

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2019.02.065>

УДК 52-337+524.3+524.3-13+524.3-14+524.3-852+524.338.3

В. В. Бутковская, С. И. Плачинда

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03143, Украина
vbutkovskaja@gmail.com, psi1951@yahoo.com

Магнитное поле Ар-звезды 33 Lib: исследование в отдельных спектральных линиях

Ар-звезды — это химически пекулярные звезды главной последовательности, атмосферы которых отличаются аномальным химическим составом по сравнению с солнечным. Считается, что аномальный химический состав пекулярных звезд обусловлен диффузией химических элементов при совместном действии радиационного давления и гравитационного осаждения. В зависимости от преобладающего процесса, химический элемент либо «тонет» и накапливается в более глубоких слоях, либо всплывает и накапливается в верхних слоях атмосферы. Кроме неравномерного распределения химических элементов с глубиной, наблюдается и неравномерное распределение химических элементов по поверхности пекулярных звезд в виде пятен, обогащенных или обедненных тем или иным химическим элементом. Ар-звезды обладают сильными глобальными магнитными полями с напряженностью от нескольких сотен до десятков тысяч гаусс. Эти поля, как правило, имеют простую дипольную конфигурацию, стабильную во времени как минимум на временных интервалах в несколько десятилетий. Одним из неисследованных эффектов, наблюдаемых у химически пекулярных звезд, является тот факт, что значения магнитного поля, измеренного по разным спектральным линиям, в том числе одного и того же химического элемента, могут существенно отличаться друг от друга. В данной работе представлены результаты измерения продольного магнитного поля химически пекулярной Ар-звезды 33 Lib в отдельных спектральных линиях ($N = 180$). Спектрополяриметрические наблюдения высокого разрешения, выполненные в течение четырех ночей в 2006 г. на 3.6-м телескопе CFHT (спектрограф ESPaDOnS), взяты из открытой базы данных CADC. Расчет магнитного поля по отдельным спектральным

линиям выполнен на основе эффекта Зеемана с помощью SL-метода (Single Line). Установлено, что среднее по всем датам продольное магнитное поле 33 Lib составляет $\langle B_e \rangle = 274.9 \pm 2.7$ мТл. При этом значения магнитного поля, измеренного в разных спектральных линиях, в том числе в разных линиях одного и того же химического элемента, могут статистически существенно различаться. Наименьшее магнитное поле измерено в ядрах водородных линий H и H, а также в линиях Y и Pr. Исследование зависимости величины магнитного поля от параметров спектральных линий показало, что более сильные магнитные поля демонстрируют слабые линии с малым фактором Ланде. Причиной такого различия может быть как неоднородная структура магнитного поля в атмосфере звезды, так и неоднородное распределение химических элементов по поверхности и/или с глубиной, или оба этих фактора одновременно.

Ключевые слова: магнитное поле, звездные атмосферы, пекулярные звезды, спектрополяриметрия

ВСТУПЛЕНИЕ

Химически пекулярные звезды — это звезды главной последовательности спектральных классов от ранних В до ранних F, атмосферы которых отличаются аномальным химическим составом по сравнению с солнечным. Сегодня выделяют несколько групп химически пекулярных звезд, в зависимости от типа пекулярности [22]:

— богатые гелием звезды (He-strong) — звезды спектральных классов В1 — В4 в диапазоне температур от 17000 до 21000 К, отличающиеся усиленными линиями гелия в спектрах;

— бедные гелием звезды (He-weak) — звезды классов В4 — В8 в диапазоне температур от 13000 до 17000 К, отличающиеся ослабленными линиями гелия в спектрах;

— кремниевые звезды (Si) — звезды спектральных классов В7 — А0 в диапазоне температур от 9000 до 14000 К, в спектре которых резко усилены линии кремния и некоторых редкоземельных металлов;

— ртутно-марганцевые звезды (HgMn) — звезды спектральных классов В8 — А0 в диапазоне температур от 10000 до 14000 К, в спектрах которых резко усилены линии ртути и марганца;

— стронций-хром-европиевые звезды (SrCrEu) — звезды спектральных классов А0 – F0 в диапазоне температур от 7000 до 10000 К, в спектрах которых резко усилены линии некоторых химических элементов, таких как стронций, хром, европий и других;

— металлические звезды (Am) — звезды спектральных классов А0 — F0 в диапазоне температур от 7000 до 10000 К, спектр которых богат линиями элементов железного пика и более тяжелых элементов, при малом количестве линий Ca и Sc.

В рамках гипотезы Мишо [17] аномальный химический состав пекулярных звезд объясняется диффузией химических элементов при

совместном действии радиационного давления и гравитационного осаждения. В зависимости от того, какой процесс преобладает, химический элемент может «тонуть» и накапливаться в более глубоких слоях или всплывать и накапливаться в верхних радиационных слоях атмосферы. Неравномерное распределение химических элементов с глубиной в атмосферах химически пекулярных звезд называют стратификацией химических элементов. Кроме стратификации, наблюдается и неравномерное распределение химических элементов по поверхности пекулярных звезд в виде пятен, обогащенных или обедненных тем или иным химическим элементом [18].

Звезды с избытком кремния и редкоземельных элементов (группы Si и SrCrEu) обладают сильными магнитными полями с поверхностной напряженностью от нескольких сотен миллитесла до нескольких тысяч тесла. Поэтому их также называют магнитными химически пекулярными Ap/Vp-звездами. Выделяют также подкласс Ap-звезд, которые демонстрируют малоамплитудные пульсации с периодами от 5 до 20 мин [12]. Этот подкласс объектов называют быстро осциллирующими Ap-звездами (roAp звезды).

Глобальные магнитные поля Ap/Vp-звезд стабильны на временных масштабах в несколько десятилетий и имеют простую геометрию. В рамках модели наклонного ротатора магнитное поле Ap/Vp-звезд математически описывается, как правило, диполем, ось которого наклонена под углом к оси вращения звезды [7]. Таким образом, на разных фазах периода вращения звезды наблюдатель видит разные участки ее поверхности, что приводит к строго периодическим изменениям продольного магнитного поля, а также спектральных и фотометрических параметров. Периоды вращения большинства Ap/Vp-звезд составляют несколько дней. Однако существуют и медленно вращающиеся Ap/Vp-звезды с периодами вращения в несколько месяцев, лет и даже десятилетий [14, 26].

Теоретическое моделирование магнитных полей в лучистых зонах звезд [2—4, 9, 13] позволяет предположить, что магнитное поле Ap/Vp-звезд имеет реликтовую природу, т. е. является остаточным с более ранних стадий эволюции звезды.

