

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д501.001.86,
созданного на базе Московского государственного университета имени
М.В.Ломоносова, по диссертации на соискание ученой степени
кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **20 октября 2016 г. № 142**

О присуждении **Ситновой Татьяне Михайловне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Разработка не-ЛТР методов определения фундаментальных параметров и химического состава атмосфер звёзд спектральных классов от В до К» по специальности «01.03.02 - астрофизика и звёздная астрономия»

принята к защите 6 июня 2016 г., протокол № 137, диссертационным советом Д501.001.86, созданным на базе Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1 (приказы Минобрнауки РФ о полномочиях диссертационного совета от 11.04.2012 №105-нк и 14.11.2013 №677.нк).

Соискатель **Ситнова Татьяна Михайловна**, 1990 года рождения, в **2012** году окончила астрономическое отделение физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «Астрономия», в **2016** году окончила очную аспирантуру физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности 01.03.02 - астрофизика и звёздная астрономия.

Диссертация выполнена на кафедре астрофизики и звёздной астрономии физического факультета ФГБОУ ВПО Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители: доктор ф.-м. н. Машонкина Людмила Ивановна, заведующая отделом нестационарных звёзд и звёздной спектроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт астрономии Российской академии наук», а также академик РАН Черепашук Анатолий Михайлович, директор Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга ФГБОУ ВПО Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова;

Официальные оппоненты:

Лившиц Моисей Айзикович, гражданин РФ, доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник гелиофизической лаборатории ФГБУН Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова РАН;

Сахибуллин Наиль Абдуллович, гражданин РФ, доктор физ.-мат. наук, профессор, руководитель отделения астрофизики и космической геодезии Института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский федеральный университет";

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация «ФГБУН Крымская астрофизическая обсерватория РАН» в своем положительном заключении, подписанном гражданином РФ, доктором физ.-мат. наук, Любимковым Леонидом Сергеевичем, указала, что работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – **Ситнова Татьяна Михайловна** – заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.03.02 - астрофизика и звёздная астрономия». Заключение утвердила гражданка РФ, кандидат физ.-мат. наук, ВрИО директора ФГБУН КрАО РАН Ростопчина-Шаховская Алла Николаевна.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, **6** из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах из списка ВАК.

1. Sitnova, T., Zhao, G., Mashonkina, L., Chen, Y., Liu, F., Pakhomov, Yu., Tan, K., Bolte, M., Alexeeva, S., Grupp, F., Shi, J.-R., Zhang, H.-W., *Systematic Non-LTE Study of the $-2.6 < [Fe/H] < 0.2$ F and G dwarfs in the Solar Neighborhood. I. Stellar Atmosphere Parameters*, **The Astrophysical Journal**, Volume 808, Issue 2, article id. 148, 17 pp., (2015).

2. Sitnova, T., Mashonkina L., Ryabchikova, T., *A non-LTE line formation for neutral and singly ionised titanium in model atmospheres of the reference A-K stars*, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 461, pp. 1000-1011, (2016).

3. Ryabchikova, T., Piskunov, N., Pakhomov, Yu., Tsymbal, V., Titarenko, A., Sitnova, T., Alexeeva, S., Fossati, L., Mashonkina, L., *Accuracy of atmospheric parameters of FGK dwarfs determined by spectrum fitting*, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 456 (2): 1221-1234, (2015).

4. Ситнова Т. М., Машонкина Л. И., Рябчикова Т. А., *Влияние отклонений от ЛТР на определение содержания кислорода в атмосферах звезд спектральных классов А-К*, **Письма в Астрономический Журнал**, 39, 2, с.126-140, (2013).

5. Ситнова Т. М., Машонкина Л. И., *Вклад r- и s-процессов в содержание тяжёлых элементов у звезды гало HD 29907*, **Письма в Астрономический Журнал**, том 37, No 7, с. 525–544, (2011).

6. Машонкина Л. И., Ситнова Т. М., Пахомов Ю. В., *Влияние отклонений от ЛТР на определение содержания кальция, титана и железа у холодных гигантов разной металличности*, **Письма в Астрономический Журнал**, том 42, No 9, с. 606–615 (2016).

