

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Ситновой Татьяны Михайловны
«Разработка не-ЛТР методов определения фундаментальных параметров
и химического состава атмосфер звезд спектральных классов от В до К»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

Ввиду специфики астрономической науки, метод моделирования является одним из основных при исследовании физических явлений и при получении основных характеристик изучаемых объектов. Наиболее развитым и широко применяемым в астрофизике является метод моделирования звездных атмосфер, предложенный Е. А. Милном и впервые реализованный В.Х. МакКри. Однако первоначально метод базировался на ряде плохо обоснованных предположений. Главным из них являлось предположение о выполнении в звездных атмосферах локального термодинамического равновесия. К настоящему времени моделирование практически освобождено от этого предположения, став основным при определении фундаментальных параметров звезд. Такой подход кратко именуется как не-ЛТР подход. Однако точность, достигнутая при использовании этого подхода, позволила исследователям получить надежные параметры для очень небольшого числа звезд (из более, чем 30 000 изученных звезд). По этой причине решать вопросы глобального характера (как например, вопросы химической эволюции нашей Галактики) по небольшой выборке звезд невозможно.

Дело усложняется также тем, что для решения этого вопроса выборки звезд должны быть достаточно многочисленны для разного возраста. Эти трудности преодолеваются в диссертации Ситновой Т.М. Все вышесказанное свидетельствует о большой актуальности решаемой в диссертации задачи.

Диссертация состоит Введения, 4 глав и Заключения. Текст включает 126 страниц, большое количество рисунков. Прилагается также обширный перечень использованной литературы.

Введение по сути является кратким (но очень информативным) обзором состояния исследований по теме диссертации. В этой части Ситнова Т.М. проявила свою высокую эрудицию.

В 1-й главе дано описание использованных программ расчетов и методов для определения параметров звезд. При этом использовались как спектроскопические (по линиям железа и титана), так и неспектроскопические подходы (метод Блеуэлла-Шалиса, показатели цвета и др.).

Во 2-й главе диссертантка для достаточно большого числа (более 50) FG-звезд разной металличности, используя не-ЛТР подход, определила их главные параметры. При этом использовался большой набор данных: фотометрия, параллаксы звезд, эволюционные треки. И главное, был использован не-ЛТР подход для линий Fe I-Fe II. Следует отметить, что использование этого метода требует от исследователя не только способностей очень квалифицированного программиста, знания множества входных физических данных, но и большой научной эрудиции. *Диссертантка в полной мере проявила эти качества не только в этой главе, но и в последующих главах.* Результаты этой главы позволяют в 4-й главе по этим звездам судить о химической эволюции Галактики.

Важно также то, что в этой части работы (и в последующих главах) диссертантка использовала очень *качественный наблюдательный материал, полученный на крупных телескопах, оснащенных современным спектроскопическим оборудованием.* В заключении главы оценены ошибки в определенных параметрах звезд и дано сравнение с определениями других авторов тогда, когда это возможно.

В главе 3 предметом исследования явились линии Ti I-Ti II и OI.

Для титана Ситновой Т.М. пришлось преодолеть ряд ограничений, введенных в ряде предыдущих работ других авторов:

- модель атома была существенно улучшена введением дополнительных уровней высокого возбуждения;
- для сечений фотоионизации вместо водородоподобного приближения были использованы результаты квантово-механических расчетов;
- для учета столкновений с нейтральными атомами водорода использовался более точный масштабирующий множитель, установленный эмпирически по изучению спектра Солнца и звезд с точно установленными параметрами.

В этой главе показано, что в интервале температур примерно 6000-13000 К не-ЛТР влияние на населенности (и соответственно на профили линий) может сильно изменяться.

Линии кислорода в спектрах звезд являются «проблемными»: они дают содержание кислорода по разным работам с большим разбросом до 0.20 dex. В этой части исследования Ситновой Т.М. пришлось преодолеть почти те же ограничения, что и при исследовании титана (см. выше). Дополнительно были использованы и новые данные для более точного учета ударных процессов возбуждения электронами. Один из важных результатов этой главы - это ее методическая ценность: рассчитаны не-ЛТР поправки к содержанию кислорода для звезд с температурами в районе 5000-10 000 К.