Основным методом исследования магнитных полей Ap/Vp-звезд является анализ круговой поляризации в контурах спектральных линий, на основании которого получают усредненный по видимой поверхности продольный компонент вектора магнитного поля. Сегодня для измерения магнитных полей Ap/Vp-звезд используют два основных метода:

— LSD-метод, детально описанный в работах [8, 23, 24], подразумевает использование для расчета продольного магнитного поля средних профилей в противоположной поляризации, полученных по мастиву из множества доступных спектральных линий, включая бленды;

— SL-метод (Single Line) [6] предполагает расчет продольного магнитного поля по отдельным спектральным линиям с последующим

вычислением средневзвешенного магнитного поля по однородным массивам неблендированных спектральных линий.

Как показано в работах [5, 10], предварительный отбор спектральных линий в однородные массивы имеет важное значение, так как даже линии одного и того же химического элемента могут давать статистически значимо отличающиеся значения магнитного поля. Полученные результаты измерений используются для моделирования конфигурации магнитного поля и распределения химических элементов по поверхности, в частности с помощью ZDI-метода [11].

Данная работа посвящена исследованию магнитного поля 33 Lib (HD 137949, тип пекулярности — SrCrEu) — α Ap-звезды с эффективной температурой 7550 К и $\lg g = 4.30$ [20]. Авторы работы [20] определили химический состав атмосферы 33 Lib и отметили, что спектр звезды характеризуется переизбытком линий редкоземельных элементов и множество линий блендировано. Поэтому для измерения магнитного поля в отдельных неблендированных линиях требуются поляризованные спектры с высоким разрешением $R \approx 50000$. Также в работе [20] подчеркивается существование стратификации химических элементов в атмосфере 33 Lib. В частности, содержание Pr, определенное по линиям Pr II и Pr III отличается более чем на 2 dex. Аналогичная ситуация с содержанием Nd, определенным по линиям Nd II и Nd III. Еще одним признаком стратификации, авторы считают необычное для данной эффективной температуры усиление спектральных линий Cr II и Fe II с высоким потенциалом возбуждения.

Звезда 33 Lib, вероятно, отличается очень медленным вращением. В работе [16] показано, что продольная составляющая магнитного поля звезды изменяется примерно на 2 мТл в год, что соответствует периоду вращения превышающему 75 лет. Однако в работе [19] был предложен более короткий период вращения около 7 сут. Так как в открытой базе данных спектрополяриметрических наблюдений 3.6-м телескопа CFHT есть для этой звезды наблюдения, выполненные подряд в течение трех ночей, то это позволяет проверить реальность обнаруженного 7-дневного периода переменности магнитного поля [19] и таким образом проверить принадлежность звезды к уникальной группе магнитных Ap-звезд, которые имеют аномально медленную скорость осевого вращения. Если звезда вращается крайне медленно, то выполненные подряд в течение нескольких ночей наблюдения позволяют проверить зависимость величины магнитного поля от параметров спектральных линий. Что, в свою очередь, может указать как на неоднородное распределение химических элементов по поверхности звезды, так и на возможную стратификацию химических элементов с глубиной. В последнем случае величина магнитного поля должна зависеть от параметров используемых спектральных линий одного и того же химического элемента.

В этой работе мы представляем результаты измерения в отдельных спектральных линиях продольного магнитного поля 33 Lib по

спектрополяриметрическим наблюдениям в течение 4 ночей из открытой базы данных 3.6-м телескопа CFHT.

НАБЛЮДЕНИЯ

Сектрополяриметрические наблюдения 33 Lib были выполнены в течение четырех ночей: 9 января, а также 2, 3 и 4 августа 2006 г. на спектрографе ESPaDOnS ($R = 65000$), установленном на 3.6-м телескопе CFHT. Первичная обработка экспозиций выполнена с помощью программного обеспечения IRAF. Неблендированные спектральные линии ($N = 180$) для расчета магнитного поля были отобраны из списка спектральных линий, полученного из базы данных VALD [21] для модели и химического состава атмосферы 33 Lib, взятых из работы [20]. Расчет магнитного поля по отдельным спектральным линиям выполнен на основе эффекта Зеемана с помощью SL-методики (Single Line), описанной в работе [6]. В частности, эта методика позволяет с помощью метода Монте-Карло определять ошибку измерения магнитного поля по одиночным линиям. Это позволяет сравнивать достоверность изменения от ночи к ночи значений магнитного поля, полученных по одиночным спектральным линиям. При определении ошибок по методу Монте-Карло выполнялось 1000 испытаний в предположении нормального распределения числа накопленных квантов, что соответствует свойствам ПЗС-матриц.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерения продольного магнитного поля 33 Lib по отдельным спектральным линиям в диапазоне от 400 до 680 нм приведены в таблице. Согласно традиции значения магнитного поля в таблице приведены в гауссах*. Видно, что продольное магнитное поле, измеренное по отдельным спектральным линиям, не изменяется от даты к дате в пределах ошибок. Поскольку в августе 2006 г. наблюдения выполнялись в три последовательные даты, наш результат не подтверждает 7-сут период вращения, предложенный в работе [19], и свидетельствует в пользу более длинного периода. Из всего массива измерений значительно отличаются только значения магнитного поля, вычисленные по линии Ce II 500.905 нм с эффективным фактором Ланде $g_{\text{эф}} = 0.25$ ($B_{e1} = 973.0 \pm 19.2$ мТл, $B_{e2} = 1018.6 \pm 27.8$ мТл, $B_{e3} = 992.3 \pm 23$ мТл, $B_{e4} = 1008.5 \pm 23.7$ мТл). Эта спектральная линия занимает 43-ю строку в таблице и отмечена звездочкой. Эти значения исключены из дальнейшего статистического рассмотрения.

Средние за ночь значения продольного магнитного поля, усредненные по всем линиям, за исключением Ce II 500.905 нм, а также

* $1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл} = 0.1 \text{ мТл}$

Значения V_e продольного магнитного поля 33 Lib, измеренного в разных спектральных линиях: $g_{\text{эф}}$ — эффективный фактор Ланде, $E_{\text{лов}}$ — нижний потенциал возбуждения данной спектральной линии, V_e и V — значения продольного магнитного поля и их ошибки для разных дат, определенные по методу Монте-Карло (** $1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$)