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают результаты, полученные соискателем. В работе 1 соискателем проведены не-ЛТР расчёты для Fe I-II, измерение и анализ содержания по линиям железа, выбор параметров моделей атмосфер и их проверка с помощью эволюционных треков. В работе 3 соискателем проведены не-ЛТР расчёты для Ti I-II и рассчитаны не-ЛТР поправки к содержанию титана по отдельным линиям для звёзд выборки. В работе 5 содержание всех элементов, кроме свинца определено соискателем. В работах 2 и 4 соискателем получены

результаты и написан текст. В работе 6 соискателем рассчитаны не-ЛТР поправки к содержанию для линий титана.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы и высказаны следующие замечания:

а) *Замечания ведущей организации:* В первой главе кратко обсуждаются методические вопросы, связанные с расчетами синтетических спектров, а также спектральных линий при отказе от условия ЛТР (локальное термодинамическое равновесие). Кратко описаны методы определения двух фундаментальных параметров – эффективной температуры T_{eff} и ускорения силы тяжести на поверхности $\log g$. К сожалению, здесь не упомянут самый точный метод оценки параметра $\log g$ для достаточно близких звезд – по тригонометрическому параллаксу. Достоинством последнего метода, кроме высокой точности, является то, что здесь определение $\log g$ очень слабо зависит от принятого значения T_{eff} .

На примере трех А-звезд ГП с хорошо известными параметрами – Вега, Сириус и HD 32115 – продемонстрировано, как учет отклонений от ЛТР приводит к резкому уменьшению расхождений в содержании кислорода между линиями O I в видимой и ИК области. Наряду с А-звездами ГП, было бы интересно провести аналогичное исследование для А-сверхгигантов, где этот эффект должен быть выражен сильнее.

Можно сделать замечание, касающееся сравнения полученных содержаний кислорода (глава 4) с моделями химической эволюции Галактики. Хотя в диссертации рассматриваются звезды в окрестности Солнца, все-таки следовало бы упомянуть, что существует градиент в содержании кислорода вдоль радиуса Галактики (см., например, S.A.Korotin et al., MNRAS, 444, 3301, 2014). Как известно, подобные градиенты являются важнейшим тестом в проверке моделей химической эволюции Галактики. Маленькое замечание касается списка литературы: здесь дважды дана ссылка на одну и ту же работу, см. № 57 и № 230.

б) *Замечания д.ф.-м.н. Лившица М. А.:* 1. В диссертации речь идёт о величине распространённости элементов с достижимой сегодня высокой точностью и о различии эффективных температур звёзд порядка 10 К. Это уже требует рассмотрения или хотя бы упоминания об эффектах, которые также следовало бы учитывать при таком анализе. Речь идёт о вкладе активности – пятен и факелов - в излучение G-K карликов, роли FIP (первого ионизационного потенциала) – эффекта. Влияние активности учитывается сейчас в работах по поиску экзопланет (см. например, Herrero, E. et al. Astronomy & Astrophysics, 586, id.A131, 19 pp. (2016) и ссылки там).

2. Результаты главы 4 диссертации можно рассматривать как определённое дополнение к очень важной, с моей точки зрения, статье Ситновой Т.М. и др. (ссылка 69 диссертации). Однако звезда гало HD 29907 обладает самым большим ускорением силы тяжести из рассмотренных там 51 карлика и субгигантов. Это

необходимо было отметить в тексте диссертации. Разумеется, последнее предложение диссертации показывает, что автор понимает, что без серьёзного включения изучения FG гигантов в широком диапазоне $[Fe/H]$ серьёзно рассматривать эволюцию химического состава Галактики очень трудно.

3. Работа оформлена хорошо. Однако некоторые рисунки – рис. 2.5 справа и другие - при воспроизведении в черно-белом виде воспринять практически невозможно. Весь список литературы дан в англоязычном варианте, вместо номера статей (Article id.) указано страница (P., см. ссылку 69 и др). Можно отметить несколько опечаток: на стр. 4 пропущен предлог в тексте «в 1142 работах», слово «зря» вместо «для» на стр. 22.

в) *Замечания д.ф.-м.н. Сахибуллина Н.А.:* - не дано объяснение разнообразию использованных моделей атмосфер в разных главах диссертации (модели Куруца, Густафссона и др.);

- к сожалению, в 1 главе не приведены аргументы в пользу выбора определенных методов не-ЛТР расчетов и отсутствует описание использованных моделей атмосфер.

Остальные замечания носят технический характер.

Указанные выше недостатки не снижают общей высокой оценки проведенной работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации

обосновывается их высокой квалификацией и большим опытом работы в области анализа звёздных атмосфер.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработана методика определения параметров атмосфер (эффективная температура, ускорение силы тяжести, металличность, микротурбулентная скорость) для FG-карликов по линиям нейтрального и ионизованного железа (Fe I, Fe II) с учётом отклонений ЛТР, а также с использованием данных фотометрии, тригонометрических параллаксов и эволюционных треков. Методика протестирована на 20 звёздах в широком диапазоне металличности, с $-2.5 < [Fe/H] < 0.1$ и параметрами атмосфер, определёнными спектроскопическими методами.
- Определены параметры атмосфер 51 FG-карлика с $-2.6 < [Fe/H] < 0.2$. При использовании эффективной температуры, полученной методом инфракрасного потока, и ускорения силы тяжести, вычисленному по тригонометрическому параллаксу со спутника Hipparcos, в не-ЛТР выполняется ионизационное равновесие Fe I/Fe II в пределах 0.06 dex.
- Построена многоуровневая модель атома Ti I-II с учетом всех как

лабораторных, так и теоретически предсказанных уровней и с применением квантово-механических сечений фотоионизации для Ti I и Ti II. Разработанный метод оттестирован в широком диапазоне параметров атмосфер.

