

Исследование LDR метода для определения эффективных температур у F-G карликов

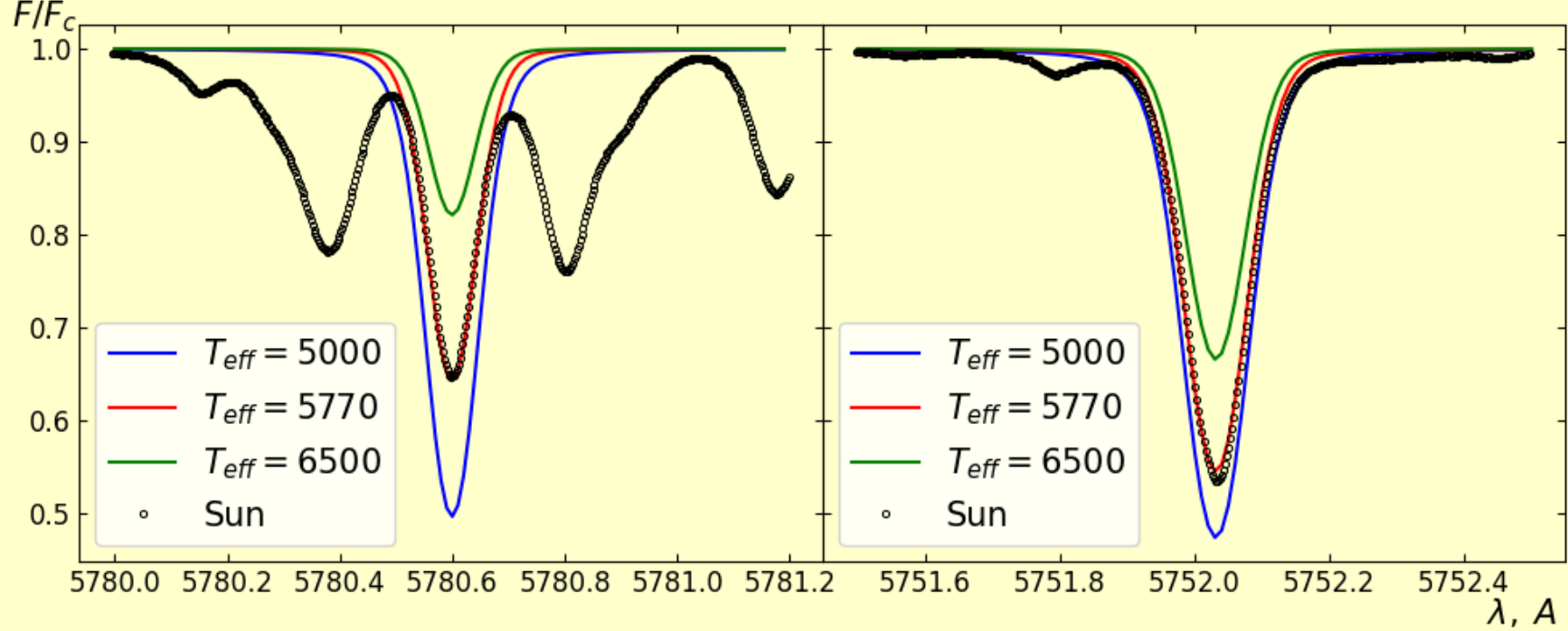
К.О. Киселев¹, С.А. Коротин¹

¹ – Крымская Астрофизическая обсерватория, Научный, Крым, Россия

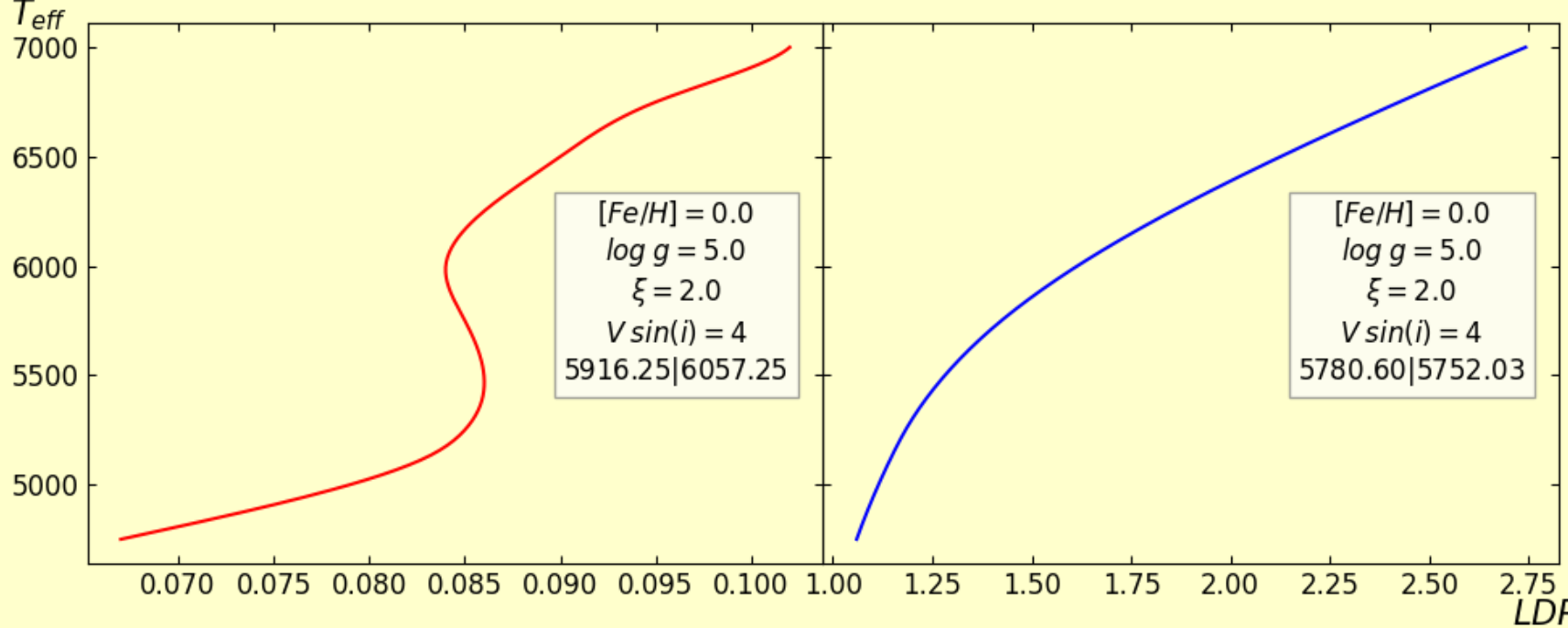
Среди фундаментальных параметров звезд важное место занимает их эффективная температура (T_{eff}). Одним из спектроскопических методов по ее определению является метод отношения глубин спектральных линий (LDR-метод). В его основе лежит то, что линии с различной энергией возбуждения нижнего уровня (χ) по-разному реагируют на изменения T_{eff} . На основании этого Gray & Johanson (1991) предложили метод по определению T_{eff} по отношениям глубин различных спектральных линий. Обычно исследователями строится эмпирическая зависимость отношения глубин выбранных линий разных химических элементов от T_{eff} большого числа звезд. Для F-G карликов более 100 эмпирических LDR зависимостей было получено Kovtyukh & Gorlova (2000) (KG).

LDR метод довольно прост в применении. Однако, до сих пор имеется неопределенность в оценке совокупного влияния таких параметров звезды, как $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, ξ , $V \sin(i)$, а также спектрального разрешения (R) на его точность. Кроме того, на T_{eff} , полученную по LDR зависимостям, включающим линии разных химических элементов, должно оказывать влияние индивидуальное содержание этих химических элементов.

