

УТВЕРЖДАЮ

Проректор Национального
исследовательского университета
«Высшая школа экономики»

к.э.н., доцент Рощин Сергей Юрьевич
« *ок* » *июне* 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»**

Диссертация Авдеевой Александры Сергеевны на тему: «Исследование параметров звёзд и определение межзвёздного поглощения по данным больших современных обзоров неба» выполнена на базовой кафедре физики космоса Института космических исследований Российской академии наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

В 2020 г. окончила физический факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности 03.05.01 «Астрономия».

С 2020 г. по настоящее время Авдеева Александра Сергеевна является аспирантом очной аспирантуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность (профиль) «Астрофизика и звездная астрономия».

Справка об обучении с результатами сдачи кандидатских экзаменов выдана в 2024 г. в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени Авдеева Александра Сергеевна работала в ФГБУН «Институт астрономии Российской академии наук» в должности младшего научного сотрудника.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Малков Олег Юрьевич работает заведующим отделом Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт астрономии Российской академии наук».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы

Актуальность темы исследования проявляется в контексте быстрого развития современной астрономии, когда современные обзоры предоставляют огромные объемы данных, требующие новых подходов, таких как методы машинного обучения, к их анализу и интерпретации. Применение методов машинного обучения позволяют

автоматизировать и ускорить процесс обработки и анализа данных, делая его более эффективным.

Одной из ключевых проблем астрономии является оценка межзвездного поглощения, которое оказывает значительное влияние на измерения и интерпретацию спектральных характеристик, расстояний, возраста и других параметров астрономических объектов. Точность и надежность оценки межзвездного поглощения являются неотъемлемыми требованиями для достижения высококачественных результатов в астрофизических исследованиях. Существующие трехмерные карты поглощения, однако, могут показывать значительное расхождение в результатах. Прямой метод оценки межзвездного поглощения основан на вычислении избытка цвета - разницы между видимым показателем цвета объекта и собственным показателем цвета, характерным для его спектрального класса и класса светимости. Точное определение собственного показателя цвета с помощью спектроскопических данных раньше было возможно только для крайне ограниченного числа объектов. Появление специализированных спектроскопических обзоров и высокоточной астрометрии миссии Gaia позволило получать более точные данные о межзвездном поглощении и сделало возможным использовать новые подходы к решению поставленной проблемы точной оценки межзвездного поглощения.

Исследование популяции коричневых карликов актуально в свете постоянного расширения спектра наблюдаемых астрономических объектов и развития методов их автоматической идентификации. Коричневые карлики представляют собой популяцию звездных объектов с массой ниже порога зажигания термоядерных реакций, и их обнаружение и классификация являются важными шагами в понимании звездообразования и функции масс объектов в Галактике. По разным оценкам, коричневые карлики должны составлять до 25 процентов всех объектов Галактики. Однако лишь немногие из них обнаружены и хорошо изучены как индивидуально, так и статистически. Из-за их низкой светимости спектральные исследования коричневых карликов довольно трудоемки. По этой причине создание достоверной выборки коричневых карликов, подтвержденной спектроскопическими наблюдениями, на данный момент не представляется возможным. Поэтому развитие получают способы отбора коричневых карликов по показателю цвета. При этом показатели цвета используются как индикаторы принадлежности объекта к классу коричневых карликов. В данной работе существующие методы развиваются и совершенствуются, в том числе с помощью методов машинного обучения.

Научные положения диссертации

1. На основе данных спектроскопического обзора RAVE, фотометрических и астрометрических данных каталога Gaia EDR3, а также соотношения эффективной температуры и собственного показателя цвета, для 40 площадок на южном небе была определена зависимость поглощения от расстояния. С помощью закона косеканса были получены оценки полного галактического поглощения в 36 из 40 площадок.

2. Были разработаны и апробированы фотометрические правила для поиска коричневых карликов в обзорах WISE, 2MASS и DES. По разработанным правилам обнаружено 49 объектов – кандидатов в коричневые карлики.

3. Показана возможность и перспективы применения моделей машинного обучения к выделению коричневых карликов в фотометрических обзорах WISE, 2MASS и Pan-STARRS. Впервые продемонстрировано, что использование показателя цвета, разницы видимого блеска в фильтрах, (i-y) каталога Pan-STARRS PS1 обладает перспективой для эффективного выделения коричневых карликов среди других

объектов в указанных обзорах.

