, тепловую скорость движения атомов натрия в струе можно оценить как 1-2 км/с. Однако наблюдаемая полуширина спектральных линий составляет примерно 12 км/с [5]. Это означает, что наблюдаемая ширина профилей линий определяется не тепловыми движениями атомов, а дисперсией скоростей в струе. Далее для расчетов коэффициента поглощения мы используем величину дисперсии скоростей 12 км/с вместо тепловой скорости. Получаемый коэффициент поглощения k_{ν_0} равен $8 \cdot 10^{-13}$. Заметим, что такой подход используется в тех случаях, когда поле скоростей в среде недостаточно хорошо известно, но известна характерная скорость внутренних движений (см., например, [8]).

Процесс переноса излучения моделируется путем учета траекторий движения отдельных пучков фотонов, испускаемых точечным источником. Малая оптическая толщина рассеивающего вещества позволяет учитывать только однократные рассеяния. Прошедшие рассеивающее вещество пучки фотонов регистрируются спектрографами, расположенными вокруг изучаемого объекта. Одновременное использование сразу нескольких "спектрографов" позволяет сразу же получать спектры при наблюдениях с разных сторон. В частности, для объектов, спектральная переменность которых может быть связана с вращением, так можно получить спектры, соответствующие одному положению наблюдателя и разным фазам исследуемой системы.

В основу методики учета рассеяний фотонов положено проведение дискретизации задачи по длинам волн и направлениям. После чего учитываются все возможные в рамках введенной дискретизации траектории пучков фотонов.

По нашим представлениям, такой подход к задаче переноса излучения применен впервые. Рассеивающая среда аппроксимируется множеством плоских рассеивающих площадок. Каждая площадка представляет собой треугольник с известными положениями вершин в пространстве, направлениями движения вещества, находящегося в вершинах, и оптической толщиной вещества. Такое представление позволяет описывать сложные геометрии, в частности, это позволяет получить на луче зрения несколько рассеивающих площадок с разными характеристиками, что дает несколько разных абсорбционных компонент. При взаимодействии фотона с рассеивающей поверхностью, скорости в вершинах площадки аппроксимируются для точки взаимодействия.

При использовании данного метода, изучаемый интервал длин волн делится на равные интервалы, а в пространстве вводится равномерная сетка направлений, каждое из которых представляется единичным вектором, выходящим из центра сферы с единичным радиусом. Тогда, задача о дискретизации направлений сводится к задаче о равномерном разбиении поверхности единичной сферы. За основу такого разбиения принимаются двадцать сферических треугольников, вершины которых совпадают с вершинами правильного икосаэдра, вписанного в сферу. После этого, каждый из получаемых треугольников может делиться на четыре равных треугольника. Для получения более мелкого разбиения, процедура деления треугольников может повторяться многократно. В итоге множеством всех возможных направлений излучения фотона станут вектора, идущие из центра сферы в барицентры треугольников ее составляющих. Повышение числа направлений позволяет учитывать мелкие особенности геометрии рассеивающей среды, а также получать более качественные спектры.

Описанный метод позволяет оптимально учитывать все возможные в рамках предложенной дискретизации траекторий движения пучков фотонов. Для этого в каждом интервале длин волн рассматриваются пучки фотонов, испущенные во всех возможных направлениях, в которых пучок фотонов пересекает рассеивающую среду. Всем пучкам фотонов присваиваются равные статистические веса I_0 , зависящие от интенсивности излучения звезды на данной длине волны, что позволяет учитывать атмосферные спектральные линии.

При рассеянии фотонов в околозвездной среде производится разделение пучка фотонов на нерассеявшийся пучок со статистическим весом I , соответствующим доле прошедшего сквозь среду излучения, и множество рассеявшихся пучков фотонов, движущихся во всех возможных направлениях и имеющих равные веса I_{sc} :

$$I = I_0 \cdot e^{-\tau}, \quad I_{sc} = I_0 \frac{1 - e^{-\tau}}{N}, \quad (5)$$

где N - число направлений дискретизации, а $\tau = \int_0^{\infty} a_v^L(z) dz$ - оптическая толщина вдоль направления распространения фотона.

