

Сетка неЛТР-поправок для линий серы в атмосферах А-К звезд

С.А. Коротин¹, К.О. Киселев¹

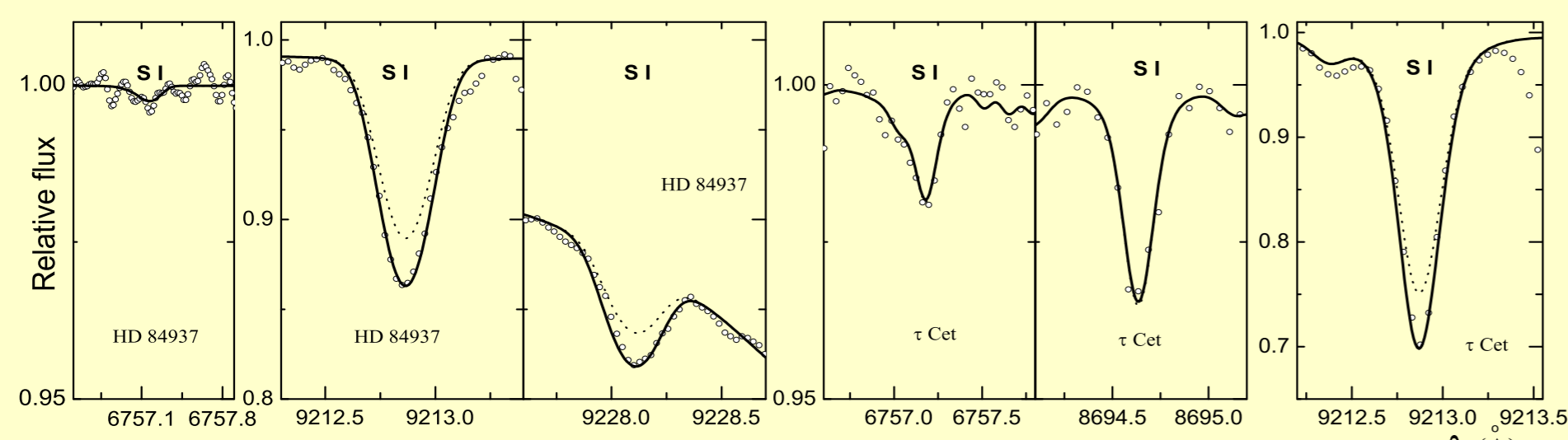
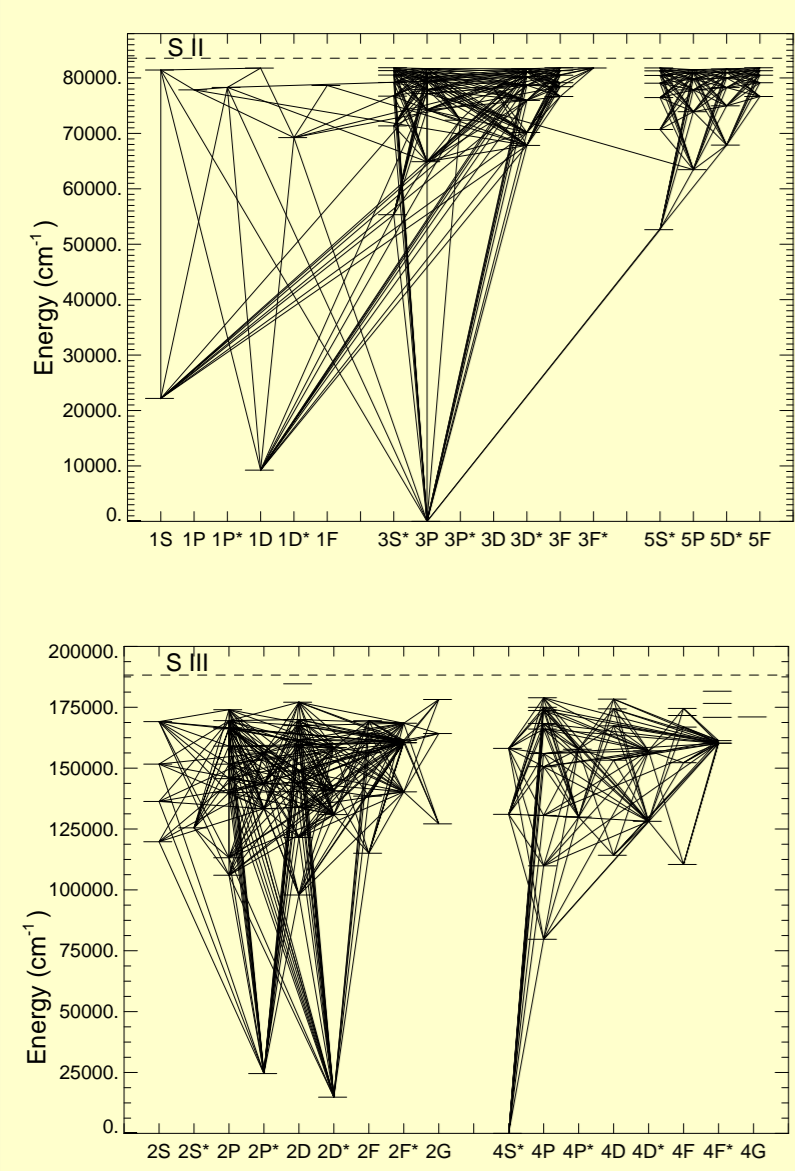
¹ – Крымская Астрофизическая обсерватория, Научный, Крым, Россия

