

## ASTROFİZİKA

УДК 524.31

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СЛАБЫХ И УМЕРЕННЫХ ФРАУНГФЕРОВЫХ ЛИНИЙ  
В СПЕКТРЕ ПРОЦИОНАД.М.КУЛИ-ЗАДЕ, З.Ф.АЛИЕВА, М.М.ТАИРОВ  
*Бакинский Государственный Университет*  
*ckulizade@mail.ru*

*Определяются спектрофотометрические характеристики профилей около 120 слабых и средних фраунгоферовых линий в спектре  $\alpha$  CM<sub>i</sub> (Проциона) по высокодисперсионным цифровым спектрам. Используются цифровые спектры, полученные Гриффенном Р.Ф. и Гриффенном Р. с помощью быстросканирующей двойного монохроматора высокой дисперсии. Построение профилей и определение спектрофотометрических характеристик проводились программой Origin.*

**Ключевые слова:** процион, профили линий, спектрофотометрические характеристики, Программа Origin.

В предыдущих работах [2,3,4] нами были определены спектрофотометрические характеристики профилей линий бальмеровской серии водорода  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{\delta}$ , а также “b” линий Mg I и D линий NaI в спектре звезды  $\alpha$  Малого Пса (Проциона) по высокодисперсионным цифровым спектрам, полученным Гриффенном Р.Ф. и Гриффенном Р. [1] с помощью быстросканирующего двойного монохроматора. В настоящей работе рассматриваются профили слабых и средних по интенсивности линий различных химических элементов.

***Наблюдаемые профили линий***

В спектральной области от  $\lambda$  6500Å до  $\lambda$  4200 Å нами были выбраны около 120 линий слабой и средней интенсивности, свободные от на-

ложения соседних линий. Потенциалы возбуждения используемых линий меняются от 0.05 до 6.63 eV .

В используемом цифровом спектральном материале остаточные интенсивности фраунгоферовых линий даются шагом 5mÅ. При построение профилей линий мы использовали шаг 10 mÅ. Это было достаточно для построения профилей линий и определения их спектрофотометрических характеристик довольно уверенно.

Процедура построения профилей и определения спектрофотометрических характеристик (эквивалентные ширины  $W$ , полуширины  $\Delta\lambda_{1/2}$ , четвертьширины  $\Delta\lambda_{1/4}$  и центральные глубины  $R_0$ ) проводилась программой Origin.

В таблице 1 приведены наблюдаемые спектрофотометрические характеристики слабых и средних по интенсивности линий в спектре Прокциона. В первом столбце таблицы даны длины волн, во втором – принадлежность, в третьем – потенциал возбуждения нижнего уровня, в четвертом – эквивалентные ширины, в пятом – полуширины, в шестом – четвертьширины и в седьмом- центральные глубины.

Отметим, что понятие «четвертьширины» впервые введены на кафедре астрофизики Бакинского Государственного Университета Кули-Заде. Он показал, что для анализа механизмов уширения линий поглощения в звездных атмосферах четвертьширины более характерны чем полуширины профилей. Именно на этом уровне профиля линии наблюдается заметное изменение механизма уширения.

Таблица 1

**Спектрофотометрические характеристики слабых и средних фраунгоферовых линий в спектре Прокциона**

$\lambda, \text{Å}$	Элемент	EP (eV)	$W$ (mÅ)	$\Delta\lambda_{1/2}$ (mÅ)	$\Delta\lambda_{1/4}$ (mÅ)	$R_0$
1	2	3	4	5	6	7
4140.420	Ti I	2.23	43	133	203	0.295
4157.788	Fe I	3.40	118	161	241	0.618
4163.650	V II	3.11	139	170	289	0.675
4231.040	Ni I	3.53	40	143	212	0.260
4246.258	Fe I	2.85	130	203	279	0.586
4266.968	Fe I	2.72	69	138	204	0.450
4278.195	Fe I	0.05	87	182	250	0.431
4389.250	Fe I	0.05	41	131	190	0.289
4438.353	Fe I	3.67	32	135	202	0.211
4447.730	Fe I	2.21	124	176	259	0.631
4451.586	Mn I	2.88	84	157	228	0.470

