

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИНДЕКСЫ ПЕКУЛЯРНОСТИ СР-ЗВЕЗД ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

И. М. Копылов

Для 160 химически пекулярных звезд верхней части главной последовательности в интервале спектральных классов В2—А9 ($22\,000 > T_e > 7500$ К) определены количественные спектральные индексы пекулярности P по избранным линиям ионов Si II, Mn II, Cr II, Sr II и Eu II.

Исследованы зависимости величины каждого из этих индексов от спектрального класса S_p (эффективной температуры T_e) для использованной выборки СР-звезд, установлены температурные границы появления и исчезновения этих пекулярностей, выявлены характерные особенности поведения индексов P вдоль температурной последовательности.

Проведен предварительный анализ корреляционных зависимостей между индексами P для каждого из рассмотренных ионов. Показано (рис. 6 и 7), что совокупность СР-звезд состоит из нескольких групп, каждой из которых при общем совместном усилении линий всех аномальных элементов присуще еще и свое, выраженное в разной степени дополнительное увеличение P для одного (двух) из этих элементов. Масштаб и относительная частота встречаемости такой «сверхпекулярности» зависят от свойств данного элемента и изменяются вдоль температурной последовательности. Особенно контрастно это избыточное усиление проявляется для группы марганцевых звезд (рис. 7, А).

Полученные результаты необходимо учитывать при дальнейшем развитии и наблюдательной проверке любой из гипотез, рассматривающих механизмы происхождения и направление эволюции аномалий химического состава атмосфер СР-звезд.

The quantitative spectral peculiarity indexes P are determined for 160 chemically peculiar stars of the upper main Sequence within the spectral type interval В2—А9 ($22\,000 > T_e > 7500$ К) from the selected ion lines Si II, Mn II, Sr II, Cr II and Eu II.

Dependences for each of these indexes upon the spectral type S_p (effective temperature T_e) are studied for the used sample of Cp stars. The temperature boundaries of appearance and disappearance for each of these peculiarities are found, the main features of P indexes behaviour along the temperature sequence are considered.

A preliminary analysis is made of correlations between indexes for each of ions considered. It is shown (Fig. 6, 7) that the whole family of Cp stars consists of several groups, and each of the last ones along with general simultaneous line strengthening of all the anomalous elements has its own extra P strengthening for one (two) of these elements, expressed at different degrees. The scale and relative frequency of such «superpeculiarities» depend on properties of every of particular elements and vary along temperature sequence. This surplus strengthening especially reveals for the group of manganese stars (Fig. 7, A).

These results ought to be taken into account at the future development and observational testing of any of hypothesis which deal with the mechanisms of origin and directions of evolution of anomalous chemical composition of Cp star atmospheres.

Среди множества разнообразных отличительных свойств химически пекулярных звезд верхней части главной последовательности (в дальнейшем тексте — СР-звезд), позволяющих выделять этот широкий класс аномальных объектов из всей совокупности звезд, расположенных в пределах полосы главной последовательности (классы светимости V—III) в спектральном диапазоне В0—F0, наиболее общими являются: аномально сильные спектральные линии большого набора химических элементов, наличие мощного магнитного поля и относительно малые скорости осевого вращения.

Спектральную и фотометрическую переменность, наличие в непрерывных спектрах этих звезд широких абсорбционных полос (депрессий) и ряд других признаков, также в разной степени присущих СР-звездам, следует рассматривать в качестве вторичных (производных), поскольку степень проявления этих

признаков в определенной мере зависит от величины и геометрии магнитного поля, эффективной температуры звезды, взаимного расположения оси вращения и магнитной оси звезды и ориентации этих осей по отношению к наблюдателю (эффекты проекции).

Для изучения природы и, в конечном итоге, происхождения семейства CP-звезд нам представляется весьма многообещающим, хотя и достаточно сложным и трудоемким способом, комплексный и детальный корреляционный анализ совокупности выраженных в количественном виде аномалий линейчатого спектра этих звезд. Конечно, наиболее прямым и физически наиболее обоснованным подходом к решению этой проблемы является детальное определение и сравнение химического состава атмосфер достаточно большого числа «типичных» представителей класса CP-звезд. Однако именно неравномерность распределения химических аномалий в атмосферах этих звезд как по поверхности, так и, вероятно, по глубине, наличие сильного и, возможно, локально крайне неоднородного магнитного поля, непосредственно влияющего на процесс формирования спектральных линий, препятствуют прямому применению метода моделей атмосфер и не позволяют пока получать сведения о химическом составе атмосфер CP-звезд, сколько-нибудь близкие к реальным.

Поэтому для предварительного выяснения некоторых сторон проблемы о природе и происхождении CP-звезд в первом приближении возможно использование более простой методики, опираясь на рассмотрение скорее феноменологических, чем физических параметров CP-звезд и их атмосфер, проявляющихся в многочисленных и переменных особенностях их спектров.

Таковыми параметрами, по нашему мнению, могут служить количественные спектральные индексы пекулярности, определенные в массовом порядке для выборки наиболее репрезентативных химических элементов, аномально интенсивные линии которых и определяют нам класс CP-звезд как таковой.

1. Постановка задачи. Определим количественный спектральный индекс пекулярности P линии (группы линий) химического элемента E в спектре CP-звезды с эффективной температурой T_e и спектральным классом Sp как отношение эквивалентной ширины W_λ линии (линий) этого элемента в спектре данной CP-звезды к ее W_λ в спектре нормальной звезды главной последовательности с такими же T_e и Sp . Таким образом, индекс $P(E) = W_\lambda(E)_{cp} / [W_\lambda(E)_n]$ характеризует нам количественно меру усиления линий данного элемента в спектре CP-звезды, другими словами, степень пекулярности спектра CP-звезды в отношении данного элемента.

Впервые понятие количественной степени (индекса) пекулярности в упомянутом выше виде было введено в 1971 г. Леушиным [1, 2]. В результате фотометрической обработки спектрограмм с дисперсией $14 \text{ \AA}/\text{мм}$ для пекулярных и нормальных звезд В и А им были определены степени пекулярности ряда элементов для 56 CP-звезд [2], проведен их статистический анализ, а также поиски зависимостей величин P от спектрального класса, напряженности магнитного поля и т. п. Это позволило ему сделать несколько новых выводов о количественных отличительных особенностях спектров CP-звезд по сравнению с нормальными и о наличии некоторых соотношений между степенью пекулярности и другими спектральными и физическими параметрами CP-звезд. Так, им было показано [2], что не существует четкого разграничения по индексам P между пекулярными и нормальными звездами и что надежность выделения CP-звезд по их спектрам существенным образом зависит от применяемой методики: от дисперсии (спектрального разрешения) используемых спектрограмм и от того, каким методом, качественным (визуальное сопоставление интенсивностей линий) или количественным (спектрофотометрия и определение W_λ) проводится выявление и классификация звезд по типам пекулярности. Отмечено также, что на надежность классификации CP-звезд заметно влияет переменность их спектров со временем.

В последующем в конкретной процедуре определения степени пекулярности, разработанной Леушиным [2], выявились некоторые методические изъяны, например в способе определения Sp для CP-звезд, точное знание которых необходимо для нахождения величин P . Несомненно, однако, что введение количественной меры пекулярности спектров CP-звезд явилось важным

этапом на пути выявления и комплексного изучения закономерностей, связывающих наблюдаемые и физические особенности этих звезд.

