

УДК 523.6

Каталог и диаграммы Гротриана для линий мультиплетов железа FeI и FeII, наблюдаемых в метеорных и кометных комах

В.А. Бронштен¹, К.И. Чурюмов², В.А. Пономаренко², В.Г. Кручиненко²,
Т.К. Чурюмова², А.В. Мозговой³, Е.М. Мозговая², М.И. Сербова⁴

¹Комитет по метеоритам РАН

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

³Винницкий государственный педагогический университет имени Михаила Коцюбинского

⁴Национальный университет пищевых технологий

Составлен каталог линий мультиплетов железа, наблюдаемых в спектрах метеорной комы, с указанием термов, энергетических уровней (в электронвольтах) и длин волн линий. Приведены, по возможности, полные диаграммы Гротриана, наглядно поясняющие переходы, сопровождающие излучение в том или ином мультиплете.

КАТАЛОГ І ДІАГРАМИ ГРОТРИАНА ДЛЯ ЛІНІЙ МУЛЬТИПЛЕТ ЗАЛІЗА FeI І FeII, ЩО СПОСТЕРІГАЮТЬСЯ У МЕТЕОРНИХ І КОМЕТНИХ КОМАХ, Бронштен В.А., Чурюмов К.І., Пономаренко В.А., Кручиненко В.Г., Чурюмова Т.К., Мозговой А.В., Мозгова О.М., Сербова М.І. — Складено каталог ліній мультиплетів заліза, які спостерігаються в спектрах метеорних та кометних ком, зі вказівкою термів, енергетичних рівнів (в електронвольт) і довжин хвиль ліній. Наведено, по можливості, повні діаграми Гротріана, що наочно пояснюють переходи, які супроводжують випромінювання в тому чи іншому мультиплеті.

CATALOG AND GROTRIAN DIAGRAMS FOR THE LINES OF MULTIPLY IRON FeI AND FeII, OBSERVED IN METEOR AND COMETARY COMAS, by Bronshten V.A. Churyumov K.I., Ponomarenko V.A., Kruchinenko V.G., Churyumova T.K., Mozgovoy A.V., Mozgovaya O.M., Serbova M.I. — The catalog multiplets of iron lines observed in the spectra of meteor and comet comas is made, with the indication of terms of the energy levels (in eV) and wavelengths of the lines. Given, when possible, complete Grotrian diagrams, clearly explaining the transitions that accompany the radiation in a given multiplet.

Ключевые слова: спектральный анализ комет; линии мультиплетов железа.

Key words: spectral analysis of comets; multiplets of iron lines.

Спектральный анализ сыграл большую роль для понимания физических процессов, происходящих в метеорных комах. Первый спектр метеора был снят случайно на обсерватории в Арекипе (Перу) в 1897 г. Три следующих спектра получил астроном Московской обсерватории С.Н.Блажко в 1904–1907 гг. Начиная с 30-х годов в разных странах стали проводиться регулярное фотографирование метеорных спектров. Ряд спектров метеоров хорошего качества получили астрономы П.Миллман и Я.Холлидей в Канаде, З.Цеплеха в ЧССР, Е.Н.Крамер и Н.С.Комаров в Украине, Х.Д.Гульмедов С.Мухаметназаров в Туркмении, П.Б.Бабаджанов с сотрудниками в Таджикистане, Дж.Рессел в США, К.Нагасава в Японии. На долю этих семи стран приходится почти 99% всех спектров метеоров, полученных в мире.

Отождествление нескольких тысяч метеорных спектров позволило обнаружить в них линии следующих химических элементов:

1) нейтральные атомы: FeI (329), CrI (65), NiI (54), CoI (48), TiI (38), OI (32), CaI (27), NI (18), MnI (18), MgI (12), NaI (11), CI (6), SiI (5), BaI (2?), HI (1), AlI (1), LiI (1?), KI (1?), SrI (1?), MoI (1?)

2) однократные ионы: FeII (23), OII (17), NII (16), AlII (12), CrII (8), SiII (5), CaII(4), MgII (4), TiII (2), SgII (1?), BaII (1?);

3) молекулы: N₂, CN, FeO, C₂, CH, MgO;

4) молекулярный ион: N₂⁺.

В скобках после обозначения каждого атома или иона указано число отождествленных мультиплетов (чаще всего отстоящих пар или троек линий, хотя мультиплет может состоять из одной или большего числа линий, чем три). Очень ярким в метеорных спектрах бывает желтый дублет натрия 5890–5896 Å. В некоторых спектрах он дает больше излучения, чем все другие линии. Также весьма ярк бывает зеленый триплет магния. Железо хотя и не имеет таких ярких линий, но зато в его спектре содержится много средних и слабых линий, так что суммарное излучение железа порой превалирует над излучением других элементов. Иногда наблюдаются чисто «железные» спектры состоящие из линий железа, его иона FeII, окиси железа FeO и неизменных спутников железа — никеля и кобальта.