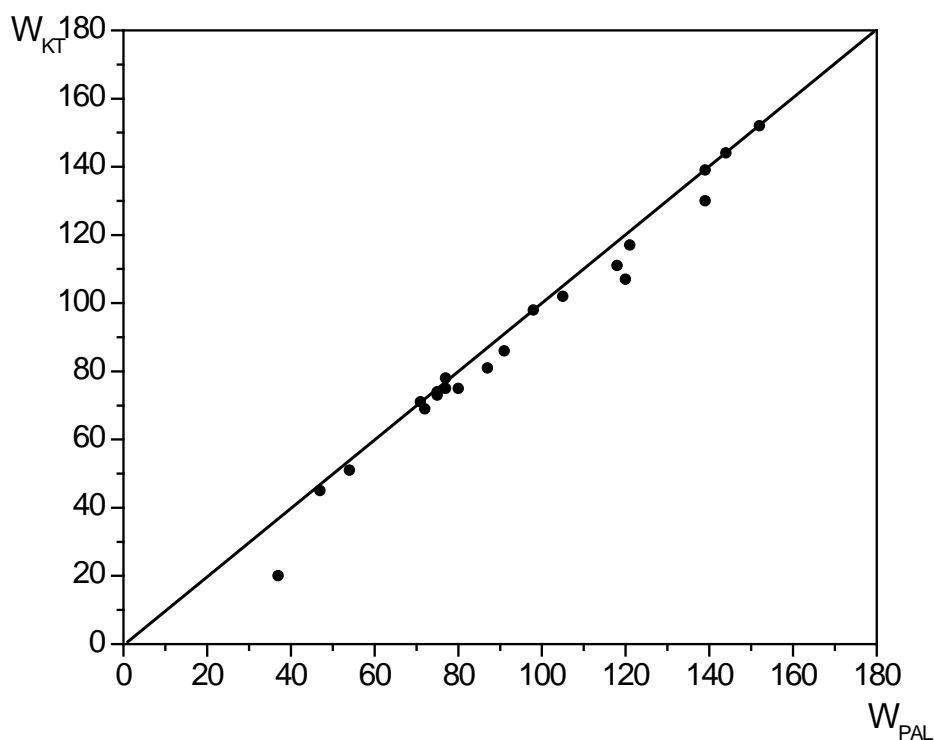
4485.679	Fe I	3.67	64	146	221	0.396
4515.337	Fe II	2.83	123	173	263	0.618
4531.633	Fe I	3.20	35	139	204	0.237
4547.850	Ti I	2.47	72	147	217	0.455
4550.771	Fe I	0.12	61	150	242	0.365
4554.045	Ba II	0.05	184	209	295	0.770
4576.345	Fe II	2.83	98	159	233	0.524
4589.960	Ti II	1.23	109	170	248	0.598
4602.948	Fe I	1.48	102	158	232	0.580
4602.005	Fe I	1.60	44	130	191	0.311
4616.640	Cr II	4.05	70	151	219	0.403
4617.270	Ti I	1.74	35	125	196	0.244
4620.519	Fe II	2.82	75	150	221	0.449
4625.052	Fe I	3.23	74	151	228	0.427
4634.085	Cr II	4.05	90	161	236	0.479
4651.285	Cr I	0.98	54	136	217	0.332
4652.168	Cr I	1.00	80	158	230	0.446
4686.224	Ni I	3.58	53	142	222	0.272
4700.171	Fe I	3.68	37	139	210	0.261
4710.290	Fe I	3.00	69	154	243	0.402
4718.429	Cr I	3.18	47	147	216	0.272
4722.159	Zn I	4.01	61	149	220	0.376
4733.000	N IV	5.98	64	145	216	0.390
4739.108	Mn I	2.93	29	146	213	0.174
4741.542	Fe I	2.82	50	144	218	0.318
4779.990	Ti II	2.04	84	158	236	0.493
4789.770	Ti I	0.83	44	135	218	0.295
4789.659	Fe I	3.53	78	155	225	0.438
4903.318	Fe I	2.87	107	177	259	0.556
4904.420	Ni I	3.53	69	155	239	0.397
4917.240	Fe I	4.17	43	166	223	0.268
4922.267	Cr I	3.09	59	177	247	0.316
4924.775	Fe I	2.27	77	161	253	0.400
4930.310	Fe I	3.94	48	164	244	0.265
4932.029	V I	1.21	51	190	273	0.254
4935.830	Ni I	3.92	43	144	211	0.254
4942.495	Cr I	0.94	48	180	275	0.238
4950.112	Fe I	3.40	48	154	236	0.286
4953.221	Ni I	3.72	31	135	200	0.217
4969.927	Fe I	4.20	62	150	228	0.341
4973.108	Fe I	3.94	60	153	225	0.371
4980.190	Ni I	3.59	83	175	252	0.442
4988.965	Fe I	4.14	69	154	254	0.382
4994.130	Fe I	0.91	80	153	225	0.475