Номер линии	Элемент	$\lambda, \text{ нм}$	$g_{\text{эф}}$	$E_{\text{лов}}$	09 января 2006 г.		02 августа 2006 г.		03 августа 2006 г.		04 августа 2006 г.	
					$V_e, \text{ Гс}^{**}$	$V, \text{ Гс}$	$V_e, \text{ Гс}$	$V, \text{ Гс}$	$V_e, \text{ Гс}$	$V, \text{ Гс}$	$V_e, \text{ Гс}$	$V, \text{ Гс}$
1	Cr I	406.570	1.10	4.1055	2935	106	2632	218	2646	182	2662	195
2	Er I	444.861	1.62	1.7010	2623	57	2672	116	2660	96	2750	99
3	Sm II	454.205	0.96	0.2484	1795	150	1566	245	1569	187	1572	182
4	Er II	463.088	0.94	1.9506	3012	59	3244	92	3269	74	3217	75
5	Cr I	463.717	0.98	2.5443	—	—	2958	354	2459	279	2693	261
6	Fe I	463.750	0.74	3.2830	—	—	2799	213	2798	175	2681	177
7	Cr I	464.945	2.02	2.5446	1622	49	1685	73	1656	60	1686	63
8	Cr I	465.215	1.17	1.0037	2212	72	2244	101	2379	84	2379	86
9	Fe I	466.088	0.70	4.4733	4840	279	4667	394	4788	323	4702	326
10	La II	466.250	0.81	0.0000	1164	199	1413	216	1692	206	1653	216
11	Er II	467.561	1.05	1.3226	2375	63	2716	92	2711	71	2707	73
12	Cr I	467.633	1.26	3.5558	3858	148	3555	213	3695	171	3696	175
13	Ce II	468.305	1.43	1.4815	—	—	3192	148	3302	124	3205	129
14	Fe I	468.817	1.50	4.6070	2425	52	2440	70	2540	57	2447	61
15	Sm II	470.440	1.40	0.0000	2130	75	2220	106	2336	85	2326	84
16	Mn II	473.039	0.71	5.3734	—	—	2906	107	3031	84	3156	89
17	Cr I	473.071	0.87	3.0790	3294	45	3367	65	3310	53	3314	52
18	Ce II	475.154	1.39	1.2443	2484	47	2510	69	2592	54	2502	58
19	Cr I	476.726	0.95	3.5561	2378	127	2568	190	2471	155	2559	166
20	Mn II	477.035	1.28	5.3979	3394	122	2893	164	2790	144	2892	145
21	Mn II	473.828	1.08	5.3803	2626	151	2647	209	2689	192	2915	177
22	Ce II	477.091	0.74	1.2508	3304	121	3540	175	3240	141	3403	147
23	Nd III	478.846	1.41	0.4605	2256	61	2239	82	2252	70	2183	71
24	Cr I	479.033	1.33	2.5446	2148	153	1826	193	2065	175	2138	160
25	Nd II	481.134	0.77	0.0636	1688	94	1854	135	1824	109	1721	121
26	Nd II	481.896	1.18	0.4714	2202	79	2218	118	2295	91	2172	97
27	Nd II	482.857	0.91	0.3802	4384	184	4845	242	4787	187	4876	214
28	Mn II	483.006	0.82	6.1769	6703	108	2925	195	2890	152	2845	174

Номер линии	Элемент	λ, нм	g _{эф}	E _{лов}	09 января 2006 г.		02 августа 2006 г.		03 августа 2006 г.		04 августа 2006 г.	
					B ₀ , Гс**	B _z , Гс	B ₀ , Гс	B _z , Гс	B ₀ , Гс	B _z , Гс	B ₀ , Гс	B _z , Гс
29	Gd II	483.423	1.55	1.1566	3187	48	3044	71	3125	58	3047	60
30	Cr II	483.622	1.52	3.8581	2198	31	2143	45	2161	37	2137	37
31	Hv	486.132	1.00	10.1988	1750	74	1918	106	1852	84	1858	86
32	Er II	487.988	0.92	1.6193	2431	148	1912	222	2083	191	1919	174
33	Nd II	488.288	1.06	0.7421	2264	202	2415	285	2441	244	2537	249
34	Ce II	484.991	1.17	1.4580	2503	230	1813	279	2099	251	—	—
35	Er II	489.695	1.16	1.6538	2443	121	2585	165	2370	138	2489	143
36	Ce II	490.862	1.03	1.1031	3403	120	3462	179	3474	142	3443	151
37	Dy II	492.316	1.08	0.1027	2611	55	2534	78	2641	65	2656	67
38	La II	493.483	0.97	1.2516	2914	105	2983	155	2937	122	2889	127
39	Cr I	495.480	0.75	3.1216	2908	61	2936	84	2945	69	2914	70
40	Fe I	498.249	1.35	4.1034	2138	38	2175	60	2190	47	2168	49
41	Y II	498.212	1.50	1.0325	—	—	2058	129	—	—	2049	108
42	Fe II	499.335	0.62	2.8067	3217	50	3235	75	3230	59	3241	61
43*	Ce II	500.905	0.25	1.1768	9730	192	10186	278	9923	230	10085	237
44	Ti II	501.368	1.29	1.5818	3337	62	3196	113	—	—	—	—
45	Ca I	501.579	0.80	4.7798	3904	92	3944	134	3757	108	3997	110
46	Nd II	503.351	1.09	1.1365	1941	77	1906	103	1801	90	1894	88
47	Ce II	504.339	1.52	1.9594	1391	52	1514	72	1489	58	1455	57
48	Ce II	504.512	1.21	1.1945	3550	53	3735	79	3736	60	3778	63
49	Ce II	505.943	1.12	1.1493	1113	87	1316	135	1289	102	1536	119
50	Gd II	506.106	1.62	1.2884	2535	45	2443	62	2458	49	2467	52
51	Ce II	506.173	1.17	1.6935	2851	41	2904	60	2839	48	2899	49
52	Ce II	507.408	1.26	1.4061	2390	65	2400	94	2506	77	2464	79
53	Gd II	509.224	1.53	1.7266	2119	38	2148	59	2104	45	2160	45
54	Fe I	510.965	1.15	4.3013	4137	120	4064	196	3559	155	4069	163
55	La II	511.456	0.52	0.2350	3553	124	3540	191	3472	153	3547	152
56	Ce II	511.716	1.20	1.4023	2545	50	2610	74	2671	57	2581	58
57	Ce II	512.241	0.96	0.5290	2243	101	2380	152	2562	119	2348	117
58	Ce II	513.305	1.29	1.9617	5114	41	2411	71	3777	54	2614	57
59	Fe I	516.540	1.33	4.2204	2913	31	2869	48	2879	38	2949	39

