

УДК 523.9-355

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ ФРАУНГОФЕРА ПО ИЗМЕНЕНИЯМ АСИММЕТРИИ ПРОФИЛЕЙ В СПЕКТРЕ СОЛНЦА

© 2017 Д. М. Кули-Заде^{1*}, С. Г. Мамедов², З. Ф. Алиева¹¹Бакинский Государственный Университет, Баку, AZ 1148 Республика Азербайджан²Шемахинская астрофизическая обсерватория, Шемахи, AZ 5626 Республика Азербайджан

Поступила в редакцию 2 мая 2017 года; принята в печать 21 июня 2017 года

В работе предложен количественный метод измерения вариаций асимметрии в профилях фраунгоферовых линий. Были использованы новые цифровые спектры высокого разрешения. Мы показываем, что асимметрия может меняться неоднократно по знаку и значению внутри профиля одной и той же спектральной линии. Линии можно разбить на три группы по вариации асимметрии внутри профилей.

Ключевые слова: *линии: профили—Солнце: общие*

1. ВВЕДЕНИЕ

После внедрения нового цифрового спектроскопического оборудования с высоким спектральным разрешением и высокой дисперсией (спектрометры Фурье и двойные монохроматоры) было точно установлено, что большинство линий Фраунгофера в солнечном спектре асимметричны [1–7]. Однако все работы, посвященные этой задаче, были выполнены с использованием качественных методов, что не позволяло детально исследовать асимметрию профилей фраунгоферовых линий. Требовался количественный метод, который бы позволил более подробно измерить асимметрию и выразить ее через физические параметры. Более того, изменение асимметрии внутри профиля спектральной линии вообще не рассматривалось. Решение такой задачи может внести значительный вклад в исследования стратификации солнечной фотосферы.

В данной работе мы предлагаем новый количественный метод исследования вариаций асимметрии в профилях слабых и умеренных линий Фраунгофера в спектре Солнца.

2. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Мы использовали цифровые спектры с высоким разрешением [8], полученные с помощью Фурье-спектрометра. Остаточная интенсивность в [8] дана с шагом в $2 \text{ m}\text{\AA}$ что позволило исследовать слабые и умеренные профили фраунгоферовых линий в спектре Солнца.

Для данного исследования мы выбрали только одиночные неблендированные линии в спектральном диапазоне $\lambda\lambda 5000\text{--}7000 \text{ \AA}$ основном были использованы линии FeI, TiI, CrI, NiI, а также и другие. Потенциал возбуждения нижних уровней использованных линий варьировался от $\varepsilon = 3.2 \text{ eV}$ до $\varepsilon = 5.0 \text{ eV}$. Для построения исследуемых профилей фраунгоферовых линий и определения их спектро-фотометрических характеристик была использована программа ORIGIN¹.

3. МЕТОД

Ключевой момент в исследовании вариаций асимметрии внутри профилей фраунгоферовых линий состоит в определении центра профиля линии. Обычно центр профиля определяется максимальной центральной глубиной R_0 . Этот метод предполагает, что ядро профиля симметрично. Более объективный метод определения центра линии состоит в использовании полуширины профиля, что позволяет исследовать изменение асимметрии не только в крыльях, но и в ядрах профилей линий. Однако, использование метода предполагает, что профиль линии в области $R = 1/2 R_0$ симметричен. Анализ профилей линий показывает, что более выраженная асимметрия наблюдается в крыльях профилей. Поэтому разные исследователи определяют центр профиля по-разному: используются либо центральные ядра, либо полуширины профилей. В данной работе центр линии определяется как максимальное значение центральной глубины R_0 .