Вторым исследованием, в котором с целью рассмотрения некоторых аспектов физики и эволюции СР-звезд определялись и анализировались в массовом порядке индексы пекулярности, явилась выполненная в САО серия работ по статистическому изучению характеристик пекулярных звезд в группировках разного возраста [3—10]. В этих работах для 108 СР-звезд, входящих в состав 10 ассоциаций и рассеянных скоплений, по однородному спектральному материалу с достаточно высоким спектральным разрешением были определены степени пекулярности основных пекулярных элементов, а также некоторые физические характеристики этих звезд. Эти данные были затем использованы для совместного их анализа и в первую очередь для поисков возможных зависимостей всего этого набора параметров от возраста звезд [11, 12].

Представляется, однако, настоятельно необходимым провести более полное и комплексное исследование этой обширной совокупности спектральных и физических характеристик СР-звезд, обратив специальное внимание на выявление возможных закономерностей в поведении этих параметров в зависимости от температуры звезды, величины магнитного поля, а также на поиски конкретных количественных соотношений между спектральными и фотометрическими критериями, характерными для различных типов СР-звезд, и, в конечном итоге, получить дополнительные данные для суждения о физической природе и механизмах образования химических аномалий.

Для более широкого охвата таким анализом всех типов СР-звезд в рассмотрение были включены пекулярные звезды в спектральном диапазоне от В0 до F0, в том числе СР-звезды с аномально ослабленными, усиленными и переменными линиями нейтрального гелия (звезды He-w, He-r и He-v).

Данная работа является первой в серии работ по статистическому исследованию количественных спектральных и фотометрических характеристик СР-звезд, поэтому особое внимание здесь уделено рассмотрению методических вопросов.

2. Исходные данные и методика определения количественных индексов спектральной пекулярности. 1. Для решения поставленной задачи были объединены массивы W_λ для пекулярных и нормальных звезд в спектральном диапазоне В0—F0, полученные в работах [1—10]. Кроме того, были использованы данные о W_λ для стандартных и некоторых пекулярных звезд в диапазоне В0—F0 [13, 14], по которым в свое время проводилась двумерная количественная спектральная классификация звезд О—F2 [15, 16].

Сопоставление в [1] шкал W_λ по общим нормальным (стандартным) и пекулярным звездам из [1, 2] (в дальнейшем тексте эта шкала W_λ обозначена как W_λ (Л)) и из [13—15] (в дальнейшем W_λ (К1)) не показало каких-либо систематических различий. Шкала W_λ из [3—10] (в дальнейшем W_λ (К2)) была сопоставлена со «стандартной» системой W_λ из [15] — систематических различий также не обнаруживается. Наконец, по 18 общим звездам мы сравнили шкалы W_λ (Л) из [1, 2] и W_λ (К2) из [3—10]. Сравнение приведено на рис. 1. Как и следовало ожидать из предыдущих сравнений, шкалы W_λ (Л) и W_λ (К2) систематических различий не имеют; значительный разброс точек на рис. 1 вызван в основном периодической переменностью интенсивностей спектральных линий у СР-звезд и (в меньшей степени) случайными ошибками определения эквивалентных ширин. Для иллюстрации последнего обстоятельства на рис. 1 для двух СР-звезд (μ Lep = HD 33904 и 52 Her = HD 152107) их W_λ обозначены разными значками.

Необходимые для дальнейшего анализа случайные ошибки определения W_λ в работах [1, 2] и [3—10] (в среднем по 4 и 3 спектрограммы для каждой звезды соответственно) были определены тремя способами: по W_λ для стандартных звезд, по разбросу W_λ для отдельных СР-звезд, по W_λ линий каждого элемента, относящихся к одному и тому же мультиплету. Получено, что относительные среднеквадратичные ошибки определения \bar{W}_λ одной линии в работах [1, 2] и [3—10] для $0.10 \leq W_\lambda \leq 0.40 \text{ \AA}$ заключены в пределах 23—9 и 18—7 % соответственно.

Поскольку в дальнейшем индексы пекулярности P для каждого элемента находились, как правило, по 2—3 линиям, то относительные среднеквадратичные ошибки их определения $\sigma P/P$ должны составлять 13—5 % в зависимости от W_λ линий, использованных для нахождения P . Здесь не учитывается спектральная переменность СР-звезд, которая естественно отражается в изменении P с периодом и приводит к дополнительному разбросу значений P , определенных для одной и той же СР-звезды по разным наборам спектрограмм (см. об этом подробнее ниже).

2. Для построения необходимых для определения P «опорных» зависимостей W_λ избранных линий от спектрального класса для нормальных звезд были

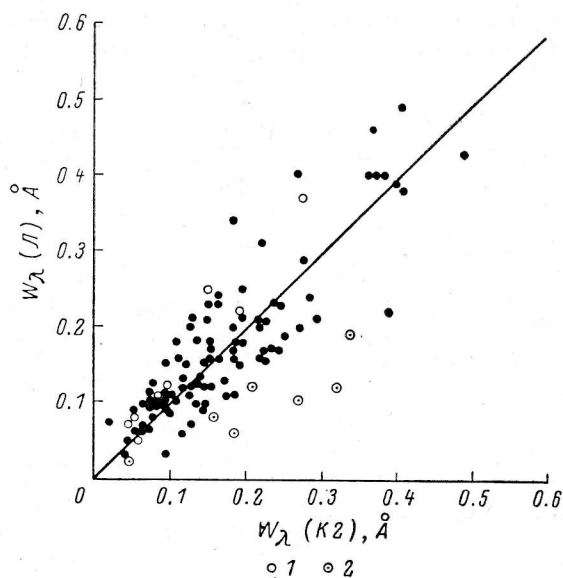


Рис. 1. Сопоставление систем W_λ из работ [3—10] — ось абсцисс, W_λ (K2), из работ [1, 2] — ось ординат, W_λ (L).

1 — μ Lep (HD 33904); 2 — 52 Her (HD 152107).

использованы W_λ из [2], из [13, 14], приведенные к «стандартной» системе [15], и из [3—10]. Определение точных спектральных классов отобранных нормальных звезд для построения зависимостей W_λ , S_p не представило особых трудностей, поскольку для большей части этих звезд имелась точная двумерная количественная спектральная классификация [15, 16], надежно, через систему классификации МК, связанная со спектральной калибровкой нормальных показателей цвета в системе UBV , а количественные спектральные классы 28 нормальных звезд из [1] тесно привязаны к системе [15, 16]. Среднеквадратичные ошибки определения для нормальных звезд в диапазонах В0—В3, В5—В7 и В8—F0 составляют в среднем 0.21, 0.41 и 0.22 спектрального подкласса соответственно [15, 16]. Причины заметно большей ошибки в определении S_p для диапазона В5—В7 объяснены в [15].

Для каждой нормальной звезды был также определен S_p по показателям цвета $(B-V)_0$, прокалиброванным в шкале для звезд класса светимости V (большинство звезд) по данным работы [17], а для звезд IV—III — по [18].

Сопоставление «спектральных» и «фотометрических» спектральных классов для нормальных звезд в диапазоне В0—F0 приведено на рис. 2, из которого следует, что точность определения S_p обоими методами весьма высока и что S_p (S_p) и S_p ($B-V)_0$ являются одинаково надежными температурными характеристиками звезд. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при переходе к решению несравненно более сложной задачи — к температурной классификации спектров СР-звезд.