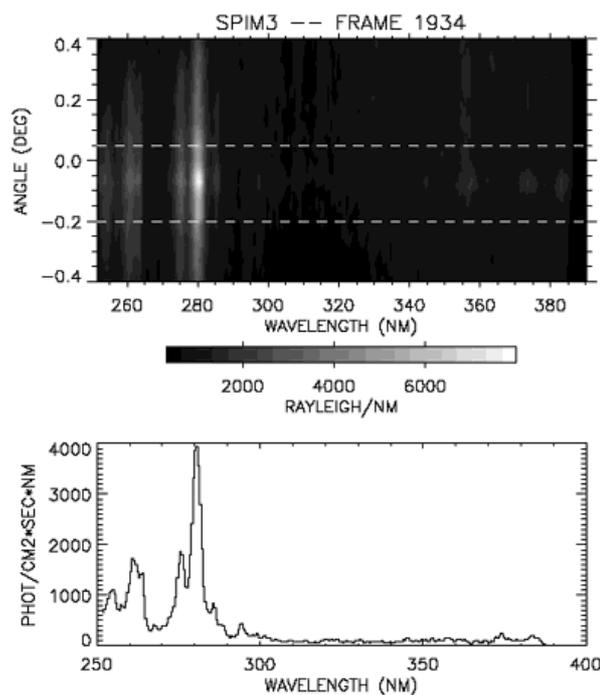


Рис. 1. Пример фрагмента спектра метеора

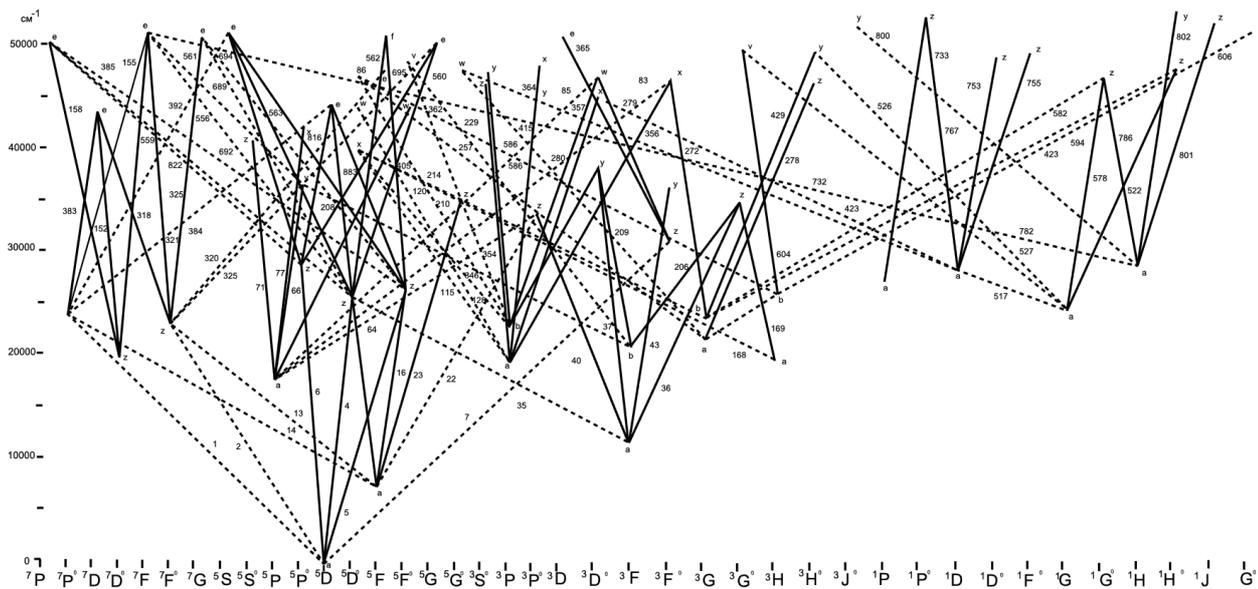


Рис. 2. Метеорные мультиплеты FeI (общая диаграмма)

З.Цеплева по нескольким спектрам ярких болидов определил температуру возбуждения для железа от 3000 до 4000 К, для натрия — 4120 К, для кальция — 5280 К, для кислорода — 14 000 К. Японский астроном К. Нагасава получил для железа по двум спектрам в среднем 3190 К, американский исследователь Г.Харви для магния — 3250 К.

Различие температур для разных химических элементов и даже для разных групп мультиплетов железа показывает, кроме того, что в метеорной коме не реализуется термодинамическое равновесие и не осуществляется больцмановское распределение электронов по уровням с единой температурой. З.Цеплева в ряде работ оценил концентрации девяти элементов в метеорной коме.

Атомы железа в метеорной коме дают наибольшее среди всех элементов количество линий спектральных мультиплетов, а именно 329. Перечень номеров мультиплетов FeI и FeII (как и всех других мультиплетов, наблюдавшихся в метеорных следах) приведен в работе [1], но без указания длин волн линий. Таблица для 89 мультиплетов FeI и FeII с длинами волн линий с точностью до 1 Å опубликована в работе [2].

Для некоторых задач метеорной физики необходимо знать не только длину волны той или иной линии и ее принадлежность данному мультиpletу, но и потенциалы возбуждения верхнего и нижнего уровней. Это может пригодиться, например, при изучении распределения атомов по уровням и отличия

