

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Татьяны Михайловны Ситновой

**«Разработка не-ЛТР методов определения
фундаментальных параметров и химического состава
атмосфер звезд спектральных классов от В до К»,
представленной на соискание ученой степени**

кандидата физико-математических наук

Как известно, активные исследования химического состава звезд начались в 1960-х годах, что было связано с переходом к новой методике анализа звездных спектров (метод моделей атмосфер) и с все более широким внедрением компьютеров в такие исследования. За прошедшие 50 лет был получен огромный материал о содержании химических элементов в звездах разных типов, разных возрастов и с разным расположением в Галактике. Чтобы осмыслить эти данные, астрономы около 30 лет назад начали строить модели химической эволюции Галактики. Благодаря этому удалось объяснить ряд важных особенностей в химическом составе звезд тонкого и толстого дисков Галактики и галактического гало, например, существование радиального градиента в содержаниях ряда элементов в тонком диске.

Несмотря на достигнутые успехи в сопоставлении эмпирических данных и теоретических моделей, сегодня еще остается множество нерешенных проблем, поэтому исследования в этой области по-прежнему актуальны. Очевидно, что для достижения существенного прогресса необходимо, прежде всего, совершенствовать методику исследований, повышая точность определения фундаментальных параметров звезд, а затем и содержаний химических элементов. Далее, для некоторых типов звезд данные о химическом составе весьма бедны, и здесь необходимы дополнительные спектральные наблюдения хорошего качества. Полученные высокоточные

содержания элементов следует сравнивать с последними моделями химической эволюции Галактики. Все эти вопросы находятся в центре внимания диссертации Т.М.Ситновой, поэтому тему диссертации, несомненно, следует признать **актуальной**.

Диссертация Т.М. Ситновой состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 277 работ, а также приложения.

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} .

Во второй главе изложен собственный метод автора диссертации, основанный на не-ЛТР анализе линий FeI и FeII и применяемый для определения следующих параметров: эффективная температура T_{eff} , ускорение силы тяжести $\log g$, индекс металличности [Fe/H] и скорость микротурбулентности ξ_t . Этим новым методом найдены параметры 51 близкого к Солнцу FGK-карлика в интервале величин [Fe/H] от -2.6 до +0.2. Надежность этого метода подтверждена путем тестирования 20 звезд-стандартов с хорошо известными базисными параметрами.

В третьей главе не-ЛТР подход применен для анализа линий нейтрального и ионизованного титана Ti I и Ti II и линий нейтрального кислорода O I. Построена усовершенствованная модель атома Ti I-II, которая положена в основу дальнейших не-ЛТР расчетов. Впервые проведены такие расчеты для линий Ti I-II для звезд с температурами $T_{\text{eff}} = 6500-13000$ К;

показано, что в случае А-звезд не-ЛТР поправка в содержании титана может достигать 0.2 dex.

Не-ЛТР расчеты линий O I, выполненные в главе 3 с использованием современных атомных данных, привели к выводу, что для звезд главной последовательности не-ЛТР поправки в содержании кислорода малы в случае линий в видимой области спектра, но достигают величины -1.9 dex в случае линий в инфракрасной области. Показано, что отклонения от ЛТР усиливаются с ростом температуры T_{eff} и с уменьшением ускорения силы тяжести $\log g$. 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.

Четвертая глава интересна тем, что в ней проводится сравнение с современными моделями химической эволюции Галактики. В начале главы детально изучено содержание 22 тяжелых элементов от Sr до Pb в атмосфере звезды гало HD 29907 с величиной $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.55$. Такое исследование представляет интерес для выяснения относительного вклада r-процесса и s-процесса в химическую эволюцию Галактики. Показано, что происхождение элементов от Ba ($Z=56$) до Yb ($Z=70$) у звезды HD 29907 связано с r-процессом. Сделан вывод, что вклад звезд АВГ в обогащение межзвездной среды тяжелыми элементами в эпоху с $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.55$ был незначительным.

Во второй части 4 главы определено не-ЛТР содержание кислорода и титана для 50 FGK-карликов в диапазоне индекса металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$ от -2.6 до +0.2 (звезды в окрестности Солнца). Исследованы зависимости $[\text{O}/\text{Fe}]$ и $[\text{Ti}/\text{Fe}]$ от $[\text{Fe}/\text{H}]$. Найдено, что величина $[\text{O}/\text{Fe}]$ повышается от -0.2 до 0.6 при понижении $[\text{Fe}/\text{H}]$ от 0.2 до -0.8, сохраняя постоянное значение при дальнейшем понижении $[\text{Fe}/\text{H}]$. Похожее поведение (качественно) показывает и величина $[\text{Ti}/\text{Fe}]$. Выполнено сравнение с моделями

химической эволюции Галактики. Полученные данные подтверждают, что синтез титана, как и синтез кислорода, связан с α -процессом.

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.

Новизна данной работы может быть охарактеризована с двух сторон. Одна сторона – это новое в методике исследований. В частности, предложен новый метод определения базисных параметров звезд, основанный на не-ЛТР анализе линий FeI и FeII. Построена новая детальная модель атома Ti I-II с учетом последних атомных данных и существенно усовершенствована модель атома O I. Другая сторона – это новые результаты. Они касаются не-ЛТР анализа содержаний титана и кислорода у 50 карликов в окрестности Солнца, а также детального исследования звезды гало HD 29907. Эти результаты представляют несомненный интерес для астрофизики.

Результаты диссертации могут быть использованы в следующих научных учреждениях Российской Федерации, где проводятся исследования по близкой тематике: Институт Астрономии РАН, САО РАН, КрАО РАН, ГАО РАН, ГАИШ МГУ, Санкт-Петербургский университет, Казанский университет.

Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в 7 статьях, опубликованных в таких широко известных рецензируемых журналах как *Astrophysical Journal* (1 статья), *Monthly Notices of Royal Astronomical Society* (2 статьи) и *Письма в Астрономический Журнал* (4 статьи).

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. Диссертация Т.М.Ситновой является законченным научным исследованием.

Из сказанного следует, что Ситнова Татьяна Михайловна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.03.02 –Астрофизика и звездная астрономия».

27 сентября 2016 г.

Л.С. Любимков



Доктор физ.- мат. наук

Зав. лабораторией

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Тел. +7 978 015 7603

E-mail: lyub@craocrimea.ru

Отзыв ведущей организации утверждаю:

Врио директора ФГБУН «КраО РАН»

А.Н. Ростопчина-Шаховская