Содержание серы в звездах вызывает повышенный интерес при моделировании химической эволюции Галактики. До сих пор нет единого мнения о характере поведения соотношения $[S/Fe]$ от металличности у звезд с низким содержанием металлов. Предсказываемое принятой теорией «плато» на низких металличностях в реальности имеет очень большой разброс. Это может свидетельствовать об отклонении в поведении распространенности серы, как нетипичного альфа-элемента. Большую проблему в точности определения обилия серы составляют влияние отклонений от ЛТР для линий S I.

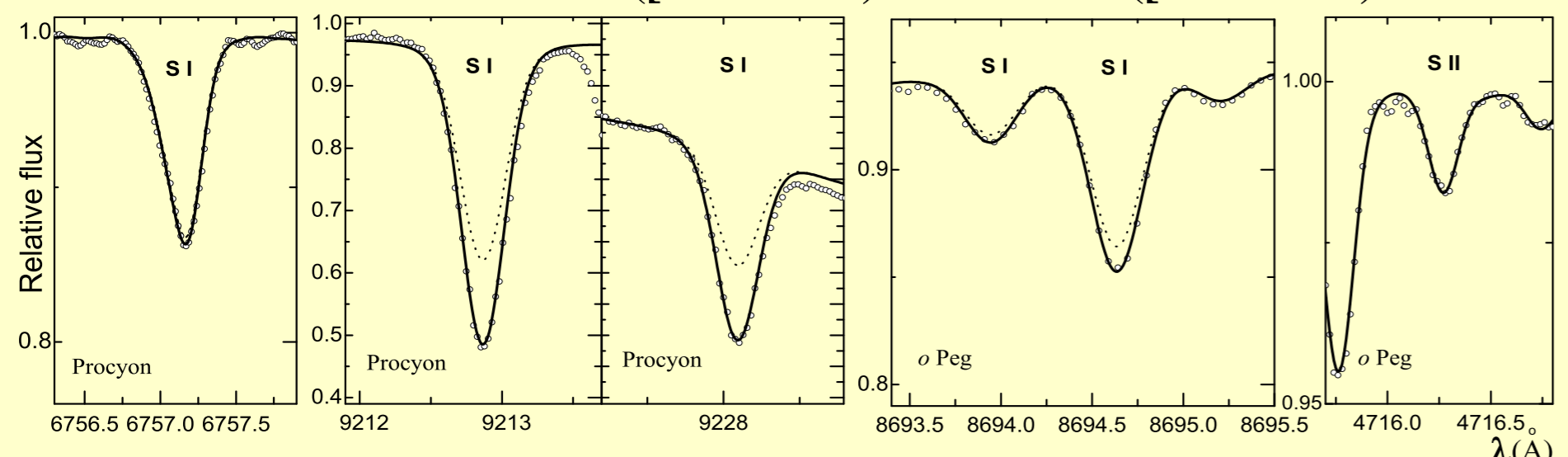
В оптическом диапазоне содержание серы проводится, как правило, по трем группам линий: 6046-6052Å (мультиплет №10), 6743-6757Å (мультиплет №8) и 8694Å (мультиплет №6). В ближнем инфракрасном диапазоне используются два ИК-триплета: 9212-9237Å и 10455-10459Å. ИК-спектрографы с высоким разрешением позволяют добавить к исследованию линии в Н-диапазоне: 15400-15422, 15469-15478 и 22507-22707Å. Как показано в работах Такеды и др.(2005) и Коротина (2009) многие линии серы в той или иной степени подвержены влиянию эффектов отклонения от ЛТР в атмосферах звезд. Так как с момента проведения этих расчетов появились новые атомные данные, касающиеся нейтральной и ионизованной серы, нами была проведена работа по модернизации модели атома серы Коротина (2009) с учетом самых современных атомных данных и ее проверка по спектрам хорошо изученных звезд.

