

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

АНТЮФЕЕВА Александра Валерьевича

“Биполярные молекулярные потоки в областях звездообразования
IRAS 05345+3157, IRAS 22267+6244, G122.0-7.1”,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико –
математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика,
радиоастрономия.

Проблема звездообразования является одной из наиболее важных в астрофизике, она тесно связана с вопросом формирования и эволюции галактик. Описать эволюцию галактики, по сути дела, означает установить историю звездообразования в ней. Выявление закономерностей и построение адекватной теории звездообразования невозможно без детальных исследований отдельных областей звездообразования. На определенной стадии формирования звезд происходит осесимметричный отток вещества родительского молекулярного облака, который принято называть биполярным потоком. Диссертационная работа А.В. Антюфеева посвящена исследованию биполярных потоков в нескольких областях звездообразования. Не вызывает сомнения, что исследования диссертанта важны и актуальны.

Диссертационная работа включает введение, четыре раздела, выводы и список использованной литературы, насчитывающий 120 источников.

Во введении описаны необходимые характеристики диссертационной работы: цель и метод исследований, актуальность задачи, новизна и практическая значимость полученных результатов, личный вклад автора, и др.

Первый раздел является вводным. В нем дан обзор современного состояния исследований биполярных потоков в областях звездообразования. Диссертант обсуждает имеющиеся наблюдательные данные и их интерпретацию. Высокоскоростная часть биполярных потоков исследована для довольно большого числа (прото)звезд, что позволило выявить корреляции между характеристиками высокоскоростных потоков и параметрами звезд. Гораздо меньше внимания уделено исследованию низкоскоростной части биполярных потоков. Автор отмечает недостатки существующих методов исследования низкоскоростной части биполярных потоков.

Во втором разделе описана аппаратура, которая использовалась для картографирования областей звездообразования в эмиссионной линии $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ в

миллиметровом диапазоне спектра на радиотелескопе РТ-22 (Кацивели, Крым). Диссертант разработал и изготовил спектроанализатор и участвовал в разработке и изготовлении всего приемного комплекса. Подробно обсуждается проведенное диссертантом тестирование эффективности работы аппаратуры в разных режимах наблюдений. Определены параметры антенны радиотелескопа РТ-22 на частотах 87.7 и 110.2 ГГц. Диссертантом разработана система управления и сбора данных, которая осуществляет управление процессом наблюдений в разных режимах и записывает результаты наблюдений на диск персонального компьютера.

В третьем разделе представлен предложенный диссертантом новый метод определения параметров низкоскоростной части молекулярных потоков. Идея метода заключается в следующем. Принимается, что в стационарном молекулярном облаке существуют только микротурбулентные движения вещества, характеристики которого постоянны во всем облаке. Любые отклонения движения вещества от микротурбулентного интерпретируются как проявление биполярного потока. Практическая реализация предложенного метода осуществляется следующим образом. Из анализа карты профилей эмиссионной линии $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ определяются границы интервала скоростей микротурбулентных движений V_b и V_r . Затем определяется масса вещества со скоростями движения в данном интервале, которая рассматривается как масса стационарной части облака. Полная масса облака определяется как масса вещества со всеми наблюдаемыми скоростями движения. Разница между полной массой и массой стационарного облака интерпретируется как масса вещества в биполярном потоке. Масса вещества оценивается по измеренному потоку в эмиссионной линии ^{13}CO при помощи переходного (конверсионного) множителя X_{CO} . Отмечается, что в рамках предложенного подхода учитываются все проявления биполярного потока в спектре: появление крыльев в профиле линии, асимметричность профиля линии, смещение всего контура линии.

В последнем разделе диссертации приведены полученные диссертантом наблюдательные данные для трех объектов и проведен их анализ. Определены параметры низкоскоростной части молекулярных потоков по методике, представленной в третьем разделе. Получено, что масса низкоскоростной части биполярного потока содержит от $\sim 1/3$ до $\sim 3/4$ полной массы молекулярного облака и превышает массу высокоскоростной части примерно на два порядка, а их кинетические энергии сопоставимы. Автор делает вывод, что сдвиг профиля линии вдоль оси потока представляет собой распространенное явление в биполярных потоках.