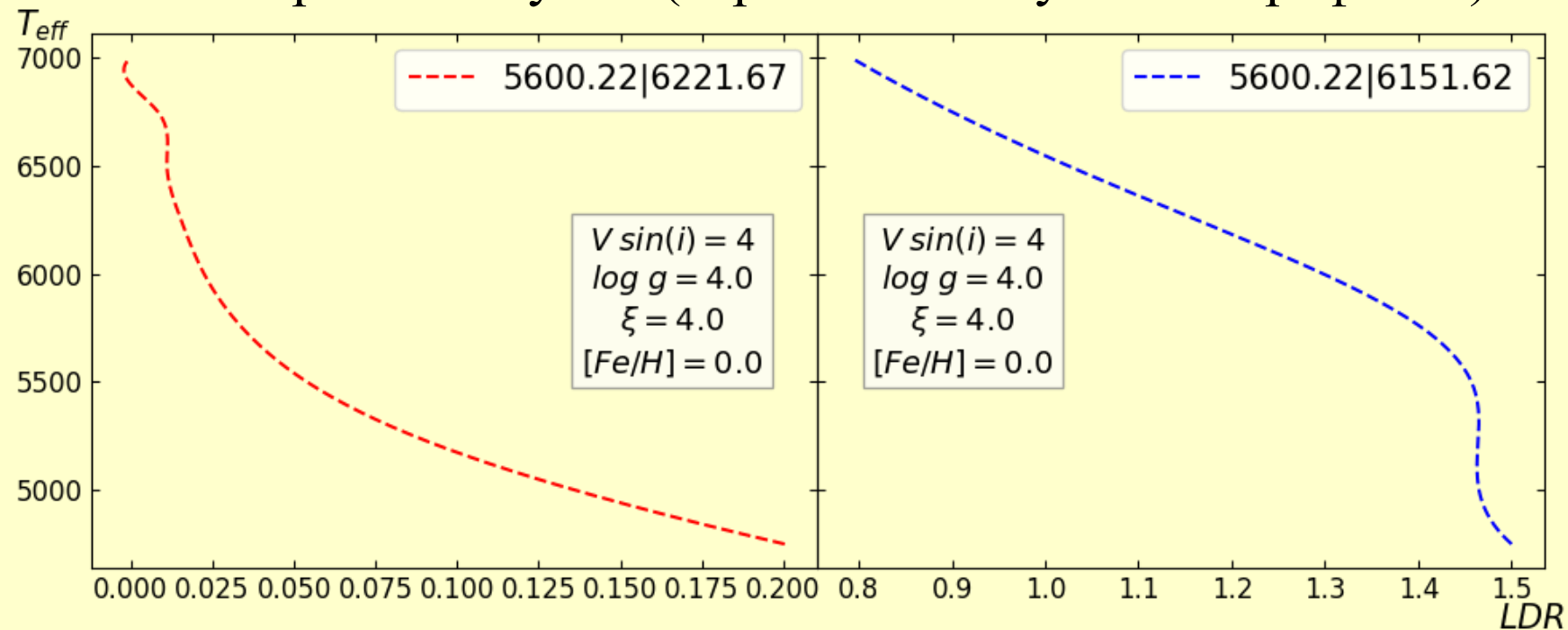
Нами была сделана попытка построения LDR зависимостей на основании модельных расчетов. Для исключения влияния особенностей хим.состава были использованы только линии нейтрального железа (FeI). Были отобраны линии FeI средней и слабой интенсивности в спектральном диапазоне 5600-6300 Å с разделением на две группы: высоко- и низкочувствительные к изменению T_{eff} . Высокочувствительными считались те линии, для которых изменение T_{eff} на 1000 К приводило к изменению эквивалентной ширины (EW) более чем в 2 раза (левый график), а низкочувствительными – наоборот.



В результате проверки по атласу Солнца (Reiners et al. 2016) были отбракованы бленды и линии с неточными силами осцилляторов. В анализ вошли 67 высоко- и 64 низкочувствительных линий железа, что позволяет построить около 4300 теоретических LDR зависимостей. Рассчитаны глубины линий для сетки звездных атмосфер (ATLAS9) с T_{eff} от 4750 до 7000 К, $\log g$ от 4 до 5, $[\text{Fe}/\text{H}]$ от -0.5 до $+0.5$, и $V \sin i$ от 1 до 16 км/с. Вид полученных LDR зависимостей могут значительно отличаться при использовании различных пар линий. Некоторые пары линий (левая панель) не позволяют однозначно определить T_{eff} .