Спектрографы, регистрирующие пучки фотонов, имеют шкалы, соответствующие дискретизации фотонов по длинам волн и суммируют веса приходящих пучков во всех интервалах длин волн. В нашей задаче с оптически тонкой рассеивающей средой и с учетом только рассеяний в линиях веса двукратно рассеявшихся пучков фотонов будут гораздо меньше весов однократно рассеявшихся пучков. А они, в свою очередь, гораздо меньше весов нерассеявшихся пучков, а их количество в условиях большой скважности будет не слишком велико, что делает оправданным ограничение числа учитываемых рассеяний. Учет каждого последующего рассеяния будет давать поправку к получаемому результату, вклад которой быстро уменьшается с числом рассеяний.

При таком подходе к вычислению спектров качество результатов зависит от уровня дискретизации по длинам волн и направлениям. Спектральное разрешение в первую очередь определяется дискретизацией по длинам волн, но из-за изменения длин волн при рассеяниях, дискретизация по направлениям также будет вносить существенный вклад. Пространственное разрешение очевидным образом связано с дискретизацией направлений излучения фотонов, которая особенно важна при геометрически малых рассеивающих площадках.

По сравнению с методом Монте-Карло, широко используемым в задачах переноса излучения, предложенный алгоритм для данной задачи дает существенный выигрыш в быстродействии вычислительной программы. Это позволяет сделать процесс вычислений существенно более удобным и проводить моделирование спектров с разными настройками пространственно-частотной детализации для достижения качественного результата. С определенного момента увеличение детализации не приводит к изменению результата, что говорит о сходимости решения.

О применении метода Монте-Карло, также учитывающего траектории движения отдельных фотонов, к различным задачам переноса излучения можно прочитать в обзоре [9] и цитируемой там литературе.

3. *Взаимодействие в режиме магнитного пропеллера.*

3.1. *Геометрия рассеивающего вещества.* Основываясь на существующих теориях взаимодействия аккреционного диска с вращающейся магнитосферой звезды, было высказано предположение о возможности в случае RZ Psc взаимодействия в режиме магнитного пропеллера, при условии наличия у звезды сильного магнитного поля [6]. При этом предполагается возможным образование в пространстве спирали из отбрасываемого от звезды вещества. Начиная с определенного расстояния от звезды, за пределами

альвеновского радиуса, магнитное поле перестает контролировать движение вещества. Это позволяет использовать для его описания баллистическое приближение [10,11].

Расширение струи сопровождается заметным уменьшением в ней плотности вещества, что должно приводить к тому, что в дальних витках спирали абсорбционные компоненты образовываться не будут. Сечение струи показывает, что, начиная с определенного момента, витки начинают накладываться друг на друга.

Исследование струй, возникающих при разных параметрах выброса, показало, что даже при выбросе вещества со скоростями, меньшими скорости убегания, и достаточно больших сечениях струи, возможно попадание первых нескольких витков струи на поверхность конуса. Тогда, при луче зрения, лежащем в этом конусе, при вращении звезды и связанной с ней струи, на луч зрения будет попадать (различные по характеристикам движения) вещество, в котором будут образовываться абсорбционные компоненты с различными смещениями. Один из вариантов такой спирали показан на рис.2. При малых сечениях спирали ее витки не будут пересекать поверхность конуса, что приведет к невозможности образования нескольких абсорбционных компонентов одновременно.