Для расчетов использовался модифицированный программный комплекс MULTI. В новую модель атома серы вошли 64 уровня S I, 81 уровень S II и основной уровень S III. Радиативные скорости фотоионизации для всех рассматриваемых уровней были рассчитаны с использованием подробных сечений фотоионизации из ОР TopBASE. В детальное рассмотрение были отобраны 775 радиативных связанно-связанных и 146 связанно-свободных переходов. Сечения фотоионизации и силы осцилляторов взяты из ОР TopBASE. В отличие от модели 2009 года вместо аппроксимационных формул для учета ударных скоростей с электронами и водородом использовались детальные квантовомеханические расчеты из базы данных ADAS и работы Беляева и Воронова (2020). Модернизация модели атома позволила расширить диапазон эффективных температур звездных фотосфер в сетке неЛТР-поправок до 10000 К.

На линии разных мультиплетов эффекты отклонения от ЛТР оказывают различное влияние. Наибольшие отклонения испытывают два ИК-триплета. Модель атома была протестирована при определении содержания серы у 13 звезд и показала свою адекватность в широком диапазоне фундаментальных звездных параметров (T_{eff} от 4850 до 9600 К, $\log g$ от 2.9 до 4.5, $[Fe/H]$ от -2.0 до +0.25). В спектрах всех тестовых звезд линии серы описываются близким содержанием элемента вне зависимости от степени влияния эффектов отклонения от ЛТР на конкретную спектральную линию.