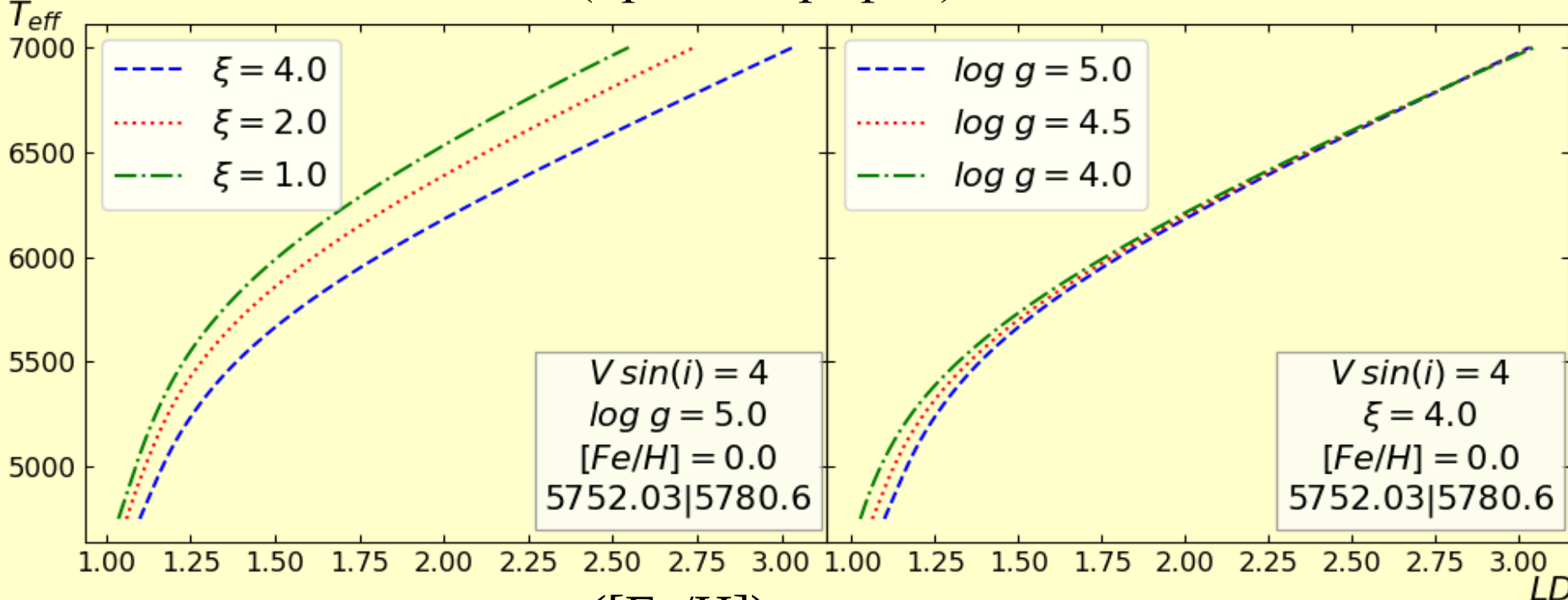
Другие могут вносить значительную ошибку в определении T_{eff} даже из-за небольших ошибок в измерениях глубин (вертикальные участки графиков).