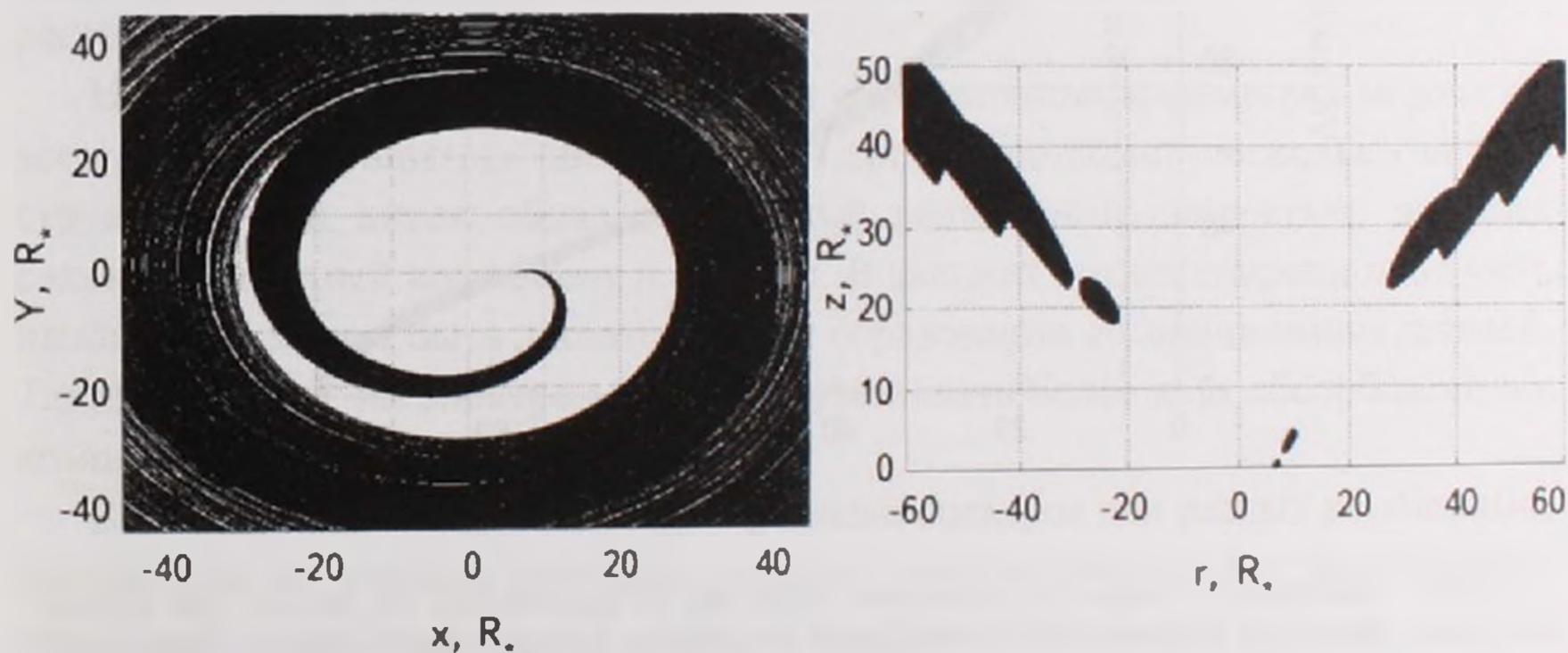


Рис.2. Первые витки струи при оптимальных для возникновения нескольких абсорбционных компонент параметрах истечения: вид струи сверху (слева) и сечение струи плоскостью $y = 0$ (справа).

Положение дискретных абсорбционных компонент в спектре определяется значениями радиальной скорости движения вещества во взаимодействующей с излучением части струи. Зависимость скорости движения газа в струе от расстояния до звезды меняется при разных параметрах выброса. Мы рассмотрели эту зависимость при разных значениях начальной скорости движения вещества, β , выраженной в круговых скоростях движения, и угла между

радиус-вектором точки выброса и вектором начальной скорости выброса η . Результат этого рассмотрения представлен на рис.3.