3. Трудности, связанные с проведением количественной спектральной классификации и установлением надежной однородной шкалы эффективных тем-

ператур для CP-звезд, давно и хорошо известны и до сих пор еще не сняты. Здесь достаточно сослаться, например, на работу [1] (рис. 8—10 из нее) и на одну из последних работ, посвященных этой проблеме [19]. Добавим только, что спектральные классы, находимые для CP-звезд, например, по линиям He I, FeI, FeII, TiII так, как это сделано в [1] и [3—10], не могут служить и не должны использоваться (и в [3—10] не используются) в качестве прямых температурных параметров, поскольку содержание этих элементов в атмосферах пекулярных звезд также в определенной, но разной степени является аномальным. Во всяком случае, правильнее считать, что различия в спектральных классах вида $\Delta Sp = Sp(\text{HeI}) - Sp(B-V)_0$, $Sp(\text{FeII}) - Sp(B-V)_0$ и т. д. являются для CP-звезд скорее некоторым опосредствованным критерием пекулярности в отношении этих элементов (см., например, [3—10]). Очевидно, что для окончательного ответа на этот вопрос потребуется дополнительное целенаправленное исследование, которое не входит сейчас в нашу задачу.

Для изучаемых нами CP-звезд тремя способами были найдены значения T_e : а) по сводке [19], б) по методике определения T_e , изложенной в [4], в) по показателям цвета $(B-V)_0$ и соотношениям $T_e \rightarrow Sp \rightarrow (B-V)_0$ для горячих звезд, установленным так, как это кратко описано в [20]. Сравнение этих шкал T_e показало следующее:

а) для CP-звезд с $9500 > T_e > 7500$ К (Sp позже A0) все три шкалы T_e практически совпадают, однако с дисперсией около взаимных корреляционных зависимостей порядка ± 230 К;

б) для звезд с $T_e > 9500 \div 10\,000$ К обнаруживаются систематические и возрастающие с ростом температуры различия между шкалами T_e в том смысле, что T_e [20] $>$ T_e [4] $>$ T_e [19], при этом T_e [20] — T_e [19] возрастает от 300 К при $T_e \approx 10\,000$ К до 2000 К при $T_e \approx 25\,000$ К, а T_e [4] — T_e [19] — соответственно от 200 до 1000 К. Значительно возрастает и дисперсия около корреляционных зависимостей, достигая значений порядка ± 350 К для CP-звезд с $T_e \approx 12\,000 \div 15\,000$ К и ± 500 К для звезд с $T_e \geq 18\,000$ К.

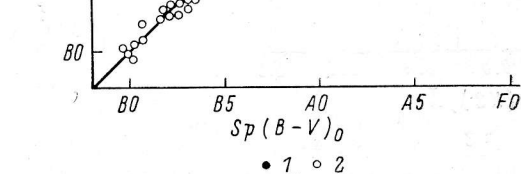


Рис. 2. Сопоставление спектральных классов для нормальных звезд, найденных по $(B-V)_0$ с помощью калибровки [17, 18] и полученных по количественной спектральной классификации.

1 — звезды со спектральной классификацией из [1]; 2 — из [15, 16].

Поскольку ни одной из трех рассматриваемых шкал T_e по разным причинам нельзя было отдать предпочтения, то, учитывая выводы работы [21], значения T_e для каждой звезды были усреднены. Затем T_e были пересчитаны в $Sp(T_e)$ по шкале, принятой в [20]. Эти Sp и использовались далее при определении индексов пекулярности P для CP-звезд.

4. В табл. 1 приводится список линий наиболее представительных аномальных элементов, по которым в данной работе определялись индексы пекулярности для CP-звезд. Таблица требует некоторых комментариев. Во-первых, в таблице (и в дальнейший анализ) пока не включены линии He I. Для статистического исследования аномалий линий He I в спектрах CP-звезд необходимо иметь обширный однородный массив W_λ избранных линий гелия разных серий для нормальных и пекулярных звезд, которым мы в настоящее время не располагаем. Во-вторых, для наиболее полного количественного анализа всех спектральных аномалий, проявляющихся у CP-звезд ранних спектральных классов от B0 до B5 (B7), необходимо иметь столь же однородные ряды определений W_λ для таких ионов как C II, Si III, N II, O II, S III и т. д. Такая работа в САО сейчас выполняется.

ТАБЛИЦА 1

Элемент, мультиплет	Длина волны λ , Å	Примечание
Si II (?)	4200.70	Бленда с Ti II λ 4200.40 (96), в звездах В, кроме того, с Fe III λ 4200.06, 4200.38
(3)	4128.05	Бленда с Mn II λ 4128.14 (2), Fe II λ 4128.74 (27), Mn II λ 4128.87 (2)
(3)	4130.88	Бленда с P II λ 4130.77 (17), Fe II λ 4131.17 (158); при больших $v \sin i$ — с Eu II λ 4129.73 (1)
Mn II	4282.47	
(7)	4206.38	При больших $v \sin i$ бленда с Mn II λ 4207.23 (2), Cr II λ 4207.35 (26)
Cr I (1)	4254.35	Бленда с V II λ 4254.41 (18)
Cr II (44)	4558.75	Дублет λ 4558.66 (44), 4558.83 (44). В звездах В бленда с Fe III λ 4559.09
(31)	4275.57	При больших $v \sin i$ бленда с Cr I λ 4274.80 (11)
(31)	4242.38	
Sr II (1)	4215.52	Бленда с Cr II λ 4215.77 (18)
(1)	4077.71	Бленда с Cr II λ 4077.50 (19), Ce II λ 4078.32 (19), Gd II λ 4078.44 (15)
Eu II (1)	4205.05	Бленда с Cr II λ 4204.66 (127), Y II λ 4204.69 (1), V II λ 4205.05 (25), Mn II λ 4205.37 (2)
(1)	4129.73	При больших $v \sin i$ блендируется с Si II λ 4130.88 (3)
Hg II (?)	3983.95	

ТАБЛИЦА 2

Диапазон P	P (I), P (K2)		P (Cr I), P (Cr II)	
	σ (P)	σ , %	σ (P)	σ , %
0.4—1.0	0.17	21	0.20	25
0.80				
1.1—1.8	0.36	28	0.30	23
1.30				
1.9—2.8	0.60	25	0.44	19
2.30				
3.0—6.2	0.50	12	0.38	9
4.2				
N		76		78

5. Был проведен анализ ошибок определения индексов пекулярности P (E). По 14 CP-звездам, общим в [1, 2] и [3—10], были сопоставлены индексы пекулярности, найденные для каждой звезды отдельно по W_λ из [2] и из [3—10]. Кроме того, ошибки P (E) были определены из сопоставления P (Cr I) и P (Cr II). Сведения о среднеквадратичных ошибках σP одного определения P (E), которые необходимо учитывать при дальнейшем анализе полученных результатов, приведены в табл. 2. В последней строке таблицы дано общее число N пар значений P , по которому определялась ошибка σP .

