

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический
ИНСТИТУТ**



*имени
П.Н.Лебедева*

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, ГСП-1, Москва
Ленинский проспект, 53 ФИАН
Телефон: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>

Дата 02.06.2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИАН
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Н.Н. Колачевский

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Диссертация «Эмиссионные характеристики внутренних областей галактик в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах» выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук (АКЦ ФИАН).

В период подготовки диссертации соискатель Дроздов Сергей Александрович работал в АКЦ ФИАН в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника.

В 2016 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет по специальности астроном. С 2016 по 2020 г. обучался в очной аспирантуре ФИАН. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов №21-22 выдано 06.06.2022 Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Научный руководитель: Щекинов Юрий Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор, высококвалифицированный главный научный сотрудник отдела теоретической астрофизики АКЦ ФИАН.

Рецензентом выступил: Пилипенко Сергей Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела теоретической астрофизики АКЦ ФИАН.

Доклад С.А. Дроздова по результатам диссертационной работы «Эмиссионные характеристики внутренних областей галактик в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика и звёздная астрономия» был заслушан и обсуждён на общем астрофизическом семинаре АКЦ ФИАН 16 мая 2022 г.

Актуальность темы.

Диссертация посвящена исследованию эмиссионных характеристик пыли, испытывающей стохастический нагрев, в окружении горячей плазмы. Пыль в таких условиях встречается повсеместно в межзвездной среде галактик, в особенности в их центральных областях с более высокой плотностью вспышек сверхновых. Одним из таких объектов в

нашей Галактике является Центральная молекулярная зона (ЦМЗ). Следовательно, для правильной интерпретации инфракрасных (ИК) и субмиллиметровых (субмм) спектров таких объектов в нашей и других галактиках, необходимо учитывать возможность стохастического режима нагрева пыли. ЦМЗ представляет собой лабораторию для изучения поведения газа при экстремальных условиях, которые встречаются в центральных областях галактик с активными ядрами. Однако большое количество пыли в направлении на галактический центр своей эмиссией или экстинкцией затрудняет изучение процессов и структуры собственно самого центра. Это делает необходимым исследовать возможные свойства пыли в этой области. В ИК и субмм диапазонах основное влияние связано с эмиссией пыли. Известно, что в направлении на центр Галактики находится большое количество областей звездообразования, вокруг которых, формируются пузыри, заполненные горячим газом. Исследованию эмиссии пыли в таких областях и посвящена диссертационная работа.

Глава 1 нацелена на изучение тепловых свойств пыли, погружённой в горячую плазму и проявляющей температурные флуктуации, а также особенности эмиссионных спектров в ИК и субмм диапазонах.

Глава 2 диссертации посвящена исследованию температурного поведения пыли, находящейся в остывающем газе за фронтом ударной волны. Газ остывает, при этом сжимается, что приводит к изменению темпа нагрева пылинок, которое проявляется в ИК и субмм спектрах излучения пыли. Эмиссионные спектры пыли с флуктуирующей температурой сравниваются с спектрами пыли, температура которой рассчитана в предположении о равновесии между нагревом и охлаждением (равновесная пыль), в идентичных условиях. Исследуются также проявления различных режимов нагрева в наблюдаемых эмиссионных характеристиках.

Третья глава диссертации посвящена учёту влияния разрушения пылинок на их излучательную способность в горячем газе. Такая необходимость возникает при многомерном численном моделировании газодинамических течений над областями звездообразования. Метод основан на соотношении характерных времён: времени жизни пылинки в горячей плазме и общем динамическом времени эволюции горячего пузыря.

Четвёртая глава диссертации посвящена моделированию горячих пузырей над областями звездообразования в диске Галактики и их наблюдательным проявлениям, в том числе в ИК и субмм диапазонах. Обсуждается возможность идентификации молодых звёздных скоплений по эмиссионным характеристикам газовых структур над диском Галактики. Проблема идентификации таких маломассивных звёздных скоплений особенно важна по направлению на центр Галактики.

Цель диссертационной работы состоит в исследовании в ИК и субмм диапазонах эмиссионных характеристик пыли, находящейся в горячем газе остатков сверхновых, областей активного звездообразования.

Для достижения этой цели соискателем были поставлены и решены следующие **задачи**:

- 1) Разработка статистического метода построения функции распределения температур (ФРТ) силикатных и графитовых пылинок во всём спектре их размеров (от 30 ангстрем до 0.3 микрона) в зависимости от параметров стационарной окружающей плазмы (температуры и плотности). Расчёт суммарного спектра излучения от ансамбля пылинок. Исследование и сравнение удельной эмиссионной способности пылинок разных размеров между собой, а также пыли в равновесном приближении.
- 2) Изучение теплового режима пыли и её эмиссионных характеристик в остывающем газе за фронтом ударной волны. Исследование эволюционных особенностей спектров пыли.
- 3) Создание библиотеки ФРТ пыли на сетке параметров окружающего газа. Разработка метода построения карт излучения пыли при трёхмерном моделировании газодинамических течений. Разработка метода оценки влияния разрушения пылинок на их излучательную

способность в сверхоболочках над областями звёздообразования при проведении трёхмерных численных газодинамических экспериментов.

