

## ASTROFİZİKA

О ТОНКОЙ СТРУКТУРЕ ПРОФИЛЯ ЛИНИИ  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$   
В СПЕКТРЕ ЦЕНТРА ДИСКА СОЛНЦА

Д.М.КУЛИ-ЗАДЕ, З.Ф.ШАБАНОВА  
Бакинский Государственный Университет  
e-mail: [ckulizade@yahoo.com](mailto:ckulizade@yahoo.com), [ckulizade@mail.ru](mailto:ckulizade@mail.ru)

*На основе цифровых спектральных материалов, полученных с помощью двойных монохроматоров высокой дисперсии, построен профиль линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI в спектре центра диска Солнца. Детально исследуется тонкая структура профиля линии. Определены параметры асимметрии профиля.*

**Ключевые слова:** Солнечный спектр. Фраунгоферовы линии. Асимметрия профилей.

## §1. Введение

Линия  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI с потенциалом возбуждения нижнего уровня  $\epsilon=3.2 \text{ eV}$  возникает при переходе с нечетного уровня  $z^5 D_4^0$  на четный уровень  $e^5 D_4$  и является самой интенсивной линией мультиплета  $z^5 D^0 - e^5 D$ . Это и следует от того, что для этой линии  $\Delta L=\Delta J$ . В спектре Солнца линия  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  представлена как одна из наиболее свободных от blends линией.

Выбор линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI для данной работы связан с тем, что в работе Костыка и Хоменко [1] подробно исследовано влияние конвективных движений и звуковых волн на профили этой линии. Раньше в работах Теплицкой [2], Костыка и Орловой [3] было показано, что волновые движения в фотосфере вызывают незначительную асимметрию профилей линий поглощения. Однако недавно Хансмейер и др. [4] показали, что волны могут существенно влиять на профили фраунгоферовых линий и вызвать значительную асимметрию.

Естественно ожидать, что асимметрия профилей линий поглощения в спектре Солнца может быть вызвана конвективными движениями и звуковыми волнами. Характер асимметрии и форма показателя асимметрии профилей линий может зависеть от механизма, вызывающего асимметрию. Поэтому из анализа асимметрии профилей линий можно выяснить физические процессы вызывающие асимметрию профилей фраунгоферовых линий в спектре Солнца.

Костык и Хоменко [1] из решения системы гидродинамических уравнений с использованием трехмерной модели солнечной атмосферы исследовали процесс распространения звуковой волны в движущихся гранулах и межгранулярных областях, и показали, что характер изменения бисектора профиля линии синтезированного с учетом отклонения от ЛТР со временем хорошо воспроизво-

дит данные наблюдения. Основная цель их исследования изучить влияния распространяющейся звуковых волн на бисекторы профилей линий и сравнить его с влиянием, оказываемым конвективными движениями. Они показали, что величина асимметрии профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI, обусловленная звуковыми волнами, сравнима с асимметрией, вызванной конвективными движениями.

Цель настоящей работы построить точный наблюдаемый профиль линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI в спектре центра диска Солнца на основе точнейших цифровых материалов, полученных с помощью быстросканирующих монохроматоров двойной дисперсии, определить параметры асимметрии, и по ним судить о роли звуковых волн при формировании асимметричных профилей фраунгоферовых линий в спектре Солнца.

## § 2. Наблюдаемый профиль линии в спектре центра диска Солнца

Линия  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI довольно чистая (свободная от бленд) линия в данной области спектра. По таблице Мур на ее фиолетовом крыле расположены очень слабые линии  $\lambda 5324.097 \text{ \AA}$  SrI и  $\lambda 5323.930 \text{ \AA}$  TiI. Их интенсивность составляют примерно одну сотую часть интенсивности исследуемой линии. На далеком красном крыле этой линии расположена не идентифицированная очень слабая линия  $\lambda 5324.705 \text{ \AA}$ . Из-за слабости указанные блендирующие линии никак не могут деформировать профиль линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$ .

Наблюдаемый профиль линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI был построен по цифровому спектральному материалу, полученному Дельбулем и др. [5] с помощью быстросканирующего двойного монохроматора, где остаточная интенсивность дается шагом  $2 \text{ m\AA}$ . Это позволяет довольно надежно определить профиль линии и исследовать ее тонкую структуру.