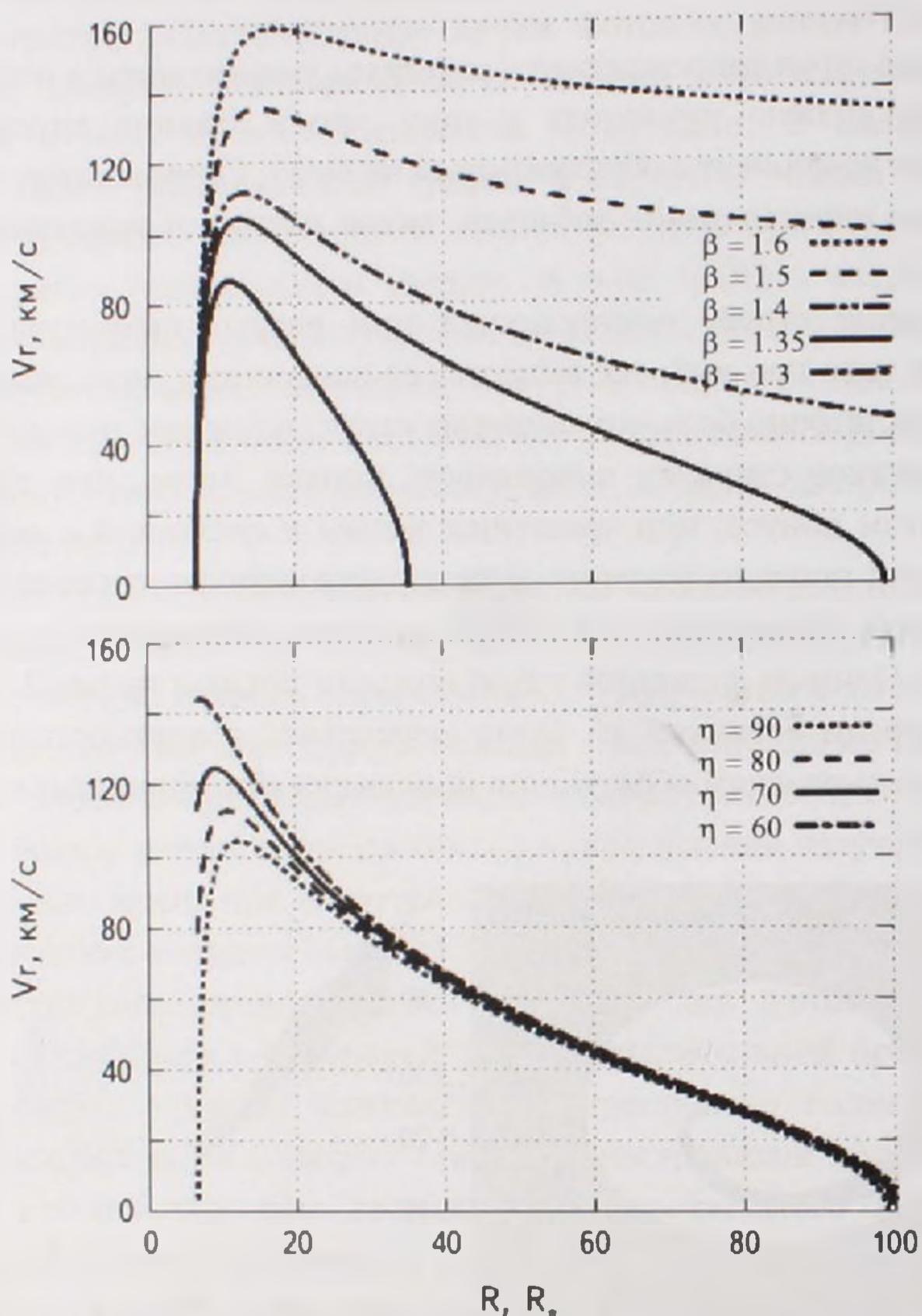


Рис.3. Зависимость скорости движения вещества от расстояния до звезды при разных значениях параметра выброса. Слева показаны результаты для варианта выброса с начальной скоростью, ортогональной радиус-вектору точки выброса, и составляющей 1.6, 1.5, 1.35 и 1.3 скорости кругового движения. Справа - для начальной скорости движения $\beta = 1.35$ в круговых и различных углах между вектором скорости и радиус-вектором в точке выброса, η , равном 90° , 80° , 70° и 60° .

Графики зависимости скорости движения вещества от расстояния до звезды позволяют сильно ограничить диапазон возможных значений безразмерной скорости выброса β . При значениях $\beta > 1.4$ скорость движения получается большой и слабо убывает с расстоянием, в результате будут образовываться линии поглощения со смещениями, большими наблюдаемых. При малых значениях скорости выброса, радиальной компоненты скорости будет не хватать

для образования компонент со смещениями порядка 100-110 км/с.

Разгоном вещества в магнитосфере мы сейчас пренебрегаем, поскольку это сложный процесс, учет которого может не повлиять на результат. Разгоняемое вещество быстро покидает магнитосферу и, кроме того, может вообще никогда не попадать на луч зрения.

3.2. Спектры. Для получения спектров с дискретными абсорбционными компонентами мы брали за основу синтетический спектр RZ Psc, предоставленный И. С. Потравновым, на который накладывали абсорбционные детали, возникающие в околозвездной среде. На полученных нашими коллегами спектрах отсутствует постоянная эмиссия в линиях резонансного дублета натрия. Избыток наблюдается только в отдельные ночи и может быть связан с условиями наблюдений. Рассматриваемая струя должна давать малую интенсивность рассеянного излучения в линии, ниже мы убедимся, что это действительно так.