4. С помощью моделей классического машинного обучения, а именно моделей, реализующих алгоритм бустинга (XGBoost, CatBoost, LightGBM), из полной выборки эффективных температур Gaia GSP-Phot в 471 миллионов объектов были выбраны только объекты с температурами, имеющие отклонение от эталонных температур в пределах 250K. Согласно сделанным оценкам, в каталоге Gaia GSP-Phot около 66% (313 миллионов) объектов обладают надежными оценками эффективной температуры.

Обоснованность научных положений

Обоснованность научных положений подтверждается согласием полученных результатов с результатами работ, полученными другими методами в литературных источниках.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации

Все результаты, представленные в настоящей работе, получены соискателем лично, либо совместно с соавторами.

Степень достоверности результатов проведенных соискателем ученой степени исследований

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием актуальных астрометрических, спектроскопических и фотометрических данных, а также применением известных методов статистического анализа и машинного обучения. Достоверность полученных выводов подтверждается через сопоставление с результатами предыдущих исследований, опубликованных другими авторами.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в использовании новых данных спектроскопических обзоров для вычисления собственных показателей цвета, использовании самой актуальной переписи ближайших коричневых карликов для составления цветовых правил отбора и первым применением алгоритмов машинного обучения к задаче об идентификации коричневых карликов среди объектов других классов, что делает все полученные в ходе работы результаты новыми. Также впервые был разработан метод оценки качества эффективных температур, представленных в каталоге Gaia DR3 в модуле GSP-Phot. С помощью машинного обучения получены флаги качества для этих эффективных температур.

Теоретическая значимость

На основе данных обзоров RAVE и LAMOST был исследован метод определения поглощения с использованием данных спектроскопических обзоров. Показано, что метод определения собственных показателей цвета с использованием эффективной температуры, предоставленной спектроскопическими обзорами, хорошо согласуется со значениями поглощения известными из литературы. Была показана возможность и перспективы применения моделей машинного обучения к выделению коричневых карликов в фотометрических обзорах WISE, 2MASS и Pan-STARRS. Кроме того, показано, что глубина обзора Gaia недостаточна для полного обнаружения всех коричневых карликов в Галактике. Показана возможность получения флагов качества для эффективных температур модуля GSP-Phot каталога Gaia с помощью данных спектроскопических обзоров, а также методов машинного обучения.

Практическая значимость результатов проведенных соискателем ученой степени исследований

В ходе выполнения работы были получены результаты, имеющие важную практическую значимость. Были разработаны точные фотометрические правила для отбора коричневых карликов из данных обзоров DES, 2MASS и WISE. Фотометрические правила разработаны для трех семейств коричневых карликов, что позволяет сразу проводить предварительную классификацию между ранними и поздними спектральными классами коричневых карликов. При анализе разработанных моделей машинного обучения было найдено, что коричневые карлики показывают сильные отличия от других спектральных классов в показателе цвета $(i-y)$, а именно $(i-y) > 1.88$ является более эффективным цветовым правилом отбора для коричневых карликов в сравнении с аналогичными правилами из литературы (таких, например, как $(z-J) > 2.5$ и $(i-z) > 1.4$). В рамках изучения эффективных температур каталога Gaia DR3 GSP-Phot были созданы флаги качества для эффективных температур с помощью моделей машинного обучения, которые позволяют эффективно выделять наиболее качественные значения температур каталога Gaia DR3 GSP-Phot. Большая выборка надежных эффективных температур звезд необходима, например, для исследования характеристик различных звездных популяций.

Апробация работы

Основные положения и результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на российских и международных конференциях, в том числе:

1. Авдеева А.С., Ковалева Д.А., Малков О.Ю., Некрасов А.Д. «Определение параметров межзвездного поглощения в высоких галактических широтах», Всероссийская конференция с международным участием «Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2021: Астрономия в эпоху многоканальных исследований», 23.08-28.08.2021, устный доклад, онлайн.
2. Авдеева А.С., Ковалева Д.А., Малков О.Ю., Некрасов А.Д. «Процедура аппроксимации для оценки межзвездного поглощения на высоких галактических широтах», Всероссийская конференция «Ежегодная конференция молодых ученых Института астрономии РАН», 16.11.2021, устный доклад, онлайн.
3. Avdeeva A.S., Kovaleva D.A., Malkov O.Yu. "Combining Gaia, LAMOST and RAVE data for the determination of interstellar extinction", International Workshop "Stellar Spectroscopy and Astrophysical Parameterization from Gaia to Large Spectroscopic Surveys", 21.09 – 23.09.2021, talk, online.
4. Avdeeva A.S., Karpov S.V., Malkov O.Yu. "Cross-matching of high proper motion L, T & Y brown dwarfs with large photometric surveys", XXIV International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID), 04.10-07.10.2022, talk, Saint-Petersburg, ITMO.
5. Avdeeva A.S. "Machine learning methods for the search for L&T brown dwarfs in the data of modern sky surveys", 31.10-04.11.2022, XXXII International Conference on Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS), talk, online.
6. Авдеева А.С., Карпов С.В., Малков О.Ю. «Поиск коричневых карликов в больших фотометрических обзорах», XII Всероссийская Конференция Современная звездная астрономия, 08.11-11.11.2022, устный доклад, КГО, ГАИШ, Карачаево-Черкесия.
7. Авдеева А.С., Ковалева Д.А., Малков О.Ю. «Независимая проверка оценок эффективной температуры в каталоге Gaia DR3», Всероссийская конференция с

международным участием «Физика звёзд: теория и наблюдения», 26.06-30.06.2023, устный доклад, ГАИШ МГУ, Москва.

8. A. Avdeeva, D. Kovaleva, O. Malkov "Assessing the Reliability of Gaia DR3 Effective Temperatures", XXV International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID), 24.10-27.10.2023, Moscow, HSE University.

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 5 работах общим объемом 3.25 п.л.; личный вклад автора составляет 2.25 п.л.

Научная публикация	Личный вклад	Публикация входит в		
		международные базы данных и системы цитирования (Web of Science/ Scopus/ MathSciNet...)	Список рекомендованных журналов НИУ ВШЭ**	Перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК
1. A. Avdeeva et.al. Quality flags for GSP-Phot Gaia DR3 astrophysical parameters with machine learning: Effective temperatures case study // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2024. Vol. 527. No. 3. P. 7382-7393	в соавт., 0,75 п.л.	Web of Science, Q1, Scopus, Q1	да, список А	да
2. A. Avdeeva. Machine learning methods for the search for L&T brown dwarfs in the data of modern sky surveys // Astronomy and Computing. 2023. Vol. 45. Article 100744	0,75 п.л.	Web of Science, Q3, Scopus, Q2	да, список С	да
3. A. Avdeeva et.al. Searching for Brown Dwarfs in Large Photometric Surveys: WISE, 2MASS, and DES // Astrophysical Bulletin. 2023. Vol. 78. No. 2. P. 209-216	в соавт., 0,25 п.л.	Web of Science, Q3, Scopus, Q3	да, список С	да
4. Malkov, O. Y. et.al. Interstellar Extinction at High Galactic Latitudes: An Analytical Approximation // Astronomy Reports. 2022. Vol. 66. No. 7. P. 526-534	в соавт., 0,25 п.л.	Web of Science, Q4, Scopus, Q3	да, список С	да
5. A.Avdeeva et.al. Fitting	в соавт.,	Web of Science,	да,	да

procedure for estimating interstellar extinction at high galactic latitudes // Open Astronomy. 2021. Vol. 30. Issue 1. P. 168-175	0,25 п.л.	Q4, Scopus, Q3	список С	
---	-----------	----------------	----------	--

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают её основные положения.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикациями в ведущих международных рецензируемых изданиях.

Диссертация Авдеевой Александры Сергеевны на тему: «Исследование параметров звёзд и определение межзвёздного поглощения по данным больших современных обзоров неба» – это законченная научно-квалификационная работа, которая соответствует: требованиям пунктов 9, 10, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а также Паспорту научной специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

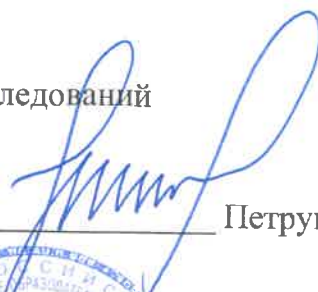
Диссертация Авдеевой Александры Сергеевны на тему: «Исследование параметров звёзд и определение межзвёздного поглощения по данным больших современных обзоров неба» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Заключение принято на заседании базовой кафедры физики космоса Института космических исследований Российской академии наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», протокол № 1 от 30 мая 2024 г.