5002.800	Fe I	3.38	51	162	232	0.302
5020.028	Ti I	0.83	70	186	269	0.360
5029.620	Fe I	3.40	29	161	259	0.160
5031.030	Fe I	3.53	95	157	251	0.490
5049.830	Fe I	2.27	111	170	257	0.580
5080.545	Ni I	3.64	90	179	272	0.480
5081.125	Ni I	3.83	80	169	250	0.444
5083.342	Fe I	0.95	84	163	239	0.486
5090.780	Fe I	4.24	74	171	256	0.397
5105.549	Cu I	1.38	43	154	223	0.270
5109.662	Fe I	4.30	61	161	240	0.334
5110.414	Fe I	0.05	114	180	270	0.548
5115.390	Ni I	3.83	58	160	233	0.347
5120.360	Fe II	2.83	34	162	234	0.194
5121.629	Fe I	4.28	59	180	267	0.340
5126.210	Fe I	4.26	55	167	242	0.282
5127.360	Fe I	0.91	73	156	234	0.423
5133.700	Fe I	4.18	129	195	204	0.521
5150.860	Al III	2.34	83	193	270	0.460
5151.915	Fe I	1.01	71	159	230	0.403
5159.660	Fe I	4.26	52	157	240	0.301
5167.340	Mg I	2.70	390	360	559	0.764
5172.698	Mg I	2.70	425	411	687	0.802
5176.552	Ni I	3.88	37	155	239	0.236
5183.640	Mg I	2.70	578	485	866	0.826
5198.725	Fe I	2.21	74	160	240	0.430
5202.330	Fe I	2.17	131	210	311	0.540
5204.520	Cr I	0.94	145	206	298	0.658
5210.400	Ti I	0.05	52	152	230	0.303
5211.544	Ti II	2.58	46	155	222	0.281
5217.395	Fe I	3.20	79	166	254	0.460
5242.495	Fe I	3.62	74	168	251	0.409
5281.800	Fe I	3.03	112	188	286	0.534
5288.533	Fe I	3.68	20	157	232	0.210
5302.309	Fe I	3.27	113	194	298	0.497
5305.870	Cr II	3.81	46	175	247	0.242
5307.360	Fe I	1.60	80	212	324	0.346
5313.590	Cr II	4.05	61	172	268	0.302
5324.190	Fe I	3.20	169	221	349	0.609
5325.550	Fe II	3.21	74	173	262	0.379
5334.870	Cr II	4.05	53	175	249	0.284
5343.438	Co I	4.01	43	172	245	0.237
5348.320	Cr I	1.00	71	177	261	0.371
5362.864	Fe II	3.19	120	229	328	0.523
5367.470	Fe I	4.40	117	203	307	0.525

