

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  $\sim 100$  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  $\sim 6$ ; 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