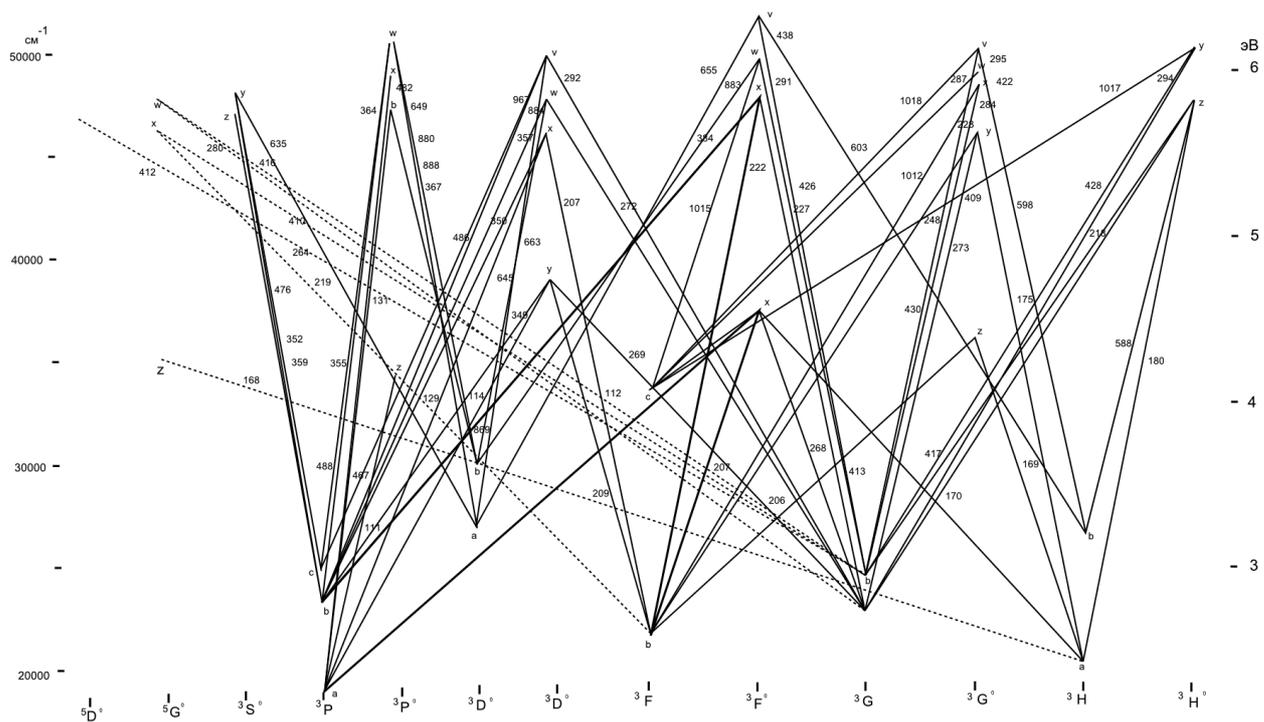


Рис. 3. Метеорные мультиплеты FeI (середина)

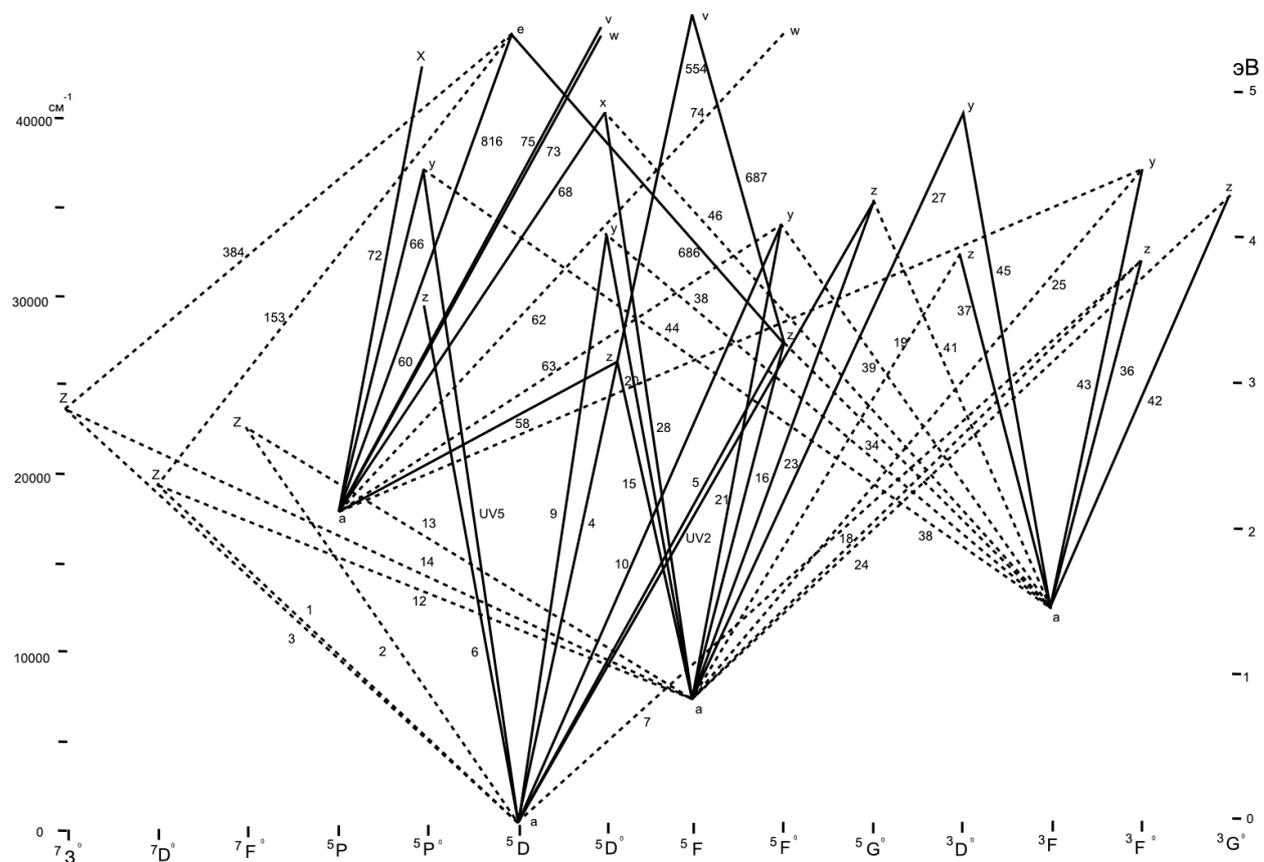


Рис. 4. Метеорные мультиплеты FeI (левая часть)