В спектре центра диска Солнца крылья линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  простираются до  $100 \text{ m\AA}$  в обе стороны от линии. Внимательный мониторинг профиля не обнаружил депрессию профиля в области наиболее близкой линии  $\lambda 5324.097 \text{ \AA}$  SrI.

Наблюдаемый профиль линии дается в таблице 1, где  $\Delta\lambda$  - расстояние от центра линии в  $\text{m\AA}$ ,  $R_v$  - глубина профиля, которая дается для фиолетового ( $R_v$ ) и красного ( $R_r$ ) крыльев профиля линии. Центр профиля линии был определен на уровне полуширины профиля линии  $\Delta\lambda_{1/2}$ .

Таблица 1

Наблюдаемый профиль линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI

$\Delta\lambda \text{ m\AA}$	$R_v$	$R_r$	$\Delta R=R_v-R_r$	$\Delta\lambda \text{ m\AA}$	$R_v$	$R_r$	$\Delta R=R_v-R_r$
0.000	0.860	0.860	0.000	0.200	0.260	0.265	-0.005
010	847	860	-0.013	220	237	230	0.007
020	825	855	-0.030	240	215	203	0.012
030	775	840	-0.065	260	197	177	0.020
040	740	818	-0.078	280	180	157	0.027
050	680	770	-0.090	300	167	143	0.024
060	645	725	-0.080	380	125	097	0.028
070	610	665	-0.055	460	097	072	0.025
080	575	615	-0.060	540	072	057	0.015
090	540	575	-0.035	620	057	047	0.010

Продолжение таблицы 1.

100	510	540	-0.030		700	047	040	0.007
110	480	500	-0.020		780	037	037	0.000
120	450	465	-0.015		860	027	030	-0.003
130	425	430	-0.005		940	023	025	-0.002
140	400	400	0.000		1.020	020	021	-0.001
150	370	380	-0.010		100	014	015	-0.001
160	345	350	-0.005		180	007	007	0.000
170	325	325	0.000		260	003	003	0.000
180	295	300	-0.005		340	000	000	0.000
190	280	280	0.000					

По наблюдаемому профилю были определены основные параметры профиля линии: эквивалентная ширина  $W$ , полуширина  $\Delta\lambda_{1/2}$ , четвертьширина  $\Delta\lambda_{1/4}$  и центральная глубина  $R_0$ . Эквивалентная ширина была определена по формуле

$$W = 2 \sum \frac{\Delta\lambda_i}{3} [(R_0 + R_{2n}) + 2(R_1 + R_3 + \dots + R_{2n-1}) + 4(R_2 + R_4 + \dots + R_{2n-2})],$$

где  $\Delta\lambda_i$  – шаг,  $R_0$  и  $R_{2n}$  – начальное ( $\Delta\lambda=0$ ) и конечное значения глубины профиля,  $R_1, R_3, \dots, R_{2n-1}$  – нечетные значения, а  $R_2, R_4, \dots, R_{2n-2}$  – четные значения глубины профиля.

Результаты определений основных параметров профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры профиля  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI в спектре центра диска Солнца

$\Delta\lambda_{1/2} \text{ m\AA}$	$\Delta\lambda_{1/4} \text{ m\AA}$	$R_0$	$W \text{ m\AA}$
258	470	0.860	350

### § 3. Тонкая структура профиля линии

#### 1. Дифференциальная асимметрия профиля линии $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$ FeI

$$\delta(R_i) = \Delta\lambda_{iL} - \Delta\lambda_{iR}$$

определяемая методом Д.М. Кули-Заде [6], в зависимости от глубины  $R$ , приведена в таблице 3, где  $\Delta\lambda_{iL}$  и  $\Delta\lambda_{iR}$  – расстояния от центра профиля линии на ее фиолетовом и красном крыльях, соответственно, при заданной глубине профиля.

На рис. 1. представлена зависимость дифференциальной асимметрии  $\delta(R)$  от глубины профиля линии  $R$ . Это показывает изменение асимметрии внутри профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI по величине и знаку.