Присутствовало на заседании 9 человек. Участвовало в голосовании 9 человек.

Результаты голосования: «за» – 9 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек.

Заведующий базовой кафедрой физики космоса
Института космических исследований
Российской академии наук
факультета физики НИУ ВШЭ,
директор Института космических исследований
Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН



Петрукович Анатолий Алексеевич

Подпись заверяю

Специальный (административный) отдел
отдела по кадровому администрированию
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
АГЕЕВА Ю. И.




ПРИСУТСТВОВАЛИ:

1. Петрукович Анатолий Алексеевич, заведующий базовой кафедрой физики космоса при ИКИ РАН факультета физики НИУ ВШЭ, директор ИКИ РАН, д.ф.-м.н., чл.-корр РАН
2. Балюкин Игорь Игоревич, доцент базовой кафедры физики космоса при ИКИ РАН факультета физики НИУ ВШЭ, н.с. ИКИ РАН, к.ф.-м.н.
3. Позаненко Алексей Степанович, доцент базовой кафедры физики космоса при ИКИ РАН факультета физики НИУ ВШЭ, зав. лаб. ИКИ РАН, к.ф.-м.н.
4. Сазонов Сергей Юрьевич, профессор базовой кафедры физики космоса при ИКИ РАН факультета физики НИУ ВШЭ, зав. лаб. ИКИ РАН, д.ф.-м.н.
5. Моисеенко Сергей Григорьевич, профессор базовой кафедры физики космоса при ИКИ РАН факультета физики НИУ ВШЭ, зав. отделом ИКИ РАН, д.ф.-м.н.
6. Попель Сергей Игоревич, профессор базовой кафедры физики космоса при ИКИ РАН факультета физики НИУ ВШЭ, зав. лаб. ИКИ РАН, д.ф.-м.н.
7. Малков Олег Юрьевич, зав. отделом ИНАСАН, д.ф.-м.н.
8. Бобылев Вадим Вадимович, зав. лаб. ГАО РАН, д.ф.-м.н.
9. Дамбис Андрей Карлович, зав. отделом. ГАИШ МГУ, д.ф.-м.н.

Рецензенты:

д.ф.-м.н., профессор Бобылев Вадим Вадимович, заведующий лабораторией динамики Галактики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук (ГАО РАН).

д.ф.-м.н. Дамбис Андрей Карлович, заведующий отделом астрометрии и службы времени Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ).

ХОД ОБСУЖДЕНИЯ:

д.ф.-м.н. Петрукович А.А. (председатель заседания)

На повестке дня: предзащита диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук Авдеевой Александрой Сергеевной на тему: «Исследование параметров звёзд и определение межзвёздного поглощения по данным больших современных обзоров неба».

Научный руководитель д.ф.-м.н., Малков Олег Юрьевич, заведующий отделом Института Астрономии РАН, присутствует на заседании онлайн.

Рецензенты д.ф.-м.н., профессор Бобылев Вадим Вадимович (ГАО РАН) и д.ф.-м.н. Дамбис Андрей Карлович (ГАИШ МГУ) также присутствуют на заседании онлайн.

Необходимый кворум для проведения заседания имеется. Слово предоставляется соискателю для краткого изложения основных положений и выводов диссертации. Александра Сергеевна, у вас двадцать минут, постарайтесь уложиться.

Авдеева А.С. (излагает основные положения диссертационной работы).

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Какие будут вопросы по докладу?

д.ф.-м.н. Сазонов С.Ю.

Какие именно объекты на диаграммах можно спутать с коричневыми карликами?

Авдеева А.С.

Это красные карлики спектрального класса М, квазары.

д.ф.-м.н. Сазонов С.Ю.

Но квазары только с большим z , это не должно быть большой проблемой, так как их мало.

Авдеева А.С.

Да, согласна, в основном это красные карлики, галактики и переменные типа Миры, мириды.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

На слайде 24 что такое b ? d ?

Авдеева А.С.

d - это расстояние на луче зрения, b - галактическая широта.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Вы говорите про хи-квадрат, но ничего про то, какая нулевая гипотеза, какая альтернативная, какова вероятность отвергнуть нулевую гипотезу. У Вас альтернативная гипотеза есть?

