

Министерство образования Российской Федерации
Уральский государственный университет
им. А. М. Горького

Ф И З И К А К О С М О С А

Труды 33-й Международной
студенческой научной конференции
2–6 февраля 2004 г.

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2004

УДК 524.4
Ф 503

Печатается по решению
организационного
комитета конференции

Физика Космоса: Тр. 33-й Международ. студ. науч.
Ф 503 конф., Екатеринбург, 2–6 февр. 2004 г. — Екатеринбург:
Изд-во Урал. ун-та, 2004. — 334 с.

ISBN 5–7996–0186–6

Редколлегия

П. Е. Захарова (ответственный редактор), Э. Д. Кузнецов,
А. Б. Островский, С. В. Салий, Е. И. Старицин (Уральский государ-
ственный университет), К. В. Холшевников (Санкт-Петербургский
государственный университет), Б. М. Шустов (Институт астрономии
РАН)

УДК 524.4

ISBN 5–7996–0186–6

© Уральский государственный
университет, 2004

ФИЗИКА КОСМОСА
33-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Организаторы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра астрономии и геодезии
Астрономическая обсерватория

2–6 февраля 2004 г.

Коуровка, Россия

Научный организационный комитет

К. В. Холшевников (председатель, Санкт-Петербургский государственный университет), П. Е. Захарова, Э. Д. Кузнецов (Уральский государственный университет), М. Г. Мингалиев (САО РАН), А. В. Миронов (ГАИШ МГУ), В. В. Мусцовой (Волгоградский государственный университет), В. В. Орлов (Санкт-Петербургский государственный университет), М. Е. Прохоров (ГАИШ МГУ), Л. В. Рыхлова (Институт астрономии РАН), А. М. Соболев, Е. И. Старицин (Уральский государственный университет), Б. М. Шустов (Институт астрономии РАН)

Жюри конкурса студенческих научных работ

К. В. Холшевников (председатель, Санкт-Петербургский государственный университет), И. И. Зинченко (ИПФ РАН), А. В. Миرونнов (ГАИШ МГУ), А. Б. Островский (Уральский государственный университет), Л. В. Рыхлова (Институт астрономии РАН), П. А. Тараканов (Санкт-Петербургский государственный университет).

Финансовая поддержка

Российский фонд фундаментальных исследований

Комитет по делам молодежи администрации Октябрьского района
г. Екатеринбурга

В. В. Мусцовой, С. С. Храпов,
Н. М. Кузьмин, А. В. Севостьянов
Волгоградский государственный университет

АККРЕЦИОННО-СТРУЙНЫЕ СИСТЕМЫ: ИСТОРИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Введение

Как показали наблюдения последних 15–20 лет, аккреционно-струйные системы достаточно широко распространены в астрофизике. В них реализуется ситуация, когда падающее на гравитирующий центр вещество образует быстровращающийся диск, одновременно с этим характерным видом течения — дисковой аккрецией — присутствует отток газа (outflows) в виде струйных выбросов, происходящих в направлениях, перпендикулярных плоскости симметрии диска и, как правило, биполярных. В струях чаще всего наблюдаются яркие излучающие узлы, а оканчиваются они ярким объектом, представляющим собой ударную волну большой интенсивности (bow shock), образованную вторжением существенно сверхзвукового выброса в окружающую аккреционно-струйную систему среду (рис. 1). Головная часть джетов поэтому оказывается окруженной коконом горячего и сильно турбулизованного газа, прошедшего через этот ударный фронт.

К аккреционно-струйным системам относятся протозвездные и молодые звездные системы с джетами, релятивистские струи из двойных систем, подобных SS-433, джеты в окрестностях активных ядер галактик и, возможно, протяженные джеты из радиогалактик.

Нам представляется, что наиболее интересные для численного моделирования аккреционно-струйные системы — протозвездные и молодые звездные объекты. Это обусловлено тем, что их наблюдают на наиболее ранней стадии эволюции, когда в них еще присутствуют все возможные компоненты — компактное ядро, создающее ньютоновский гравитационный потенциал, околозвездный диск аккрецирующего вещества, окружающая среда достаточно высокой плотности, расширяющаяся в этой среде со сверхзвуковой скоростью ударная оболочка и расположенный внутри последней существенно

© В. В. Мусцовой, С. С. Храпов, Н. М. Кузьмин, А. В. Севостьянов, 2004

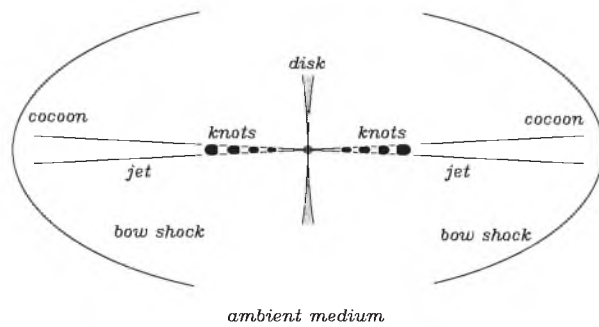


Рис. 1. Схематическое изображение типичной аккрециопно-струйной системы

сверхзвуковой высококолламированный биполярный струйный выброс газа с регулярно расположенными в нем излучающими узлами. Кроме того, эти объекты вполне адекватно описываются аппаратом механики сплошных сред, не отягощенным такими усложняющими факторами, как слабая столкновительность, сравнимое с газовым давлением излучения, сверхкритическая аккреция и релятивистские эффекты.