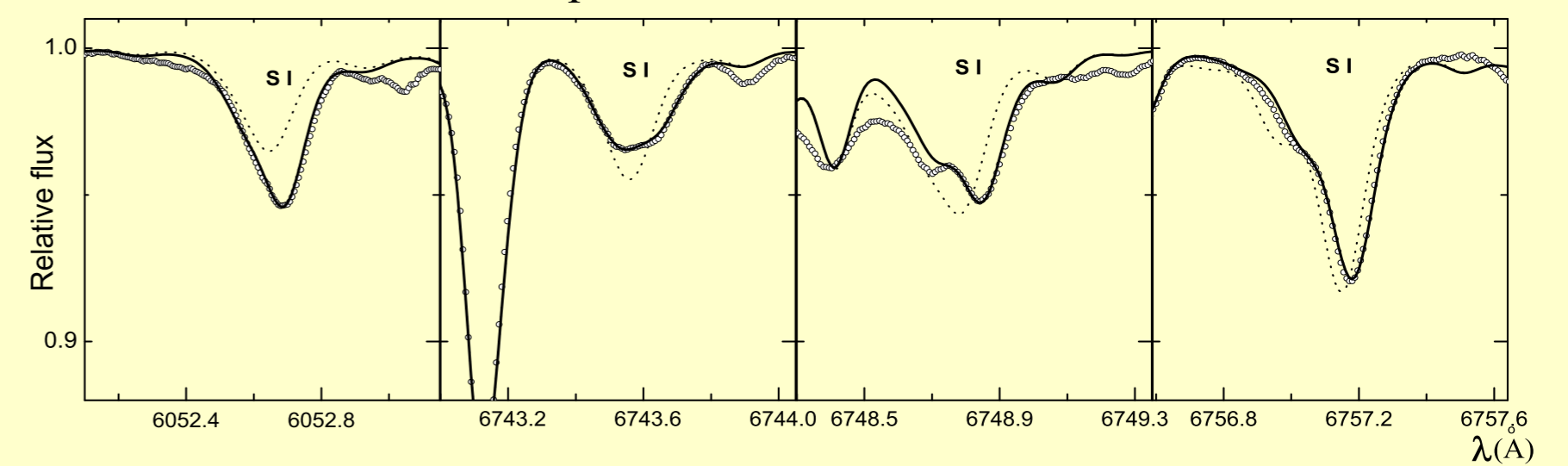


Не-ЛТР (сплошная) и ЛТР (штриховая) профили S I для звезд с дефицитом металлов - τ Cet ($[Fe/H]=-0.5$) и HD84937 ($[Fe/H]=-2.0$)



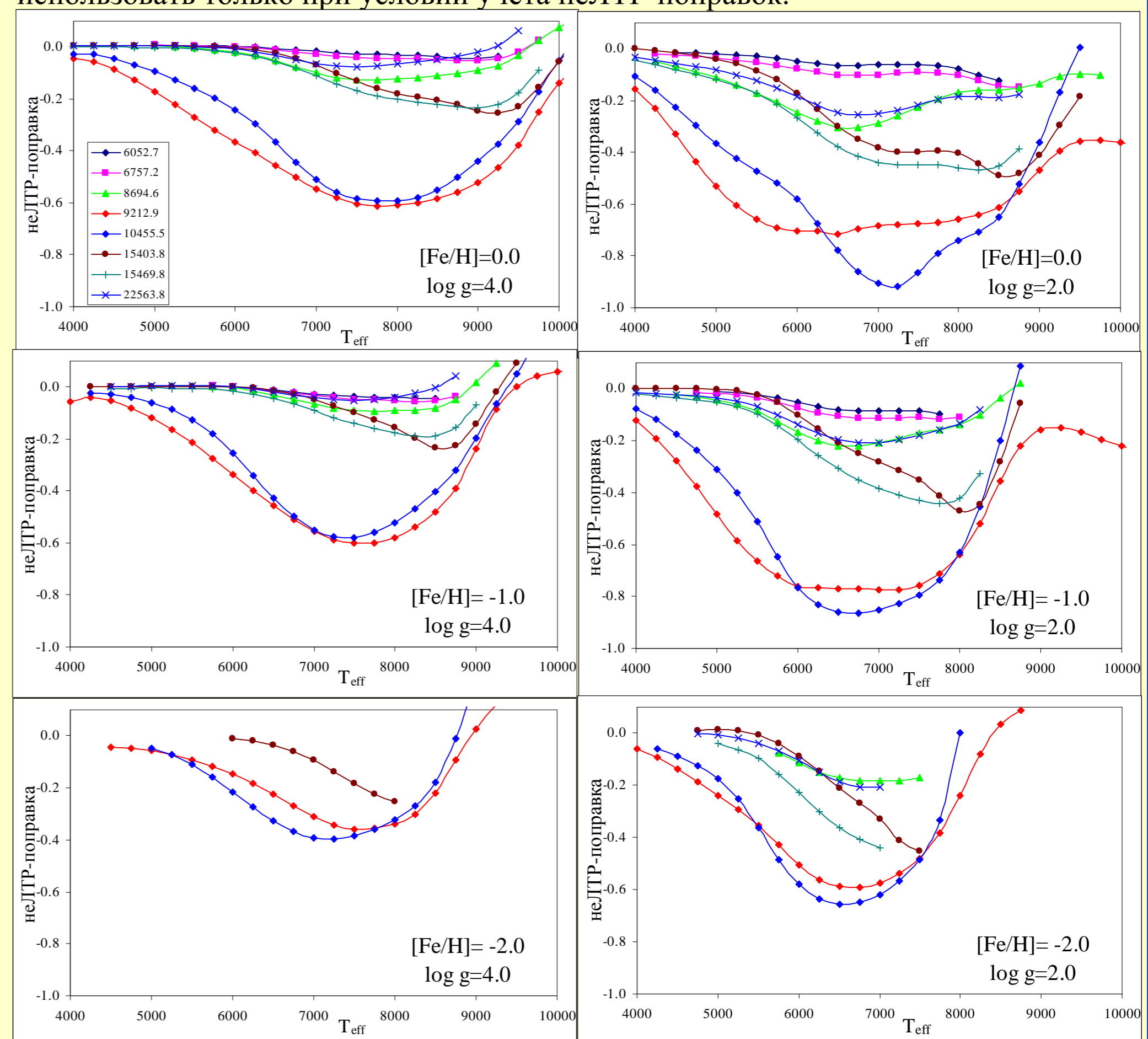
Не-ЛТР (сплошная) и ЛТР (штриховая) профили S I для Прокциона и не-ЛТР-профили S I и S II для звезды o Peg ($T_{\text{eff}}=9600$ К)

