

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИПФ РАН

член-корреспондент РАН Г.Г. Денисов



2020 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации (Институт прикладной физики Российской Академии Наук) на диссертационную работу Топчиевой Анастасии Павловны «Морфология и эволюция инфракрасных кольцевых туманностей вокруг областей ионизованного водорода», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Диссертация Анастасии Павловны Топчиевой связана с проблемой образования и ранних стадий эволюции звезд большой массы. Несмотря на большое количество полученных на сегодняшний день наблюдательных данных, общепринятого сценария эволюции звезд большой массы пока нет. На ранних стадиях вокруг массивной звезды образуется область ионизованного водорода, область НII. При расширении области НII на ее границе, примыкающей к родительскому облаку образуется переходная газопылевая фотодиссоционная область с повышенной плотностью и температурой, эффективно излучающая в инфракрасном диапазоне. Согласно данным наблюдений, полученным на космических инфракрасных телескопах, в нашей Галактике существует большое количество структур, связанных с областями НII, и имеющих кольцеобразную форму, которые, по-видимому, представляют собой проекции оболочек вокруг массивных звезд, связанных с такими газопылевыми областями. Данные объекты получили название инфракрасных кольцевых туманностей (ИККТ) и характеризуют ранние этапы эволюции массивных звезд. Систематические исследования ИККТ представляются весьма важными для построения общей модели процесса образования массивных звезд. Такие исследования должны включать в себя в первую очередь анализ и сравнение морфологических характеристик представительной выборки объектов в различных диапазонах длин волн, расчет и сравнение их физических параметров и спектральных характеристик, определение физических параметров центрального источника, а также выбор объектов для последующего сравнения с модельными расчетами. Этим задачам и посвящена диссертация А.П. Топчиевой.

В диссертации на основе анализа архивных данных инфракрасных наблюдений, полученных на космических телескопах Spitzer, Herschel, а также радионаблюдений, полученных с помощью наземной антенной решетки VLA, создан рабочий каталог ИККТ, связанных с областями НII, расположенными в определенном галактическом секторе и имеющими замкнутую кольцевую структуру. Из каталога выделены объекты, форма областей излучения которых близка к круговой, и которые могут быть использованы для сравнения с результатами одномерных моделей. Рассчитаны спектральные и физические характеристики как самих ИККТ, так и связанных с ними НII областей и центральных источников. Определен спектральный индекс, подходящий для оценки температуры пыли. Сделаны оценки массовой доли полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в ИККТ. Рассчитаны потоки радиоизлучения от областей НII и электронные концентрации, определены эффективные температуры, массы и спектральные классы центральной звезды, а также найдены статистические зависимости между параметрами. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, семи приложений и списка использованной литературы. Объем работы составляет 121 страницу, включая 28 рисунков и 7 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, описана структура диссертации и личный вклад соискателя, раскрывается новизна, научная и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы и список публикаций по теме диссертации.

В первой главе диссертации описана методика отбора ИККТ для рабочего каталога на основе анализа архивных данных VLA (длина волны 20 см) и Spitzer (длины волн 8 мкм и 24 мкм). Полученная выборка включала 99 объектов, для исследования которых также использовались ИК-данные, полученные на телескопе Herschel на более длинных волнах. Проведен анализ морфологии ИККТ с помощью вписывания эллипсов в ИК-изображения на трех длинах волн (8, 24 и 70 мкм) с помощью оригинальной программы, написанной соискателем. Найдено, что некоторые объекты состоят из двух колец, внешнего и внутреннего. Проведен статистический анализ параметров эллипсов, полученных на различных длинах волн. Из рабочего каталога выбрано 32 объекта, область излучения которых на 8 мкм не слишком вытянута. Эти объекты предполагается в дальнейшем использовать, сравнивая с результатами одномерных моделей. В конце главы сформулировано положение, выносимое на защиту.

Во второй главе приведены результаты расчета и анализа ИК-потоков (как для ИККТ целиком, так и потоков от их внутренних и внешних частей) и спектральных индексов объектов. Анализ спектрального распределения энергии в объектах указывает на неоднородность пыли, состоящей из холодной крупной, мелкой горячей и стохастически нагретой пыли и ПАУ. Найдено, что спектральные индексы, рассчитанные для различных диапазонов длин волн, различны для внешних и внутренних частей ИККТ. Сделан вывод, что спектральный индекс, рассчитываемый по данным на 70 и 160 мкм является лучшим для оценки температуры пыли в ИККТ. По значениям ИК-потоков с помощью метода Draine & Li сделаны оценки массовой доли ПАУ и интенсивности УФ- поля для всех объектов рабочего каталога. Практически всем объектам соответствует значение массовой доли ПАУ 0.47%. Проведен анализ значений отношений потоков на различных длинах волн и показано, что большая часть ИККТ из рабочего каталога связана с областями НП. В конце главы сформулированы положения, выносимые на защиту.