4) Моделирование истечений над областями звёздообразования в диске Галактики и создание карт излучения в ИК и субмм диапазонах. Изучение возможности обнаружения молодых звёздных скоплений по эмиссионным характеристикам пыли в горячих “шапках” над областями звёздообразования в диске Галактики.

Научная новизна работы

Разработан статистический метод построения функции распределения температуры пыли в горячем газе. Полученный численный код позволяет строить эмиссионный спектр излучения пыли в широком интервале параметров окружающего газа, которые встречаются в горячих пузырях в областях ЗО и вокруг них.

Впервые показано, что удельная (на единицу массы) эмиссионная способность пыли (особенно пылинок малых размеров, меньше 100 ангстрем), нагреваемой в стохастическом режиме столкновениями с частицами газа, заметно превосходит таковую для равновесной пыли.

Впервые исследовано тепловое поведение стохастически нагреваемой пыли в остывающем газе за фронтом ударной волны. Показано, что тепловые режимы мелкой пыли (с радиусом меньше 300 ангстрем) и более крупной различаются вследствие особенностей эффективности их нагрева: мелкие пылинки за счёт растущей эффективности передачи энергии со стороны частиц остывающего газа продолжают нагреваться, в то время как крупные остывают вместе с плазмой.

Впервые представлен метод учёта влияния разрушения пылинок, основанный на анализе соотношения характерных времён, на эмиссию пыли в ИК и субмм диапазонах в горячих газодинамических течениях, полученных в результате численного моделирования.

Впервые показано, что эмиссионные характеристики пыли в горячем газе расширяющихся пузырей над областями звёздообразования могут служить для идентификации маломассивных звёздных скоплений, особенно в направлении на центр Галактики.

Достоверность.

Результаты опубликованы в рецензируемых журналах и прошли апробацию на российских и международных конференциях.

Ценность и практическая значимость работы.

В последние несколько лет заметно возрос интерес к исследованию теплового режима пыли в центральных (ядерных) областях галактик, в окружении квазаров и областей активного звездообразования (вспышек звездообразования) как в локальной Вселенной, так и на больших красных смещениях, вплоть до начала периода реионизации. В этой связи можно указать лишь несколько объектов: центр нашей Галактики – Центральная молекулярная зона с радиусом ~ 100 пк вокруг источника SgrA*, где наблюдается избыток инфракрасной эмиссии пыли; популяция ярких инфракрасных галактик (UltraLuminous Infrared Galaxies), например галактика Arp220; квазары на красных смещениях в эпоху реионизации на красных смещениях ~ 6 ; пыль на больших красных смещениях (программа Reionization Era Bright Emission Line Survey, развиваемая в последние два года с использованием телескопов Atacama Large Millimeter Array).

Во всех этих случаях тепловой режим пыли неявно предполагается стационарным, то есть эффектами стохастического нагрева пренебрегается. Вместе с тем, как следует из результатов, полученных в диссертации, при стохастическом нагреве излучательная способность пыли на единицу массы может быть заметно выше, чем для “равновесной” пыли. Пренебрежение этим обстоятельством может приводить к заметным ошибкам в определении температуры пыли, её массы и мощности нагревающих источников, и в целом к ошибочной интерпретации результатов наблюдений.

Личный вклад

Соискатель самостоятельно и совместно с соавторами участвовал в постановке исследовательских задач, их решении, анализе полученных результатов и их интерпретации, а также формулировке выводов работы и написания статей. Во всех выносимых на защиту результатах личный вклад соискателя является основным и определяющим.

Апробация результатов

Результаты диссертационной работы С.А. Дроздова докладывались и обсуждались на семинарах АКЦ ФИАН, на российских и международных конференциях.

Диссертация соответствует всем требованиям, установленным пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Диссертация соответствует специальности "астрофизика и звездная астрономия" по физико-математическим наукам (01.03.02).

Материалы диссертации представлены соискателем в четырёх научных статьях, опубликованных в рецензируемых журналах из списка ВАК. Содержание диссертации изложено доступно, корректно и полно.

Диссертационная работа Дроздова Сергея Александровича «Эмиссионные характеристики внутренних областей галактик в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности "астрофизика и звездная астрономия" (01.03.02).

Заключение принято на заседании ученого совета АКЦ ФИАН. Присутствовало на заседании 10 чел. Результаты голосования: "за" – 10 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 4/22 от "08" 06 2022 г.

Руководитель АКЦ ФИАН,
д.ф.-м.н.

С.Ф. Лихачев