Авдеева А.С.

Нет, у нас только одна модель, и мы находим её параметры минимизацией функции.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

У вас на слайде написано, что между двумя решениями выбирается то, которое даёт наименьшее хи-квадрат. Что имеется в виду?

Авдеева А.С.

Два метода минимизации одной и той же функции. Могут получаться немного разные параметры.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Вы говорите хи-вадрат, но это нельзя просто так говорить. Есть определённые практики, назовите это тогда по-другому.

Авдеева А.С.

Да, хорошо, спасибо.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Про коричневые карлики вы не смотрели, почему именно с i -у получается такой хороший результат? Всё-таки близкие полосы.

Авдеева А.С.

Они не совсем близкие.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Они близкие. Может за этим какая-то физика стоит, может там линии какие-то или ещё что-то?

Авдеева А.С.

Нет, не смотрела.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

То есть у вас феноменология. Это, конечно, важно, но интересно посмотреть, почему так.

Авдеева А.С.

Да, хорошо, спасибо.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Также Вы говорите, что для классификации использовались все параметры Gaia, но ее понятно зачем Вам, например, параллаксы.

Авдеева А.С.

Параллаксы использовались для классификации хороших и плохих температур, так как модуль `gsp phot` полагается на эти данные при оценке температур и также известно, что фотометрия, например, определяется хуже для далёких звёзд и другие параметры тоже, поэтому это может влиять на оценку температур.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Вы же все параметры Gaia используете в качестве признаков? Вы проводили какое-то понижение размерности пространства параметров?

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Сколько параметров Вы используете для обучения?

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Параметров Gaia очень много.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Соискатель сколько использовала?

Авдеева А.С.

Конечно, не все параметры Gaia использовалась. Фотометрия, блески и показатели цвета, параллакс, ошибки измерения этих величин, некоторые параметры, отвечающие за качество астрометрического решения, например, *ruwe*, который, в числе прочего, может быть индикатором двойственности объекта.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Сколько всего?

Авдеева А.С.

Порядка 15 параметров, точно число сейчас не скажу.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Вы не пробовали выкидывать какие-либо из параметров?

Авдеева А.С.

Я пробовала добавлять, но результата это не приносило, и я оставляла эти 15.

д.ф.-м.н. Моисеенко С.Г.

Вы проводите классификацию карликов, а как-то оценить этот результат можно? Насколько хорошо работает Ваш метод?

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Это необходимо проверять на известном наборе данных.

Авдеева А.С.

Для второй главы такая оценка есть, вот рисунок на слайде, но это на конкретном наборе данных, конечно.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

По температурам, Вы говорите, показано, что 66% имеют надёжную температуру. Эта оценка получена на каком-то известном наборе данных, или Вы получили модель на ограниченном наборе и потом экстраполировали на все данные?

Авдеева А.С.

Нет, это проверено только на тех данных, которые есть. Для всех данных Gaia у нас конечно нет проверки

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Тогда написать нужно по-другому.

Авдеева А.С.

Да, согласна, спасибо.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Вы говорите, что температуры сравниваете с результатами обзоров высокого разрешения, но зачем вам высокое разрешение, если температуры определяются по континууму, а не по линиям?

Авдеева А.С.

По линиям.

к.ф.-м.н. Позаненко А.С.

Разве?

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Может научный руководитель пояснит. Давайте дадим слово научному руководителю.

д.ф.-м.н. Малков О.Ю. (научный руководитель)

Аспирантка работала добросовестно с высокой степенью самостоятельности, я работой полностью доволен, результаты получены достойные. По поводу вопроса про эффективные температуры, для нас высокое разрешение не является существенным. Если у аудитории есть ещё какие-то вопросы, я отвечу.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Позиция научного руководителя понятна. Теперь переходим к рецензентам.

Рецензенты Бобылев В.В. и Дамбис А.К. зачитывают положительные отзывы.

д.ф.-м.н. Петрукович А.А.

Мнения рецензентов понятны.

Уважаемые коллеги, предлагается рекомендовать диссертацию Авдеевой Александры Сергеевны к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Кто за? (9 голосов). Кто против? Нет. Воздержался? Нет. Диссертация Авдеевой А.С. рекомендуется к защите единогласно.