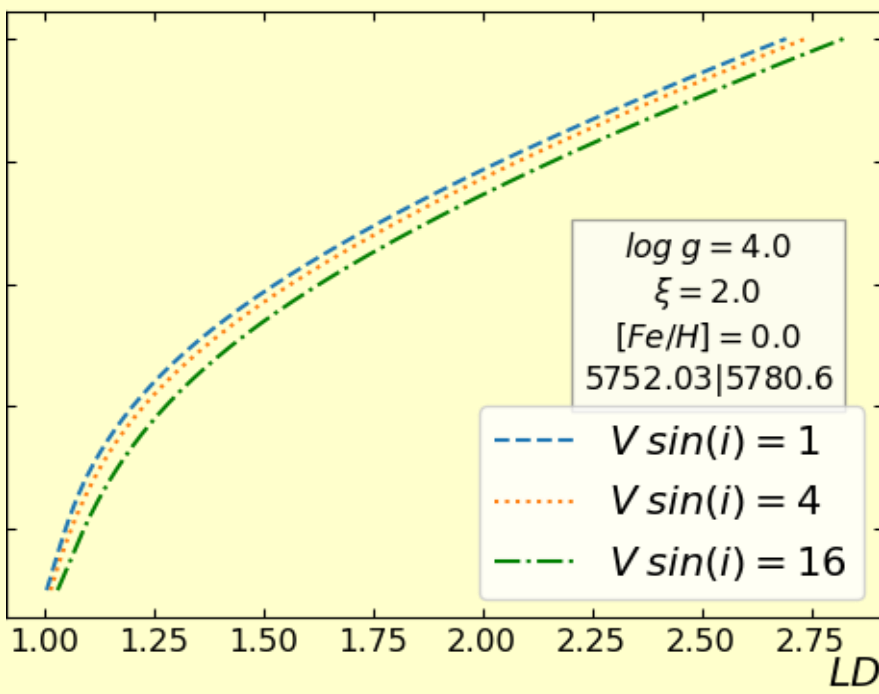
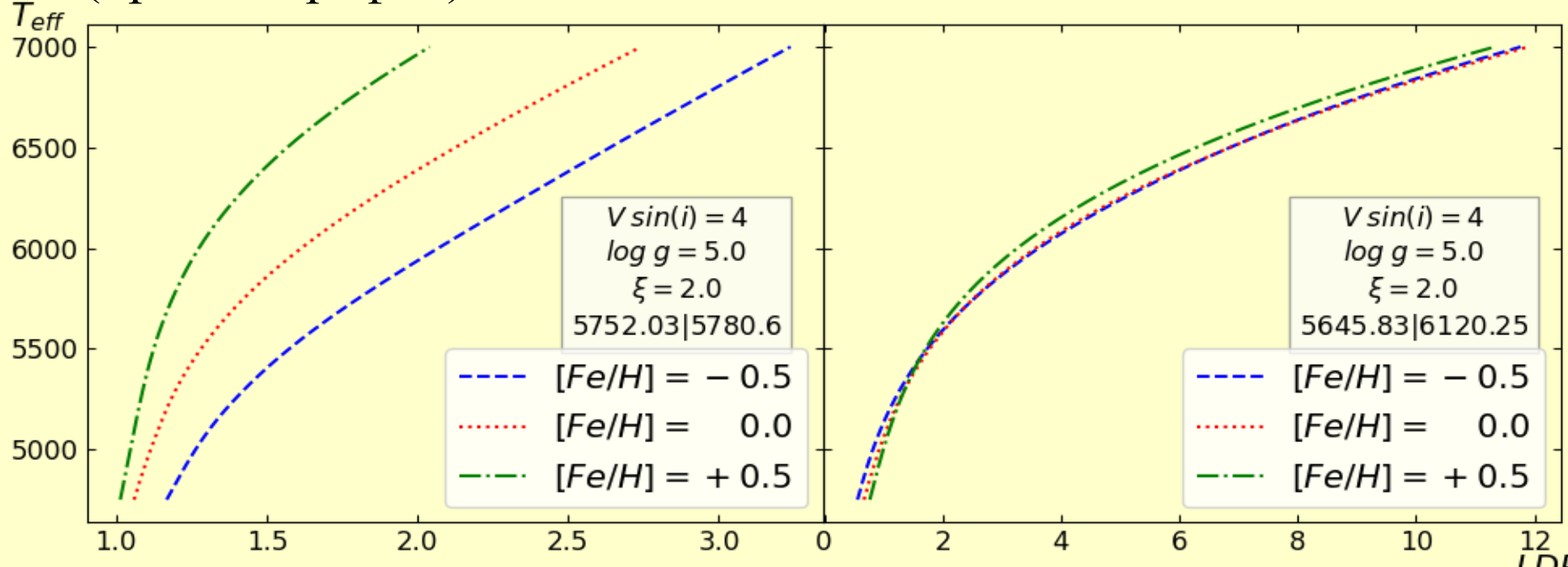
Их влияния исключалось итеративным сигма-клиппингом относительно медианного значения T_{eff} . В дальнейшем предстоит отбор пар линий, отношения которых минимально зависят от фундаментальных параметров звезд.