Продолжение таблицы

Номер линии	Элемент	λ, нм	g _{эф}	E _{лов}	09 января 2006 г.		02 августа 2006 г.		03 августа 2006 г.		04 августа 2006 г.	
					V _с , Гс**	В, Гс	V _с , Гс	В, Гс	V _с , Гс	В, Гс	V _с , Гс	В, Гс
60	Fe I	519,605	1.09	4,2562	2548	42	2589	61	2619	51	2594	52
61	Gd II	519,920	1.66	1,6212	2756	42	2775	60	2811	47	2756	51
62	Nd II	518,116	0.37	0,8594	6158	337	6033	483	5940	441	5925	411
63	Fe II	523,462	0.87	3,2213	1793	27	1814	41	1909	32	1793	33
64	Fe I	524,249	1.00	3,6343	2073	36	2176	50	2251	43	2218	43
65	Fe II	524,795	0.72	10,531	1716	65	1998	96	1990	78	2076	77
66	Fe I	526,655	1.28	2,9980	2098	21	2114	30	2086	24	2065	24
67	La II	529,082	0.82	0,0000	2556	101	2960	146	2877	118	2772	118
68	Fe II	529,166	0.97	10,4801	2861	52	2790	77	2823	61	2722	62
69	Pr III	529,999	1.05	0,3587	1556	32	1582	48	1524	37	1556	38
70	Nd II	531,004	1.20	1,1365	3269	63	3222	95	3211	76	3201	79
71	Cr II	531,068	1.49	4,0722	1979	27	1910	40	1951	33	1972	34
72	Sc II	533,424	1.01	1,4970	2487	67	2491	95	2551	75	2628	79
73	Cr II	533,486	0.41	4,0722	2522	89	2419	135	2490	106	2551	106
74	Ce II	535,950	1.14	1,7838	3117	93	2949	131	2981	105	3019	107
75	Fe II	536,286	0.71	3,1995	2792	41	2784	59	2783	49	2818	49
76	Fe I	536,487	0.63	4,4456	2146	49	2250	70	2263	55	2183	56
77	Fe I	536,539	0.95	3,5732	1555	64	1401	83	1489	69	1273	69
78	Mn I	537,760	1.30	3,8437	3029	44	3121	66	3146	52	3129	54
79	Ce II	537,832	1.17	1,7700	2169	126	2210	162	2324	120	2350	134
80	Ce II	538,486	0.94	1,1493	2824	92	3005	128	2947	105	2972	107
81	Ce II	539,518	1.18	1,666	1484	75	1529	100	1606	83	1398	85
82	Er II	539,589	1.11	2,5194	2528	35	2522	52	2548	39	2578	40
83	Ti II	539,656	0.97	2,5977	3227	66	3291	81	3340	69	3340	70
84	Y II	540,277	0.89	1,8390	1476	50	1442	73	1469	58	1415	60
85	Fe I	540,577	0.75	0,9901	2159	32	2203	48	2216	37	2211	39
86	Fe II	541,406	1.19	3,2213	2454	36	2553	54	2597	42	2542	43
87	Ti II	541,876	1.04	1,5818	2445	51	2608	78	2486	63	2530	63
88	Mn I	542,035	1.21	2,1427	1335	60	3552	92	3670	76	3719	78
89	Fe II	542,524	1.24	3,1995	1955	27	1958	40	1909	32	1911	33

Номер линии	Элемент	λ, нм	g _{эф}	E _{ion}	09 января 2006 г.		02 августа 2006 г.		03 августа 2006 г.		04 августа 2006 г.	
					B _н , Гс**	B _в , Гс	B _н , Гс	B _в , Гс	B _н , Гс	B _в , Гс	B _н , Гс	B _в , Гс
90	Nd II	543.078	1.06	1.2246	2423	142	2798	212	2710	180	2516	177
91	Nd II	543.152	1.11	1.1212	1983	66	2031	92	1994	74	2064	78
92	Dy II	544.334	1.36	2.4117	2974	82	2977	118	2798	96	3014	98
93	Er II	545.427	0.66	1.7010	4620	185	4735	264	4524	218	4609	209
94	Fe I	547.390	1.49	4.1544	2933	65	2899	103	2870	79	2879	83
95	La II	548.227	1.45	0.0000	2374	76	2327	117	2410	97	—	—
96	Ti II	549.069	0.61	1.5658	3497	202	3877	298	4039	250	3637	255
97	Gd II	550.041	1.95	1.3721	3311	52	3351	71	3331	61	3322	58
98	Fe I	551.956	0.89	6.1502	2836	75	2772	100	2714	88	2839	92
99	Fe II	552.511	0.10	3.2673	3566	464	3881	668	3110	545	2557	548
100	Fe II	552.992	1.05	6.7291	2753	48	2803	68	2780	58	2702	58
101	Fe II	553.483	0.57	3.2447	2890	48	2804	70	2684	59	2750	60
102	Fe I	554.314	1.45	3.6946	2113	31	2172	45	2108	36	2094	36
103	Nd II	555.740	1.18	1.4101	—	—	2266	146	2425	125	2525	124
104	Gd II	556.067	1.88	1.3721	3106	34	3004	65	—	—	—	—
105	Fe I	556.270	1.54	4.4346	2451	38	2379	59	2530	49	2409	49
106	Mn II	557.053	0.67	6.1769	2631	85	2553	121	2500	99	2569	99
107	Ca I	559.011	1.50	2.5213	1903	31	1897	46	1853	37	1873	37
108	Gd II	559.719	1.14	1.4249	3051	109	3363	159	3241	132	3213	135
109	Ce II	561.087	0.52	1.6772	3769	270	3891	364	3780	290	3468	315
110	Ce II	556.922	1.04	1.5810	3096	94	3307	126	3387	107	3316	108
111	Ce II	559.668	0.95	1.6450	3011	164	3136	224	3648	176	3570	203
112	Ce II	559.906	1.27	1.8764	3320	138	3234	150	3230	131	3001	136
113	Nd II	561.428	0.94	1.0440	2238	106	2442	155	2450	119	2413	122
114	Fe I	561.564	1.19	3.3320	2113	23	2010	34	2037	27	2039	27
115	Nd II	562.573	0.76	0.9329	3713	95	3576	129	3463	101	3594	101
116	Cr I	562.864	0.92	3.4216	3141	73	3226	97	3365	77	3211	78
117	Ce II	563.038	1.09	1.6450	3408	67	3555	98	3520	81	3572	81
118	Sc II	564.100	1.50	1.5004	2657	23	2678	33	2723	25	2626	27
119	Gd II	564.482	1.50	1.5004	2956	62	3459	66	3399	54	3422	54
120	Fe I	566.134	1.44	4.2843	2659	111	2579	152	2647	116	2728	124