*E-mail: ckulizade@mail.ru

¹www.originlab.com/

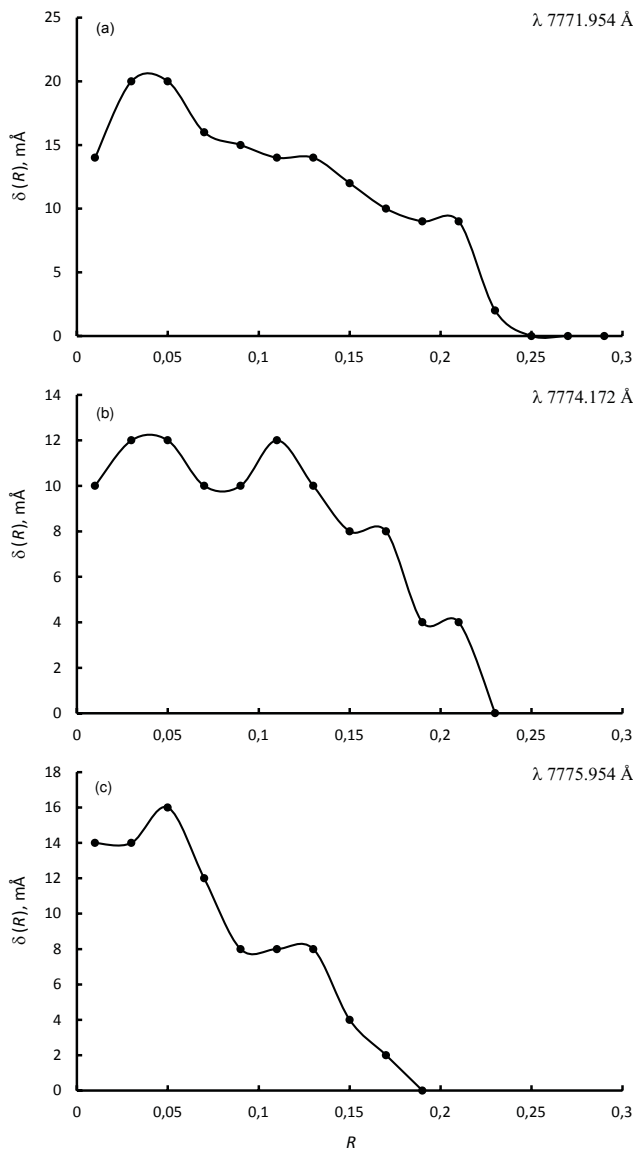


Рис. 1. Зависимость асимметрии от глубины линии R для линий инфракрасного триплета O I.

На разных расстояниях от центра профиля линии, т.е. для разных глубин профиля линии, это значение определяется как:

$$\delta(R) = \Delta\lambda_{vi} - \Delta\lambda_{ri},$$

где $\Delta\lambda_{vi}$ и $\Delta\lambda_{ri}$, соответственно, расстояния от центра на одинаковой глубине профиля в фиолетовом и красном крыльях линии. Это значение определяет асимметрию профиля на данной глубине в мÅ. Мы называем его дифференциальной асимметрией. Это довольно маленькое значение, измеряемое в мÅ, которое можно определить используя цифровые высокодисперсионные спектры.

Если $\delta(R) > 0$, мы будем называть такую асимметрию фиолетовой, а при $\delta(R) < 0$ — красной.

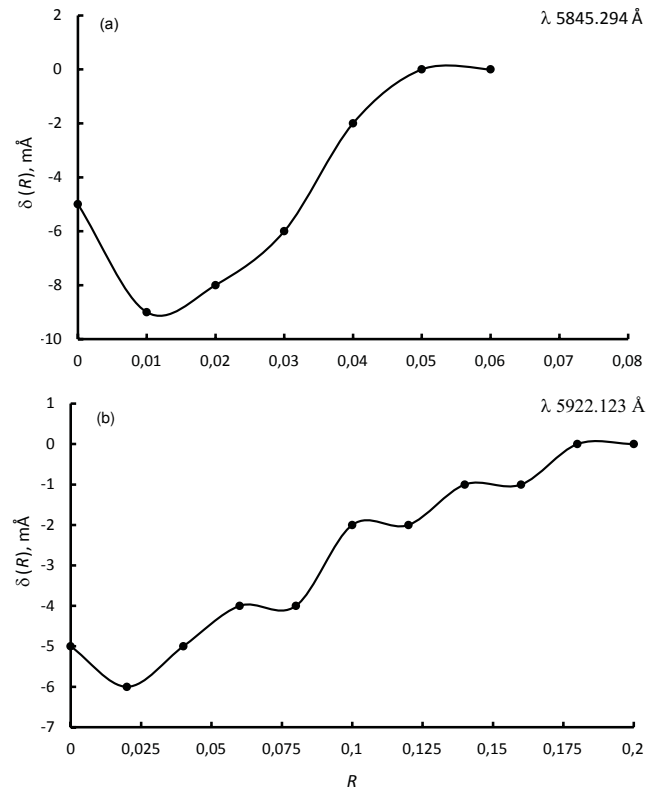


Рис. 2. Зависимость асимметрии $\lambda 5845.294 \text{ \AA}$ и $\lambda 5922.123 \text{ \AA}$ от глубины линии R .

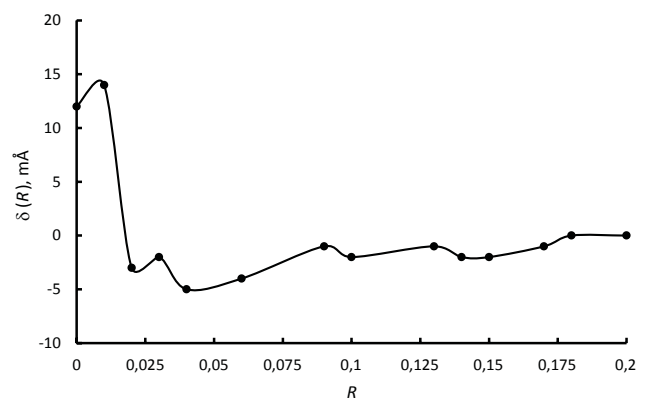


Рис. 3. Зависимость асимметрии от глубины линии R для линии $\lambda 5342.708 \text{ \AA}$.