6. Все необходимые исходные и промежуточные данные для изучаемой выборки CP-звезд собраны в табл. 3, в столбцах которой последовательно даются:

- 1 — номер HD или BD;
- 2 — название звезды и номер HR;
- 3 — видимая величина звезды в фильтре V ;
- 4—8 — S_p в системе МК по определениям разных авторов, S_p по линиям Fe II и Ti II из [1], то же из [3—10], S_p по $(B-V)_0$ и S_p по T_e , найденные так, как это изложено в п. 3 данного параграфа;
- 9 — T_e (см. п. 3 данного параграфа);
- 10 — тип пекулярности. Сведения взяты в основном из [22] и дополнены данными из текущей литературы последних 10 лет;

Т А Б Л

HD, BD	Название звезды и (или) номер HR	V	Спектральный класс					
			MK	FeII, TiII (Л)	FeII, TiII (K2)	(B-V) ₀	T _e	
1	2	3	4	5	6	7	8	
358	α And	15	2 ^m 07.	B8V, B9IIIp, B8IVp	B9.3	B9.9	B6.05	B6.2
4778		234	6.13	A0p	A1.7	—	B9.6	B9.6
7374	87 Psc	364	5.96	B7III, B9III	A0.8	—	B6.6	B6.7
9996		465	6.30	B9Vp	A0.25	—	B8.8	B8.7
10221	43 Cas	478	5.58	A0p	A1.25	—	B8.4	B8.65
11415	ϵ Cas	542	3.37	B3III, B3IV, B3Vp	—	B9.9	B4.45	B4.5
11503	γ ² Ari	546	4.63	A2IVp, B9V	—	A0.6	B9.35	B9.6
11529	ω Cas	548	4.98	B8	—	—	B6.65	B6.8
12447	α ² Psa	596	3.83	Ap+Am	A1.15	—	B9.15	B9.2
14392	63 And	682	5.55	A0II—III, B8Vp	B8.8	A0.9	B7.25	B7.2
15089	ι Cas	707	4.49	A5p	A0.6	—	A4.0:	A3.8
15144D		710	5.85	A4p	—	A2.9	A4.5	A4.5
16605			9.64	A1p	—	A0.8	B8.4	B8.5
16693			8.52	B9Vp	—	B9.0	B7.4	B7.2
16705			8.50	B9IV—V	—	B9.6	B7.8	B7.5
16728			7.94	A0III—IV, B9p	—	A0.0	B8.7	B8.6
18296	21 Per	873	5.10	A0p	A0.25	—	B8.2	B8.9
19805			7.94	B9.5V, A0Vp	—	B8.8	B9.5	B9.5
19832	56 Ari	954	5.60	A0p	B9.75	—	B6.8	B7.3
20135			8.09	A0p, Am	—	B9.8	A5.0	A3.8
20210		976	6.24	(A2—A7)m, A7m	A2.85	—	A7.8	A7.9
21364	ξ Tau	1038	3.73	B8V, B8p	—	—	B7.75	B7.7
21699		1063	5.47	B5Vp, B9III, B8IIIp	—	B9.0	B4.5	B4.4
22114			7.65	B8p	—	B8.8	B6.2	B6.2
22136			6.89	B8V	—	B8.1	B8.1	B8.1
22327			7.58	B9III, B8	—	B8.5	B7.8	B7.7
35 ^o 751			9.86	Ap	—	A2.4	B9.3	B9.2
34 ^o 755			9.65	A0p	—	B9.4	B7.8	B7.7
22401			7.46	A0V, A0Vp, B9.5Vp	—	B9.2	B9.05	B9.4
23387			7.18	A1Vp, A1V	—	B8.5	B9.8	B9.8
23642			6.87	A0Vp, A0V	—	B9.1	A0.0	A0.1
23950		1185	6.07	B8III, B9IVp	—	B8.8	B7.3	B7.3
23964			6.80	B9.5Vp	—	B8.8	B9.1	B9.1
24321			8.82	B8V	—	—	B6.0	B6.0
25823	41 Tau	1268	5.19	A0p	B9.35	B9.1	B6.25	B6.8
27309	56 Tau	1341	5.38	Ap	—	A1.0	B7.3	B7.5
27962	68 Tau	1389	4.30	A3V, Am, A2IV, A3III	A2.6	—	A2.2	A2.0
28319	θ ² Tau	1412	3.41	A7IIIp, A7IV, A6V, F0V, A9IVp	A1.4	—	A6.3	A6.4
32549	11 Ori	1638	4.68	B9.5V, B9p, A0p	—	A0.0	B9.4	B9.5
33904	μ Lep	1702	3.30	B9IIIp, B8Vp, B9p	B9.35	B8.8	B7.4	B7.8
34719			6.64	A0p	—	A0.5	B7.25	B7.2
35008			7.11	B9Vp, B8V	—	—	B7.9	B7.8
35298			7.89	B3V, B4Vp, B9V	—	B8.0	B4.0	B4.4
35456			6.94	B5—6Vp, B8	—	B8.4	B5.2	B5.2
35497	β Tau	1791	1.65	B7IIIp, B7III, B8IIIp	B8.0:	—	B5.95	B6.5
35502			7.35	B5V, B5IVp, B5Vp	—	B8.8	B4.15	B4.2
35548		1800	6.57	B9p	—	B8.3	B8.75	B8.7
36513			8.21	B9p	—	B8.2	B6.75	B6.85
36429			7.56	B5V, B4IVp	—	B8.9	B3.3	B3.3
36526			8.31	B9III, B6—7IV—V	—	B9.1	B3.5	B3.9
36540			8.16	B7III, B7IVp	—	B9.0	B4.05	B4.2
36549			8.57	B6Vp	—	B9.2	B6.8	B6.8
36629			7.67	B2V, B2Vp	—	—	B2.05	B2.15
36668			8.07	B6Vp	—	B9.6	B6.25	B6.9
36916			6.73	B8IIIp, B9IVp	—	B8.5	B5.15	B4.55
37017		1890	6.55	B2V, B1.5Vp, B2IV	—	—	B2.0	B1.9
37058			7.28	B2V, B2Vp	—	—	B1.75	B1.8

T _e , K	Тип пекулярности						v sin i, км/с		Скопление или ассоциация	Примечания
							Кат.	К2		
9	10						11	12	13	14
14000						Hg Mn	50	53	Группа Плеяд	1, 2
9900							32	—		1
13350	Si		Sr	Cr	Eu	Hg Mn	25	—		
10750	Si		Sr	Cr	Eu		4	—		1, 2
10800	Si		Sr	Cr			33	—		1
16400		He-w					28	37	Группа Плеяд	
9850	Si		(Sr)	Cr	Eu		65	62	» »	1
13300			Sr				35	16	» »	2
10250	Si		Sr	Cr			82	—		
12750	Si	4200					150:	91	Группа Плеяд	1
8610			Sr	Cr	(Eu)		58	—	Поток УМа	1
8460			Sr	Cr	(Eu)		10	20		1, 2
11000	Si		Sr	Cr			—	13	М34	
12750						Hg Mn	—	22	»	
12300	Si		Sr	Cr			—	75	»	
10900	Si			Cr			—	84	»	
10650	Si	4200	Sr	Cr	Eu		41	—		1
10000	Si						—	15	α Персея	
12600	Si	4200					57	—		1
8600			Am?		Eu		—	27	α Персея	
7750			Am			Ba	20	—		2
12000	Si	4200?					15	—		2
16500	Si		He-w			Hg Mn	52	37	α Персея	1
13950							—	75	Персей OB2	
11500							25	27	α Персея	
11900							—	75	Персей OB2	
10150							—	57	» »	
11900							—	84	» »	
10100	Si		Sr	Cr			25	37	α Персея	1
9800	Si			Cr			29	27	Плеяды	
9600	Si						21	—	»	2
12600	Si		He-w	Cr		Hg Mn	70	75	»	
10350	Si		Sr	Cr			27	18	»	
14250							—	180	Персей OB2	2
13250	Si	4200	Sr				15	23	Группа Плеяд	2
12300	Si	4200	He-w				59	43	» »	1
9070			Am	Cr			18	—		
8050			Sr?	Cr?			75	—		2
10000	Si	4200					40	43	Группа Плеяд	1
11800	Si			(Cr)	(Eu)	Hg Mn	8	21	» »	1
12700	Si			Cr	Eu	Hg (Mn)	—	57	» »	
11870	Si						—	191	Орион OB1a	
16500		He-w					—	57	» »	1
15400		He-w					—	22	» »	
13600	Si			Cr		Mn	68	—		
16770		He-w					—	58	Орион OB1a	1
10750	Si	4200		Cr		Hg Mn	—	10	» »	
13250	Si						—	37	Орион OB1b	
18050		He-w					—	75	Орион OB1a	
17130	Si		He-w	Sr	Cr		—	58	Орион OB1b	1
16700		He-w					—	83	Орион OB1c	1
13270		He-w				Mn	—	37	Орион OB1a	
21700		He-w					—	59	Орион OB1c	
13200	Si		He-w		Fe	Ti	—	48	Орион OB1b	
16250	Si		He-w	Sr	Cr	Fe	—	66	Орион OB1c	1
22550		He-r					160	83	» »	1, 2
23200		He-w	Sr			Ti	30	59	» »	1