Окончание таблицы

Номер линии	Элемент	λ, нм	g _{эф}	E _{лов}	09 января 2006 г.		02 августа 2006 г.		03 августа 2006 г.		04 августа 2006 г.	
					V _{ср} , Гс**	V _{ср} , Гс	V _{ср} , Гс	V _{ср} , Гс	V _{ср} , Гс	V _{ср} , Гс		
121	Fe I	566.251	1.28	4.1777	2423	28	2345	40	2360	33	2433	34
122	Cr I	566.458	0.74	3.8260	3007	174	3247	231	3473	199	—	—
123	Gd II	572.196	1.06	1.6587	2984	78	3012	119	2915	95	3168	96
124	Fe I	575.312	0.94	4.2605	2865	45	2933	63	2952	51	2988	56
125	Fe I	577.508	1.42	4.2204	2878	49	2882	69	2886	55	2843	60
126	Nd III	580.253	1.58	0.2960	2010	23	1975	32	2012	27	2031	26
127	Fe I	583.402	1.17	4.9130	3301	73	3488	104	3287	82	3318	87
128	Sm II	583.633	1.19	0.9976	2502	127	2211	167	2452	137	2269	138
129	Gd II	584.045	1.72	1.5984	3276	43	3126	57	3155	47	3135	49
130	Nd III	585.154	1.64	0.4605	1838	21	1924	32	1910	26	1922	26
131	Nd II	586.502	1.09	1.4101	2592	115	2485	154	2403	130	2432	143
132	Ca I	586.756	1.00	2.9325	3307	88	3310	114	3257	95	3301	99
133	Gd II	587.722	1.76	1.4249	3125	56	3102	83	3260	62	3201	65
134	Ce II	587.173	1.31	1.3545	3373	129	3623	149	3372	125	3906	130
135	Fe I	590.567	0.30	4.6520	4589	165	4602	226	4592	190	4560	193
136	Fe I	593.017	1.00	4.6520	2325	38	2294	58	2350	45	2243	45
137	Ce II	596.070	0.74	1.7670	3286	91	3162	130	3106	100	3088	105
138	Si II	597.892	1.17	10.0739	2482	35	2535	51	2552	41	2593	41
139	Fe I	598.367	1.09	4.5485	2530	64	2693	91	2680	73	2749	71
140	Nd III	598.768	1.06	0.4605	2007	35	2096	52	2118	40	2135	41
141	Fe II	599.137	0.80	3.1528	2494	47	2591	67	2562	55	2490	57
142	Fe I	599.777	0.75	4.6076	3049	96	3162	126	3214	108	3074	110
143	Gd II	600.455	1.06	1.6587	3039	55	2976	75	3081	59	3094	61
144	Fe I	600.855	1.24	3.8835	2221	58	2217	80	2349	67	2421	67
145	Cr I	601.222	0.84	8.6404	2966	71	2773	112	2691	88	2777	89
146	Er II	601.573	1.36	2.7053	2956	70	3048	94	3045	76	3065	74
147	Ce II	601.891	1.02	2.0076	3506	156	3030	231	3426	195	3322	194
148	Fe I	605.600	0.87	4.7331	2252	81	2446	119	2559	98	2496	103
149	Nd II	603.127	1.10	1.2816	2681	146	2886	244	3199	184	3190	192
150	Fe I	606.548	0.68	2.6085	1917	51	1909	73	2117	57	2137	60

Номер линии	Элемент	λ, нм	g _{нп}	E _{low}	09 января 2006 г.		02 августа 2006 г.		03 августа 2006 г.		04 августа 2006 г.	
					B _э , Гс**	B _з , Гс	B _э , Гс	B _з , Гс	B _э , Гс	B _з , Гс	B _э , Гс	B _з , Гс
151	Gd II	608.064	1.10	1.7266	2786	46	2746	66	2820	53	2806	52
152	Ce II	608.208	1.17	1.9254	3553	105	3445	147	3569	120	3608	114
153	Fe II	608.410	0.71	3.1995	2763	56	2916	81	2875	62	2886	64
154	Cr II	611.226	1.50	4.7448	3514	62	3407	82	3390	69	3468	70
155	Fe I	612.790	0.72	4.1426	2661	83	2810	114	2707	90	2734	96
156	Si I	614.248	1.28	5.6192	2996	82	2891	116	2855	97	2932	101
157	Cr II	614.715	1.51	4.7563	—	—	3274	77	3420	59	3437	62
158	Si I	615.513	0.92	5.6192	3072	87	3149	117	3073	97	3145	98
159	Ca I	616.217	1.25	1.8989	1939	24	1960	36	1915	28	1928	28
160	Ca I	616.904	1.00	2.5230	2640	39	2627	55	2650	45	2653	46
161	Ce II	619.909	1.35	1.4119	3362	96	3641	103	3661	95	3635	93
162	Ce II	620.183	0.93	0.4170	3666	171	3626	240	3257	186	3535	192
163	Fe I	621.928	1.66	2.1979	2873	101	2930	137	2932	126	2870	125
164	Sc II	624.563	1.17	1.5070	2507	30	2528	45	2545	35	2551	36
165	Fe II	624.890	1.42	5.5107	3482	53	3479	70	3538	58	3507	59
166	Gd II	626.030	1.69	1.6212	2816	57	2976	82	2943	65	2985	66
167	Ce II	627.380	0.99	2.1666	2152	64	2139	93	2133	74	2114	77
168	Sc II	630.991	0.51	1.4970	2567	64	1858	74	1933	61	2205	63
169	Sm II	635.722	1.29	1.3481	2378	63	2449	91	2418	70	2428	75
170	Fe II	638.372	1.37	5.5526	2543	70	2644	97	2656	82	2702	80
171	Fe I	639.360	0.91	2.4327	2719	67	2806	96	2757	74	2710	76
172	Sm II	642.662	1.51	1.7463	2609	73	2727	105	2821	79	2730	86
173	Fe II	644.295	1.36	5.5488	2051	44	2068	61	2259	62	2137	52
174	Gd II	644.483	1.50	2.4912	2687	62	2651	85	2635	72	2716	73
175	Si I	646.090	0.81	6.0986	2842	263	2768	332	2831	271	3219	274
176	H6	656.279	1.00	10.1988	1667	42	1763	60	1761	46	1773	52
177	Cr I	666.107	1.48	4.1927	3345	71	3412	86	3445	73	3319	74
178	Sm II	668.779	0.50	1.7081	2522	213	2097	288	2285	221	2506	235
179	Sm II	669.355	1.50	1.6867	2697	85	3035	113	2777	94	2785	95
180	Nd II	674.007	0.78	0.0636	2826	104	2754	171	2839	134	2755	143

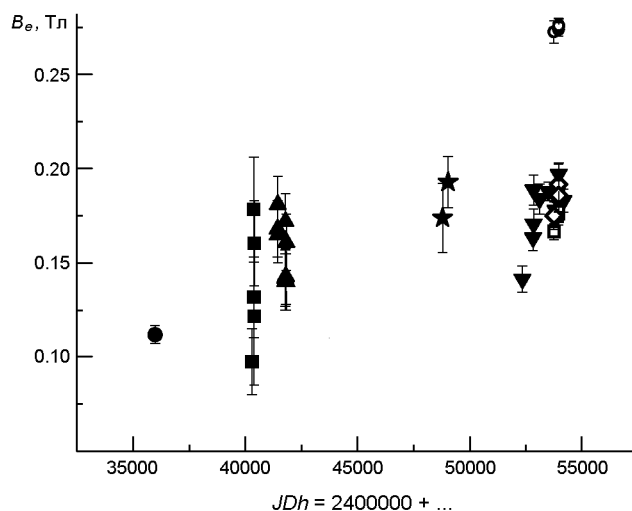


Рис. 1. Продольное магнитное поле 33 Lib по данным разных исследований: точка — значение из работы [1], черные квадратики — [25], треугольники — [26], звездочки — [14], перевернутые треугольники — [19], кружки — значения, усредненные по всем неблендированным линиям в данной работе, ромбики — значения, полученные по ядру линии H в данной работе, квадратики — значения, полученные по ядру линии H и в данной работе

значения продольного поля, рассчитанные в ядрах водородных линий, представлены на рис. 1 в сравнении с данными других исследований.