Исторически сложилось так, что изучение динамики молодых звездных систем начиналось в двух направлениях — с исследования линейной стадии развития гидродинамической неустойчивости в струях (как правило, плоских, цилиндрических, или, в редких и исключительных случаях, постоянного угла раствора) и численного нелинейного моделирования этого процесса либо с численного моделирования возбуждения головной ударной волны (bow shock), возникающей при вторжении сверхзвуковой струи в однородную невозмущенную окружающую среду околозвездного облака. Это было связано с относительно слабыми возможностями приборов, из-за чего наблюдались только наиболее яркие объекты, а именно излучающие узлы в струях и головные части внешних ударных волн в расширяющихся оболочках.

Развитие средств наблюдательной астрономии и, в частности, вывод на орбиту космической обсерватории им. Хаббла привело к воз-

возможности наблюдения указанных объектов в различных спектральных диапазонах с недоступным ранее высоким разрешением. С другой стороны, быстрая эволюция вычислительной техники и технологии численного нелинейного моделирования сделали возможными вполне корректное решение задач в также недоступных ранее постановках, учитывающих различные усложняющие факторы и их взаимодействие.

В частности, это привело к достаточно бурной эволюции представлений авторов настоящей статьи об эволюции протозвездных и молодых звездных объектов, о чем и пойдет речь далее.

Неустойчивость Кельвина – Гельмгольца и резонансно-акустические моды джетов

Уже первые исследования устойчивости космических струй показали, что в них развивается неустойчивость Кельвина – Гельмгольца на сдвиге скорости между веществом струи и окружающей ее средой [1–3]. При этом развивается как осесимметричная (пинчевая) мода, так и неосесимметричные (винтовые) с различным индексом симметрии m (числом рукавов винтовой спирали на поперечном срезе струи). Очень быстро затем пришло осознание того факта, что струя представляет собой волновод, в котором наряду с указанными выше основными модами должны существовать и их высшие гармоники, различающиеся числом нулей возмущенных величин по радиусу струи. Как оказалось, при отвечающих наблюдаемым параметрах джетов для таких гармоник развитие неустойчивости происходит значительно интенсивнее, чем для основных мод. При этом обусловленные ими излучающие узлы характеризуются объемным, а не поверхностным заполнением, что хорошо согласуется с наблюдениями.

Механизм неустойчивости отражательных гармоник подробно анализировался в [4–7]. В его основе лежит открытый в 1957 г. Майлсом и Рибнером эффект сверхотражения [8–9]: звуковая волна, падающая на поверхность тангенциального разрыва с перепадом скорости $\Delta V > c_1 + c_2$, где c_1 и c_2 — скорости звука по разные стороны от разрыва, может отражаться от него с усилением по амплитуде. При этом существуют углы падения, называемые резонансными, для которых коэффициент отражения обращается в бесконечность из-за того, что в прошедшей волне поток энергии направлен к разрыву. Последнее означает, что сверхзвуковой разрыв спонтанно излуча-

ет звуковые волны. Понятно, что если испытывавшая сверхотражение волна имеет возможность возвращаться к разрыву, то есть если в потоке присутствует параллельная разрыву отражающая поверхность, то энергия такой волны будет нарастать во времени в волноводном слое между разрывом и акустическим экраном, что и представляет собой неустойчивость. Как показано в [10–13], сглаживание скачка скорости не только не устраняет усиление волн, но и приводит к появлению новых неустойчивых мод (так называемые «дразиновские моды»), связанных с излучением энергии из критического слоя, в котором скорость потока и скорость фазы волны вдоль нее совпадают, — эффект, обратный затуханию Ландау [14].

Влияние гравитации центрального тела на неустойчивые моды струй

Хотя анализу устойчивости джетов посвящено уже сравнительно большое число работ, где рассматриваются достаточно сложные и подчас весьма экзотические модели (см., например, [15–17]), остался ряд нерешенных принципиальных вопросов. Так, например, хотя практически все наблюдаемые струйные выбросы конические, теоретических работ по устойчивости астрофизических струй с постоянным углом раствора практически нет. Исключение составляет работа [18], однако в ней равновесные градиенты термодинамических параметров вещества струи никак не привязываются к гравитационному полю источника выброса. В то же время понятно, что зарождение и рост возмущений, создающих впоследствии наблюдаемую крупномасштабную волновую структуру джетов, происходит во внутренних, близких к источнику выброса областях, где влияние гравитации центрального объекта на моды джетов может оказаться существенным. Кроме того, как правило, струйные выбросы наблюдаются в таких объектах, где одновременно с ними присутствует дисковая аккреция на массивное центральное тело. Вопрос о возможности взаимного влияния неустойчивых мод джетов и глобальных неустойчивых мод аккреционных дисков при формировании наблюдаемых регулярных структур также не обсуждался, хотя в протозвездных объектах, например, струи и диски погружены в достаточно холодную и плотную атмосферу, теоретически способную передавать такое взаимное воздействие.

Ранее нами были построены равновесные стационарные модели сверхзвуковых конических струй с постоянным углом раствора, находящихся в балансе по давлению с окружающей средой в поле тяжести центрального массивного объекта [19–21], и было показано, что параметры течения в таких струях не произвольны, а однозначно определяются параметрами окружающей среды. Отметим, что последнее заставляет усомниться в возможности широкой распространенности таких струй.

Проведенное нами в рамках предложенной модели исследование устойчивости показало, что учет гравитации приводит к появлению дополнительных неустойчивых мод струи — волноводно-резонансных внутренних гравитационных с аналогичным описанному в предыдущем пункте механизмом раскачки, обусловленным сверхотражением волн этого типа от границ струи. Кроме того, в сравнении с однородным вдоль струи случаем существенно меняется закон дисперсии возмущений.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. В высококоллимированной конической сверхзвуковой струе наиболее вероятно резонансное развитие первой отражательной ($n = 1$) гармоники акустической пинч-моды ($m = 0$).