5371.495	Fe I	0.95	181	249	374	0.670
5373.719	Cr I	3.83	47	169	248	0.260
5379.581	Fe I	3.68	41	157	259	0.230
5383.380	Fe I	4.29	139	215	323	0.573
5393.175	Fe I	3.23	112	192	295	0.504
5397.140	Fe I	0.91	152	228	326	0.642
5398.285	Fe I	4.43	62	185	271	0.307
5400.509	Fe I	4.35	100	217	317	0.428
5409.795	Cr I	1.00	102	196	293	0.483
5418.775	Ti I	1.57	64	176	265	0.337
5425.260	Fe II	3.19	64	179	254	0.332
5429.710	Fe I	0.95	203	291	457	0.632
5432.970	Fe II	3.25	72	179	260	0.362
5434.545	Fe I	1.01	129	204	292	0.600
5445.050	Fe I	4.37	101	192	290	0.463
5487.75	Fe I	4.12	86	193	300	0.374
5586.78	Fe I	3.35	144	224	332	0.572
6024.07	Fe I	4.53	91	205	312	0.404
6065.495	Fe I	2.6	97	210	310	0.430
6102.735	Ca I	1.87	107	210	312	0.472
6122.235	Ca I	1.88	146	227	337	0.579
6136.635	Fe I	2.44	122	215	321	0.486
6137.711	Fe I	2.60	109	217	323	0.467
6191.580	Fe I	2.42	109	213	315	0.460
6219.302	Fe I	2.19	63	206	291	0.297
6230.750	Fe I	2.55	110	221	326	0.476
6496.920	Ba II	0.60	131	224	323	0.558

Prieto C.A., Asplund M., Lopez R. J.G. [5] получили спектр Проциона и по моделям 1D и 3D вычислили эквивалентные ширины ряда линий. Наблюдаемые нами эквивалентные ширины линий хорошо согласуются вычисленными ими результатами. К сожалению, они не определили другие спектрофотометрические характеристики профилей линий. Поэтому нам не удалось сравнить другие характеристики профилей.

На рис 1. определяемые нами наблюдаемые ширины линий ( $W_{\text{KTA}}$ ) сравниваются с вычисленными из модели значениями ( $W_{\text{PAL}}$ ). Как видно, наши данные несколько завышены по сравнению с данными PAL. В целом, сравнение можно считать удовлетворительным.