Если $\delta(R) = 0$, то профиль линии на данной глубине симметричен.

Зависимость дифференциальной асимметрии $\delta(R)$ от глубины R показывает изменение асимметрии внутри профиля линии.

Асимметрия оказалась фиолетовой ($\delta(R) > 0$) на некоторых глубинах заданного профиля линии, тогда как на других глубинах $\delta(R) < 0$, т.е. асимметрия красная. Таким образом, дифференциальная асимметрия варьируется и по знаку, и по

значению внутри одного профиля. Это определяет сложную тонкую структуру профилей Фраунгоферовых линий в спектрах Солнца и звёзд.

На рис. 1 показано изменение асимметрии в профилях инфракрасных линий О I. В данном случае, $\delta(R) > 0$, т.е. наблюдается фиолетовая асимметрия, меняющаяся только по значению.

На рис. 2 показано изменение асимметрии в профилях линий $\lambda 5845.294 \text{ \AA}$ и $\lambda 5922.123 \text{ \AA}$. В этом случае $\delta(R) < 0$ для всех профилей, т.е. мы видим только красную асимметрию, меняющуюся только по значению.

Изменение асимметрии в профиле линии $\lambda 5342.708 \text{ \AA}$ Fe I в спектре Солнца как звезды, т.е. в спектре потока Солнца, показано на рис. 3. Как в случае солнцеподобных звёзд, $\delta(R) > 0$ в дальних крыльях линии на $R < 0.02$, т.е. наблюдается фиолетовая асимметрия. На глубине $R \approx 0.17$ $\delta(R) \approx 0$, асимметрия не наблюдается. На $R > 0.02$ $\delta(R) < 0$, т.е. мы видим красную асимметрию. По всей видимости, фиолетовая асимметрия наблюдается в крыльях, а затем меняется на красную в центральных частях. В данном случае, асимметрия меняет и знак, и значение.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ

Экспериментальные результаты по нескольким профилям линий Фраунгофера в спектре Солнца показали, что профили большинства линий асимметричны. Асимметрия профилей имеет сложную тонкую структуру. Внутри заданного профиля асимметрия может неоднократно менять знак и значение, т.е. фиолетовая асимметрия ($\delta(R) > 0$), наблюдаемая на одной глубине, может смениться

на красную ($\delta(R) < 0$) и, наоборот, красная асимметрия может смениться на фиолетовую. На некоторых глубинах профиля можно наблюдать $\delta(R) \approx 0$, т.е. асимметрия отсутствует. Это, скорее всего, связано с изменением физических условий в фотосфере с глубиной.

Линии можно разделить на три группы по тому, как асимметрия меняется внутри профиля:

1. $\delta(R) > 0$ по всей глубине профиля, т.е. наблюдается только фиолетовая асимметрия; она меняется только по значению, см. рис. 1;
2. $\delta(R) < 0$ по всей глубине профиля, т.е. наблюдается только красная асимметрия; она меняется только по значению, см. рис. 2;
3. $\delta(R) > 0$ на некоторых глубинах профиля и $\delta(R) < 0$ на других глубинах. Асимметрия меняется и по значению, и по знаку внутри профиля, см. рис. 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. I. Kostyk, *Astron. Zh.* **62**, 112 (1985).
2. D. M. Kuli-Zade, *Astronomy Reports* **45**, 75 (2001).
3. F. Cavallini, G. Ceppatelli, and A. Righini, *Astron. and Astrophys.* **173**, 155 (1987).
4. D. Dravins, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **20**, 61 (1982).
5. L. A. Higgs, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **124**, 51 (1962).
6. R. I. Kostik and T. V. Orlova, *Solar Phys.* **53**, 353 (1977).
7. H. Balthasar, *Solar Phys.* **99**, 31 (1985).
8. R. L. Kurucz, I. Furenlid, J. Brault, and L. Testerman, *Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm* (Nat. Solar Obs., New Mexico, 1984).

The Fraunhofer Lines Classifications by Asymmetry Changes Inside the Profiles in the Spectrum of the Sun

D. M. Kuli-Zade, S. G. Mamedov and Z. F. Aliyeva

The method of asymmetry change inside Fraunhofer lines profiles is proposed. New digital spectra with high resolution were used. It was shown that asymmetry may change repeatedly by value and a sign inside the spectral line profile. The lines can be classified in three groups on asymmetry changes inside the profiles.

Keywords: *line: profiles—Sun: general*