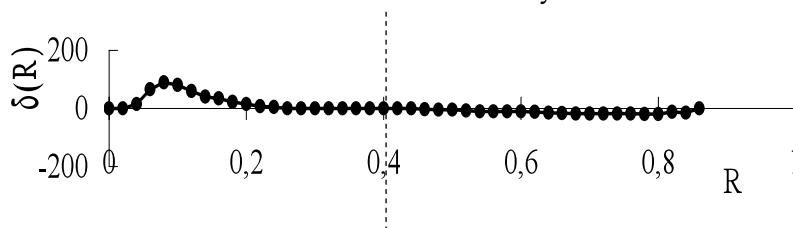


Рис. 1. Зависимость дифференциальной асимметрии от глубины профиля (вертикальная пунктирная линия показывает центр профиля линии на уровне полуширины).

Как видно, в крыльях линии, т.е. при  $R < 0.30$  дифференциальная асимметрия  $\delta(R) > 0$ , т.е. наблюдается значительная фиолетовая асимметрия. В интервале  $0.30 < R < 0.45$  дифференциальная асимметрия  $\delta(R) \approx 0$ , т.е. на этом интервале глубин профиль симметричен, а начиная с  $R > 0.45$  получается, что  $\delta(R) < 0$ , т.е. наблюдается красная асимметрия.

Таблица 3

Изменение дифференциальной асимметрии  $\delta(R)$   
внутри линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA FeI}$

R	$\delta(R)$	R	$\delta(R)$
0.00	0	0.46	-3
0.02	0	0.48	-5
0.04	15	0.50	-5
0.06	65	0.52	-8
0.08	90	0.54	-10
0.10	80	0.56	-10
0.12	60	0.58	-10
0.14	40	0.60	-10
0.16	35	0.62	-13
0.18	23	0.64	-15
0.20	15	0.66	-17
0.22	8	0.68	-18
0.24	5	0.70	-18
0.26	0	0.72	-18
0.28	0	0.74	-18
0.30	0	0.76	-18
0.32	0	0.78	-20
0.34	0	0.80	-20
0.36	0	0.82	-13
0.38	0	0.84	-15
0.40	0	0.86	0
0.42	0	0.46	-3
0.44	0	-	-

## 2. Интегральная асимметрия

$$\Lambda = \sum |\delta(R_i)| \Delta R_i = \sum_{\delta(R) > 0} |\delta(R_i)| \Delta R_i + \sum_{\delta(R) < 0} |\delta(R_i)| \Delta R_i$$

профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$ , как и другие параметры асимметрии была определена по оригинальной программе [7] составленной на кафедре астрофизики БГУ. Были определены также положительная

$$\Lambda_+ = \sum_{\delta(R) > 0} |\delta(R_i)| \Delta R_i$$

и отрицательная

$$\Lambda_- = \sum_{\delta(R) < 0} |\delta(R_i)| \Delta R_i$$

доли интегральной асимметрии.

### 3. Остаточная асимметрия

$$\Delta\Lambda = \sum_{\delta(R)>0} |\delta(R_i)|\Delta R_i - \sum_{\delta(R)<0} |\delta(R_i)|\Delta R_i,$$

показывающая преимущества фиолетовой ( $\Delta\Lambda>0$ ) и красной ( $\Delta\Lambda<0$ ) асимметрий, определена также согласно [6] и [7].

Таблица 4

Параметры асимметрии профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA FeI}$   
в спектре центра диска Солнца

$\Lambda \text{ m\AA}$	$\Lambda_+ \text{ m\AA}$	$\Lambda_- \text{ m\AA}$	$\Delta\Lambda \text{ m\AA}$	$\Lambda_o \%$
15.8	9.5	-6.3	3.2	4.5

### 4. Относительная асимметрия профиля линии определялась по формуле

$$\Lambda_o = \frac{\sum |\delta(R_i)|\Delta R_i}{W},$$

где  $W$  – эквивалентная ширина линии. Она показывает какую долю составляет интегральная асимметрия от полного поглощения в линии.

Результаты определений интегральной, остаточной и относительной асимметрий, а также положительная и отрицательная доли интегральной асимметрии приведены в таблице 4. Как видно из таб. 4, интегральная асимметрия профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  составляет приблизительно 4.5 % от полного поглощения в линии. Положительная доля интегральной асимметрии составляет ~2,6 %, а отрицательная - ~1,6 % от полного поглощения в линии.