Параметры наблюдаемых в оптике линий серы определены из теоретических расчетов и могут сильно отличаться у разных авторов. Если использовать для расчета синтетического спектра длины волн и силы осцилляторов из баз данных VALD или NIST, то идеально описать линии не удастся. При этом на линии шестого, восьмого и десятого мультиплетов в атмосфере Солнца неЛТР-эффекты влияния не оказывают. Поэтому, приняв содержание серы равной метеоритному, что подтверждается содержанием полученным по ИК-триплетам, мы уточнили длины волн и силы осцилляторов линий S I в оптике.



Сравнение профилей линий восьмого и десятого мультиплетов в спектре Солнца. Профили с уточненными параметрами показаны сплошной линией. Профили, рассчитанный с параметрами из VALD - точечной.

Сетка неЛТР-поправок рассчитана для T_{eff} от 4000 до 10000 К, $\log g$ от 0 до 5, $[Fe/H]$ от -2.0 до 0.0 и $[S/Fe]$ от 0.0 до +0.8 dex при $V_t=2$ км/с. Абсолютное значение поправок возрастает при переходе от звезд-карликов к гигантам, так как менее плотная атмосфера гигантов уменьшает влияние столкновительных процессов. Линии восьмого (6743-6757 Å) и десятого (6046-6052 Å) мультиплетов у звезд-карликов имеют наименьшие поправки и могут быть использованы при ЛТР-анализе. Влияние неЛТР-эффектов на эти линии существенно только для звезд-гигантов. Такой же вывод можно сделать для всех линий из Н-диапазона. Линии шестого (8694 Å) мультиплета немного более чувствительны к отклонениям от ЛТР, а линии двух ИК-триплетов можно использовать только при условии учета неЛТР-поправок.



НеЛТР-поправки для звезд разной металличности.

Результаты неЛТР-расчетов для звезд с околосолнечной металличностью близки с расчетами с моделью 2009 года. Для звезд с дефицитом металлов новая модель показывает, как правило, несколько меньшие величины отклонений от ЛТР. Например для линии 9212 Å при $[Fe/H]=-1.0$, $\log g=2$ и $T_{\text{eff}}=6000$ поправка была около -0.85 dex, а с новой моделью -0.75 dex. Для карликов с $\log g=4$ разница меньше: -0.39 и -0.34, соответственно. При этом, отличия наших данных от расчетов Takeda и др. (2005) могут быть достаточно велики. В частности для приведенного примера из расчетов Takeda и др. (2005) следуют поправки в -1.02 для гиганта и -0.26 dex для звезды-карлика.

Литература

Belyaev A.K. and Voronov Y.V., 2020, *Astrophys. J.* 893, 59

Takeda, Y., Hashimoto, O., Taguchi, H., Yoshioka, K., Takada-Hidai, M., Saito, Y., & Honda, S. 2005, *PASJ*, 57, 751

Коротин С.А. *Астрон. Журнал*, 2009, т.86, 702