

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский  
государственный университет»

С. В. Микушев



2021 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Сергея Григорьевича Сичевского «Межзвёздное поглощение и характеристики звёзд: использование больших обзоров неба», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Диссертационная работа посвящена несомненно **актуальной** проблеме изучения распределения межзвездной пыли в нашей Галактике. Знание этого распределения важно для понимания процессов звездообразования и формирования межзвездной среды, а также необходимо для решения широкого круга астрофизических и звездно-астрономических задач, в частности, для нахождения физических параметров звезд по их спектральным характеристикам, для внесения поправок за поглощение света и покраснение при исследовании структуры и кинематики Галактики по различным ее звездным подсистемам. Главной целью работы является разработка метода построения трехмерной карты межзвездного поглоще-

ния в Галактике на основе вероятностного подхода к оценке параметров звезд и параметров закона межзвездного поглощения. В такой постановке задача оказалась очень сложной, и автор был вынужден последовательно решить большой ряд промежуточных, также самих по себе **актуальных**, задач. К ним, в частности, относятся: определение основных характеристик звезд на базе современных знаний об их эволюции и физических процессах в их атмосферах; изучение возможности определения физических условий в атмосферах звезд и их классификации по многоцветной фотометрии; расчет теоретического блеска звезды в системах величин современных больших обзоров неба; вычисление блеска звезды с учетом межзвездного поглощения на основе моделей звездных атмосфер; разработка алгоритма, сокращающего время поиска оптимальной оценки в рамках байесовского подхода или метода наибольшего правдоподобия. В конечном итоге диссертантом были созданы и протестированы варианты методики построения пространственной карты межзвездного поглощения на основе *байесовского* подхода по многоцветной фотометрии из обзоров разных диапазонов длин волн при использовании разных видов априорной информации, что решает поставленную в диссертации главную задачу. Работоспособность и границы применимости **нового** метода, в котором не используется обычное упрощающее предположение о постоянстве параметра поглощения  $R_V$ , были показаны на примере трех площадок на небе с разной степенью однородности покраснения.

Кроме указанного метода и результатов его успешного применения к двум площадкам наиболее важными из **новых** результатов диссертации, на наш взгляд, являются следующие.

- Разработка эффективного способа оценок радиуса, массы, светимости звезд по значениям их температуры, ускорению силы тяжести и металличности.
- Получение оценок радиусов, масс и светимостей для более чем 700 тыс. звезд спектральных классов А–К на основе данных спектроскопического обзора LAMOST.
- Вывод о принципиальной возможности разделения звезд по эффективной температуре и ускорению силы тяжести на основе совместного использования фотометрических наблюдений в системах современных обзоров (2MASS, SDSS и GALEX).
- Вывод о нереализуемости точной оценки параметров звезд и

межзвездной среды *только* по многополосным фотометрическим данным обзоров 2MASS и SDSS из-за их недостаточной точности ( $0^m01-0^m03$ ). Указание точности ( $0^m005$ ), при которой такая оценка возможна.

Работу отличает системный характер. Много усилий потрачено на то, чтобы привлечь во внимание в рассмотренных задачах различные эффекты, способные изменить результаты, как то: отсутствие данных о скорости вращения звезды; влияние скорости эволюции, начальной функции масс и химического состава; погрешность теоретических расчетов основных характеристик звезд; особенности фотометрических систем и их точность; неопределенность априорной информации. Для автора характерно стремление к отказу от дополнительных предположений (например, о геометрическом подобии эволюционных треков звезд, о постоянстве  $R_V$ ), к применению современных методов статистического анализа (байесовский подход, MCMC, поисковый индекс на базе  $k$ -d-дерева) и их развитию. Следует особо подчеркнуть, что в отличие от многих работ, использующих «модный» сейчас байесовский подход, применение его в диссертации к построению карты поглощения действительно оправдано благодаря включению в априорное распределение параметров тех компонент, которые имеют теоретическое или наблюдательное обоснование, например, функции  $p(T_{\text{эф}}, g, [M/H], R)$ , определяющей на основе знания об эволюции звезд вероятность того, что звезда имеет заданные физические параметры. Импонирует, что автор, формулируя отдельные задачи работы, во многих случаях не постулирует заранее тот или иной подход, а планирует, как он пишет, «исследовать возможность» его применимости, тем самым создавая возможность выбора наиболее эффективного пути решения.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается тестами методом статистического моделирования и путем сравнения с результатами, полученными другими авторами, в частности, с независимыми эмпирическими оценками характеристик звезд. Многочисленные проверки, проведенные в диссертационной работе, являются сильной ее стороной.