его от больцмановского, при построении кривых роста, для определения температуры возбуждения в метеорной коме и др. С этой целью строятся так называемые диаграммы Уолта Гротриана или диаграммы термов, которые показывают разрешенные переходы между уровнями энергии атомов. Эти диаграммы могут быть использованы для одного или нескольких электронов (мультиэлектронов) в атоме. При их построении принимаются во внимание специфические правила отбора, связанные с изменением углового момента импульса электрона.

Таблица 1. Метеорные мультиплеты FeI

№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å	№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å
1	$a^5D-z^7D^o$	0,00 – 2,43	5200	120	$a^3P-w^5D^o$	2,27 – 5,45	3986
2	$a^5D-z^7F^o$	0,00 – 2,83	4437	124	a^3P-D^o	2,27 – 5,61	6886
3	$a^5D-z^7P^o$	0,00 – 2,94	4234	131	$a^3P-y^3P^o$	2,27 – 5,77	3526
4	$a^5D-z^5D^o$	0,00 – 3,21	3920	150	$z^7D^0-d^3F$	2,47 – 4,56	5908
5	$a^5D-z^5F^o$	0,00 – 3,33	3719	152	$z^7D^0-e^7D$	2,44 – 5,38	4230
6	$a^5D-z^5P^o$	0,00 – 3,60	3465	153	$z^7D^0-e^5D$	2,44 – 5,56	3921
7	$a^5D-z^3F^o$	0,00 – 3,86	3193	155	$z^7D^0-e^7F$	2,39 – 6,21	3226
13	$a^5F-z^7F^o$	0,91 – 2,83	4319	158	$z^7D^0-e^7P$	2,41 – 6,25	3234
14	$a^5F-z^7P^o$	0,91 – 2,94	5956	168	$a^3H-z^5G^o$	2,42 – 4,31	6449
15	$a^5F-z^5D^o$	0,91 – 3,21	5388	169	$a^3H-z^3G^o$	2,42 – 4,39	6230
16	$a^5F-z^7F^o$	0,91 – 3,33	5082	170	$a^3H-y^3F^o$	2,42 – 4,53	5858
18	$a^5F-z^3F^o$	0,91 – 3,88	4170	175	$a^3H-y^3G^o$	2,42 – 5,61	3874
19	$a^5F-z^3D^o$	0,91 – 3,88	4174	177	$a^3H-z^3I^o$	2,42 – 5,68	3786
20	$a^5F-y^5D^o$	0,91 – 4,10	3820	180	$a^3H-z^5K^o$	2,42 – 5,80	3150
21	$a^5F-z^3F^o$	0,91 – 4,18	3752	206	$b^3F-z^3G^o$	2,58 – 4,39	6225
22	$a^5D-z^5P^o$	0,95 – 4,19	3813	207	$b^3F-y^3F^o$	2,58 – 4,55	6190
23	$a^5D-z^5G^o$	0,91 – 4,31	3579	208	$b^3F-y^5P^o$	2,58 – 4,59	6140
24	$a^5D-z^3G^o$	0,91 – 4,39	3548	209	$b^3F-y^3D^o$	2,58 – 4,73	5685
28	a^5F-D^o	0,92 – 4,93	3057	210	b^3F-D^o	2,58 – 4,93	5235
34	$a^3F-z^5F^o$	1,48 – 3,32	6710	214	$b^3F-w^5D^o$	2,58 – 5,42	4338
35	$a^3F-z^5F^o$	1,48 – 3,59	5853	217	b^3F-D^o	2,58 – 5,61	4080
36	$a^3F-z^3F^o$	1,48 – 3,88	5198	218	$b^3F-y^3G^o$	2,58 – 5,67	4055
37	$a^3F-z^3D^o$	1,48 – 3,88	5266	219	$b^3F-z^5G^o$	2,58 – 5,66	4005
38	$a^3F-y^5D^o$	1,48 – 4,10	4752	222	b^3F-F^o	2,58 – 5,81	3813
39	$a^3F-y^5F^o$	1,48 – 4,18	4602	228	b^3F-G^o	2,58 – 5,90	3711
40	$a^3F-z^3P^o$	1,55 – 4,19	4675	229	$b^3F-v^5F^o$	2,58 – 5,94	3669
41	$a^3F-z^5G^o$	1,48 – 4,31	4356	257	b^3F-D^o	2,60 – 6,39	3254
42	$a^3F-z^3G^o$	1,48 – 4,39	4250	268	$a^3G-y^3F^o$	2,68 – 4,53	6678
43	$a^3F-y^3F^o$	1,48 – 4,55	4072	269	$a^3G-y^3D^o$	2,72 – 4,71	6180
44	$a^3F-y^5P^o$	1,48 – 4,56	4033	273	$a^3G-y^3G^o$	2,72 – 5,67	4254
45	$a^3F-y^3D^o$	1,48 – 4,79	3922	276	$a^3G-u^3D^o$	2,72 – 5,85	4041
46	a^3F-D^o	1,48 – 4,89	3616	277	a^3G-F^o	2,72 – 5,84	4020
62	$a^5P-y^5D^o$	2,19 – 4,10	6276	278	$a^3G-z^3H^o$	2,72 – 5,83	3980
63	$a^5P-y^5F^o$	2,19 – 4,24	6023	279	$a^3G-w^3D^o$	2,72 – 5,86	3996
64	$a^5P-z^3P^o$	2,19 – 4,21	6097	280	$a^3G-w^5G^o$	2,72 – 5,90	3913
65	$a^5P-y^3F^o$	2,19 – 4,59	5224	282	$a^3G-z^1G^o$	2,72 – 5,88	3884
66	$a^5P-y^5P^o$	2,19 – 4,56	5156	284	a^3G-G^o	2,72 – 5,90	3911
68	a^5P-D^o	2,19 – 4,99	4466	287	$a^3G-w^3G^o$	2,72 – 5,97	3792
71	$a^5P-z^5S^o$	2,19 – 5,07	4317	290	$a^3G-y^1G^o$	2,72 – 6,01	3744
72	a^5P-P^o	2,19 – 5,27	3996	291	$a^3G-w^3F^o$	2,72 – 6,28	3970
73	$a^5P-w^5D^o$	2,19 – 5,45	3853	292	$a^3G-v^3D^o$	2,72 – 6,07	3684
74	$a^5P-w^5F^o$	2,19 – 5,15	3776	294	$a^3G-y^3H^o$	2,72 – 6,12	3607
75	$a^5P-v^5D^o$	2,19 – 5,50	3721	295	$a^3G-v^3G^o$	2,75 – 6,13	3651
76	$a^5P-y^5S^o$	2,19 – 5,49	3732	318	$z^7F^0-e^7D$	2,82 – 5,38	4920
83	a^5P-F^o	2,19 – 5,81	3407	320	$z^7F^0-e^5F$	2,82 – 5,85	4105
85	$a^5P-w^3D^o$	2,19 – 5,82	3399	321	$z^7F^0-e^7F$	2,82 – 6,09	3610
109	$a^3P-y^5D^o$	2,27 – 4,20	6393	322	$z^7F^0-f^7D$	2,82 – 6,28	3575
111	$a^3P-z^3P^o$	2,27 – 4,19	6421	323	$z^7F^0-f^5D$	2,82 – 6,28	3625
112	$a^3P-y^3F^o$	2,27 – 4,59	5322	325	$z^7F^0-e^5G$	2,82 – 6,28	3589
113	$a^3P-y^5P^o$	2,27 – 4,59	5437	326	$z^7F^0-e^7G$	2,82 – 6,28	3555
114	$a^3P-y^3D^o$	2,27 – 4,73	5082	342	$b^3P-y^3D^o$	2,82 – 4,73	6374
115	a^3P-D^o	2,27 – 4,97	4630	346	b^3P-D^o	2,82 – 4,93	4742