Измеренное нами в ядрах водородных линий H и H продольное магнитное поле хорошо согласуется с измерениями [19], выполненными по спектральным линиям в диапазоне порядка 50 нм области H. С другой стороны, продольное магнитное поле, усредненное по всему массиву неблендированных спектральных линий в диапазоне от 400 до 680 нм, демонстрирует значения на 0.12 Тл выше. Возможно, это различие обусловлено принципиально разным спектральным разрешением спектрополяриметрических данных: $R \approx 15000$ в первом случае и $R \approx 65000$ при наблюдениях с ESPaDOnS или разным набором спектральных линий, по которым выполнялось измерение магнитного поля.

Рис. 2 демонстрирует средние значения продольного магнитного поля, усредненные за все ночи наблюдений по спектральным линиям разных химических элементов. Средние значения магнитного поля, близкие к значениям полученным по ядрам водородных линий, демонстрируют линии Y II и Pr III. Отметим, что средние значения поля по всем линиям отдельных химических элементов нивелируют картину реального разброса значений внутри массива, принадлежащего каждому элементу. Ошибки среднего магнитного поля для каждого химического элемента отражают тот факт, что разные спектральные линии одного и того же химического элемента дают статистически различающиеся значения магнитного поля. Для примера приведем выборку измерений по линиям Ca I. Из пяти линий Ca I только две (559.011 и 616.217 нм) показывают совпадающие в пределах ошибок

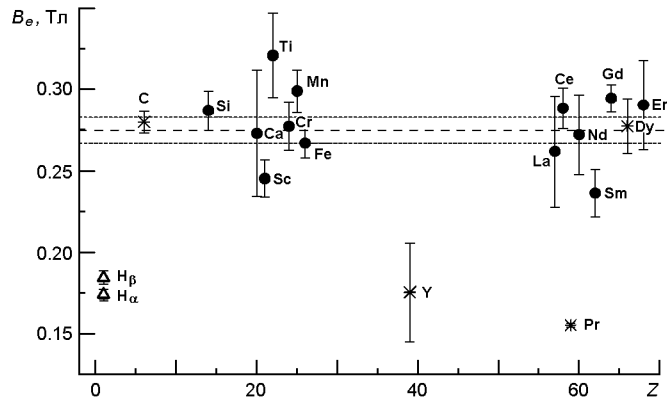


Рис. 2. Продольное магнитное поле 33 Lib, усредненное по наборам спектральных линий разных химических элементов: кружки — значения, усредненные более чем по трем спектральным линиям химического элемента, звездочки — поле, измеренное по 1-2 линиям химического элемента, светлые треугольники — поле, измеренное в ядрах водородных линий H и H β , штриховая линия — среднее по всему массиву неблендированных спектральных линий ($\langle B_e \rangle = 274.9 \pm 2.7$ мТл), пунктиры — отклонения $\pm 3 \sigma$

средние за четыре ночи наблюдений значения поля: $B_e = 188.1 \pm 1.3$ и 193.5 ± 1.1 мТл. Остальные три линии (501.579, 586.756 и 616.904 нм) дают значения, существенно отличающиеся между собой и от первых двух величин: $B_e = 390.0 \pm 5.9$, 329.3 ± 1.4 и 264.2 ± 0.6 мТл соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается и для других химических элементов (см. таблицу).

На рис. 3 проиллюстрированы результаты поиска зависимости величины магнитного поля от параметров спектральных линий: остаточной интенсивности RI , нижнего потенциала возбуждения E_{low} и эффективного фактора Ланде $g_{эф}$. Мы не обнаружили уверенной зависимости напряженности поля от остаточной интенсивности RI и нижнего потенциала возбуждения E_{low} , а также от эффективного фактора Ланде $g_{эф}$ и нижнего потенциала возбуждения E_{low} . Сильнее выражена зависимость напряженности поля от эффективного фактора Ланде $g_{эф}$ и остаточной интенсивности RI : более сильные магнитные поля демонстрируют слабые линии с малым фактором Ланде. Эту зависимость нельзя объяснить увеличением ошибок измерений, так как размах измеренных значений многократно превосходит ошибки измерений (см. таблицу).

Мы исследовали аналогичные зависимости для трех химических элементов с наибольшим количеством линий N в таблице: Fe ($N = 47$), Ce ($N = 29$) и Cr ($N = 17$). Из этих трех элементов только для линий железа была уверенно обнаружена зависимость продольного магнитного поля от эффективного фактора Ланде $g_{эф}$ и остаточной интенсивности RI . Эта зависимость аналогична полученной по всему массиву спектральных линий (рис. 3в): чем слабее линия, тем выше вероятность большего значения магнитного поля.

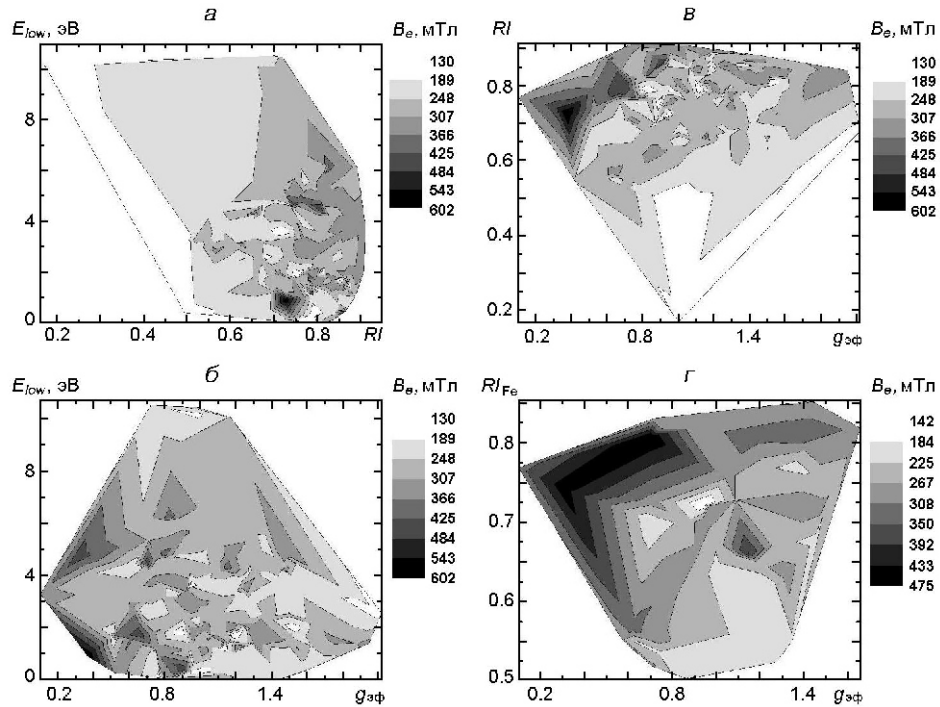


Рис. 3. Графики зависимости продольного магнитного поля (градация серого) 33 Lib, измеренного в разных спектральных линиях от атомных параметров этих линий: *a* — от остаточной интенсивности RI и нижнего потенциала возбуждения E_{low} , *б* — от эффективного фактора Ланде $g_{эф}$ и нижнего потенциала возбуждения E_{low} , *в* — от эффективного фактора Ланде $g_{эф}$ и остаточной интенсивности RI , *г* — от эффективного фактора Ланде $g_{эф}$ и остаточной интенсивности RI_{Fe} , рассчитанная только по линиям Fe ($N = 47$)