Третья глава посвящена анализу параметров областей НП и источников ионизации для 42 объектов из рабочего каталога ИККТ, для которых известны расстояния, по рассчитанным значениям радиопотоков. Определены электронные концентрации, спектральные классы, эффективные температуры и массы звезд. Найдено, что электронная концентрация уменьшается с увеличением размера ИККТ, что, по-видимому, связано с различными стадиями эволюции объектов. Найдены корреляции между ИК потоками и радиопотоками, а также между ИК потоками от внутренней области и значениями спектрального индекса, рассчитанному по данным на 70 и 160 мкм, во внешней области. Сделан вывод о вероятных различиях в распределении газа и пыли вокруг объектов выборки, эффективные температуры звезд у которых одинаковы. Модельные расчеты спектрального индекса 70/160 показали, что модель одномерной сферы лучше соответствует рассмотренным ИККТ, чем модель тора. В конце главы сформулировано положение, выносимое на защиту.

В заключении дается краткая сводка результатов диссертации и указаны цели дальнейших работ по данной теме.

Результаты работы являются оригинальными и могут быть использованы специалистами в области физики и химии областей звездообразования, в модельных расчетах образования и ранних стадий эволюции массивных звезд в нашей стране и за рубежом. Обоснованность и достоверность выводов диссертации обеспечивается детальным анализом результатов, сравнением с теоретическими выводами, а также сопоставлением с другими наблюдательными данными и независимыми оценками. Хочется отметить строгий и взвешенный подход соискателя к своим результатам и выводам.

По содержанию есть несколько замечаний и вопросов:

- Выводы о статистических зависимостях между параметрами, были бы более весомы при наличии количественных оценок (линейных регрессий, коэффициентов корреляции и т.д.). Эти оценки можно было бы сравнивать с предсказаниями теоретических моделей.
- В диссертации делается вывод, что для определения температуры пыли в ИККТ наиболее подходит отношение потоков на 70 мкм и 160 мкм по сравнению с более коротковолновыми и более длинноволновыми данными. Хотелось бы подтверждения данного вывода на конкретных примерах.
- В результатах говорится, что «подтверждено теоретическое предсказание о низком содержании ПАУ и мелкой пыли внутри НП областей». Чье это теоретическое предсказание?
- В диссертации говорится о крупной, мелкой и очень мелкой пыли. Было бы уместно указать соответствующие диапазоны размеров пылинок, а также привести значение средней интенсивности поля УФ-излучения, в единицах которого оценивается соответствующая интенсивность областей НП (табл. 2.3).
- Рассчитанные значения спектральных индексов стоило бы привести в отдельной таблице. При этом сам термин «спектральный индекс» представляется не совсем удачным, поскольку выражается через отношение потоков в различных диапазонах длинах волн, и ему лучше соответствует «показатель цвета».
- Как определялся диаметр объекта S, приведенный в табл. 3.2?
- В тексте есть не вполне ясные или неудачные обороты («степень асимметрии» туманности, «внутренние значения alpha\_(70/160)», «половина мелкой пыли»), но орфографических ошибок и опечаток немного, диссертация хорошо оформлена, хотя таблицы и некоторые рисунки можно было бы увеличить.

Указанные недочеты не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертация Топчиевой Анастасии Павловны «Морфология и эволюция инфракрасных кольцевых туманностей вокруг областей ионизованного водорода» является законченным научным квалификационным трудом, содержит новые данные, полученные с использованием оригинальных методик и программ. Результаты доложены на ряде международных и российских конференций, опубликованы в рекомендованных ВАК изданиях. Диссертация А.П. Топчиевой была представлена 15 июля 2020 г. на семинаре отдела радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии Института прикладной физики РАН и получила положительную оценку. Она удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 -- астрофизика и звездная астрономия, а ее автор, Топчиева Анастасия Павловна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук. Результаты диссертационной работы представляют интерес для специалистов в области физики и химии областей звездообразования и могут быть использованы в АКЦ ФИАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, ИФП РАН, УрГУ и др. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Отзыв составлен ведущим научным сотрудником отдела радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии Института прикладной физики РАН, доктором физико-математических наук Львом Евгеньевичем Пироговым.

В.н.с., д.ф.-м.н.

Л.Е. Пирогов

подпись Л.Е.Пирогова заверяю

ученый секретарь ИПФ РАН, к.ф.-м.н.

И.В. Корюкин

603950, г. Нижний Новгород, БОКС - 120, ул. Ульянова, 46

тел. +7(831)4164741, email: [pirogov@appl.sci-nnov.ru](mailto:pirogov@appl.sci-nnov.ru)