Рассеивающая струя имеет сложную форму, поэтому для ее аппроксимации используется много площадок. Для дискретизации направлений используются очень подробные сетки, в которых не менее 80 тысяч возможных направлений движения фотонов. Такая степень дискретизации направлений позволяет чувствовать на спектрах маленькие по геометрическим размерам части рассеивающей поверхности.

Нам удалось добиться того, что при определенных параметрах модели на всем периоде вращения звезды на луч зрения попадает несколько витков струи. Первый виток обладает высокой радиальной скоростью, дающий сильносмещенный компонент в спектре. В дальних витках спирали плотность ниже, но ее может быть достаточно для образования абсорбционных деталей. Таким образом, на спектре могут присутствовать более двух абсорбционных компонент.

В ходе продолжительного моделирования спектров для разных комбинаций параметров не удалось добиться полного соответствия между модельными спектрами и наблюдаемыми, хотя во многих случаях они похожи.

На рис.4 представлен один из возможных наборов спектров, соответствующий одному периоду обращения звезды. Луч зрения образует с осью вращения звезды угол 72° , что соответствует полученному из наблюдений углу наклона $\sim 70^\circ$.

Представленное решение, на наш взгляд, наилучшим образом соответствует наблюдательным данным. На полученных спектрах отчетливо видны две или три дискретные абсорбционные компоненты со смещениями, соответствующими скоростям в диапазоне от 20-120 км/с.