- Впервые проведены не-ЛТР расчёты статистического равновесия Ti I-II для A-звёзд. Показано, что в не-ЛТР у A-V звёзд достигается согласие содержания по линиям Ti I и Ti II, уменьшается разброс содержания по линиям внутри каждой стадии ионизации.
- Применены квантово-механические сечения столкновений с электронами для расчёта статистического равновесия нейтрального кислорода. Усовершенствованный метод впервые был применен к звёздам спектрального класса A, и в не-ЛТР получено согласие содержания по разным линиям O I.
- Проведен детальный анализ содержания 22 элементов нейтронных захватов от Sr до Yb у звезды гало HD 29907. Показано, что происхождение Ba-Yb у этой звезды связано с r-процессом, а вклад звезд асимптотической ветви гигантов в обогащение межзвездной среды тяжелыми элементами в эпоху с $[Fe/H] = -1.55$ если и был, то был незначительным, на уровне ошибки определения содержания.
- Впервые определено не-ЛТР содержание титана у 50 звёзд с $-2.6 < [Fe/H] < 0.2$ и уточнена зависимость $[Ti/Fe]$ от $[Fe/H]$. Отношение $[Ti/Fe]$ растёт от 0 до 0.3 dex с понижением металличности от $[Fe/H] = 0.2$ до -0.8 dex и сохраняется неизменным на меньших $[Fe/H]$, что говорит о связи синтеза титана с α -процессом.
- Определено содержание кислорода у 46 звёзд с $-2.6 < [Fe/H] < 0.2$ с помощью усовершенствованного метода. Уточнена зависимость $[O/Fe]$ от $[Fe/H]$. Подтверждено поведение кислорода как α -элемента с величиной избытка $[O/Fe] = 0.61 \pm 0.05$ dex при $[Fe/H] < -0.9$ dex.

Научная и практическая значимость. Полученные параметры атмосфер уже применены для определения содержания 17 элементов у выборки звёзд в рамках российско-китайского проекта "Систематическое не-ЛТР исследование содержания элементов от Li до Eu у близких звёзд-карликов". Преимущество полученных результатов в однородности выборки звёзд, параметрах, определённых единым методом, а также содержания, полученном с учётом отклонений от ЛТР с использованием самых современных атомных данных, что в конечном итоге ведёт к более точному определению элементных соотношений и меньшему разбросу содержания элементов у звёзд с близкой металличностью по сравнению с данными из литературы. Выборка FG-карликов с хорошо определёнными параметрами может применяться для тестирования автоматических методов определения параметров атмосфер и химического состава звезд. В работе показано, что разработанные не-ЛТР методы определения

содержания по линиям O I, Ti I и Ti II применимы для звёзд от поздних В до К и могут быть использованы для решения разных задач. Точное содержание титана и кислорода у FG-звёзд с $-2.6 < [Fe/H] < 0.2$ может быть использовано для сравнения с предсказаниями моделей химической эволюции Галактики. Содержание кислорода в атмосферах звезд является важной величиной для проверки сценариев химической эволюции Галактики, а также теории строения и эволюции звезд. Полученное в этой работе содержание кислорода в атмосфере Солнца на 0.09 dex превышает значение, полученное Асплундом и др. 2009, но на 0.08 dex меньше того, которое нужно для согласования теоретических и наблюдаемых профилей плотности и скорости звука. Линии нейтрального и ионизованного титана наблюдаются у звезд в широком диапазоне спектральных классов и могут служить для определения параметров звездных атмосфер спектроскопическим методом.

Достоверность полученных результатов неоднократно подтверждалась рецензентами основных астрономических журналов в России и за рубежом. Автору удалось в полной мере продемонстрировать использование современных наблюдательных данных и апробированных методов их анализа для получения надёжных астрофизических выводов. В сопоставимых случаях результаты Ситновой Т.М. подтверждаются выводами других авторов серьёзных работ.

На заседании **20 октября 2016 г.** Диссертационный совет принял решение присудить Ситновой Т.М. ученую степень *кандидата физ.-мат. наук*.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **21** человека, из них **13** докторов наук по специальности **01.03.02**, участвовавших в заседании, из **24** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - **21**, против - **нет**, недействительных бюллетеней нет.

Председатель

Диссертационного совета

А.М.Черепашук

Ученый секретарь

Диссертационного совета

С.О.Алексеев

«20» октября 2016 года