2. Указанная мода сверхзвуковая, что позволяет предполагать возможность ее эволюции в ударную волну с геометрией, отвечающей данным наблюдений [22–27], а именно с пространственной периодичностью узлов $\lambda_r \simeq (1 - 4)d$, где d — диаметр джета на данном радиусе, и с объемным, а не поверхностным заполнением излучающих узлов.

3. Излучающие узлы, созданные обсуждаемой модой, будут локализованы на участке вдоль струи с протяженностью, равной примерно 2–4 расстояниям от источника выброса до ближайшего к нему узла.

4. Основная гармоника первой винтовой моды $m = 1$ не должна разрушать струю, поскольку обусловленные ей возмущения быстро сносятся вдоль струи; при этом из-за градиентных эффектов, вызываемых полем тяготения источника выброса, для этих возмущений нарушается условие резонансного сверхотражения тем сильнее, чем дальше от источника они уходят, в силу чего их рост должен быстро выходить на стадию насыщения на не слишком значительных амплитудах.

5. Формирование периодически расположенных излучающих узлов в струях из-за резонансного развития первой отражательной ($n = 1$) гармоники акустической пинч-моды ($m = 0$) должно приводить к образованию системы конических ударных волн в окружающей среде вокруг джетов; в случае $m \neq 0$ конусы Маха, возбуждаемые ближайшими от источника выброса излучающими узлами, способны, в принципе, в свою очередь порождать в аккреционном диске систему ударных волн, интенсивно отводящих наружу угловой момент вещества диска.

6. Установление единой глобальной системы ударных волн через возбуждаемые излучающими узлами конусы Маха в окружающей среде и их волновой отклик в аккреционном диске малого угла раствора способно синхронизировать излучающие узлы в противоположно направленных джетах, то есть приводить к одинаковой пространственной периодичности узлов даже при различной морфологии этих джетов.

Влияние внешнего нагрева и динамического охлаждения высвечиванием на резонансно-неустойчивые моды струй

Дальнейшая логика исследований потребовала учета еще одного усложняющего фактора — внешнего нагрева излучением звезды и динамического охлаждения высвечиванием. Последний эффект рассматривался в работе [28], но в модели цилиндрической струи, однородной вдоль оси симметрии. В то же время понятно, что зарождение и рост возмущений, создающих впоследствии наблюдаемую крупномасштабную волновую структуру джетов, происходит во внутренних, близких к источнику выброса областях, где влияние гравитации центрального объекта и создаваемых ею градиентов равновесных термодинамических параметров и скорости на моды джетов может оказаться существенным.

Проведенный нами линейный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Конические выбросы вещества, находящиеся в поле ньютоновского гравитационного потенциала и подобные наблюдаемым в целом ряде молодых звездных объектов, неустойчивы относительно резонансно-волноводного развития широкого спектра пинчевых и винтовых акустических и энтропийных мод.

2. Интенсивное динамическое охлаждение высвечиванием полностью подавляет все акустические моды, существенно усиливает неустойчивую поверхностную моду Кельвина — Гельмгольца, приводит к затуханию волноводно-резонансных энтропийных мод, распространяющихся относительно вещества струи от источника выброса, и, наоборот, значительно усиливает неустойчивость таких мод, распространяющихся к источнику.

3. Указанное усиление имеет характер радиативно-диссипативной неустойчивости мод отрицательной плотности энергии.

4. Характерное время роста амплитуды таких неустойчивых мод крайне слабо зависит от угла раствора струи в широком диапазоне углов.

5. За формирование наблюдаемых регулярных структур в конических джетах из молодых звездных объектов в случае интенсивного охлаждения высвечиванием могут быть ответственны только поверхностные неустойчивые моды Кельвина — Гельмгольца и медленные (распространяющиеся по веществу струи к источнику) волноводно-резонансные энтропийные моды. Скорости этих мод вдоль границ струи превышают характерную скорость звука в окружающей атмосфере, что позволяет предполагать возможность их эволюции в ударные волны.

6. В коротковолновой области ($kr \simeq 30-50$), примерно соответствующей наблюдаемому пространственному распределению излучающих узлов, характерные времена нарастания амплитуды всех энтропийных мод и поверхностной моды очень близки, поэтому развитие неустойчивости какой-либо из них будет, по всей видимости, определяться начальными возмущениями в струе; кроме того, очень вероятна интерференция таких мод.

Проведенное нами численное нелинейное моделирование полностью подтверждает все эти выводы.

Эруптивные выбросы как механизм формирования излучающих узлов и высокоскоростных джетов

Все проведенное выше рассмотрение относится к наиболее популярной среди теоретиков модели струй, находящихся в балансе по давлению с окружающим газом. При построении равновесных мо-