Полученная в решении форма профиля абсорбционных компонент является

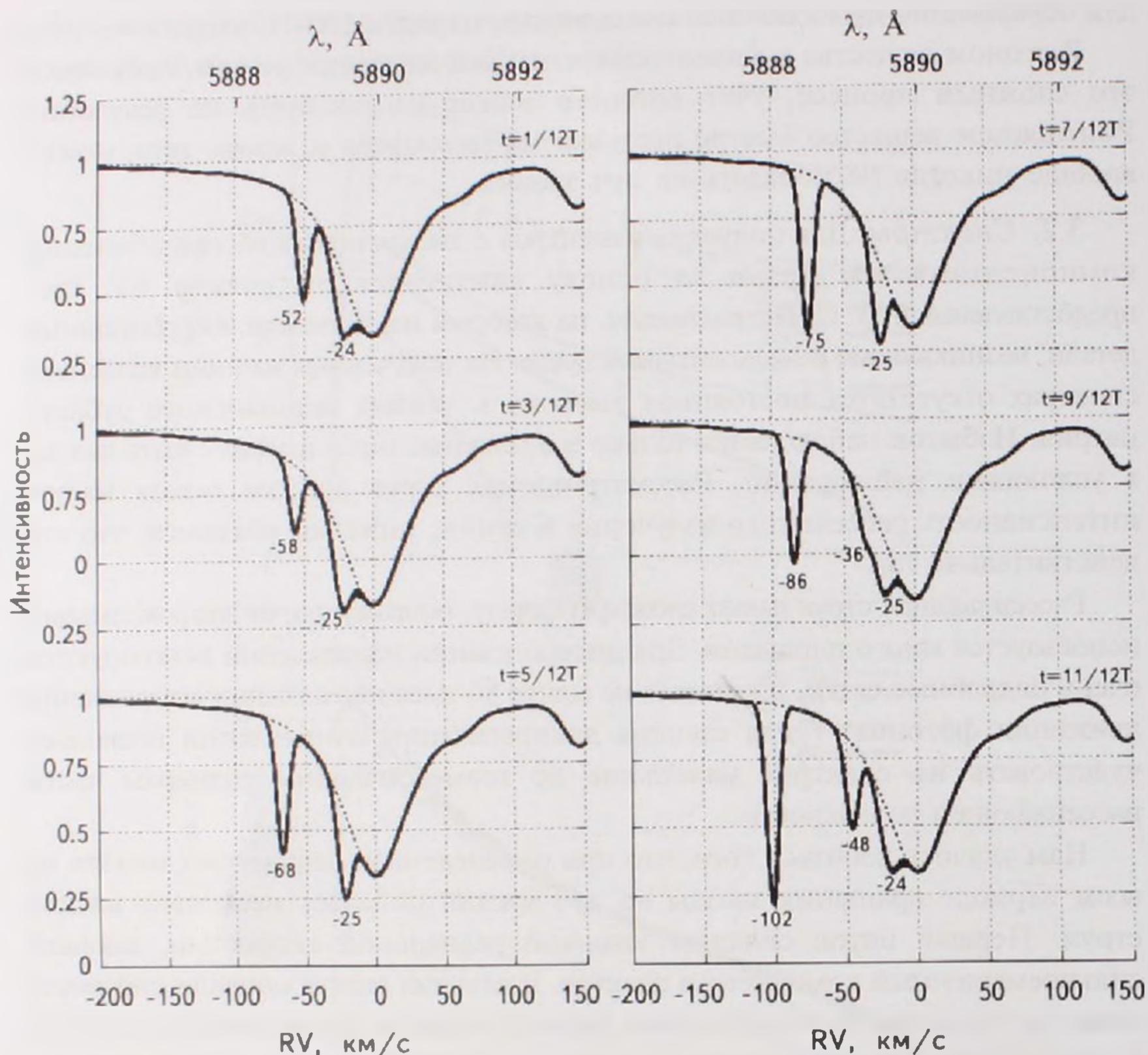


Рис.4. Модельные спектры с абсорбционными компонентами, соответствующие разным моментам периода вращения звезды. Синтетический спектр RZ Psc показан пунктиром.

приблизительной. Мы не проводили детального учета расширения струи для получения подробной формы профилей. Во-первых, в наблюдаемых спектрах тонкие детали профилей компонент оказываются за пределами точности измерений, а, во-вторых, некоторые расхождения положений компонент являются в нашей задаче более существенными.

Точного соответствия положения линий в модели наблюдениям достичь весьма сложно. В модели мы получаем строго периодичное решение, а в наблюдательных данных период пока не прослеживается: одному и тому же положению низкоскоростной компоненты могут соответствовать разные положения высокоскоростной [5].

Частично этот недостаток может быть скомпенсирован известным для

молодых звезд явлением неустойчивости аккреции. При переменном темпе аккреции истечение вещества также становится непостоянным. В применении к данной задаче это означает, что параметры модели будут флуктуировать во времени.

Если принять это во внимание, мы получим ситуацию, в которой могут образовываться не все представленные на рис.4 абсорбционные компоненты, а лишь часть из них, а положения компонент могут несколько отличаться от модельных. При таких допущениях, наблюдаемые спектры могут статистически давать определенные, чаще встречающиеся положения компонент, близкие к получаемым из периодической модели. В каждый момент времени наблюдаемые компоненты могут существенно отличаться от получаемых в модели. По имеющимся наблюдательным спектрам можно говорить о трех диапазонах смещений, на которых более вероятно нахождение абсорбционной компоненты, но для определенных выводов [5] имеющейся на данный момент статистики наблюдений не достаточно.

На модельных спектрах не наблюдается излучение, рассеянное в линии резонансного дублета натрия. Кроме линий поглощения отличия модельного спектра (с учетом взаимодействия излучения со струей) и синтетического спектра не видны. Мы отдельно построили график интенсивности рассеянного в струе излучения (см. рис.5). В нашей модели рассеянное излучение почти