В главе 4 предметом исследования является звезда HD 29907. Выбор этой звезды связан с возможным ответом на следующий вопрос: какой из двух процессов (γ или s) был основным в эпоху образования звезды. Химическое содержание избранных тяжелых элементов этой непроэволюционировавшей звезды может дать возможный ответ. Такое содержание в рамках ЛТР было определено для 22 элементов нейтронного захвата. В результате тщательного рассмотрения основной вывод был сделан следующий: в эпоху формирования исследуемой звезды (при $[Fe/H] = -1.55$) вклад звезд асимптотической ветви в обогащение межзвездной среды тяжелыми элементами был незначителен. Этот вывод, по нашему мнению, является одним из ключевых выводов диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается многими аргументами:

- примененный спектроскопический метод определения эффективной температуры и ускорения силы тяжести был проверен на 20 стандартных звездах с независимо определенными данными;
- надежно учтена роль малоизученного процесса неупругих столкновений атомов железа с атомами водорода;
- оценены все возможные ошибки (пример: параграф 2.8);
- где было возможно, проведено сравнение результатов с имеющимися литературными источниками;
- использовались самые точные на сегодняшний день атомарные данные;
- использовался наблюдательный материал, полученный на современных телескопах с хорошей спектроскопической аппаратурой.

Новизна полученных результатов не вызывает каких-либо вопросов. Многие результаты получены впервые. В частности:

- не-ЛТР исследования линий титана для звезд А-Ф проведены впервые;
- впервые построена самая полная модель атома титана;
- впервые получено наблюдательное подтверждение того, что вклад звёзд АВГ в обогащение межзвездной среды тяжелыми элементами был мал вплоть до эпохи, когда содержание галактического железа возросло до $[Fe/H] = -1.55$.

Замечания к диссертации носят редакционный характер. Например:

- 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:
 - на стр. 18 (последний абзац) фразу «изменение непрозрачности в неравновесных условиях», для ясности следует сопроводить следующей фразой «приводящее к смещению глубин образования...».
 - на стр. 88 (1 абзац) упоминается «часть 4.7» текста. Видимо, надо понимать «часть 4.1.2».
 - на стр.88 (1 абзац) следует вместо «Статья построена...» читать «Глава построена...»;
 - в название диссертации вместо фразы «Разработка не-ЛТР методов...» разумней поставить «Применение не-ЛТР методов...»

Как видно, эти замечания не носят принципиального характера и ни в коей мере не влияют на хорошее качество диссертации.

Окончательное мнение оппонента о диссертации в целом такое.
По сути дела работа включает исследования по 3 важным темам:

- определение параметров звезд, используя не-ЛТР подход для анализа линий железа;
- применение не-ЛТР метода к анализу линий титана;
- выявление ограничений на модели химической эволюции Галактики.

С нашей точки зрения, выполненные Ситновой Т.М. исследования по каждой теме могли бы быть содержанием отдельных диссертаций (разумеется, с соответствующим расширением объектов, включением других химических элементов и др.). Объем выполненных в диссертации исследований превышает объем «обычных» диссертаций. В целом, диссертация является весьма весомым научным вкладом в решение проблем эволюции вещества в Галактике.

Все результаты диссертации опубликованы в престижных журналах. Главные выводы были апробированы на конференциях и семинарах, включая и зарубежные. Приятно отметить, что в России появился молодой перспективный исследователь в области изучения звездных атмосфер, владеющий всем арсеналом возможностей, предоставляемых не-ЛТР методом.

Считаю, что представленная Ситновой Т.М. диссертация на тему «Разработка не-ЛТР методов определения фундаментальных параметров и химического состава атмосфер звезд спектральных классов от В до К», является законченным, фундаментальным научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 --- астрофизика и звездная астрономия.

**Профессор кафедры астрономии и космической геодезии
Институт физики Казанского Федерального Университета,
Руководитель Отделения астрофизики и космической геодезии**

акад. АН РТ, доктор физ.-мат. наук

Н.А. Сахибуллин

Служебный адрес: 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, КФУ

Служебный телефон: 292-49-00

Электронный адрес: Nail.Sakhbullin@kpfu.ru