делей мы делаем вывод, что последнее требование, с учетом влияния гравитационного поля источника выброса, накладывает крайне жесткие ограничения на равновесные параметры таких струй, что заставляет усомниться в их повсеместной распространенности. Вместе с тем существует альтернативная точка зрения о том, что излучающие узлы джетов обусловлены не развитием гидродинамических неустойчивостей в непрерывных струях до стадии ударных волн, а являются ударными волнами, возникающими при вторжении в окружающую среду отдельных сгустков газа, квазипериодически выстреливаемых из ядра протозвезды (эруптивные выбросы) [29—35]. Ранее мы уже представляли здесь результаты численного нелинейного моделирования методом крупных частиц сверхзвукового выброса порции вещества из ядра протозвезды, окруженного степенной атмосферой и диском вращающегося газа. Было показано, что выброс создает в атмосфере ударную волну, формирующую расширяющуюся оболочку, достигающую поверхности диска. Откликом на эту оболочку в диске является ударная волна, наклоненная под малым углом к плоскости симметрии диска. Значительное понижение давления из-за быстрого расширения оболочки приводит внутри нее к сложной системе возвратных течений, коллимирующих газ к оси симметрии системы, и к формированию вокруг ядра быстро вращающейся воронки, образованной веществом диска. Во внутренней области воронки возникает долгоживущий торообразный вихрь, образующий сопло Лавала, выбрасывающее вдоль оси симметрии системы газ из оболочки ядра протозвезды и внутренних областей диска. Совокупное действие всех этих эффектов приводит к образованию высококоллимированных сверхзвуковых биполярных струйных истечений с периодически расположенными вдоль них узлами — сгустками газа. Несмотря на простоту используемой модели, возникающая в нашем моделировании глобальная структура течения сходна с морфологией наблюдаемых протозвездных объектов.

Каскадное развитие «начальный выброс — тор — торнадо — джет» — закономерная эволюция аккреционно-струйной системы

Сравнительно слабые возможности используемых нами компьютеров не позволили нам ранее продлить эксперименты до больших времен, а также учесть в моделировании нагрев и охлаждение вы-

свечиванием. Преодоление этих трудностей привело к ясному осознанию закономерных этапов эволюции аккреционно-струйных систем.

i) Введение и постановка задачи. В данном пункте мы представляем результаты численного нелинейного моделирования процесса ударного расширения оболочки на ранней стадии существования молодой массивной звезды и формирования туманностей, подобных туманности Mz3 «Муравей» (см. [36–38]). Мы предполагаем, что формирование туманностей типа Mz3 начинается, когда в молодом звездном объекте из-за «включения» термоядерных реакций скачком увеличиваются давление и температура и происходит выброс порции вещества в окружающую звезду газовое облако. В силу наличия околос звездного тора выброс распространяется в направлении оси симметрии системы. Этот сверхзвуковой выброс создает мощную ударную волну в окружающей зародыш звезды среде.

Рассмотрение проводим в сферической системе координат. Среду моделируем идеальным газом. Полагаем гравитационное поле сферически симметричным, с центром, совпадающим с началом координат. Таким образом, гравитационным воздействием околос звездного диска пренебрегаем. Учитываем возможность охлаждения газа свечиванием и его нагрева внешним излучением.

Радиальные зависимости равновесных параметров системы имеют степенной вид:

$$p \propto r^{-5/2}, \quad \rho \propto r^{-3/2}, \quad \varepsilon \propto r^{-1}, \quad (1)$$

где p — давление; ρ — плотность; ε — внутренняя энергия газа. Функция охлаждения из работ [28, 39] аппроксимировалась сплайнами.

Поставленная задача решалась методом численного моделирования по схеме TVD. Нами было проделано более двадцати серий моделирования, различающихся параметрами начального выброса. Моделирование проводилось в плоскости $r - \theta$ сферической системы координат, и предполагалось, что модель симметрична относительно оси симметрии, а в половине серий экспериментов, кроме того, что модель симметрична еще и относительно плоскости диска. Распределение радиальной скорости начального выброса по θ -координате задавалось в виде гиперболического косинуса либо функции Гаусса. На рисунках и слайдах во время доклада мы приводим наиболее характерные результаты для всех проведенных серий численных экспериментов, показывая векторное поле скоростей, угловую скорость вращения и плотность вещества в реальных пространственных координатах в разрезе, проходящем через ось симметрии системы.

ii) Обсуждение результатов. Структура течений внутри оболочки, образованной ударной волной, является очень сложной. Наряду с прошедшей в околозвездный диск и отраженной внутрь оболочки ударными волнами присутствует также иерархическая структура короткоживущих и долгоживущих вихрей, отражающих тенденцию к турбулизации вещества. Остановимся, поэтому, на наиболее существенных моментах, проливающих свет на причины формирования наблюдаемых туманностей.

Прежде всего на основании двух десятков серий экспериментов можно утверждать, что эволюция течений внутри оболочки подразделяется на три характерных и закономерных этапа.

I. На первом этапе вещество первоначального выброса, обладающее значительно более высоким давлением, чем в окружающей его среде, и уже создавшее ударную оболочку, начинает расширяться по широтному углу, обтекая эту плотную оболочку, из-за чего приобретает угловой момент, ориентированный по φ -координате (рис. 2,а).

II. На втором этапе, хотя оболочка уже распространилась далее по радиусу, указанное вещество, приобретшее угловой момент, образует торообразный вихрь (рис. 2,б). Этот долгоживущий вихрь формируется внутри оболочки над самой внутренней частью диска. Внутренняя поверхность вихря образует сопло Лавалея (конфигурация конфузур-диффузор), и именно в нем происходит ускорение газа до сверхзвуковых скоростей.

Важно отметить, что движение ускоряемого газа и вращающегося вещества в вихре сонаправлены, из-за чего градиент скорости от сопла к вращающемуся газу мал, поэтому такая конфигурация не размывается неустойчивостью Кельвина — Гельмгольца.

В результате этого процесса во всех указанных сериях экспериментов внутри оболочки формируется узкая сверхзвуковая вращающаяся струя, образованная из вещества диска, затягиваемого внутрь оболочки торообразным вихрем. Именно с формированием таких сверхзвуковых струй мы связываем заострение головной части (а в последующем — грушевидную форму) оболочек.

Струя догоняет оболочку, вторгаясь в ее газ, создает внутреннюю ударную волну, передает энергию головной части оболочки и ускоряет ее.