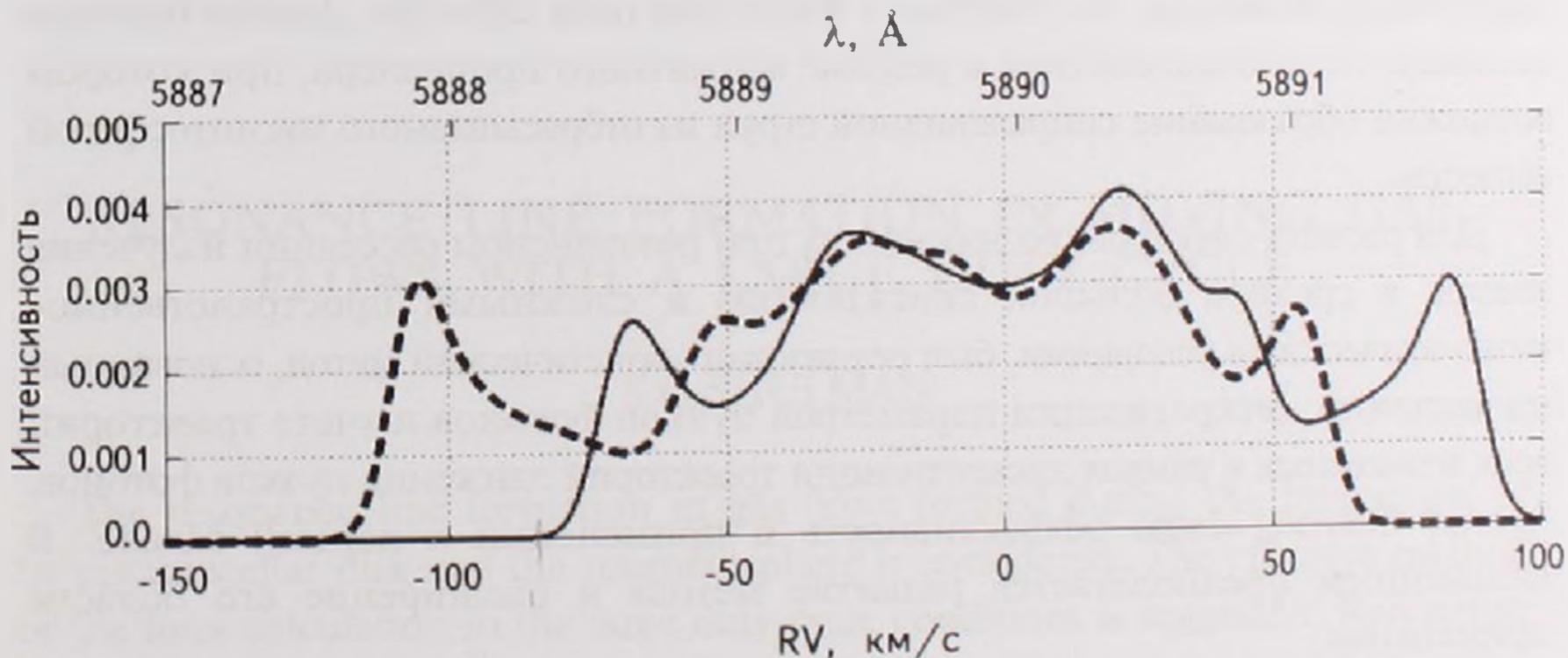


Рис.5. Интенсивность излучения, рассеянного в струе, для фаз вращения $t = 5/12T$ (сплошная линия) и $t = 11/12T$ (пунктирная линия) с рис.4.

на три порядка слабее континуума, что делает невозможным его обнаружение при наблюдениях. Из-за несимметричности задачи положение эмиссионных крыльев линии заметно меняется в зависимости от фазы.

3.3. Темп истечения вещества. В рамках построенной модели

можно оценить темп истечения вещества, достаточный для образования наблюдаемых абсорбционных деталей. Параметры расширения струи были подобраны так, чтобы на луч зрения попадало несколько ее витков. С учетом небесномеханических соотношений это позволило численно получать сечение струи и скорость движения составляющего струю вещества в различных ее точках. Приблизительный темп истечения натрия, являющийся одним из параметров струи, был подобран так, чтобы образующиеся в модели абсорбционные компоненты по своей глубине и ширине были близки к наблюдаемым. Мы использовали отношение числа атомов натрия и водорода $\log(\text{Na}/\text{H}) = -5.75$ [12]. Это позволило оценить темп истечения вещества. Он составил $10^{-12} M_{\odot}/\text{год}$.

Следует отметить, что в работе Потравнова и др. [5] по слабой эмиссии в линии $\text{H}\alpha$ была проведена оценка темпа аккреции на звезду. Полученный темп аккреции не превосходит $7 \cdot 10^{-12} M_{\odot}/\text{год}$, что почти на порядок больше полученного нами темпа истечения вещества. Подобное отношение темпов аккреции и истечения вещества считается характерным для молодых звезд.

4. Заключение и обсуждение. В работе рассматриваются возможные причины объяснения наблюдаемых в спектре RZ Psc дискретных абсорбционных компонент. Опираясь на возможные физические процессы взаимодействия аккреционного диска с магнитосферой звезды, была выдвинута гипотеза, призванная объяснить полученные в последние годы спектры. Данная гипотеза основана на взаимодействии в режиме магнитного пропеллера, при котором возможно образование спиралевидной струи из отбрасываемого магнитосферой вещества.

