

## ASTROFİZİKA

ПРОФИЛИ ЛИНИЙ ИНФРАКРАСНОГО ТРИПЛЕТА  
Ca II В СПЕКТРЕ СОЛНЦА

Д.М.КУЛИ-ЗАДЕ, З.Ф.ШАБАНОВА, Р.САРТИПЗАДЕ  
*Бакинский Государственный Университет*  
*Ckulizade @ mail.ru*

*Построены профили линий инфракрасного триплета CaII в спектре центра диска Солнца. Были использованы цифровые спектральные материалы высокой дисперсии и высокого спектрального разрешения, полученные Дельбулем и др. с помощью двойного монохроматора. Определены основные спектрофотометрические характеристики профилей (эквивалентные ширины, полуширины, четвертиширины и центральные глубины) с большой точностью. Оцениваются теоретические относительные интенсивности линий.*

Квазирезонансные линии инфракрасного триплета CaII  $4^2P^0_{1/2,3/2} \rightarrow 3^2D_{3/2,5/2}$  являются сильнейшими в инфракрасной области спектра Солнца. Однако их профили до сих пор подробно не были исследованы, что связано с тем, что в этой области спектра невозможно было получить спектр Солнца с высокой дисперсией и высоким спектральным разрешением.

Только после применения новых спектральных приборов – двойных монохроматоров с высоким спектральным разрешением стало возможным получить высококачественный спектр Солнца, что дает возможность исследовать профили фраунгоферовых линий в инфракрасной области спектра Солнца.

В данной работе исследуются профили линий инфракрасного триплета CaII, возникающие при переходе с нечетного терма  $4^2P_{1/2,3/2}$  на четный терм  $3^2D_{3/2,5/2}$  [1]. На рис.1 показаны переходы, соответствующие линиям  $\lambda 8542.089 \text{ \AA}$  ( $^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{5/2}$ ),  $\lambda 8498.144 \text{ \AA}$  ( $^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$ ),  $\lambda 8662.170 \text{ \AA}$  ( $^2P_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$ ).

**Наблюдаемые профили линий**

Профили линий были построены по цифровым спектральным материалам высокой дисперсии [2]. Остаточная интенсивность в этом материале дается через  $2 \text{ m\AA}$ , что позволяет построить наиболее надежные профили линий и определить их спектрофотометрические характеристики с большой точностью.

Методика построения профилей линий и определения спектрофотометрических характеристик описана в [4]. Анализ профилей линий проведен по [5,6,7].

Таблица 1

Наблюдаемый профиль линии  $\lambda 8498.062 \text{ \AA}$ 

$\Delta\lambda, \text{ \AA}$	$R_v (\Delta\lambda)$	$R_r (\Delta\lambda)$	$R_{cp} = \frac{R_v + R_r}{2}$	$\Delta R = R_v - R_r$
0.00	0.722	0.722	0.722	0.00
05	713	714	713	-0,001
10	675	687	681	-0,012
15	604	650	627	-0,046
20	550	592	571	-0,042
25	507	508	507	-0,001
30	470	450	460	0,02
35	433	420	426	0,013
40	413	390	401	0,023
45	392	368	380	0,024
50	369	345	357	0,024
55	348	327	337	0,021
60	325	308	316	0,017
65	305	287	296	0,018
70	285	265	275	0,02
75	267	250	258	0,017
80	253	236	244	0,017
1.20	143	150	146	-0,007
60	097	087	092	0,01
2.00	084	067	075	0,017
40	048	050	049	-0,002
80	035	037	036	-0,002
3.20	027	030	028	-0,003
60	019	030	024	-0,011
4.00	018	028	023	-0,01
40	016	027	021	-0,011
80	012	026	019	-0,014
5.20	010	025	017	-0,015
60	009	022	015	-0,013
6.00	006	017	011	-0,011
7.00	002	010	006	-0,008
8.00	000	005	002	-0,005
9.00	000	000	000	0.000

Наблюдаемый профиль линии  $\lambda 8542.144 \text{ \AA}$ 

$\Delta\lambda, \text{ \AA}$	$R_v(\Delta\lambda)$	$R_r(\Delta\lambda)$	$R_{cd} = \frac{R_v + R_r}{2}$	$\Delta R = R_v - R_r$
0.00	0.812	0.812	0.812	0.000
20	670	695	682	-0.025
40	530	520	525	0.010
60	465	460	462	0.005
80	420	415	417	0.005
1.00	380	373	376	0.007
20	345	332	338	0.013
40	312	300	306	0.012
60	275	273	274	0.002
80	247	243	245	0.004
2.00	220	215	217	0.005
20	197	196	196	0.001
40	177	175	176	0.002
60	157	162	159	-0.005
80	142	148	145	-0.006
3.00	130	137	133	-0.007
20	120	125	122	-0.005
40	108	115	111	-0.007
60	102	105	103	-0.003
80	091	097	094	-0.006
4.00	082	089	085	-0.007
20	067	084	075	-0.017
40	056	077	066	-0.021
60	062	070	066	-0.008
80	057	063	060	-0.006
5.80	040	050	045	-0.010
6.80	030	032	031	-0.002
7.80	020	023	022	-0.003
8.80	010	010	010	0.000
9.80	005	004	005	0.001
10.60	000	000	000	0.000