Таблица 1. Метеорные мультиплеты FeI (продолжение)

№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å	№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å
349	$b^3P-y^3S^o$	2,82 – 5,49	4613	561	$z^5D^o-e^7G$	3,23 – 6,31	3957
350	b^3P-D^o	2,82 – 5,61	4450	562	$z^5D^o-f^5F$	3,23 – 6,34	3957
352	$b^3P-z^3S^o$	2,82 – 5,77	4226	563	$z^5D^o-e^5S$	3,23 – 6,31	3997
354	$b^3P-u^5D^o$	2,82 – 5,85	4145	565	$z^5D^o-g^5D$	3,23 – 6,37	3896
355	$b^3P-y^3P^o$	2,82 – 4,56	4184	569	$z^5D^o-h^5D$	3,23 – 6,61	3648
356	b^3P-F^o	2,82 – 5,84	4113	570	$z^5D^o-f^5P$	3,20 – 6,56	3667
357	$b^3P-w^3D^o$	2,82 – 5,86	4122	585	$b^3H-z^3T^o$	3,22 – 5,68	5031
358	b^3P-I^o	2,82 – 5,85	4067	586	$b^3H-u^5D^o$	3,29 – 5,77	4975
359	$b^3P-y^3S^o$	2,82 – 5,90	4061	588	$b^3H-z^3H^o$	3,22 – 5,80	4789
362	$b^3P-v^3F^o$	2,82 – 5,98	3936	594	$b^3H-z^1H^o$	3,25 – 5,97	4538
364	b^3P-P^o	2,82 – 5,99	3926	598	$b^3H-v^3G^o$	3,25 – 6,13	4205
367	$b^3P-v^3D^o$	2,82 – 6,08	3786	603	$b^3H-v^3F^o$	3,25 – 6,36	4006
369	$b^3P-w^3P^o$	2,82 – 6,18	3689	604	$b^3H-u^3G^o$	3,25 – 6,41	3949
383	$z^7P^o-e^7D$	2,99 – 5,38	5193	606	b^3H-G^o	3,25 – 6,40	3917
384	$z^7P^o-e^5D$	2,99 – 5,54	4768	607	$b^3H-w^3H^o$	3,25 – 6,47	3798
385	$z^7P^o-e^7F$	2,99 – 6,32	3701	608	$b^3H-y^3I^o$	3,22 – 6,50	3766
386	$z^7P^o-f^7D$	2,93 – 6,27	3689	611	$b^3H-z^3G^o$	3,22 – 6,66	3586
392	$z^7P^o-e^5S$	2,99 – 6,31	3707	626	$a^3D-w^5F^o$	3,24 – 5,47	5535
394	$z^7P^o-e^7S$	3,03 – 6,37	3694	633	$a^3D-w^3D^o$	3,24 – 5,82	4781
405	b^3G-D^o	2,94 – 4,89	6311	635	$a^3D-y^3S^o$	3,26 – 5,87	4727
409	$b^3G-y^3G^o$	2,94 – 5,67	4616	645	$a^3D-v^3D^o$	3,26 – 6,18	4343
410	b^3G-G^o	2,94 – 5,71	4556	649	$a^3D-w^3P^o$	3,26 – 6,21	4220
412	$b^3G-u^5D^o$	2,94 – 5,77	4359	651	a^3D-G^o	3,24 – 6,25	4099
413	b^3G-F^o	2,94 – 5,84	4351	655	$a^3D-v^3F^o$	3,24 – 6,33	3986
414	$b^3G-z^3H^o$	2,94 – 5,83	4355	661	$a^3D-y^1D^o$	3,26 – 6,38	3951
416	$b^3G-w^3G^o$	2,94 – 5,90	4240	664	$a^3D-t^3D^o$	3,24 – 6,45	3847
418	$b^3G-v^3F^o$	2,94 – 5,92	4140	665	a^3D-8^o	3,26 – 6,53	3779
422	$b^3G-w^3G^o$	2,94 – 6,00	4124	686	$z^5F^o-e^5D$	3,35 – 5,54	5677
