

Утверждаю
Проректор по научной
деятельности ФГАОУ ВО
"Казанский (Приволжский)
федеральный университет"

проф. Нурталиев Д.К.

"25" сентября 2017 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Алексеевой Софьи Александровны
"Определение содержания углерода и натрия
у звезд спектральных классов В-К с учетом отклонений
от локального термодинамического равновесия",
представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02-Астрофизика и звездная астрономия

Метод моделирования к настоящему времени превратился в один из мощных инструментов при исследовании астрономических объектов с целью установления их физического состояния и объяснения процессов, происходящих на них. Применительно к изучению звезд и к объяснению механизмов образования их спектров таким методом является моделирование структуры звездных атмосфер с последующим определением теоретического спектра и сравнением с наблюдениями. В настоящее время этот метод практически освобожден от ряда физически необоснованных предположений, заложенных в 20 веке. Такой метод кратко именуется как не-ЛТР подход (не Локально Термодинамическое Равновесие). Только в результате применения к изучению звезд этого метода, гарантирующего большую обоснованность получаемых результатов (например, химического содержания элементов), можно надеяться на прогресс в более глубоком понимании звездного нуклеосинтеза, этапов звездной эволюции и химической эволюции Галактики. Не менее важным является также то, что не-ЛТР моделирование позволяет дать интерпретацию ряда наблюдаемых явлений (например, появление эмиссионных линий в спектрах звезд-карликов), что невозможно сделать на основе традиционного ЛТР подхода. Решению этих двух актуальных фундаментальных проблем посвящена рецензируемая диссертация.

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, Заключения и списка цитируемой литературы, отраженных на 145 страницах текста.

Во Введении автор обосновывает актуальность, задачи и цели исследования. Приведены сведения о новизне и возможные практические следствия исследования и положения, выносимые на защиту, их апробация и список публикаций диссертанта.

Глава 1 излагает сведения об основных программных комплексах, используемых при решении поставленных научных задач, а также описание моделей атмосфер в одномерном приближении.

В Главе 2 акцент исследования сделан на изучении спектральных линий C I - C II , которые в атмосферах А-В звезд могут быть в эмиссии, несмотря на достаточно большие значения ускорения силы тяжести ($\log g=4$). В Главе подчеркивается важность использования точных атомных данных. Использование приближенных данных может привести к физически необоснованным результатам с последующим противоречием с наблюдениями.

Глава 3 имеет дело уже с определением содержания углерода для выборки звезд. Автором на основе оригинальных расчетов приведены результаты, которые свидетельствуют о наличии расхождений при использовании традиционного ЛТР подхода и используемого не-ЛТР метода.

В Главе 4 предметом исследования являются линии натрия Na I . Благодаря учету отклонений от ЛТР были разрешены некоторые противоречия, имевшие место для звезд красных гигантов и карликов, принадлежащих тонкому и толстому дискам Галактики.

В Главе 5 автор по исследованиям элементных соотношений в атмосферах 51 F-G-K карликов решает вопрос о обогащении тяжелыми элементами межзвездной среды и вопрос о возможных ограничениях на существующие модели химической эволюции Галактики.

В Заключении приведены основные научные результаты диссертации.

Отметим главные научные результаты автора. В диссертации исследован значительный объем спектральных наблюдений с применением высокоточных атомных данных и методики не-ЛТР моделирования, считающейся одной из самых корректных в современной астрофизике. Очень важным результатом следует считать разработку наиболее полной модели атома и методики не-ЛТР моделирования $\text{C I}/\text{C II}$, позволившей впервые количественно описать наблюдаемые инфракрасные эмиссии C I и использовать их для определения содержаний углерода. В целом диссертация содержит всесторонний анализ формирования не-ЛТР эффектов в линиях C I и C II , служащий основой для всех последующих их исследований в звездах В-К классов. Отдельно необходимо отметить выполненную в диссертации проверку соответствия содержаний углерода, получаемых по атомарным и молекулярным линиям, что обеспечивает построение единой шкалы содержаний для звезд еще более широкого спектрального диапазона. Оригинальными и полезными являются результаты построения не-ЛТР зависимостей $[\text{X}/\text{Fe}]-[\text{Fe}/\text{H}]$ для 3 элементов. Их сравнение с теоретическими прогнозами показывает, что современная теория химической эволюции Галактики далека от совершенства и требует существенного уточнения. Характеризуя результаты диссертации в целом, можно сказать, что большинство из них являются новыми, оригинальными и значимыми для дальнейшего развития астрофизики звезд и Галактики. Их научное значение состоит в объяснении природы эмиссионных линий C I в инфракрасной области, определении характера и амплитуд не-ЛТР поправок содержаний, получаемых по различным линиям C I и C II в звездах В-К классов, вывод об отсутствии различий не-ЛТР содержаний натрия в карликах толстого и тонкого диска Галактики и вывод о существенных отличиях наблюдаемых содержаний C , Na , Zr с данными теоретических прогнозов. Серьезное методическое значение имеют построенная модель атома $\text{C I}/\text{C II}$, вывод о единстве содержаний углерода, получаемых по его атомарным и молекулярным линиям и построенные зависимости $[\text{X}/\text{Fe}]-[\text{Fe}/\text{H}]$ для 3 элементов. Практическое значение имеют полученные диссертантом не-ЛТР содержания элементов C , Na , Zr и оценки их не-ЛТР поправок для большой выборки звезд. Достоверность результатов обеспечена выполненными тестовыми расчетами, анализом механизмов формирования отклонений от ЛТР и сравнением с данными, опубликованными в литературе. Они могут

представлять интерес для широкого круга специалистов из основных астрономических центров в России (ИНАСАН, САО РАН, СПбУ, ГАИШ МГУ, КФУ, КраО РАН) и зарубежом.