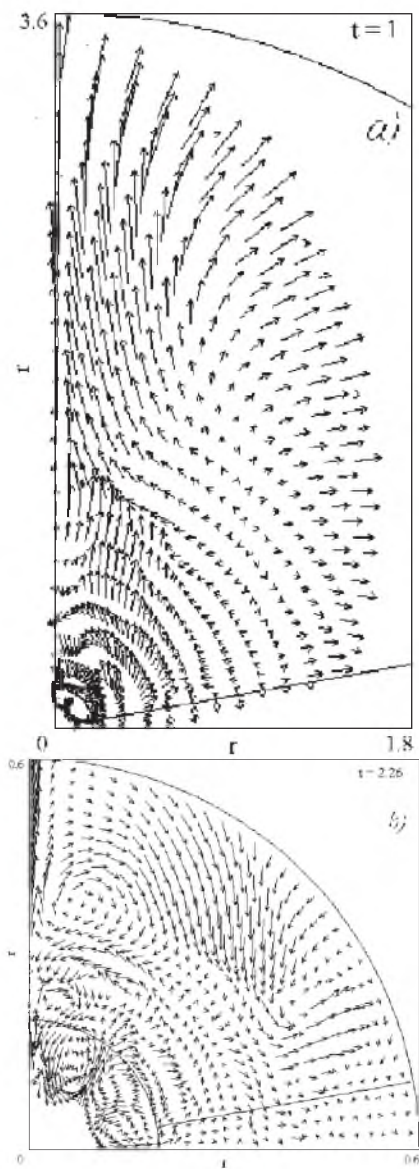


Рис. 2. Проекция вектора скорости на плоскость $r - \theta$

III. На третьем этапе выброшенное через сопло Лавала вращающееся вещество струи под действием центробежной силы оттекает от оси симметрии тем дальше, чем дальше оно от центра симметрии системы. В результате оно образует смерчеподобную воронку вокруг оси симметрии, и эта воронка, в свою очередь, затягивает вещество и выбрасывает его в сторону оболочки (эффект торнадо). Существенно, что это выброшенное смерчем вещество диска «надстраивает» воронку. Таким образом, описанное течение является самоподдерживающимся. Поэтому, хотя к этому времени торообразный вихрь уже распадается, генерация струи продолжалась во всех сериях экспериментов до конца моделирования.

Крайне важно, что описанный гидродинамический механизм формирования струй посредством развития каскада «выброс — тор — торнадо» основывается исключительно на выполнении закона сохранения момента импульса и поэтому должен иметь место для любых аккреционно-струйных систем. Наличие же других дополнительных факторов — магнитные поля и т. д. — способно его модифицировать, но не устранить.

Достаточно интересным эффектом является и наблюдавшийся в сериях с односторонним выбросом прогиб аккреционного диска и его смещение вдоль оси симметрии в направлении, противоположном начальному выбросу. Этот эффект обусловлен, очевидно, импульсом, передаваемым веществу диска прошедшей в него ударной волной, создаваемой ударной волной оболочки. Во внутренней околозвездной области в данной ситуации, напротив, основная доля вещества диска затягивается в оболочку в направлении начального выброса, из-за чего в реальных объектах должен резко уменьшаться темп аккреции. Вероятно, аналогичный эффект будет наблюдаться и не при одностороннем, а вообще, при несимметричном выбросе.

Сильно вытянутая форма оболочки, наблюдавшаяся во всех сериях на больших временах, очень напоминает морфологию головных ударных волн в молодых звездных объектах с джетами (таких, как, например, HH1/HH2). Вероятно, именно так эти объекты и образуются на более поздних, чем рассмотренные нами, стадиях эволюции молодой звезды.

В результате этого процесса происходит значительный разогрев головной части оболочки. Поскольку давление в этой части и окружающей ее областях достаточно быстро выравнивается, плотность в головной части оболочки соответственно значительно уменьшается, что визуальнo на рисунках воспринимается как тенденция к проры-

ву оболочки. Однако, как показывает наше моделирование, такого прорыва не происходит даже на очень больших временах.

В случае одностороннего выброса и тонкого диска ударная волна проходит через околовзвездный диск и создает ударную волну — оболочку — в противоположной относительно начального выброса полусфере. Форма этой оболочки несколько иная (практически параболическая). Как представляется, некоторые несимметричные туманности могут возникать именно таким образом.

iii) Основные выводы. Проведенный нами анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Результаты численного моделирования однозначно свидетельствуют о том, что в струю попадает вещество диска, обладающее угловым моментом.
2. Если в силу некоторых причин происходит не биполярный, а односторонний выброс вещества, то вызванная им ударная волна проходит через диск и формирует ударную волну (оболочку) с другой стороны диска.
3. Закономерностью при высоких начальных скоростях выброса является значительное удлинение головной части оболочки, что является характерным для многих молодых звездных объектов.
4. Численное моделирование показывает, что закономерностью является то, что формирование струи обусловлено наличием долгоживущего торообразного вихря, в котором происходит вращение газа как вдоль средней линии тора, так и вокруг нее.
5. Закономерностью является образование провала плотности на фронте оболочки между ее головной частью и остальными частями оболочки.
6. Филаменты (светящиеся газовые волокна) могут быть обусловлены неоднородностью рассеяния или поглощения излучения центральной звезды на газопылевой оболочке головной ударной волны из-за неоднородности распределения плотности на фронте оболочки (см. тез. Севостьянова в настоящем сборнике).

Нерешенные проблемы

Здесь мы приводим круг вопросов (и соответственно задач) логически вытекающих из результатов наших предыдущих исследований, которые мы планируем разрешить в ближайшем будущем.