423	$b^3G-z^1H^o$	2,94 – 6,00	4120	687	$z^5F^o-e^5F$	3,35 – 5,83	4938
424	$b^3G-y^1G^o$	2,94 – 6,01	4012	688	$z^5F^o-e^3F$	3,35 – 5,99	4679
426	$b^3G-w^3F^o$	2,94 – 6,05	3948	689	$z^5F^o-e^7F$	3,35 – 6,34	4221
429	$b^3G-y^3H^o$	2,94 – 6,17	3904	692	$z^5F^o-e^7P$	3,35 – 6,25	4264
430	$b^3G-v^3G^o$	2,94 – 6,18	3918	694	$z^5F^o-e^7G$	3,35 – 6,31	4152
435	b^3G-H^o	2,94 – 6,30	3670	695	$z^5F^o-f^5F$	3,35 – 6,34	4152
437	$b^3G-v^3F^o$	2,94 – 6,33	3633	696	$z^5F^o-e^5S$	3,35 – 6,34	4223
438	$b^3G-u^3G^o$	2,94 – 6,38	3585	698	$z^5F^o-f^5D$	3,32 – 6,22	4084
467	c^3P-D	3,02 – 5,61	4780	718	a^1P-I^o	3,40 – 5,85	5030
476	$c^3P-y^3S^o$	3,02 – 5,90	4305	726	$a^1P-y^1D^o$	3,40 – 6,41	4137
476a	$c^3P-v^5F^o$	3,00 – 5,96	4842	727	a^1P-D^o	3,40 – 6,38	4228
482	a^3P-P^o	2,42 – 5,99	4171	733	$a^1P-z^1P^o$	3,41 – 6,60	3892
486	$c^3P-v^3D^o$	3,00 – 6,07	4070	738	a^1D-D^o	3,53 – 5,58	6017
488	$c^3P-w^3P^o$	3,02 – 6,21	4007	753	$a^1D-z^1D^o$	3,53 – 6,13	4790
517	$a^1G-w^5G^o$	3,03 – 5,87	4344	755	$a^1D-z^1F^o$	3,53 – 6,26	4548
518	$a^1G-z^1G^o$	3,03 – 5,88	4370	767	$a^1D-z^1F^o$	3,53 – 6,57	4060
520	a^1G-G^o	3,03 – 5,90	4302	768	$a^1D-y^1F^o$	3,53 – 6,62	3990
522	$a^1G-z^1H^o$	3,03 – 6,00	4199	769	a^1D-F^o	3,53 – 6,64	3974
523	$a^1G-y^1G^o$	3,03 – 6,01	4143	772	$a^1D-w^1D^o$	3,53 – 6,88	3682
524	$a^1G-w^3F^o$	3,03 – 6,06	4075	782	$a^1H-u^5D^o$	3,56 – 5,77	5585
526	$a^1G-y^3H^o$	3,03 – 6,13	3994	786	$a^1H-z^1G^o$	3,56 – 5,86	5365
527	$a^1G-v^3G^o$	3,03 – 6,18	4004	791	$a^1H-y^1G^o$	3,56 – 6,01	5028
528	$a^1G-z^1F^o$	3,03 – 6,24	3843	792	$a^1H-w^3F^o$	3,56 – 6,06	4927
534a	a^1G-G^o	3,03 – 6,37	5277	795	a^1H-G^o	3,56 – 6,25	4587
553	$z^5D^o-e^5D$	3,23 – 5,54	4675	800	$a^1H-y^3y^o$	3,56 – 6,51	4219
554	$z^5D^o-e^5F$	3,23 – 5,83	4465	801	$a^1H-z^1y^o$	3,56 – 6,58	4119
555	$z^5D^o-e^3F$	3,23 – 5,99	4030	802	$a^1H-y^1H^o$	3,56 – 6,66	4015
556	$z^5D^o-e^7F$	3,23 – 6,34	4093	805	$a^1H-v^3H^o$	3,56 – 6,84	3748
558	$z^5D^o-f^7D$	3,23 – 6,23	4076	816	$z^5P^o-e^5D$	3,64 – 5,54	6276
559	$z^5D^o-e^7P$	3,23 – 6,25	4022	820	$z^5P^o-f^7D$	3,64 – 6,28	4673
560	$z^5D^o-e^5G$	3,23 – 6,26	3957	821	$z^5P^o-f^5D$	3,64 – 6,23	4720