HD, BD	Название звезды и (или) номер	V	Спектральный класс				
			МК	FeII, TiII (Л)	FII, TiII (R2)	(B - V) ₀	T _e
1	2	3	4	5	6	7	8
37114		9.02	B8V, B9V, B9.5Vp	—	—	B8.9	B8.9
37129		7.17	B2Vp, B2V, B2.5V	—	—	B2.4	B2.6
37140		8.55	B7IVp, B3III, B8Vp, B9.5IV-V	—	B8.6	B4.7	B4.8
37151		7.35	B8V, B8Vp	—	B8.3	B6.8	B7.2
37210		8.13	B9IV-Vp	—	B8.6	B6.5	B7.05
37470		8.25	B8p, B9	—	B8.4	B7.8	B7.6
37479	σ Ori E 1932	6.60	B2Vp, B0.5V, B2IV-Vp	—	—	B1.25	B1.7
37633		9.05	B9.5IIIp, B9.5p	—	B9.1	B6.2	B6.3
37635	1942	6.42	B7V, B7Vp	—	—	B5.7	B5.3
37642		8.00	B9Vp, B9.5IIIp	—	B9.0	B4.3	B4.3
37687		7.09	B6V, B6IIIp	—	B8.8	B5.0	B4.9
294265		10.26	A8V, A7V, A4V, Am	—	—	A7.4	A7.4
38104	ο Aur 1971	5.43	A2Vp, A0p	A2.45	A1.0	A1.7	A2.9
39317	137 Tau 2033	5.55	B9p	A0.75	—	B9.6	B9.6
40312	θ Aur 2095	2.64	B8IVp, B9III, B9.5Vp	B9.8	—	B8.9	B9.1
47152	53 Aur 2425	5.76	B9.5p	A0.4	—	B9.45	B9.5
49976		2534	A0p	A0.55	—	A0.7	A0.5
72968	3 Hya 3398	5.71	A2p, A4p	A1.1	—	A0.0	B9.95
74521	49 Cnc 3465	5.66	A0p, A1p	—	A0.7	B8.4	B8.5
75333	14 Hya 3500	5.31	B9p	—	B9.1	B7.75	B7.8
77350	ν Cnc 3595	5.43	A0IIIp, A0p	—	B9.3	B9.3	B9.25
78316	ζ Cnc 3623	5.23	B8IIIp	B9.4	—	B6.75	B7.4
89822	30 UMa 4072	4.96	A0p	A1.35	—	B9.2	B9.25
98088		4369	F0IIIp	A5.8	—	A6.1	A6.4
106625	γ Crv 4662	2.59	B8.5III, B8III, B8V	B9.65	—	B7.75	B7.7
107612		6.66	A2p	—	A3.5	A1.5	A1.5
107966	13 Com 4717	5.17	A3V, A4pm, A3V	—	A0.4	A2.7	A3.1
108382	16 Com 4738	5.08	A4V, A4p, A2m	—	A1.8	A2.7	A4.0
108651B		4751	A0p, A2m	—	A2.3	A7.2	A1.8
108662A	17 Com 4752	5.27	A0p, B9p	A1.4	A0.7	B9.3	B9.35
108945	21 Com 4766	5.49	A2p, A3p	A2.0	A0.8	A2.5	A2.45
110066		4816	A2p, A4p	A5.0	—	A1.2	A2.0
111133		4854	B9, A4p	A1.9	—	B9.5	B9.7
112185	ε UMa 4905	1.76	A0V, A1Vp, A0p	B9.9	B9.7	A0.45	A1.05
112413	α ² CVn 4915	2.89	B9Vp, A0p	A0.15	—	B8.0	B7.9
118022	78 Vir 5105	4.93	A0Vp, A2p	A2.5	A2.6	A0.8	A0.0
118054		5106	A2p, A0	—	B9.1	B9.1	B9.2
123299	α Dra 5291	3.65	A0III, A0IIIp, B9.5III	B9.85	—	B9.6	B9.6
124224	CUVir 5313	5.01	B8Vp, B9IVp	B8.0:	—	B7.05	B7.2
129174	π ¹ Boo A 5475	4.54	B9IIIp	A0.05	—	B7.7	B8.0
130158	55 Hya 5514	5.65	A0p, Ap	—	B7.2	B8.5	B7.9
130557		5522	B9Vp, A0V	—	B9.2	B9.3	B9.5
130559A	μ Lib 5523	5.39	A2p, A0p	—	A0.5	B9.2	B9.2
130559B	μ Lib 5619	6.20	A6p	—	A1.1	B9.2	B9.2
133652		6.01	B8p	—	—	B7.2:	B7.7
134759	ι Lib A 5652	4.49	B9V, B9IVp, A3IV	—	B8.5	B7.5	B7.7
137909	β Cr B 5747	3.68	F0IIIp, A7V, A8III	F0.2	—	A7.2	A7.7
138764		5780	B6IV-Vp, B7IVp	B8.65	—	B6.0	B5.75
139160		5801	B8V, B9IV, B7IV, B5V	—	—	B5.6	B5.4
142096	λ Lib 5902	5.00	B2.5V, B4Vp, B3V	—	—	B3.0	B2.9
142250		5910	B6Vp, B5Vp, B7V, B9V	—	—	B6.15	B6.15
142301	3 Sco 5912	5.77	B8IIIp, B7IV, B8IVp	—	—	B3.5	B3.5
142378	47 Lib 5915	5.96	B9V, B3Vp, B3Vb	—	—	B3.0:	B3.3
142884		6.80	B9p, B9	—	—	B4.7	B4.85