Для расчета спектров, возникающих при резонансном рассеянии излучения звезды в среде с большой скважностью и сложными пространственно-кинематическими условиями, был реализован эвристический метод, основанный на введении дискретизации параметров пучков фотонов и учете траекторий всех возможных в рамках дискретизации траекторий движения пучков фотонов. Метод показал свою эффективность в применении к данной задаче. В дальнейшем предполагается развитие метода и расширение его области применения.

Численные эксперименты показали, что в струе могут образовываться наблюдаемые спектральные особенности в предположении о нестабильности истечения вещества, которое связано с нестабильностью аккреции, характерной для молодых звезд. Интенсивность рассеянного излучения в частотах линии в рассмотренной модели мала по сравнению с континуумом, что соответствует наблюдениям.

Оценка темпа истечения вещества, достаточного для образования

наблюдаемых абсорбционных деталей, дает $\sim 10^{-12} M_{\odot}$ /год. Эту оценку можно считать обоснованной при сравнении с верхней оценкой темпа аккреции $7 \cdot 10^{-12} M_{\odot}$ /год в работе Потравного и др. [5].

В рамках рассматриваемой модели в спектре звезды должна наблюдаться периодичность в изменениях узких абсорбционных деталей с периодом, равным периоду вращения магнитосферы звезды. На данный момент она не выявлена, что может быть связано как с нестабильностью истечения вещества, так и с недостаточно продолжительным рядом спектральных наблюдений. Представляет большой интерес продолжение спектральных наблюдений RZ Psc и поиск других объектов с подобными спектральными особенностями.

Автор благодарен И.С.Потравнову за предоставленный синтетический спектр RZ Psc и В.П.Гринину за обсуждение работы и полученных результатов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 15-02-05399, программы фундаментальных исследований Президиума РАН П-7, подпрограммы "Переходные и взрывные процессы в астрофизике" и гранта НШ-7241.2016.2.

Санкт-Петербургский государственный университет, Главная (Пулковская)
Астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург,
Россия, e-mail: sgshulman@gmail.com

RESONANCE LINE FORMATION IN MOVING GAS FLOWS WITH A LARGE DUTY CYCLE

S.G.SHULMAN

The resonance line formation in gas flows formed during the interaction of the circumstellar disk and the magnetosphere is considered. The effective method for the lines calculation in the large duty cycle conditions is suggested. Resonance lines in the spectrum of UX Ori type star RZ Psc was modeled as an example. It is shown, that the narrow absorptions in short-wave wings of the lines might be formed during the stars radiation scattering in two semitransparent gas jets when they are crossing the line of sight.

Key words: *magnetosphere of star: resonant lines: syntetic spectrum*

ЛИТЕРАТУРА

1. *П.П.Петров*, *Астрофизика*, **46**, 611, 2003, (*Astrophysics*, **46**, 506, 2003).
2. *L.Hartmann, R.Hewett, N.Calvet*, *Astrophys. J.*, **426**, 669, 1994.
3. *И.С.Потравнов, В.П.Гринин*, *Письма в Астрон. ж.*, **39**, 861, 2013, (*Astron. Lett.*, **39**, 776, 2013).
4. *И.С.Потравнов, В.П.Гринин, И.В.Ильин*, *Астрофизика*, **56**, 493, 2013, (*Astrophysics*, **56**, 776, 2013).
5. *I.S.Potravnov, D.E.Mkrtichian, V.P.Grinin et al.*, *Astron. Astrophys.*, **599**, A60, 2017.
6. *В.П.Гринин, И.С.Потравнов, И.В.Ильин, С.Г.Шульман*, *Письма в Астрон. ж.*, **41**, 444, 2015, (*Astron. Lett.*, **41**, 407, 2015).
7. *Д.И.Нагурнер*, *Лекции по теории переноса излучения*, Изд. СПбГУ, 2001.
8. *A.Natta, V.P.Grinin, L.V.Tambovtseva*, *Astrophys. J.*, **542**, 421, 2000.
9. *B.Whitney*, *Bull. Astr. Soc. India*, **39**, 101, 2011.
10. *С.Г.Шульман*, *Астрофизика*, **58**, 279, 2015, (*Astrophysics*, **58**, 258, 2015).
11. *S.G.Shulman, V.P.Grinin, I.S.Potravnov*, *Journal of Physics: Conference Series*, **661**, 012012, 2015.
12. *К.У.Аллен*, *Астрофизические величины*, М., Мир, 1977, (*Astrophysical Quantities 3rd. ed. The Athlone Press*, 1973).