Таблица 1. Метеорные мультиплеты FeI (окончание)

№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å	№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å
822	$z^5P^o-e^7P$	3,64–6,25	4683	983	$z^3D^o-f^6D$	3,91–6,24	5304
823	$z^5P^o-e^5G$	3,64–6,32	4536	985	$z^3D^o-g^5D$	3,91–6,39	4978
826	$z^5P^o-e^5S$	3,64–6,34	4569	993	$z^3D^o-f^3F$	3,91–6,77	4265
828	$z^5P^o-g^5D$	3,64–6,37	4484	994	$z^3D^o-e^3P$	3,91–6,77	4310
830	$z^5P^o-e^5P$	3,64–6,39	4451	1012	$c^3F-w^3G^o$	4,06–5,95	6510
839	$a^1I-w^5G^o$	3,62–5,85	5539	1015	$c^3F-w^3F^o$	4,06–6,06	6269
843	$a^1I-z^1H^o$	3,62–5,87	5242	1017	$c^3F-y^3H^o$	4,06–6,12	5975
849	$a^1I-y^3I^o$	3,62–6,48	4369	1018	$c^3F-v^3G^o$	4,06–6,11	6027
864	b^3D-G^o	3,63–5,67	6044	1019	$c^3F-z^1D^o$	4,17–6,11	6363
867	$b^3D-y^3P^o$	3,63–5,77	5760	1025	$c^3F-t^5D^o$	4,12–6,37	5488
869	$b^3D-w^3D^o$	3,62–5,82	5611	1029	$c^3F-u^3G^o$	4,12–6,38	5476
871	b^3D-l^o	3,63–5,85	5539	1031	$c^3F-u^3D^o$	4,12–6,46	5294
875	$b^3D-v^5F^o$	3,62–5,94	5327	1041	c^3F-10^o	4,12–6,05	4882
880	b^3D-P^o	3,62–5,99	5218	1042	$c^3F-t^3G^o$	4,12–6,70	4801
883	$b^3D-w^3F^o$	3,62–6,08	5027	1053	$y^5D^o-e^7F$	4,14–6,31	5667
884	$b^3D-v^3D^o$	3,62–6,07	5055	1060	$y^5D^o-e^5S$	4,14–6,31	5667
888	$b^3D-w^3P^o$	3,62–6,20	4900	1061	$y^5D^o-e^3D$	4,17–6,42	5481
889	$b^3D-z^1F^o$	3,62–6,24	4709	1062	$y^5D^o-g^5D$	4,09–6,34	5477
903	$b^3D-u^3D^o$	3,63–6,46	4361	1063	$y^5D^o-e^7S$	4,14–6,37	5535
906	$b^3D-v^3P^o$	3,62–6,83	4246	1064	$y^5D^o-e^7P$	4,14–6,27	5534
913	$b^3D-t^3G^o$	3,63–6,74	3963	1065	$y^5D^o-g^5F$	4,14–6,59	5027
926	b^1G-G^o	3,68–5,91	5543	1066	$y^5D^o-h^5D$	4,14–6,61	4984
927	$b^1G-w^3G^o$	3,68–5,95	5424	1067	$y^5D^o-f^5P$	4,14–6,61	4983
929	$b^1G-y^1G^o$	3,68–6,01	5289	1068	$z^5P^o-f^5D$	3,64–6,23	4746
933	$b^1G-z^1F^o$	3,68–6,24	4809	1071	$g^5D^o-f^3P$	4,14–6,75	4721
935	b^1G-H^o	3,68–6,30	4700	1082	$y^5F^o-e^7P$	4,20–6,25	6033
952	b^1G-l^o	3,68–7,05	3661	1085	$y^5F^o-e^5S$	4,24–6,31	5944
959	$z^3F^o-e^3F$	3,93–5,96	5977	1087	$y^5F^o-g^5D$	4,24–6,43	5663
965	$z^3F^o-e^3D$	3,93–6,36	5009	1089	$y^5F^o-g^5F$	4,24–6,59	5135
966	$z^3F^o-g^5D$	3,93–6,37	4931	1090	$y^5F^o-h^5D$	4,16–6,56	5137
969	$z^3F^o-g^5F$	3,93–6,59	4631	1091	$y^5F^o-f^5P$	4,24–6,61	5196
974	$z^3F^o-f^3D$	3,93–6,64	4556	1092	$y^5F^o-g^5G$	4,16–6,56	5134
982	$z^3D^o-e^3F$	3,91–5,96	5942	1094	$y^5F^o-e^3G$	4,20–6,63	5075

Таблица 2. Метеорные мультиплеты FeII.