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

T _e , K	Тип пекулярности				v sin i, км/с		Скопление или ассоциация	Примечания
					Kат.	K2		
9	10				11	12	13	14
10600					—	—	Орион OBI	
20000					70	37	Орион OBIc	
46000	Si	He-w?	Sr		—	37	Орион OBIb	1
12780	Si				—	21	Орион OBIc	
13000	Si	He-w			—	16	» »	1
12050	Si				—	87	» »	
23500		He-r			—	—	Орион OBIb	1
13800	Si			Eu	—	21	» »	
15200					—	132	Орион OBI	
16600	Si	He-w			—	100	Орион OBIc	1
15800	Si				—	9	» »	
7850		Am			—	—	Орион OBI	
8800			Cr	Eu	30:	37	Поток UMa	
9900	Si		Cr	Eu	35:	—		1
10350	Si		Cr		50	—		
10000			Cr	Eu	30	—		
9460			Sr	Cr	23:	—		1
9670			Sr	Cr	15	—		1, 2
10970	Si		Sr	Cr	13	27	Группа Плеяд	1, 2
11870					24	27	» »	
10200	Si		Sr	Cr	29	22	Поток UMa	1, 2
12480	Si				9	—		1, 2
10170	Si		Sr	Cr	11	—		2
8050			Sr	Cr	25	—		1, 2
12000			Cr		30	—		
9200			Sr	Cr	40	37	Группа Плеяд	
8780		Am			50	—	Coma	
8570		Am			95	—	»	
9100		Am?	Sr	Cr	—	—	»	2
10100			Sr	Cr	27	16	»	
8920			Sr	Cr	70:	62	»	1
9050	Si		Sr	Cr	13	—		
9850			Sr	Cr	8	—		1
9300			Cr	Eu	35	32	Поток UMa	1, 2
11700	Si		Cr	Eu	23	—		1
9620	Si		Sr	Cr	30	27	Поток UMa	1
10240			Sr	(Cr)	—	58	Sco—Cen 3	
9900	Si		(Eu)		10	—		2
12700	Si	4200			125	—		1, 2
11650			Cr		10	—		1
11750	Si				30	60	Sco—Cen 3	
10000	Si		Cr		—	50	»	2
10200			Sr	Cr	26	22	»	2
10250			Sr	Cr	—	32	»	
12000	Si	4200			—	33	»	1
12000	Si				67	58	»	2
7800			Sr	Cr	15	—		1, 2
14550				Eu	13	27	Sco—Cen 3	2
15000		He-w?			—	15	»	
19000		He-w			210	130	»	2
14000					25	27	Sco—Cen вH	2
17700	Si	He-w			—	66	»	1
18100					—	160	Sco—Cen 3	
15870	Si	4200	He-w		200	130	Sco—Cen вH	1

HD, BD	Название звезды и (или) номер HR	V	Спектральный класс					
			MK	FeII, TiII (II)	FeII, TiII (K2)	(B - V) ₀	T _e	
1	2	3	4	5	6	7	8	
142990		5942	5.45	B4IVp, B3V, B5V, B8V	—	—	B2.9	B2.9
143807	† Cr B	5974	4.99	A0IIIp, A0V, A0II— IIIp	B9.2	—	B8.75	B8.95
144334		5988	5.90	B9III, B5V, B8V	—	—	B4.25	B4.3
144661		5998	6.30	B7IV, B7III, B7V, B7IVp	—	B8.7	B4.3	B4.7
144844		6003	5.88	B9V, B9IVp	—	B8.2	B7.0	B7.1
145102			6.63	B9V, B9Vp	—	B8.5	B8.25	B8.35
145792		6042	6.40	B7IV	—	—	B5.0	B4.6
146001		6054	6.05	B8IV, B8V, B7IV	—	—	B6.05	B6.0
147010			7.41	Ap, B9p	—	A1.5	B6.6	B6.6
147550		6096	6.23	B9V	—	—	A2.0	A2.45
147890			7.64	B9.5p, B8p, A0p	—	A1.0	B7.3	B7.15
148112		6117	4.58	A2Vp, A0p	A0.0	A0.7	B9.75	A0.0
148199			7.02	B8Vp	—	B9.9	B7.8	B7.6
148579			7.34	B9Vb	—	B9.2	B8.2	B8.3
148605	22 Sco	6141	4.79	B2V	—	—	B2.0	B2.6
150035			8.66	A5p	—	A7.5	A7.2	A7.2
151346			7.90	B7V, B7Vp	—	—	B4.4	B5.2
151525	45 Her	6234	5.24	B9.5V	A1.15	—	A0.25	B9.8
152107	52 Her	6254	4.87	A3Vp	A1.8	A2.0	A2.25	A2.7
153882	∇ 451 Her	6326	6.29	A2p, A4p	A7.6:	—	A1.5	A2.1
158704		6520	6.05	B9p	—	B8.8	B7.1	B7.05
159376	52 Oph	6545	6.57	B8p, B9p	—	B8.5	B8.5	B8.7
161701		6620	6.00	B9III, B9p	—	B8.5	B6.7	B6.3
173524	46 Dra	7049	5.05	B9.5p, A0p	—	B8.2	B8.15	B8.2
173650	∇ 535 Her	7058	6.50	A0p	A0.2	—	B9.15	B9.7
174933	112 Her	7113	5.48	B9IIIp, B9II—IIIp	A0.4	B8.5	B6.4	B6.4
175744		7147	6.65	B9p	—	B8.5	B5.7	B5.9
175869	64 Her	7158	5.57	B8V, B8III—IV	—	—	B7.8	B8.0
176232	10 Agl	7167	5.90	A4p, A3p, F0p	A1.75	—	A8.4	A8.3
179761	21 Agl	7287	5.16	B8V, B7III, B7V, B8II—III	B9.8	—	B6.6	B7.2
183056	4 Cyg	7395	5.14	B8p, Ap	B9.45	—	B6.0	B6.7
183339		7401	6.50	B7IV, B8IVp	—	—	B5.25	B5.5
184961		7452	6.32	B8V, B9IIIp, B9IVp	—	B8.6	B8.2	B8.2
188041.2		7575	5.64	A5p, A6p, F0p, A4p	A3.9	—	A7.0	A5.9
190229	14 Sge	7664	5.67	B8II—IIIp, B8II—III	—	B8.4	B5.7	B6.0
196502	73 Dra	7879	5.20	A2p	A3.15	—	A3.0	A2.9
201601	γ Equ	8097	4.68	F0Vp, F0IIIp, A7p	A4.0	—	A8.8	A8.65
204131		8206	6.59	B9p, A0p	—	A0.2	B9.8:	B9.5
204411		8216	5.29	A5p, A3	A1.9	—	A3.5	A3.4:
205073			7.85	A0Vp, A0V, A1Vp	—	B9.5	B9.7	B9.6
205116			6.83	B9.5Vp, B9.5V	—	B8.2	B9.75	B9.6
205117			7.65	A0IVp, A0V, A1Vp	—	B9.5	A1.0	A1.1
205198			8.23	A1.5Vp, A1V	—	B9.6	B9.9	B9.8
205331			6.83	A1Vp, A1III, B9IV	—	B9.4	A0.6	A0.3
209515		8407	5.60	A0IV, B9.5Vb	—	B9.2	B9.25	B9.4
210424	38 Agr	8452	5.78	B6III, B7III	B8.5	—	B7.0	B6.7
210873		8473	6.38	A0Vp	—	B8.9	B8.75	B8.9
220825	∞ Psc	8911	4.95	A2p, A0p, A2p	—	A0.8	B9.6	B9.9
224801	CG And	9080	6.37	B8V, A0p	B9.75	—	B7.7	B7.6

Примечания: 1. Спектрально-переменная. 2. Спектрально-двойная.