1. Что происходит с оболочкой, струей и излучающими узлами, когда ударная оболочка выходит за край околовзвездного диска?

2. Как поведет себя обусловленная эффектом «торнадо» (явно неравновесная по давлению) струя, если возбуждать ее малыми возмущениями?

3. Интуитивно понятно, что при включении термоядерных реакций из-за коллимации околозвездным тором (не говоря уже о возможном влиянии дипольного магнитного поля ядра) просто обязан произойти биполярный сверхзвуковой выброс вещества. Как это почитать в достаточно корректной постановке?

4. Необходимы расчеты обсуждаемой стадии эволюции аккреционно-струйных систем, отличных от молодых звездных объектов. В частности, это пролило бы свет на причины формирования наблюдаемой морфологии SS-433 и радиоджетов и конусов ионизации в окрестностях активных ядер галактик.

Завершая обсуждение, следует сделать вывод об однозначной необходимости рассмотрения самосогласованных моделей аккреционно-струйных систем, поскольку исключение из рассмотрения хотя бы одной компоненты системы радикально изменяет всю физическую картину ее эволюции.

Храпов С. С. признателен администрации Волгоградского госуниверситета за предоставленный грант молодых ученых 08-2003-А/ВолГУ.

Список литературы

1. *Ferrari A., Trussoni E., Zaninetti L.* // *Astron. Astrophys.* 1978. Vol. 64. P. 43.
2. *Hardee P. E.* // *Astrophys. J.* 1979. Vol. 234. P. 47.
3. *Ferrari A., Trussoni E., Zaninetti L.* // *MNRAS.* 1981. Vol. 196. P. 1054.
4. *Payne D. G., Cohn H.* // *Astrophys. J.* 1985. Vol. 291. P. 655.
5. *Hardee P. E.* // *Ibid.* 1987. Vol. 318. P. 78.
6. *Hardee P. E., Norman M. L.* // *Ibid.* 1988. Vol. 334. P. 70.
7. *Norman M. L., Hardee P. E.* // *Ibid.* P. 80.
8. *Miles J. W.* // *J. Acoust. Soc. Amer.* 1957. Vol. 29. P. 226.
9. *Ribner H. S.* // *Ibid.* P. 435.
10. *Bluman W.* // *J. Fluid Mech.* 1970. Vol. 40. P. 769.
11. *Bluman W., Drazin P. G., Billings D. F.* // *J. Fluid Mech.* 1975. Vol. 71. P. 305.
12. *Drazin P. G., Davey A.* // *Ibid.* 1977. Vol. 82. P. 255.

13. *Кольхалов П. И.* // Препринт ИКИ АН СССР. 1983. N 824.
14. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Гидродинамика. М.: Наука, 1988.
15. *Bodo G., Rosner R., Ferrari A., Knobloch E.* // *Astrophys. J.* 1989. Vol. 341. P. 631.
16. *Hardee P. E., White R. E., Norman M. L., Cooper M. A., Clarke D.A.* // *Ibid.* 1992. Vol. 387. P. 460.
17. *Smith M. D.* // *Ibid.* 1994. Vol. 421. P. 400.
18. *Hardee P. E.* // *Ibid.* 1982. Vol. 257. P. 509.
19. *Левин К. А., Муцеевой В. В., Храпов С. С.* // Изв. РАН. Сер. Физическая. 1998. № 9. С. 1795.
20. *Левин К. А., Муцеевой В. В., Храпов С. С.* // *Астроном. журн.* 1999. Т. 76. № 2. С. 827.
21. *Кузьмин Н. М., Муцеевой В. В., Храпов С. С.* // *Вестн. ВолГУ. Сер. 1. Математика. Физика.* 2002. Вып. 7. С. 76.
22. *Mundt R.* // *Can. J. Phys.* 1986. Vol. 64. P. 407.
23. *Mundt R., Brugel E. W., Buhrke T.* // *Astrophys. J.* 1987. Vol. 319. P. 275.
24. *Mundt R.* // *Mitt. Astron. Ges.* 1987. Vol. 70. P. 100.
25. *Buhrke T., Mundt R., Ray T. P.* // *Astron. and Astrophys.* 1988. Vol. 200. P. 99.
26. *Raga A. C., Mundt R., Ray T. P.* // *Ibid.* 1991. Vol. 252. P. 733.
27. *Mundt R., Raga A. C., Ray T. P.* // *Ibid.* P. 740.
28. *Norman M. L., Stone J. M.* // *Astrophys. J.* 1997. Vol. 483. P. 121.
29. *Norman C. A., Silk J.* // *Ibid.* 1979. Vol. 228. P. 197.
30. *Reipurth B.* // *ESO Scient: Prepr.* 1989. № 763.
31. *Мовсесян Т. А.* // *Письма в астроном. журн.* 1992. Т. 18. С. 748.
32. *Мовсесян Т. А.* *Спектральные исследования звездных джетов ... Дис. канд. физ.-мат. наук.* Бюракан, 1992.
33. *Raga A. C., Kofman L.* // *Astrophys. J.* 1992. Vol. 386. P. 222.
34. *Stone J. M., Norman M. L.* // *Ibid.* 1993. Vol. 413. P. 210.
35. *Gouveia Dal Pino E. M., Benz W.* // *Ibid.* 1994. Vol. 435. P. 261.
36. *Redman M. P., O'Connor J. A., Holloway A. J., Bryce M., Meaburn J.* // *MNRAS.* 2000. Vol. 312. L23.
37. *Philips J. P., Mampaso A.* // *A&A.* 1988. Vol. 190. P. 237.
38. *Quinn D. E., Moore T. J. T., Smith R. G., Smith C. H., Fujiyoshi T.* // *MNRAS.* 1996. Vol. 283. P. 1379.
39. *MacDonald J., Bailey M. E.* // *MNRAS.* 1981. Vol. 197. P. 995.