Факт подобной зависимости может быть одной из причин расхождения значений продольного магнитного поля, полученных нами по всему массиву спектральных линий и более ранними оценками в других исследованиях. Высокое разрешение спектрополяриметра ESPaDOnS ($R = 65000$) и высокоточная SL-методика измерения магнитных полей позволили нам использовать для измерений магнитного поля значительное количество слабых неблендированных спектральных линий ($E_{low} = 0.8...0.9$) с небольшими факторами Ланде ($g_{эф} < 1$). Слабые линии, как правило, формируются в более тонком слое атмосферы, чем глубокие линии. При этом глубокие линии систематически показывают меньшее значение магнитного поля, чем линии слабые. Это может говорить как о неоднородной структуре магнитного поля в атмосфере звезды, так и о неоднородном распределении химических элементов по поверхности и/или с глубиной, или о наличии всех этих факторов. Более ранние исследования проводились с существенно меньшим спектральным разрешением. Поэтому, скорее всего, для измерения магнитного поля в них использовались глубокие линии с большими факторами Ланде, дающие более низкие значения магнитного поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнено исследование продольного магнитного поля Ар-звезды 33 Lib в отдельных спектральных линиях по спектрополяриметрическим данным высокого разрешения, полученным в течение четырех ночей в 2006 г. на 3.6-м телескопе CFHT со спектрографом ESPaDOnS.

Средние за ночь значения продольного магнитного поля, рассчитанные по всему массиву спектральных линий, совпадают в пределах ошибок измерений. Таким образом, мы не подтверждаем 7-сут период вращения 33 Lib, предложенный в работе [19].

Среднее по всем датам продольное магнитное поле составляет $\langle B_e \rangle = 274.9 \pm 2.7$ мТл. Наиболее существенное отклонение от среднего демонстрируют ядра водородных линий H и H_δ, а также линии Pr и Y.

Разные спектральные линии, в том числе разные линии одного и того же химического элемента, демонстрируют существенно различающееся магнитное поле. Как правило, более высокие значения поля демонстрируют слабые линии с фактором Ланде $g_{\text{лф}} < 1$. Это может говорить как о неоднородной структуре магнитного поля в атмосфере звезды, так и о неоднородном распределении химических элементов по поверхности и/или с глубиной, или о наличии всех этих факторов.

В этой работе использовалась база данных VALD, действующая в Упсальском университете, в Институте астрономии РАН в Москве и в Венском университете. На основе наблюдений, полученных на канадско-французско-гавайском телескопе (CFHT), который находится в ведении Национального исследовательского совета Канады, Национального института научных исследований Национального научного центра Франции и Университета Гавайи. В исследовании использовались возможности Канадского центра астрономических данных, эксплуатируемого Национальным исследовательским советом Канады при поддержке Канадского космического агентства.

(This work has made use of the VALD database, operated at Uppsala University, the Institute of Astronomy RAS in Moscow, and the University of Vienna. Based on observations obtained at the Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) which is operated by the National Research Council of Canada, the Institut National des Sciences de l'Univers of the Centre National de la Recherche Scientifique of France, and the University of Hawaii. This research used the facilities of the Canadian Astronomy Data Centre operated by the National Research Council of Canada with the support of the Canadian Space Agency).

1. Babcock H. W. A Catalog of Magnetic Stars. *Astrophys. J. Suppl. Ser* 1958. 3. P.141—210.
2. Braithwaite J. On non-axisymmetric magnetic equilibria in stars. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2008. 386. P. 1947—1958.

3. Braithwaite J. Axisymmetric magnetic fields in stars: relative strengths of poloidal and toroidal components. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2009. 397. P. 763—774.
4. Braithwaite J., Spruit H. C. A fossil origin for the magnetic field in A stars and white dwarfs. *Nature*. 2004. 431. P. 819—821.
5. Butkovskaya V., Baklanova D., Han I., Kim K. M., Lyashko D., Mkrtychian D., Plachinda S., Valyavin G., Tsymbal V. Rotational variation of the magnetic field of beta CrB in different spectral lines. *Odessa Astron. Publs.* 2008. 21. P. 19—22.
6. Butkovskaya V., Plachinda S. A study of the Cephei star Pegasi: binarity, magnetic field, rotation, and pulsations. *Astron. and Astrophys.* 2007. 469. P. 1069—1076.
7. Donati J.-F., Landstreet J. D. Magnetic fields of nondegenerate stars. *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.* 2009. 47. P. 333—370.
8. Donati J.-F., Semel M., Carter B. D., Rees D. E., Collier Cameron A. Spectropolarimetric observations of active stars. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1997. 291. P. 658—682.
9. Duez V., Braithwaite J., Mathis S. On the stability of non-force-free magnetic equilibria in stars. *Astrophys. J.* 2010. 724. P. L34—L38.
10. Han Inwoo, Valyavin G., Galazutdinov G., Plachinda S., Butkovskaya V., Lee B. C., Kim Kang-Min, Jeong Gwanghui, Romanyuk I., Burlakova T. Magnetic field and orbit of the star CrB. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2018. 479. P. 1427—1432.
11. Kochukhov O. Doppler imaging of chemical spots on magnetic Ap/Bp stars. Numerical tests and assessment of systematic errors. *Astron. and Astrophys.* 2017. 597. 15 p. id.A58.
12. Kurtz D. W. Rapidly oscillating AP stars. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1982. 200. P. 807—859.
13. Mathis S., Zahn J.-P. Transport and mixing in the radiation zones of rotating stars. II. Axisymmetric magnetic field. *Astron. and Astrophys.* 2005. 440. P. 653—666.
14. Mathys G. Ap stars with resolved magnetically split lines: Magnetic field determinations from Stokes I and V spectra. *Astron. and Astrophys.* 2017. 601. id. A14. 90 p.
15. Mathys G., Hubrig S. Spectropolarimetry of magnetic stars. VI. Longitudinal field, crossover and quadratic field: New measurements. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 1997. 124. P. 475—497.
16. Mathys G., Hubrig S., Landstreet J. D., Lanz T., Manfroid J. The mean magnetic field modulus of AP stars. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 1997. 123. P. 353—402.
17. Michaud G. Diffusion Processes in Peculiar a Stars. *Astrophys. J.* 1970. 160. P. 641—658.
18. Michaud G., Megessier C., Charland Y. Diffusion models for magnetic Ap-Bp stars. *Astron. and Astrophys.* 1981. 103. P. 244—262.
19. Romanyuk I. I., Semenko E. A., Kudryavtsev D. O. Results of magnetic field measurements of CP stars carried out with the Russian 6-m telescope. I. Observations in 2007. *Astrophys. Bull.* 69. P. 427—438.
20. Ryabchikova T., Nesvacil N., Weiss W. W., Kochukhov O., Stütz Ch. The spectroscopic signature of roAp stars. *Astron. and Astrophys.* 2004. 423. P. 705—715.
21. Ryabchikova T., Piskunov N., Kurucz R. L., Stempels H. C., Heiter U., Pakhomov Yu., Barklem P. S. A major upgrade of the VALD database. *Phys. Scripta.* 2015. 90, N 5. Article id. 054005.
22. Schöller M., Hubrig S. Magnetic chemically peculiar stars. In «Determination of Atmospheric Parameters of B-, A-, F- and G-Type Stars» / Eds E. Niemczura, B. Smalley, W. Pych. Springer. 2014. 9 p. arXiv:1501.04225.
23. Semel M. Zeeman-Doppler imaging of active stars. I. Basic principles. *Astron. and Astrophys.* 1989. 225. P. 456—466.