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

T _e , K	Тип пекулярности						v sin i, км/с		Скопление или ассоциация	Примечания
							Кат.	К2		
	9	10						11	12	13
19000		He-w					10	140	Сco—Cen вн	1
10580			Cr		Zn Hg Mn		7	22	Группа Плеяд	2
16650	Si	He-w					—	53	Сco—Cen вн	1
16050		He-w		Ga	P Hg Mn		—	58	»	2
12830		He-w		Ga	P	Mn	—	20	»	2
11130	Si	4200					25	84	»	
16200							—	22	Сco—Cen я	
14450		He-w					—	100	»	
13530	Si	He-w	Sr	Cr		Fe	25	28	Сco—Cen вн	
8930	Si						—	—	Сco—Cen вн	
12820	Si						25	65	»	
9620	Si		Sr	Cr	Eu	(Mn)	47	52	Поток УМа	1
12050	Si		Sr	Cr			25	15	Сco—Cen вн	
11200							—	160	Сco—Cen я	
20000							280	190	»	
7890			Sr	Cr	Eu		—	102	Сco—Cen вн	
15350		He-w					—	46	»	
9775	Si			Cr	Eu		35	—	»	
8880			Sr	Cr	Eu	Sc	35	22	Поток УМа	1
9030				Cr	Eu		13	—	»	1
13000						Hg Mn	—	10	Сco—Cen вн	
10750	Si	4200					—	15	»	
13800	Si					Hg Mn	—	15	»	2
11380	Si			Cr		Hg Mn	16	16	Группа Плеяд	1, 2
9830	Si		Sr	Cr	Eu		16	—	»	
13700				Cr		P Hg Mn	16	16	Группа Плеяд	2
14330	Si	4200					—	50	»	
11650						Hg	—	145	»	
7670			Sr	Cr	Eu		55:	—	»	1
12750	Si					(Hg)	10	—	»	1
13380	Si		Sr				25	—	»	
14910		He-w					—	37	Группа Плеяд	
11290	Si			Cr			—	28	»	
8150			Sr	Cr	Eu		6	—	»	
14470						P Hg Mn	35:	10	Группа Плеяд	
8820			Sr	Cr	Eu		4	—	»	1
7580			Sr	Cr	Eu		9	—	»	
9950	Si		Sr	Cr			—	50	М39	
8680	Si		Sr	Cr	Eu		13	—	»	
9880		Am?	Sr	Cr			25	—	М39	1, 2
9900			Sr				—	32	»	
9300			Sr	Cr			100	—	»	2
9700							—	—	»	
9510							—	—	»	
10080	Si	4200	Sr	Cr	Eu		135	63	Поток УМа	1
13380	Si					Hg Mn	10	—	»	
10500	Si		Sr				30	37	Поток УМа	
9710	Si		Sr	Cr	Eu		43	35	Группа Плеяд	1
12150	Si	4200	Cr	Eu			38	—	»	1, 2

11, 12 — скорости осевого вращения: среднее из [23—26] и по данным из [3—10];

13 — принадлежность звезды к скоплению или ассоциации по [3—10];

14 — примечания.

Сделаем некоторые дополнительные пояснения к табл. 3. Нами было установлено, что для нормальных и CP-звезд нет явных систематических различий в S_p , находимых раздельно по линиям Fe II и Ti II как в [1], так и в [3—10]. Поэтому для дальнейшего анализа CP-звезд достаточно использовать приводимые в столбцах 5, 6 табл. 3 средние спектральные классы S_p (Fe, Ti) $\equiv S_p$ (Fe II, Ti II), которые являются обычной температурной характеристикой для нормальных звезд и дополнительной мерой

пекулярности CP-звезд при сравнении их со $S_p (B-V)_0$ из столбца 7 табл. 3.

Сопоставление $S_p (B-V)_0$ и $S_p (T_e)$ из столбцов 7 и 8 показывает тесную корреляцию во всем рассматриваемом диапазоне спектральных классов, от B0 (B2) до A9. Исключением является лишь несколько звезд A с признаками металличности, которые отмечены в столбце 10 как Am или Am? Средняя систематическая разница между $S_p (B-V)_0$ и $S_p (T_e)$ для CP-звезд практически постоянна в диапазоне B0—A0 и составляет всего около 0.1 спектрального под-

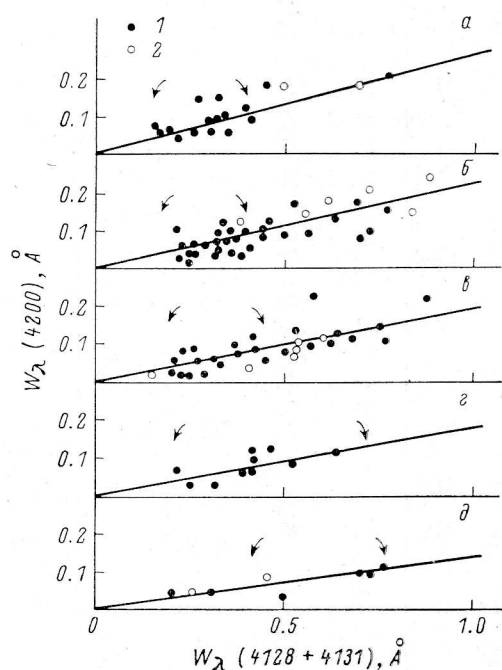


Рис. 3. Зависимость W_λ (Si II 4200) от W_λ (Si II 4118+4131).

a — диапазон спектральных классов B4—B5.9; б — B6.0—B7.9; в — B8.0—B9.9; г — A0.0—A5.5; д — A5.6—A8.7. Стрелками указаны границы диапазона W_λ (4128+4131) для нормальных звезд. 1 — звезды с пекулярностью Si и (или) Si 4200 (столбец 10, табл. 3); 2 — звезды без указания кремниевой пекулярности.

класса — $S_p (B-V)_0$ несколько более ранний, чем $S_p (T_e)$ (см. п. 3 данного параграфа).

7. В столбцах табл. 4 последовательно приводятся:

1 — номер звезды по HD или BD;

2 — спектральный класс $S_p (T_e)$ из столбца 8 табл. 3;

3, 4 — W_λ линий Hg II λ 3983.95 и Si II λ 4200.70 по работам [2, 3—10];

5—10 — индексы пекулярности P , найденные по линиям Si II (без λ 4200.70), Mn II, Cr I, Cr II, Sr II и Eu II из табл. 1 соответственно.

Прежде чем переходить к общему анализу данных из табл. 4, сделаем два добавления.

Линия Hg II λ 3983.95 не может быть использована для определения индекса пекулярности P (Hg II) у CP-звезд, поскольку она практически не обнаруживается в спектрах нормальных звезд.

Линия Si II λ 4200.70 также не использовалась нами для определения индекса P (Si II), поскольку в спектрах нормальных звезд она весьма слаба и может быть выявлена и измерена только при сравнительно малых скоростях вращения ($v \sin i < 50$ км/с). С другой стороны, Сирл и Сарджент показали [27], что для CP-звезд имеет место соотношение $W_\lambda(4200) = 0.6W_\lambda(4131) - 0.050 \text{ \AA}$, означающее, что W_λ линии λ 4200 возрастает с усилением линий λ 4128, 4131. Однако это соотношение было получено в [27] всего по 12 CP-звездам всех типов пекулярности в диапазоне — $0^m12 < (B-V)_0 < 0^m0$ (диапазон спектральных классов B3—A0), причем для каждой звезды использовалась только одна спектрограмма. Вместе с тем хорошо известно, что наличие усиленной линии λ 4200 в CP-спектрах есть признак относительно высокой температуры кремнево-