Наблюдаемый профиль линии  $\lambda 8662.170 \text{ \AA}$ 

$\Delta\lambda, \text{ \AA}$	$R_v(\Delta\lambda)$	$R_r(\Delta\lambda)$	$R_{ср} = \frac{R_v + R_r}{2}$	$\Delta R = R_v - R_r$
0.00	0.818	0.818	0.818	0.000
05	815	805	810	0.010
10	795	760	777	0.035
15	755	748	751	0.007
20	700	685	692	0.015
25	655	620	637	0.035
30	595	580	587	0.015
35	552	554	553	-0.002
40	535	520	527	0.015
45	527	510	518	0.017
50	512	497	504	0.015
60	490	475	482	0.015
70	472	460	466	0.012
80	450	444	447	0.006
90	435	425	430	0.010
1.00	420	405	412	0.015
50	343	325	334	0.018
2.00	280	260	270	0.020
50	220	205	212	0.015
3.00	180	170	175	0.010
50	165	140	152	0.025
4.00	120	120	120	0.000
50	105	098	101	0.007
5.00	082	082	082	0.000
50	066	068	067	-0.002
6.00	050	053	051	-0.003
7.00	020	032	026	-0.012
8.00	000	018	009	-0.018

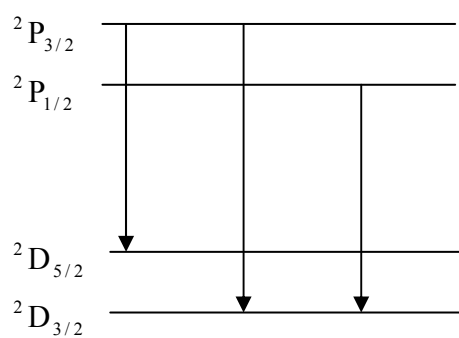


Рис. 1. Инфракрасный триплет CaII.

В спектре центра диска Солнца линии инфракрасного триплета CaII характеризующийся широкими крыльями, простирающимися на 8-10 Å, в обе стороны. В таблицах 1-3 приведены наблюдаемые профили линий (глубины профилей в зависимости от расстояния от центра линии).

В первом столбце таблиц дано расстояние от центра линии  $\Delta\lambda$  в Å, во втором и третьем- глубина профиля в фиолетовом и красном крыльях,  $R_v$  и  $R_r$  соответственно, в четвертом - средняя глубина профиля  $R_{cp}$  в последнем разность глубин профиля в фиолетовом и красном крыльях  $\Delta R = R_v - R_r$ .

На рис. 2 приведены наблюдаемые профили инфракрасного триплета CaII, где ●● - соответствуют линии  $\lambda 8498.062$  Å, ○○-  $\lambda 8542.144$  Å, ++ -  $\lambda 8662.170$  Å.

Обычным методом спектрофотометрии были определены основные спектрофотометрические характеристики профилей линий (эквивалентные ширины  $W$ , полуширины  $\Delta\lambda_{1/2}$  четверширины  $\Delta\lambda_{1/4}$ , и центральные глубины  $R_0$ ), которые приведены в таблице 4.

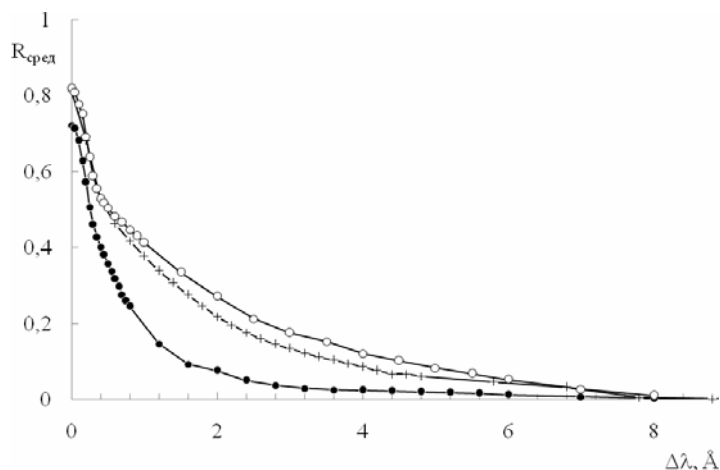


Рис. 2. Наблюдаемые профили инфракрасного триплета CaII. (●●  $\lambda 8498.062$  Å, ○○  $\lambda 8542.144$  Å, ++  $\lambda 8662.170$  Å).