Наряду с несомненными достоинствами работы следует сделать и ряд **замечаний**.

1. В работе указано, что анализ фотометрических обзоров SDSS и 2MASS (без дополнительных данных) лишь «пригоден для грубого разделения звезд по их характеристикам» (стр. 87). Действительно, разделение довольно грубое: так, судя по разбросу точек даже с

СКО  $< 0.01$  (дающих более точный результат) на рис. 2.21, значение  $T_{\text{eff}} = 9000$  К отличается хотя бы маргинально значимо ( $2\sigma$ ) только от температур  $T_{\text{eff}} < 6700$  К, а  $T_{\text{eff}} = 8000$  К — только от  $T_{\text{eff}} = 6000$  К, т.е. от нижней границы диапазона. Эти результаты и метод их получения, конечно, все равно представляют интерес, но вынесение именно их в число основных положений (п. 2) представляется сомнительным. Гораздо более ценным (и даже фундаментальным), на наш взгляд, является сделанный в той же второй главе вывод о принципиальной возможности такого разделения на основе фотометрии достаточной точности и указание этой точности ( $0^m.005$ ).

2. В диссертации уделено мало внимания обзору трехмерных карт покраснения/межзвездного поглощения, полученных другими авторами; есть лишь два небольших абзаца на стр. 7. В частности, в тексте вообще не упоминаются и отсутствуют ссылки в Списке литературы на работы Г. А. Гончарова (ГАО РАН) и соавторов, весьма активно строящих такие карты. Это неправильно, т.к. автор диссертации должен показать место своей работы, ее специфику, какие преимущества она дает в сравнении с другими исследованиями в этой области. Тем более что свою карту автор пока еще не построил. . .
3. Слабым местом байесовского подхода является зависимость результатов от априорных предположений, в частности, от параметризации задачи, если для каких-то параметров предполагается равномерное априорное распределение. Например, как изменятся результаты, если предположить, что равномерно распределен не  $\alpha_d$  (видимый угловой диаметр звезды), как в диссертации, а квадрат этой величины? При том что непосредственная зависимость в формуле (4.4) именно от  $\alpha_d^2$ . Или если изменить границы интервалов для  $A_V^0$  и  $R_V$ ? Рисунок 4.2d выглядит явно «обрезанным» по границам этих интервалов. В последнее время исследователи, использующие байесовский метод, специально изучают зависимость от априорных предположений (например, Binney, Wong, MNRAS, 467, 2446, 2017; Do et al., Science, 365, 664, SUPPLEMENTARY MATERIALS). В диссертации такого исследования не проводится.
4. Система уравнений (1.3), (1.4) решалась при помощи алгоритма Левенберга–Маркварда, хотя все неизвестные параметры — линейные относительно регрессоров. Почему нельзя было применить обычный

линейный метод наименьших квадратов, который гарантированно (при соответствующем ранге нормальной системы) дает решение по известной формуле и начального приближения не требует? Не эффективнее ли более простой метод?

5. При сравнении наблюдаемых или исходных значений параметров с их оценками методами, разработанными в диссертации, приводятся лишь среднее отклонение ( $\mu$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ), но ни разу не приводится средняя ошибка среднего ( $\sigma_\mu = \sigma/\sqrt{n}$ , где  $n$  — объем выборки). Если автору важно отсутствие значимых систематических отклонений (а такой вывод делается, например, на стр. 72 и 128), то об этом свидетельствует как раз малое отношение  $|\mu|/\sigma_\mu$ , а не отношение  $|\mu|/\sigma$ .
6. На стр. 35 указано, что среднеквадратичное отклонение относительной погрешности оценки радиуса звезды составляет 3.87 %, отсюда «при условии нормального распределения относительной погрешности, истинное значение радиуса с вероятностью 99 % лежит в интервале  $\pm 12$  %». Но вероятности 99 % при нормальном распределении соответствует отклонение в пределах  $\pm 2.58\sigma = 2.58 \cdot 3.87 \% = 10$  % (см., например, Агемян Т.А., Теория вероятностей для астрономов и физиков, М.: Наука, 1974, стр. 108). Может, автор имел в виду  $3\sigma$ -интервал, тогда  $\pm 12$  %, но это для вероятности 99.73 %.