№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å	№	Термы	Энергетические уровни, эВ	λ , Å
1	$a^4D-z^6D^o$	0,98–4,75	3277	42	$a^6S-z^6P^o$	2,88–5,27	5169
6	$a^4P-z^4D^o$	1,66–5,49	3228			2,88–5,84	5018
7	$a^4P-z^4F^o$	1,66–5,52	3196			2,88–5,89	4924
11	$a^2P-z^6D^o$	2,27–4,83	4818	46	$a^4G-z^6F^o$	3,14–5,20	5991
27	$b^4P-z^4D^o$	2,57–5,49	4233	48	$a^4D-z^6D^o$	3,19–5,49	5362
28	$b^4P-z^4F^o$	2,57–5,52	4178	49	$a^4D-z^6D^o$	3,14–5,46	5317
32	$a^4H-z^4F^o$	2,66–5,52	4314	55	$b^4P-z^4F^o$	3,23–5,46	5535
35	$b^4F-z^6F^o$	2,79–5,18	5172	74	$b^4P-z^4F^o$	3,89–5,80	6456
37	$b^4F-z^6F^o$	2,79–5,46	4629	81	$b^4P-z^4F^o$	3,89–7,67	3254
38	$b^4F-z^4D^o$	2,79–5,49	4584	163	$c^4F-z^2D^o$	5,54–7,54	6179
40	$a^6S-z^6D^o$	2,88–4,77	6516	199	$c^4F-z^2D^o$	6,20–8,11	6446
41	$a^6S-z^6F^o$	2,88–5,21	5284	200	$c^4F-z^2D^o$	6,19–8,15	6305
				203	$a^4D-z^6D^o$	6,78–8,68	6487

Диаграммы Гротриана для FeI и FeII, приведенные в известной книге П.Меррила [3], содержат только 35 мультиплетов FeI и 12 FeII (из числа наблюдаемых в метеорных спектрах), ряд термов в ней отсутствуют.

В справочнике Ч.Корлиса и У.Бозмана [4] приведены точные длины волн (до 0.01 Å) и потенциалы обоих уровней для 658 линий FeI и 82 линии FeII вместе с вероятностями переходов и силами осцилляторов, но принадлежность этих линий к тем или иным мультиплетам, их номера и обозначения термов не указаны. Каталоги Ш.Мур [5] и Н.Л.Визе [6] имеются не во всех астрономических учреждениях стран СНГ и большинству исследователей недоступны.

Эти «обстоятельства» заставили нас предпринять составление каталога линий мультиплетов железа,

наблюдаемых в спектрах метеорной комы, с указанием термов, энергетических уровней (в электронвольтах) и длин волн линий. Приведены, по возможности, полные диаграммы Гротриана, наглядно поясняющие переходы, сопровождающие излучение в том или ином мультиплете. В дальнейшем мы постараемся опубликовать такие же таблицы и диаграммы для других элементов.

Помимо справочников и руководств, названных выше, нами была использована работа Л.А.Митрофановой [7], содержащая сведения о 168 мультиплетах FeI, а также таблицы [8].

Построение диаграмм и таблиц. Ввиду обилия мультиплетов FeI, не удалось их нанести на одну общую диаграмму. Поэтому диаграмма была разделена на три блока (частично перекрывающихся), представленные на рис. 1–3. Рис. 1 и рис. 3 построенные в ином масштабе, при их сложении, дают представление о виде диаграммы в целом. Рис. 2 показывает среднюю часть диаграммы, где мультиплеты расположены особенно густо, и масштаб по горизонтали увеличен втрое (масштаб по вертикали не изменен). Мультиплеты FeII нанесены на диаграмму, представленную на рис. 4.

На всех диаграммах сплошными линиями показаны переходы между термами одинаковой мультиплетности, прерывистыми — между термами различной мультиплетности (интеркомбинационные переходы). Каждый мультиплет, как известно, состоит из нескольких линий. В таблицах указаны длины волн наиболее интенсивной линии данного мультиплета. Исключение составляет мультиплет 42 FeII, у которого три линии имеют одинаковую интенсивность. Длины волн и интенсивности нескольких линий данного мультиплета приведены в [2].

Основному состоянию FeI (a^5D) соответствует конфигурация $3d^64s^2$, трем ближайшим нижним уровням большинства мультиплетов (a^5F , a^3F , a^5P) — конфигурация $3d^74s$, следующей группе уровней (z^5D^o , z^5F^o , z^5P^o , z^3D^o , z^3F^o) — конфигурация $3d^64s^4p$, и т.д.

Основному состоянию FeII (a^6D) соответствует конфигурация $3d^64s$, она же соответствует нижним уровням b^4F . Уровням a^4P , a^4F соответствует конфигурация $3d^7$, уровням z^4P^o , z^4D^o , z^4F^o — конфигурация $3d^64p$, уровню a^6S — конфигурация $3d^64p$, и т.д.

Работа частично поддержана ДФФД Украины грантом Ф40_2-087

1. Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
2. Бронштэн В.А., Любарский К.А. Излучение метеоров и болидов / Метеорная материя в атмосфере Земли. — М.: Наука, 1966. — С. 3–37.
3. Мерил П. Линии химических элементов в астрономических спектрах. — М.: Физматгиз, 1959. — 191 с.
4. Корлисс Ч., Бозма У. Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов. — М.: Мир, 1968. — 562 с.
5. Moore C.E. Mamic Energy Levels. — NBS Circ.U.S. Government Printing Office, Washington, 1958. — № 467.
6. Wise W.L., Smich M.W., Milas B.A. Atonis Transition Probabilities. — Washington: NSRDS — NBS, 1966, 1969.
7. Митрофанова Л.А. Кривая роста для Солнца по лабораторным интенсивностям FeI // Известия ГАО АН СССР. — 1952. — **19**, вып. 2, № 179. — С. 81–139.
8. Таблицы спектральных линий. 4-е изд. / А.Н.Зайдель, В.К.Прокофьев, С.М.Райский, В.А.Славны, Е.Я.Шрейдер. — М.: Наука, 1977. — 803 с.

Поступила в редакцию 24.10.2011