Таблица 4

**Основные спектрофотометрические характеристики профилей инфракрасного триплета CaII в спектре центре диска Солнца**

Линии	Величины	$\epsilon$ , eV	$W$ , Å	$\Delta\lambda_{1/2}$ , Å	$\Delta\lambda_{1/4}$ , Å	$R_0$
$\lambda 8498.062$		1.69-3.14	1.26	0.99	2.07	0.726
$\lambda 8542.144$		1.69-3.14	2.96	2.10	5.37	0.818
$\lambda 8662.170$		1.69-3.14	2.52	1.72	4.24	0.812

### Обсуждение

Согласно фотометрическому каталогу Мур, Миннаерта и Хоутгаста [2], эквивалентная ширина линии  $\lambda 8542.144 \text{ \AA}$  составляет  $3.7 \text{ \AA}$ , что в два с лишним раза больше чем для линии,  $\lambda 8498.062 \text{ \AA}$  и  $\lambda 8662.170 \text{ \AA}$ .

По нашим данным эквивалентная ширина линии  $\lambda 8542.144 \text{ \AA}$  почти на  $0.7 \text{ \AA}$  меньше чем в [3], что требует отдельное исследование. Для других двух линий согласие удовлетворительно.

По правилу сумм для отношений интенсивностей линий инфракрасного триплета Ca II получим:

$$I(^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{5/2}) : I(^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{3/2}) : I(^2P_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}) = 9 : 1 : 5$$

Это соотношение в условиях солнечной фотосферы не оправдывается, что связано самопоглощением. В результате того, что самопоглощение в сильных линиях гораздо больше, происходит выравнивание интенсивностей.

Относительные интенсивности линий этого триплета может определяться по квантомеханическим формулам.

$$I(^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{5/2}) = \frac{\Phi(J+1)\Phi(J)}{J+1}$$
$$I(^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{3/2}) = \frac{(2J+1)R(J)\Phi(J)}{J(J+1)}$$
$$I(^2P_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}) = \frac{P(J)P(J-1)}{J}$$

где

$$P(J) = [(J+L+1)(J+L) - S(S+1)]$$
$$\Phi(J) = [S(S+1) - (J-L+1)(J-L)]$$
$$R(J) = [J(J+1) + L(L+1) - S(S+1)]$$

По этим формулам получим:

$$I(^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{5/2}) : I(^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{3/2}) : I(^2P_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}) = 100 : 11.1 : 55.6 = 10 : 1.1 : 5.6$$

Как видно, квантомеханические расчеты неплохо согласуются результатами правила сумм Бургера-Доргело.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Moore C.E., A Multiplet Table of Astrophysical Interest, Nat. Bureau of St., Washington, 1959, 206 p.
2. Moore C.E., Minnaert M.G.J., Houtgast, The Solar Spectrum 2935  $\text{\AA}$  to 8770  $\text{\AA}$ , Nat. Bureau of St., Monograph 61, Washington, 1966, 249 p.
3. Delbouille L., Neven L., Roland G. Photometric Atlas of the solar spectrum from  $\text{\AA}$  3000 to 10 000 $\text{\AA}$ ; Lige, 1973, 241 p.
4. Кули-Заде Д.М. Фраунгоферов спектр Солнца, Баку, Элм, 2006, 346 с.
5. Кули-Заде Д.М. Вестник БГУ, 2002, №2, с. 72-100.
6. Костык Р.И., Щукина Н.Г. Астрон. журнал, 2004, 79, №11, с. 1027-1033.
7. Кули-Заде Д.М. Кинематика и физика небесных тел, 2009, №6, с. 369-371.

**GÜNƏŞ SPEKTRİNDƏ CaII İNFRAQIRMIZI  
TRİPLET XƏTLƏRİNİN PROFİLLƏRİ**

**C.M.QULUZADƏ, Z.F.ŞABANOVA, P.SƏRTİBZADƏ**

**XÜLASƏ**

İşdə Günəş diski mərkəzinin spektrində CaII infraqırmızı triplet xətlərinin profilləri qurulmuşdur. Spektral material olaraq Delbul və başqalarının yüksək dispersiyalı və yüksək ayırdetməli rəqəmsal spektral materiallarından istifadə olunmuşdur. Profillərin əsas spektrofotometrik xarakteristikaları (ekvivalent enləri, yarım enləri, dördəbir enləri və mərkəzi dərinlikləri) böyük dəqiqliklə təyin olunmuşdur. Xətlərin qalıq intensivlikləri nəzəri olaraq qiymətləndirilmişdir.

**THE CaII INFRARED TRIPLET LINE PROFILES IN THE SOLAR SPECTRUM**

**D.M.KULI-ZADE, Z.F.SHABANOVA, P.SARTIBZADE**

**SUMMARY**

The profiles of the CaII infrared triplet line in the solar disk center spectrum are constructed. The digital spectral materials of high dispersion on high spectral resolution obtained by Delboule and others by double monoxromators are used. The general parameters of the line profile (equivalent widths, half-widths, quarter widths and central intensities) are determined. The theoretical relative intensities of the lines are determined.