Аналогичные вопросы возникают при интерпретации интервала  $[Q_1^*, Q_3^*]$  (соответствует интервалу между первой и третьей квантилями, расширенному в обе стороны на  $1.5 \cdot \text{IQR}$ , где  $\text{IQR}$  — длина интервала между квантилями) как практически совпадающего с интервалом  $\pm 3\sigma$  при нормальном распределении (стр. 48). На самом деле — с интервалом  $\pm 2.70\sigma$ . Действительно, вероятная ошибка, равная в терминах автора  $0.5 \cdot \text{IQR}$ , составляет при нормальном распределении  $\approx \frac{2}{3}\sigma$  (см., например, Агемян Т.А. Основы теории ошибок для астрономов и физиков, М.: Наука, 1968, стр. 109). Тогда интервалу  $\pm 3\sigma$  примерно соответствует интервал  $\pm \frac{9}{4} \cdot \text{IQR}$ , а не  $\pm 2 \cdot \text{IQR}$ , как в диссертации.

Можно сделать и другие замечания по сути дела, но они менее существенны.

Диссертация оформлена неидеально.

Так, качество некоторых рисунков оставляет желать лучшего. Например, ряд деталей на рис. 1.13, 1.14, 1.15, 2.15, 2.16 виден только под лупой. Некоторые рисунки с градацией серого цвета (например, 1.3, 1.4, 2.10) явно надо было сделать с цветной градацией, которая бы выделила положение нуля, а также положительные и отрицательные отклонения. Тем более что цветные рисунки в диссертации имеются.

В большой доле случаев рисунок или таблица помещается на страницу, которая предшествует странице с первой ссылкой на этот элемент и с объяснениями для него. Например, это так почти для всех рисунков первой главы и для таблиц 3, 4, 5 и 9. Некоторые разделы работы начинаются сразу с рисунка, а не с какого-либо текста. Рис. 3.4 разрезает текст без видимой необходимости после двоеточия и прямо перед формулой.

Работа содержит большое число повторов разного рода. Так, определения понятий квантилей и квартилей даются в работе пять (!) раз (стр. 47, 85, 131, 143, 152), но не разу не расшифрована аббревиатура МКП, которая не так широко известна. На рис. 3.2 и 4.6 приведены одни и те же карты покрытий неба обзорами. Некоторые части текста буквально повторяются, например, перечисления недостатков двумерных карт межзвездного поглощения (стр. 6 и 132); пассаж про звезду как «инструмент» (стр. 117 и 133), статистика обзоров (стр. 11 и 133).

Смысл нижнего индекса  $e$  на стр. 83, 84 становится ясен только на стр. 91, как и смысл термина «энергетическая облученность».

Многочисленные ссылки на работу Карделли и др. [11] в тексте диссертации в большинстве случаев даются как на работу одного автора: «Карделли [11]».

Подобных небрежностей много.

Диссертация написана хорошим языком, но содержит много опечаток («полевые облака», стр. 132; «карат галактического покраснения», стр. 151) и синтаксических ошибок типа «в данном случае» (стр. 142).

Все эти недочеты затрудняют чтение и понимание работы.

Несмотря на отдельные недостатки диссертация С.Г. Сичевского представляет собой **значимый** вклад в решение задачи построения трехмерной карты межзвездного поглощения в Галактике и создает новые перспективы в рамках данного направления. Результаты исследования могут быть применены как для непосредственного построения новых карт поглощения с высоким разрешением, так и для выделения пространственных структур в Галактике.

Результаты опубликованы в 20 статьях в российских и международных изданиях, 10 из них — в журналах, рекомендованных ВАК.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям, п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 № 335; от 02.08.2016 № 748; от 01.10.2018 № 1168), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор С.Г. Сичевский заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Отзыв составлен кандидатом физико-математических наук, доцентом по кафедре небесной механики, доцентом Кафедры небесной механики Санкт-Петербургского государственного университета Игорем Ивановичем Никифоровым. Отзыв обсужден и одобрен на заседании Кафедры небесной механики Санкт-Петербургского государственного университета 21 сентября 2021 года (протокол № 3).

Заведующий Кафедрой

И.И. Шевченко

Доцент Кафедры

И.И. Никифоров

Подписи заверяю:

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ КАДРАМИ  
ГУОРП  
ОС СУВОРОВА



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Адрес: 199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9.

Телефон: (812) 328-97-01

E-mail: spbu@spbu.ru