24. Semel M., Li J. Zeeman-Doppler Imaging of Solar-Type Stars: Multi Line Technique. *Solar Phys.* 1996. 164. P. 417—428.
25. van den Heuvel E. P. Zeeman observations of peculiar and metallic-line A stars. *Astron. and Astrophys.* 1971. 11. P. 461—467.
26. Wolff S. C. The distribution of periods of the magnetic A-type stars. *Astrophys. J.* 1975. 202. P. 127—136.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2018

Після доробки 15.11.2018

Прийнята до друку 26.11.2018

В. В. Бутковська, С. І. Плачинда

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України,
Київ, Україна

МАГНІТНЕ ПОЛЕ AP-ЗІРКИ 33 LIB: ДОСЛІДЖЕННЯ В ОКРЕМИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЯХ

Ap-зірки — це хімічно пекулярні зірки головної послідовності, атмосфери яких відрізняються аномальним хімічним складом порівняно із сонячним. Вважається, що аномальний хімічний склад пекулярних зірок обумовлений дифузією хімічних елементів в атмосфері при спільній дії радіаційного тиску і гравітаційного осадження. Залежно від домінантного процесу, хімічний елемент або «тоне» і накопичується у глибших шарах, або «спливає» і накопичується у верхніх радіаційних шарах атмосфери. Крім нерівномірного розподілу хімічних елементів з глибиною, спостерігається і нерівномірний розподіл хімічних елементів по поверхні пекулярних зірок у вигляді плям, збагачених або збіднених тим чи іншим хімічним елементом. Ap-зірки мають сильні глобальні магнітні поля з напруженістю від декількох сотень до десятків тисяч гаусс. Ці поля, як правило, мають просту дипольну конфігурацію, стабільну в часі як мінімум кілька десятиліть. Одним з недосліджених явищ, що спостерігаються у хімічно пекулярних зірок, є той факт, що значення магнітного поля, виміряного з використанням різних спектральних ліній, зокрема різних спектральних ліній одного і того ж хімічного елемента, можуть суттєво відрізнитися одне від одного. У даній роботі представлено результати вимірювання поздовжнього магнітного поля хімічно пекулярної Ap-зірки 33 Lib в окремих спектральних лініях ($N = 180$). Спектрополяриметричні спостереження високої роздільності, що були виконані протягом чотирьох ночей у 2006 р. на 3.6-м телескопі CFHT (спектрограф ESPaDOnS), було взято з відкритої бази даних CADC. Обчислення магнітного поля по окремих спектральних лініях виконано на основі ефекту Зеемана за допомогою SL-методу (Single Line). Встановлено, що середнє для всіх дат магнітне поле становить $\langle B_z \rangle = 274.9 \pm 2.7$ мТл. При цьому значення магнітного поля, виміряного у різних спектральних лініях, зокрема у різних спектральних лініях одного і того ж хімічного елемента, можуть статистично суттєво відрізнитися. Найменші значення магнітного поля отримано по ядрах водневих ліній H і H, а також по спектральних лініях Y і Rg. Дослідження залежності величини поздовжнього магнітного поля від параметрів спектральних ліній показало, що сильніші магнітні поля отримуються по слабких лініях з малим фактором Ланде. Причиною такої відмінності може бути як неоднорідна структура магнітного поля в атмосфері зірки, так і неоднорідний розподіл хімічних елементів по поверхні і/або з глибиною, або обидва ці чинники одночасно.

Ключові слова: магнітне поле, атмосфери зірок, пекулярні зірки, спектрополяриметр.

V. V. Butkovskaya, S. I. Plachinda

Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

MAGNETIC FIELD OF THE AP STAR 33 LIB:
STUDY IN DIFFERENT SPECTRAL LINES

Ap stars are chemically peculiar main sequence stars whose atmospheres have an anomalous chemical composition compared to the Sun. The abnormal chemical composition of the peculiar stars is due to the diffusion of chemical elements in their atmospheres under the joint action of the radiation pressure and the gravitational settling. Depending on which of the processes prevails, the chemical element either «sinks» and accumulates in the deeper layers, or it floats and accumulates in the upper layers of the stellar atmosphere. In addition to the non-uniform distribution of chemical elements with depth, there are inhomogeneities of chemical elements on the surface of peculiar stars in the form of spots enriched or depleted in one or another chemical element. Ap stars have strong global magnetic fields with an intensity from a few hundred to tens of thousands of Gauss. These fields, as a rule, have a simple dipole configuration that is stable in time at least at time intervals of several decades. One of the unexplored effects observed in chemically peculiar stars is the fact that the magnetic field measured using different spectral lines can differ significantly from each other. In the paper, we present the results of measuring the longitudinal magnetic field of a chemically peculiar Ap star 33 Lib in different spectral lines ($N = 180$). High-resolution circularly polarized spectra collected over 4 nights in 2006 with the 3.6 m CFHT ESPaDOnS were taken from the open CADC database. The magnetic field was calculated using Single Line method by measuring Zeeman splitting of individual spectral lines. It was established that the averaged over all nights longitudinal magnetic field is $\langle B_{\parallel} \rangle = 274.9 \pm 2.7$ mT. It was found, that there are spectral lines, including spectral lines of the same chemical element, which demonstrate significantly different magnetic field. The weakest magnetic field is measured in the cores of the hydrogen lines H α and H β , as well as in the Y and Pr lines. The study of the dependence of the magnitude of the magnetic field on the parameters of the spectral lines has showed that strongest magnetic field values are measured in the weak lines with small Lande factors. The reason for this difference in the measured magnetic field values can be both the inhomogeneous magnetic field in the star's atmosphere, and the inhomogeneous distribution of chemical elements over the surface and/or with depth, or all of these factors simultaneously.

Keywords: magnetic field, stellar atmospheres, peculiar stars, spectropolarimetry.