**Рис. 1.** Сравнение наблюдаемых эквивалентных ширин линий ( $W_{KT}$ ) с вычисленными из модели ( $W_{PAL}$ )

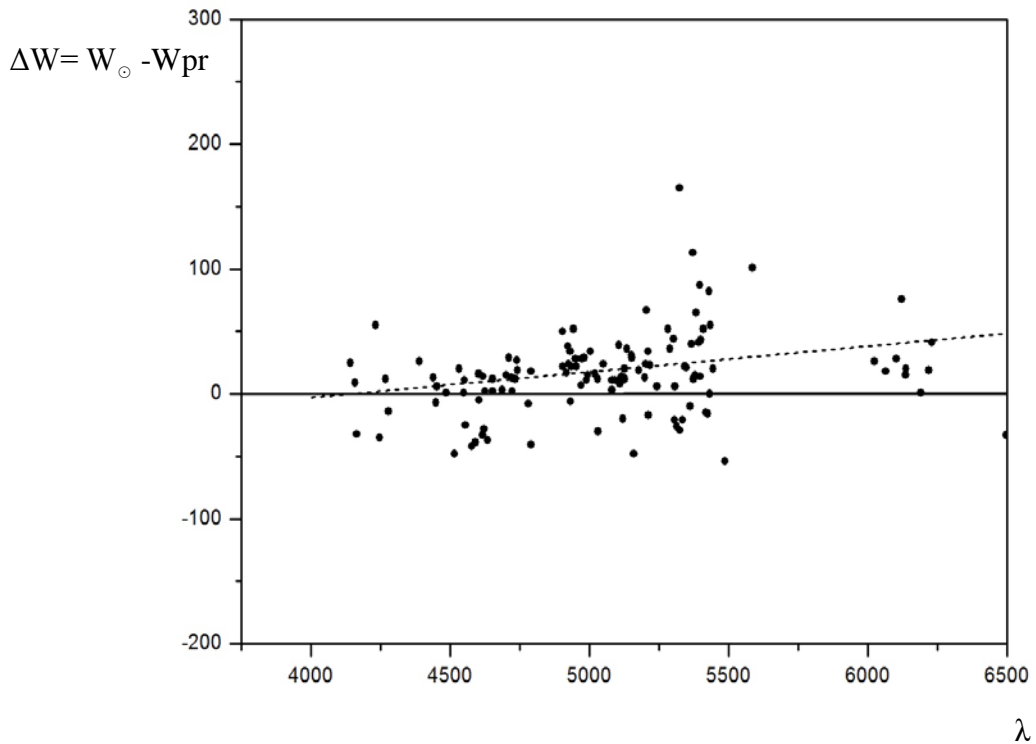
### Сравнение с Солнцем

Процион по спектральному классу и классу светимости [F 5 (IV - V)] близок Солнцу (G2 V). Поэтому представляет интерес сравнение полученных спектрофотометрических характеристик, для Проциона с такими, полученными для Солнца.

На рис. 2 показана зависимость разницы эквивалентных ширин линий в спектре Солнца и Проциона

$$\Delta W = W_{\odot} - W_{Pr}$$

от длины волны  $\lambda$ . Как видно, в области длин волн  $\lambda \leq 4500 \text{ \AA}$  в среднем  $\Delta W \approx 0$ , т.е. в этой области линии в спектре Солнца и Проциона имеют приблизительно одинаковые интенсивности. При  $\lambda \geq 4500 \text{ \AA}$  в среднем  $\Delta W > 0$ , т.е. линии в спектре Солнца несколько сильнее, чем в спектре Проциона.



**Рис. 2.** Зависимость  $\Delta W = W_{\odot} - W_{Pr}$  от длины волны.

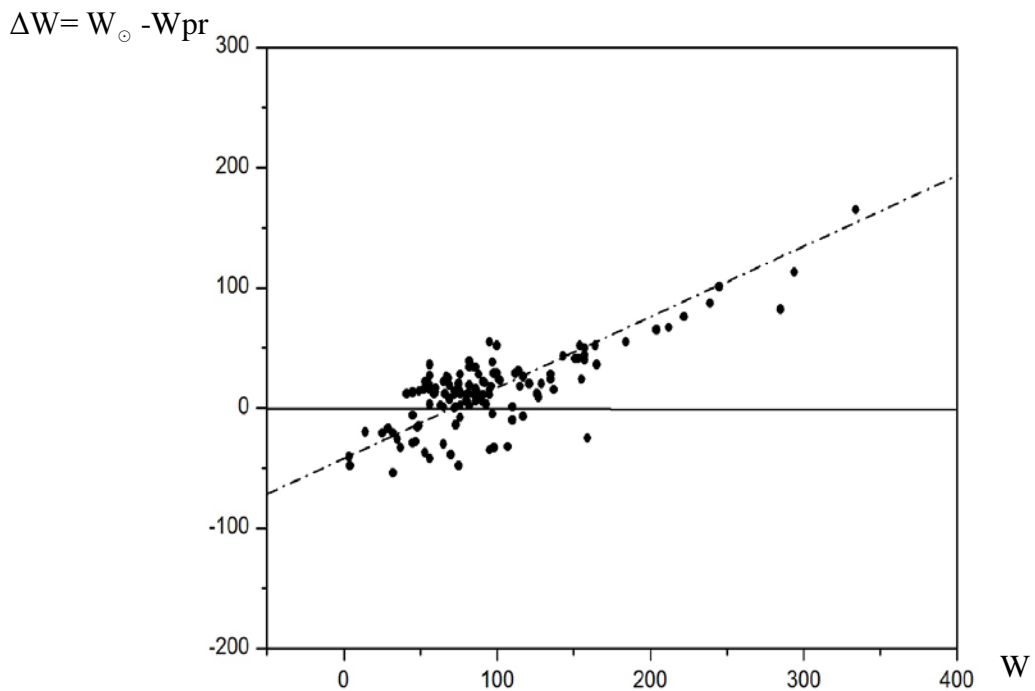
На рис. 3 приведена зависимость разности эквивалентных ширин в спектре Солнца и Проциона от интенсивности линий. Как видно, при  $\lambda \leq 70 - 75 m\text{\AA}$