Результаты апробированы на 5 международных и всероссийских конференциях с личным участием автора и опубликованы в 6 статьях в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК.

К представленной диссертации необходимо высказать следующие замечания:

- 1) При исследовании условий формирования не-ЛТР эффектов в атоме Si/Si диссертантом не рассмотрено влияние изотопного состава углерода.
 - 2) Ряд замечаний вызывает описание разработанной и использованной диссертантом методики не-ЛТР моделирования в атоме NaI . Во-первых, в диссертации не представлен рисунок с принятой моделью атома. Из ее словесного описания следует, что учитывались уровни с $n < 8$ и $l < 6$ при объединении всех уровней с $n = 7$ и учете тонкого расщепления уровня $3p^2P^o$. Однако, как выяснилось из устных пояснений диссертанта, объединялись также и уровни с $l > 3$. Причины этого объединения в диссертации не приводятся и его корректность представляется сомнительной. На наш взгляд, оба объединения уровней могли привести к уменьшению эффективности спонтанных переходов, т.е. к занижению эффектов сверхрекомбинации для NaI . В целом диссертантом не подтверждена достаточность принятой 17-уровневой модели атома NaI для анализа профилей линий и определения содержаний натрия в атмосферах холодных звезд. Во-вторых, в разделе 4.2 указано, что был выполнен анализ профилей линий NaI в потоковом Атласе Солнца, но не приведено никаких рисунков со сравнением наблюдаемых и теоретических профилей. Из данных таблицы 17 очевидно, что солнечные содержания, полученные по 3 наиболее слабым линиям NaI $\lambda\lambda$ 6154, 6160, 5148 А, оказываются на 0.06-0.07 dex выше, чем по группе сильных линий. Отметим, что именно для этих 3 линий диссертант не имел точных оценок констант Ван-дер-Ваальсовского уширения и не пытался найти их из анализа наблюдаемых профилей. В дальнейшем это могло обусловить появление искусственных сдвигов содержаний натрия, определяемых для групп звезд-карликов и гигантов. Наконец, в диссертации практически не выполнено сравнение результатов не-ЛТР моделирования для NaI с литературными данными, что выглядит очень странно с учетом широкого спектра не-ЛТР исследований, выполненных для данного атома в предыдущие годы.
 - 3) Сравнение в главе 5 наблюдаемых распределений $[\text{X/Fe}]-[\text{Fe/H}]$ с результатами теоретического моделирования Кобаяши и др. (2011) представляется не вполне корректным. Содержания всех элементов определены диссертантом дифференциальным методом относительно их солнечных значений. Поэтому на распределениях $[\text{X/Fe}]-[\text{Fe/H}]$ звезды солнечного типа показывают значения $[\text{X/Fe}]$ близкие к нулю. Между тем в расчетах Кобаяши и др. (2011) не использовалось условие нормировки содержаний на Солнце, что приводит к смещению их результатов относительно наблюдаемых распределений $[\text{X/Fe}]-[\text{Fe/H}]$. На наш взгляд, диссертанту следовало отдельно сравнить наблюдаемые и теоретические распределения, сдвигая последние до выполнения условия $[\text{X/Fe}] = 0$ для звезд солнечной металличности.
 - 4) Имеются некоторые недочеты в оформлении диссертации.
 - а) В главах 4 и 5 практически все рисунки и таблицы следуют после пунктов "Выводы", что крайне затрудняет чтение диссертации.
 - б) На рисунке 32 оцифровка оси $[\text{Fe/H}]$ содержит всего лишь одно значение.
 - в) В ссылке 56 отсутствуют практически все данные о цитируемом источнике.
- Автореферат полностью отражает структуру и основные выводы диссертации

Перечисленные недостатки не имеют принципиального значения и не изменяют общую оценку диссертации. В целом представленная диссертация Алексеевой С.А. оставляет положительное впечатление.

Считаем, что диссертация "Определение содержания углерода и натрия у звезд спектральных классов В-К с учетом отклонений от локального термодинамического равновесия" является законченным научным исследованием, вносит вклад в дальнейшее развитие теории строения и эволюции звезд и химической эволюции Галактики, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Алексеева С.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия.

Отзыв подготовлен профессором Сахибуллиным Н.А. и утвержден на заседании кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета от 21 апреля 2017 г.

Зав. кафедрой астрономии и космической геодезии,
д. ф.-м. наук

Бикмаев И.Ф.

Руководитель Отделения астрофизики и космической геодезии,
проф.

- Сахибуллин Н.А.

Адрес: 420008, РТ, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КФУ

Телефон: (843) 292-49-00,

Факс (843) 292-77-97,

e-mail: Nail.Sakhibullin@kpfu.ru