Эффекты, влияющие на LDR зависимости

Ранее полагалось, что изменение микротурбулентной скорости (ξ) слабо влияет на вид LDR зависимости и ее влияние детально не изучалось. Однако, отсутствие учета влияния ξ для многих зависимостей может приводить к существенным ошибкам при температурах выше солнечной (левый график). Влияние $\log g$, напротив, оказывает большее влияние при низких температурах, а при температурах выше солнечной его влияние становится незначительным (правый график)



Изменение металличности ($[\text{Fe}/\text{H}]$) может как оказывать существенное влияние на одни LDR зависимости (левый график), так и почти не влиять на другие (правый график).



Скорость вращения звезды, макротурбулентность и спектральное разрешение, искажающие профили линий также вносят систематические ошибки.

Ранее полученные эмпирические калибровки, такие как Kovtyukh & Gorlova (2000), хорошо работают для солнечной металличности и $R=45000$. У звезд с дефицитом/избытком металлов и других R и $V \sin i$, точность получаемых T_{eff} ухудшается. Использование нашей сетки глубин линий позволяет более надежно определять T_{eff} (точность 30-40 К).

Применение к хорошо изученным звездам

Для апробации методики были выбраны звезды с хорошо известными фундаментальными параметрами (Jofré et al. (2015), Sousa et al. (2018), Soubiran (2024), Shejeelammal (2024)). Эффективная температура ($T_{\text{eff}}^{\text{current}}$) определялась по 4300 теоретическим LDR зависимостям с использованием итеративного сигма-клиппинга. Для сравнения определена эффективная температура ($T_{\text{eff}}^{\text{KG}}$) по эмпирическим LDR зависимостям Kovtyukh&Gorlova (2000). Внутренняя точность в обоих случаях составляет 15-35 К. Можно видеть, что реальная ошибка полученных нами эффективных температур по глубинам 132 линий не превышает 50 К.

Star	T_{eff}	$\log g$	$[\text{Fe}/\text{H}]$	ξ	$T_{\text{eff}}^{\text{(current)}}$	ΔT_{eff}	$T_{\text{eff}}^{\text{(KG)}}$	$\Delta T_{\text{eff}}^{\text{(KG)}}$
Sun	5777	4.44	0.00	0.9	5755	22	5764	13
ϵ Eri	5062 ± 29	4.60	-0.1	1.1	5091	-29	4980	82
α Cen B	5207 ± 12	4.53	0.24	1.0	5167	40	5172	35
12 Oph	5248 ± 10	4.45	0.01	0.9	5267	-19	5201	47
54 Psc	5297 ± 31	4.52	0.14	0.9	5261	36	5232	65
70 Vir	5568 ± 30	4.00	-0.03	0.9	5547	21	5592	-24
α Cen A	5792 ± 16	4.30	0.24	1.2	5783	9	5730	62
18 Sco	5824 ± 30	4.42	0.06	1.1	5787	37	5735	89
HD 5015	6033 ± 37	4.03	0.05	1.4	6002	31	5996	37
β Vir	6093 ± 13	4.08	0.13	1.3	6103	-10	6040	53
Procyon	6554 ± 84	3.98	-0.02	1.6	6503	51	5601	953

Таким образом – LDR метод определения T_{eff} требует учета остальных фундаментальных параметров звезды и спектрального разрешения. Для получения LDR зависимостей можно использовать менее трудоемкие теоретические (модельные) расчеты глубин относительно небольшого числа спектральных линий.

Литература

Gray D. F., Johanson H. L., 1991, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 103, p. 439.
Kovtyukh V. V., Gorlova N. I., 2000, Astronomy and Astrophysics, 358, p. 587.
Jofré P. et al., 2015, Astronomy & astrophysics. 582, A81.

Reiners A., Mrotzek N., Lemke U., Hinrichs J., Reinsch K. 2016, Astronomy & Astrophysics, 587, A65
Soubiran C. et al., 2024, Astronomy & Astrophysics, 682, A145
Shejeelammal, J.; Meléndez, J.; Rathsam, A.; Martos G., 2024, Astronomy & Astrophysics, 690, A107
Sousa S. G. et al., 2018, Astronomy & Astrophysics, 620, A58