Содержание

Программа конференции	5
Обзорные лекции	17
Алексеев И. Ю. Активность солнечного типа поздних звезд	17
Быков О. П. Космический мусор: проблемы и пути их решения	29
Вибе Д. Э. Поляриметрия пыли	30
Воронков М. А. Радиоизображения высокого качества и интерферометры будущего	43
Железнов Н. Б. Астероидно-кометная опасность: современное состояние проблемы	56
Жилкин А. Г., Дудоров А. Е., Жилкина Н. Ю. Волны разрежения в коллапсирующих протозвездных облаках	73
Зинченко И. И. Излучение межзвездной пыли	86
Коваленко И. Г. Гидродинамика многофазной межзвездной среды	98
Миронов А. В. Будущие космические эксперименты и перспективы развития звездной астрономии	107
Мусцовой В. В., Храпов С. С., Кузьмин Н. М., Севостьянов А. В. Аккреционно-струйные системы: история, результаты, перспективы	119
Минц А. А., Орлов В. В., Петрова А. В., Рубинов А. В. Динамика звездных скоплений	134
Панчук В. Е. Аппаратура телескопов умеренных диаметров	149
Прохоров М. Е. Может ли наша Вселенная быть конечной со сложной топологией?	159
Рябчикова Т. А. Пульсирующие магнитные пекулярные звезды	175
Соболев А. М. Явление космических мазеров	186
Соловьев А. А. Новая теория солнечного магнитного цикла	187
Тараканов П. А. Крупномасштабная структура распределения вещества во Вселенной	188
Уральская В. С. Современные знания о строении и составе Солнечной системы	201
Холшевников К. В. Простейшая форма представления градиента гравитационного потенциала небесных тел	222
Шустов Б. М. Большие оптические телескопы будущего	231

Kruegel E. Optical Properties of Interstellar Dust	232
Piskunov N. E. Modern astronomical spectroscopy	232
Тезисы студенческих докладов	233
Аввакумова Е. А., Тучин М. С. Создание каталога затменных переменных систем	233
Алексейчук Р. А. Взаимодействие турбулентного потока многофазного межзвездного газа со спиральным рукавом галактики	234
Амбарцумян А. Р. Выбор оптимальных фотометрических полос для определения межзвездного поглощения . . .	235
Балуев Р. В. Расстояние между невозмущенными орбитами произвольного типа	236
Березина Е. С. Изучение переменной <i>VI Vul</i>	237
Бессмертный И. С. Расстояния между орбитами небесных тел солнечной системы	238
Васюнин А. И., Соболев А. М., Вибе Д. З., Семенов Д. А. О влиянии неточностей скоростей химических реакций на результаты астрохимического моделирования	239
Касьянова М. В. Моделирование химической эволюции шарового скопления	240
Кирсанова М. С., Вибе Д. З. Особенности химической эволюции дозвездных ядер для различных динамических моделей	241
Кононов Д. А. Отождествление геосинхронных спутников по элементам их орбит	242
Кочеров А. В. Влияние волнового давления на гидростатическое равновесие сферического облака	243
Кузьмин Н. М. Расширяющиеся оболочки в молодых звездных системах: численное моделирование	244
Меркулова О. А. Исследование кандидата в галактики с полярными кольцами методом 1D-спектроскопии . . .	245
Михальчук Н. М., Видьмаченко А. П., Мороженко А. В. Проявление нелинейных эффектов в атмосферах планет гигантов	246
Моисеев А. В. О возможных причинах высокой металличности квазаров	247
Осина А. С. Определение некоторых параметров Луны из визуальных наблюдений	248

Панков И. А., Хачай Ю. В. Вариант построения 3-D тепловой модели земной коры Среднего Предуралья	249
Пешеходько Н. В. Создание компьютерного пакета программ по моделированию распределения объемной плотности в основных компонентах галактик	250
Подорванюк Н. Ю., Авдеев В. Ю. Кинематика нейтрального и ионизованного газа и изучение остатка вспышки сверхновой в неправильной карликовой галактике IC1613	251
Расторгуева Е. А. Связь между поляризационными свойствами блазаров в радио- и оптическом диапазонах	252
Севостьянов А. В. Модельный расчет светимости в инфракрасном диапазоне туманности Mz 3	253
Сытов А. Ю. Численное моделирование астрофизических течений на адаптивных иерархических сетках	254
Тимошкина Н. В. Спектроскопическое и фотометрическое исследование кандидатов в тесные двойные системы	255
Титов Д. Л., Калинин А. А. Фотографическая фотометрия спектров солнечных протуберанцев	256
Троицкий Н. Р. Определение неточности наведения антенны	257
Чачина Т. С., Кузнецов Э. Д. Эволюция элементов орбит Юпитера и Сатурна на космогонических интервалах времени	258
Шагинян А. С. Моделирование покраснения излучения квазара на межгалактической пыли	259
Шейкина А. Н. Особенности вертикальной структуры аккреционных дисков	260
Тезисы кратких сообщений	261
Баньщикова М. А., Авдюшев В. А. Численная теория движения близких спутников Юпитера	261
Барсунова О. Ю., Гринин В. П., Сергеев С. Г. Необычная затменная система КН 15D: дополнительные фотометрические данные	262
Дремова Г. Н., Свечников М. А., Тутуков А. В. Голубые странники как продукт слияния маломассивных разделенных ТДС	263