$$\Delta W = W_{\odot} - W_{Pr} < 0,$$

т.е. слабые линии в спектре Проциона имеют несколько большие эквивалентные ширины нежели в спектре Солнца. При  $\lambda \geq 70 - 75 m\text{\AA}$

$$\Delta W = W_{\odot} - W_{Pr} > 0,$$

т.е. в спектре Солнца линии сильнее, чем в спектре Проциона. Причем с увеличением интенсивности линий разность  $\Delta W = W_{\odot} - W_{Pr}$  значительно растет.



**Рис.3.** Зависимость  $\Delta W = W_{\odot} - W_{Pr}$  от  $W$ .

Солнечные эквивалентные ширины используемых фраунгоферовых линий были заимствованы из каталога Moore Ch.E., Minnaert M.C.J., Houtgast J., The Solar Spectrum 2935Å to 8770 Å [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Griffin R.F. Griffin R. A Photometric Atlas of the Spectrum of Procyon, Cambridge, 1979, 140 p
2. Кули-Заде Д.М., Таиров М.М. Вестник БГУ, 2010, №4, 155-160
3. Кули-Заде Д.М., Мамедов С.Т., Шабанова З.Ф., Таиров М.М. Азербайджанский Астрономический журнал, 2013, №4, ст. 18-26.
4. Кули-Заде Д.М. Фраунгоферов спектр Солнца. Баку, 2007.
5. Carlos Allende Prietio, Martin Asplund, Ramon J. Garcia Lopez, Astrophys. J., 2002, 567, 544.
6. Moore Ch. E., Minnaert M.G.J., Houtgast, I. The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å, NBS, Monograph 61, 1966.

**PROSİYON SPEKTRİNDƏ ZƏİF VƏ ORTA FRAUNHOFER XƏTLƏRİNİN  
SPEKTROFOTOMETRİK XARAKTERİSTİKALARI**

**C.M.QULUZADƏ, Z.F.ƏLİYEVƏ, M.M.TAHİROV**

**XÜLASƏ**

Prosiyon spektrində yüksək dispersiyalı spektral materiallara əsasən 120-yə qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xəttinin profillərinin spektrofotometrik xarakteristikaları təyin olunur. Qriffin R.F. və Qriffin R. tərəfindən yüksək dispersiyalı ikiqat monoxromatorlarda alınmış rəqəmsal spektral materiallardan istifadə olunmuşdur. Profillərin qurulması və spektrofotometrik xarakteristikaların təyini OROĞİN proqramı ilə aparılmışdır.

**Açar sözlər:** prosiyon, xətlərin profili, spektrofotometrik xarakteristikalar, Origin proqramı.

**SPECTROPHOTOMETRIC CHARACTERISTICS  
OF THE WEAK AND MODERATE FRAUNHOFERS LINES**

**D.M.KULI-ZADE, Z.F.ALIEVA, M.M.TAIROV**

**SUMMARY**

Spectrophotometric characteristics of the 120 weak and moderate Fraunhofers lines profiles in the high dispersion digital spectrum of the Procyon are defined. The digital spectrum obtained by Griffin R.F. and Griffin R. by means of double high spectral dispersion monochromators are used.

The construction of profiles and the definition spectrophotometric parameters were conducted by Origin program.

**Key words:** procyon, line profiles, spectrophotometric characteristics, Origin program.

*Поступила в редакцию: 05.11.2014 г.*

*Подписано к печати: 13.02.2015 г.*