Многоплановая работа диссертанта впечатляет и заслуживает высокой оценки. В исследованиях каждого астрономического объекта (или явления) можно условно выделить несколько этапов. Автор выполнил практически полный цикл исследований (кроме построения модели или теории) биполярных источников:

- разработка, изготовление и юстировка аппаратуры для наблюдений и разработка соответствующего программного обеспечения,
- проведение наблюдений и их редукция,
- определение характеристик биполярных потоков по предложенной им методике.

Все этапы исследования проведены на высоком уровне и хорошо описаны. Работа диссертанта представляет значительную ценность для дальнейших исследований. Изготовленная и введенная в действие А.В. Антиюфеевым аппаратура может быть использована (и используется) для наблюдений разных астрономических объектов в миллиметровом диапазоне длин волн. Предложенный А.В. Антиюфеевым алгоритм выделения низкоскоростных биполярных потоков, полученные им наблюдательные данные и результаты могут быть использованы в исследованиях образования звезд, которые проводятся в различных коллективах Украины и других стран.

Отмечу некоторые недостатки работы.

- Следовало бы более четко продемонстрировать разделение низкоскоростного потока и стационарной части родительского облака. В рамках предложенного диссертантом алгоритма выделения низкоскоростных биполярных потоков ключевую роль играют принятые граничные значения скорости, которые соответствуют родительскому облаку. Следовало бы показать зависимость “скорость - масса газа”, где масса газа с данной скоростью движения дана для всего объекта. Такая зависимость наглядно иллюстрирует влияние принятых граничных значений скоростей движений в стационарной части родительского облака на найденное значение массы биполярного потока. Следовало также привести карту вклада вещества потока в полную поверхностную массу облака (отношение лучевой концентрации вещества потока к полной лучевой концентрации вещества в данной точке). Такая карта может быть построена по данным, приведенным на рис.4.5, и наглядно иллюстрирует локализацию (и геометрические параметры) потока.

- Диссертант подробно обсуждает погрешность определения массы и энергии биполярного потока, обусловленную наличием шумов в экспериментальных спектрах. Однако существуют и другие источники ошибок определения массы биполярного потока. Например, для определения лучевой концентрации молекулярного водорода по измеренному потоку в линиях CO используется среднее значение переходного множителя X_{CO} . Известно, что значение этого множителя может меняться в несколько раз при переходе от одного объекта к другому и даже в разных частях одного облака. Следовало бы указать и другие источники погрешности определения массы и энергии биполярного потока.

- Вообще, диссертанту следовало бы уделить большее внимание общим характеристикам исследованных объектов. Следовало указать светимости центральных

источников и массы протозвезд. Существует классификация биполярных источников (Arce, Sargent, 2006, ApJ, 646, 1070), в которой различие характеристик биполярных потоков объясняется различием эволюционных возрастов объектов. Согласно этой классификации биполярные источники класса 0, сопутствующие формированию звезд на ранних стадиях, характеризуются высокой коллимацией и содержат сравнительно малую долю вещества родительского облака. Биполярные источники класса 1, сопутствующие формированию звезды на поздних стадиях, представляют собой осесимметричное расширение практически всего родительского облака. Диссертант нашел, что биполярный поток в IRAS 22267+6244 содержит $\sim 3/4$ массы объекта. Принадлежит ли этот биполярный поток к классу 1? Или это пекулярный случай биполярных потоков класса 0?

К сожалению, в тексте диссертации довольно много опечаток. Встречаются также неудачные, на мой взгляд, выражения. Примеры:

“... унос вещества ...” (стр.5),

“... скорость движения неподвижной части облака ...” (стр. 7),

“... маленькие температуры ...” (стр. 17).

Очевидно, что все эти замечания не снижают высокой оценки научного содержания исследования А.В. Антюфеева. Замечания могут быть учтены в его дальнейших исследованиях.

Исследование А.В. Антюфеева является законченной работой и существенным вкладом в современные представления о процессе формирования звезд. Его диссертация “Биполярные молекулярные потоки в областях звездообразования IRAS 05345+3157, IRAS 22267+6244, G122.0-7.1” удовлетворяет требованиям ДАК Украины к кандидатским диссертациям, и А.В. Антюфеев, безусловно, заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия.

Автореферат соответствует диссертации.

Д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. НАНУ,
зав. лабораторией ГАО НАНУ

 Л.С. Пилюгин

12 сентября 2015 года



Подпись Л.С. Пилюгина заверено
Зав. канцелярией ГАО НАНУ

 Т.К. Корсун