### § 4. Обсуждения

В спектре Солнца линия  $\lambda 5324.185 \text{ \AA FeI}$  является линией средней интенсивности. Для этой линии потенциал возбуждения нижнего уровня  $\epsilon=3.21 \text{ eV}$ , а верхнего уровня  $\epsilon=5.52 \text{ eV}$ . Центральная остаточная интенсивность линии в спектре центра диска Солнца  $r_o=0.140$ . Это говорит о том, что центр этой линии эффективно формируется в верхнем слое фотосферы, соответствующей температурному минимуму, в то время когда крылья линии образуются в области образования непрерывного спектра, т.е. в глубоких слоях фотосферы.

Наше исследование показывает, что в спектре центра диска Солнца центр линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA FeI}$  смещен в красную сторону, а крылья в фиолетовую сторону. В результате, в области профиля, где глубина  $R>0.40$  наблюдается красная асимметрия ( $\delta(R)<0$ ), в области, где  $R<0.40$ - фиолетовая асимметрия ( $\delta(R)>0$ ).

Согласно Щукиной и Трухилло [9] область образования этой линии простирается от  $H=10 \text{ км}$  до  $H=500 \text{ км}$ . Высота фотосферы  $H=10 \text{ км}$  соответствует непрерывному спектру, а высота  $H=500 \text{ км}$  – центральной интенсивности линии. Очевидно, что в области эффективного формирования центра линии в фотосфере следует ожидать значительное влияние волновых движений на профиль линии.

Теоретическое исследование Костыка и Хоменко [1] показали, что над гранулами центр линии смещается в фиолетовую сторону, а над межгранулярными областями – в красную. Даже в области температурного минимума конвективные движения не исчезают. И в этой области над гранулами вещество, в

основном поднимается, а над межгранулярными – опускается. В области температурного минимума скорость опускающихся элементов турбуленции преобладает над скоростью поднимающихся элементов. Такая же картина наблюдается в области формирования непрерывного спектра. Это качественно может объяснить вышеуказанный наблюдаемый факт о смещении центра линии в красную, а крыльев в фиолетовую сторону и следовательно наблюдаемую асимметрию профиля линии  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костык Р.И., Хоменко Е.В. Астрон. ж. , 2002, Т.79, №11, с. 1027.
2. Terplitskaya R.B., Solar Phys., 1969, V6, 18.
3. Kostik R.I., Orlova T.V., Solar Phys., 1974, V36, 279.
4. Hanslmeier A. et al, Dordrecht, Kluwer, 2001, p. 267.
5. Delbouille L., Neven L., Roland G. Photometric Atlas of the solar spectrum from  $\text{\AA} 3000$  to  $10\ 000\text{\AA}$ ; Lige, 1973, p.241.
6. Кули-Заде Д.М., Вестник БГУ, 2002, №2, 72.
7. Kuli-zade D.M., Basal M., Kandemir G. Kinemat. and phys. of celestial bodies, 1995, №2, p.51-56.
8. Кули-Заде Д.М. Вестник БГУ, 2004, №2, 158.
9. Shchukina N.G., Trujillo J., Solar Phys., 1997, 172, 117.

### GÜNƏŞ DİSKİ MƏRKƏZİNİN SPEKTRİNDƏ $\lambda 5324.185$ E XƏTTİNİN PROFİLİNİN İNCƏ QURULUŞU HAQQINDA

C.M.QULUZADƏ, Z.F.ŞABANOVA

#### XÜLASƏ

Yüksək dispersiyalı ikiqat monoxromatorlarda alınmış spektral materiallar əsasında  $\lambda 5324.185$ E FeI xəttinin Günəş diski mərkəzinin spektrində profili qurulmuşdur. Xəttin profilinin incə quruluşu ətraflı tədqiq olunur. Xəttin profilinin assimetriya parametrləri təyin olunur.

### ON THE FINE STRUCTURE OF THE $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$ IN THE SPECTRUM OF THE SUNS DISK CENTRE

C.M.KULI-ZADE, Z.F.SHABANOVA

#### SUMMARY

The profile of the line  $\lambda 5324.185 \text{ \AA}$  FeI in the Spectrum of the Sun's centre disk using digital spectral materials obtained by double monochromators is constructed. The fine structure of the line is investigate. The line profiles asymmetry parameters are defined.

**Key words:** Solar spectrum. Fraunhofer lines. Profiles asymmetry.