Дудоров А. Е., Ерохин М. А., Жилкин А. Г., Жилкина Н. Ю. Магнитная газодинамика гравитационного сжатия протозвездных облаков	264
Захаров А. И., Миронов А. В., Николаев Ф. Н. Новый способ поиска переменных звезд	265
Кайгородов П. В. Трехмерное моделирование структуры течения вещества в полуразделенных двойных системах	266
Костина М. В., Тараканов П. А. Моделирование эволюции спектра масс и химического состава межгалактических облаков	267
Кожевникова А. В., Алексеев И. Ю. Особенности пятенной активности затменной переменной CG Cyg	268
Орлов С. А., Холшевников К. В. Уравнения огибающей поверхности семейства траекторий изотропно выброшенных частиц с учетом движения узлов и перигелиев	269
Павлюченков Я. Н., Семенов Д. А., Шраер К. Моделирование протопланетного диска у звезды АВ Возничего	270
Распопова Н. В. Оценивание параметров модели балджа Галактики	271
Рубинов А. В. Влияние приливного взаимодействия компонентов на динамическую эволюцию неиерархических кратных звезд	272
Шахворостова Н. Н., Дубрович В. К. Линии поглощения водорода в спектре реликтового излучения	273
Сидорова А. В. Аккреция турбулентного газа с малым угловым моментом на черную дыру	274
Толстых Ю. В. Релятивистское пересоединение сильных магнитных полей	275
Угольников О. С., Маслов И. А. Широкоугольная поляриметрия ночного неба. Измерения свечения атмосферы и зодиакального света	276
Стендовые доклады	277
Алексеев И. Ю., Кожевникова А. В. Вращательная модуляция блеска и пятна на звездах IN Com, IL Com, UX Ari, V711 Tau	277

Ахмадинурова А. М., Зобачева Т. С., Панкратова Н. В., Поляков А. М., Соболев А. М., Толмачев А. М.	
Мониторинг мазерных источников H_2O	278
Бондаренко И. И., Перевозкина Е. Л. Астрономия в реализации национально–регионального компонента . . .	279
Вибе Д. З., Тихонов В. А. Белые карлики, МАСНО и химическая эволюция Галактики	280
Давыденко А. А. Звездные орбиты в задаче Бока	281
Герасименко Т. П. Распределение рассеянных звездных скопления в окрестностях Солнца	282
Горда С. Ю., Захарова П. Е., Кузнецов Э. Д., Ма- лышева Л. К. Электрофотометрические наблюдения геосинхронных спутников	283
Еремин М. А. Столкновение облаков в межзвездной среде	284
Жилкина Н. Ю., Жилкин А. Г., Дудоров А. Е. МГД волна разрежения в медленно вращающихся коллап- сирующих протозвездных облаках	285
Зобачева Т. С., Соболев А. М., Толмачев А. М., Хен- кель К., Воронков М. А. Высокоскоростные компо- ненты в спектрах водяных мазеров в источнике $W3(H_2O)$	286
Калинина Н. Д., Соболев А. М., Салий С. В., Ха- рюшняк П. Каталог спектральных линий в молеку- лярном ядре NGC 6334I(N)	287
Кильпио А. А. Фурье-анализ кривых блеска затменных CVs	288
Киричек Е. А. Теоретическая модель активных долгот на Солнце	289
Королев В. В., Коваленко И. Г. Глобальные регуляр- ности в структуре спиральных узоров галактик: про- явление гидродинамической неустойчивости	290
Кожевников В. П. Обнаружение квазикогерентных коле- баний блеска с периодом 4.7 часа в карликовой новой AT Snc	291
Курзаев Д. А., Шатский Н. И. Спектроскопические ор- биты двойных В-звезд HD 199081 и HD 176318	292
Лямова Г. В. О быстрых поворотах солнечных пятен	293
Магуськин Б. Ф. Второй вариант итерационного способа получения оценок уточненного МНК	294

Островский А. Б., Воронков М. А., Соболев А. М., Эллингсен С. П. Излучение ОМС-1 в линиях метанола $5_1-6_0A^+$ и 5_2-5_1E	295
Панчук В. Е., Алиев А. Н., Ключкова В. Г., Юшкин М. В. Методы определения лучевых скоростей звезд	296
Панчук В. Е., Емельянов Э. В., Юшкин М. В., Якопов М. В. Проект эшелле спектрографа фокуса Кассегрена	297
Прохоров М. Е. Может ли наша Вселенная быть конечной со сложной топологией?	298
Ромашин Г. С. Использование внефокального изображения Солнца для определения ориентации спутниковой антенны	299
Салий С. В., Соболев А. М., Харьонпя П. Оценка параметров сгустков газа в G345.01+1.79 по линиям метанола	300
Из истории науки	301
Левитская Т. И. Бредихин — создатель теории кометных форм	301
Литературные страницы	308
Ермакова Т. П.	309
Муцевой В. В. Соль дорог	310
Соловьев А. А	322
Список участников	323

Научное издание

Физика Космоса

Труды 33-й Международной
студенческой научной конференции
2–6 февраля 2004 г.

Редактор Т. А. Федорова
Оригинал-макет — Э. Д. Кузнецов, А. Б. Островский, С. В. Салий

Лицензия ИД №05974 от 03.10.2001. Темплан 2004 г., поз. 24. Подписано в печать 23.01.04. Формат 60 × 84 1/16. Бумага для множительных аппаратов. Гарнитура Times. Уч.-изд. л. 20,7. Усл. печ. л. 19,53. Тираж 150 экз. Заказ .

Издательство Уральского университета. 620083, Екатеринбург, пр. Ленина, 51.

Отпечатано в ООО «ИРА УТК». 620219, Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42.