ТАБЛИЦА 4

Звезда HD (BD)	Sp (T _e)	W _λ , mÅ		Индексы peculiarity P (E)					
		Hg II	Si II	Si II	Mn II	Cr I	Cr II	Sr II	Eu II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
358	B6.2	95	77	1.53	5.67	—	2.06	0.91	—
4778	B9.6	120	80	1.18	2.95	2.55	3.18	3.33	6.92
7374	B6.7	110	90	1.20	5.25	—	2.55	1.50	—
9996	B8.7	110	60	1.50	2.16	3.30	2.67	2.40	6.92
10221	B8.65	90	120	2.57	3.67	2.50	2.86	4.07	7.00
11415	B4.5	—	—	0.76	—	—	—	—	—
11503	B9.6	—	135	2.02	—	2.65	2.98	2.28	5.02
11529	B6.8	—	20	0.88	—	—	—	—	—
12447	B9.2	100	—	1.94	1.73	3.92	3.18	2.45	4.00
14392	B7.2	—	190	2.17	—	—	1.65	0.98	—
15089	A3.8	80	30	0.48	0.67	1.06	1.25	1.91	0.96
15144	A4.5	—	—	1.03	2.12	2.31	2.45	3.80	3.53
16605	B8.5	—	230	1.93	5.62	6.70	4.72	2.61	6.75
16693	B7.2	160	58	0.82	2.13	—	1.67	—	—
16705	B7.5	—	—	0.82	—	—	2.93	0.92	—
16728	B8.6	—	88	1.70	—	—	1.42	—	—
18296	B8.8	—	120	2.03	2.62	2.00	2.53	2.07	4.81
19805	B9.5	—	18	0.73	—	0.84	0.96	0.41	—
19832	B7.3	—	150	1.97	—	—	1.08	1.55	—
20135	A3.8	—	—	0.35:	—	1.35	1.26	0.48	0.97
20210	A7.9	150:	90	0.87	1.00	1.38	1.09	0.98	1.38
21364	B7.7	—	—	1.52	—	—	—	—	—
21699	B4.4	—	132	1.67	—	—	2.07	2.30	—
22114	B6.2	—	110	0.77	—	—	0.43:	2.44	—
22136	B8.1	—	—	1.00	—	—	0.56	—	—
22327	B7.7	—	—	0.25	—	—	0.72	—	3.10
35.0751	B9.2	—	—	1.75	—	4.82	3.10	7.00	9.98
34.0755	B7.7	—	103	2.50	—	7.10	2.45	2.18	—
22401	B9.4	—	65	1.06	—	—	1.30	1.65	0.95
23387	B9.8	—	20	0.67	—	0.40	0.61	0.44	0.73
23642	A0.1	—	65	1.20	—	1.31	1.37	0.84	1.10
23950	B7.3	150	110	1.18	3.53	—	1.53	0.91	—
23964	B9.1	—	—	0.97	—	—	1.12	0.77	0.84
24321	B6.0	—	—	0.74	—	—	—	—	—
25823	B6.8	—	125	1.37	1.25	1.38	2.00	2.44	3.28
27309	B7.5	—	445	4.60	3.82	—	3.38	—	6.76
27962	A2.0	150	—	0.82	—	1.83	1.63	1.17	1.40
28319	A6.4	70	50	0.44	0.77	1.40	1.24	0.59	1.11
32549	B9.5	—	95	1.73	1.80	2.30	2.27	1.00	—
33904	B7.8	125	57	1.40	3.37	1.15	1.40	1.05	2.75
34719	B7.2	90	165	2.78	9.20	—	3.03	1.97	9.28
35008	B7.8	—	—	0.85	—	—	—	—	—
35298	B4.4	—	68	1.29	—	1.80	2.65	2.09	—
35456	B5.2	—	73	0.60	—	—	1.37	1.43	—
35497	B6.5	—	—	0.80	—	—	—	—	—
35502	B4.2	—	97	1.38	—	—	2.40:	2.80	—
35548	B8.7	60	20	0.50	1.40	0.47	0.81	0.93	0.88
36313	B6.85	—	85	2.50	—	0.72	1.00:	0.84	1.38
36429	B3.3	—	65	0.89	—	—	1.80:	1.38	—
36526	B3.9	—	60	1.12	—	5.50:	4.47	3.00:	—
36540	B4.2	—	67	1.48	—	—	2.50	3.70	—
36549	B6.8	50	70	1.16	6.60:	—	2.43	1.36	—
36629	B2.15	—	—	0.55	—	—	1.20:	1.10	—
36668	B6.9	—	45	1.27	—	1.76	2.53	1.76	2.53
36916	B4.55	—	95	1.68	—	—	2.53	2.32	1.10:
37017	B1.9	—	—	0.40	—	—	—	—	—
37058	B1.8	—	—	0.65	—	—	1.80:	2.20:	—
37114	B8.9	—	—	0.59	—	—	—	—	—
37129	B2.6	—	—	0.50	—	—	—	—	—
37140	B4.8	—	185	1.78	—	—	1.96	2.06	—

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Звезда HD (BD)	Sp (T _e)	W _λ , mÅ		Индексы peculiarity P (E)					
		Hg II	Si II	Si II	Mn II	Cr I	Cr II	Sr II	Eu II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37151	B7.2	—	62	0.91	—	—	1.27	0.20	0.54
37210	B7.05	—	95	1.27	—	1.18	1.75	1.14	—
37470	B7.6	—	33	1.12	—	—	1.00	0.85	—
37479	B1.7	—	295	0.65	—	—	—	—	—
37633	B6.3	—	105	1.65	—	—	2.04	1.95	5.39
37635	B5.3	—	—	0.72	—	—	—	—	—
37642	B4.3	—	208	3.25	—	—	3.65	2.40	—
37687	B4.9	—	60	0.66	—	—	1.67	1.93	—
294265	A7.4	—	—	0.67	—	1.45	0.87	0.52	—
38104	A2.9	120	65	0.73	1.65	2.42	2.21	0.95	1.40
39317	B9.6	70	100	1.84	1.74	2.31	2.17	1.38	2.15
40312	B9.1	130	160	2.54	1.55	1.43	1.55	1.03	—
47152	B9.5	100	—	1.00	—	—	1.95	1.47	—
49976	A0.5	40	—	0.92	1.55	2.00	2.65	1.23	1.63
72968	B9.95	80	50	0.65	2.47	3.33	3.59	4.42	2.28
74521	B8.5	—	230	2.95	2.55	4.47	3.41	3.42	7.90
75333	B7.8	140	45	0.83	3.77	—	1.60	0.85	—
77350	B9.25	—	25	0.95	—	1.52	0.98	1.21	—
78316	B7.4	100	70	1.15	3.37	—	1.33	0.36	2.43
89822	B9.25	150	—	1.35	—	—	2.44	2.70	2.93
98088	A6.4	290	100	1.22	1.59	2.72	2.35	2.28	2.92
106625	B7.7	—	—	0.83	—	—	1.12	0.80	—
107612	A1.5	—	—	0.95	2.07	3.95	2.57	5.80	4.67
107966	A3.1	—	—	0.63	—	1.07	1.00	0.82	—
108382	A4.0	—	—	0.65	—	1.40	1.10	0.99	1.12
108651B	A1.8	—	85	1.31	—	3.47	2.42	2.30	3.63
108662A	B9.35	60	98	1.20	2.34	4.80	5.14	2.25	5.68
108945	A2.45	120	—	1.34	1.55	2.08	2.16	4.38	2.44
110066	A2.0	110	120	1.49	4.10	4.95	4.35	2.80	6.00
111133	B9.7	110	140	1.65	4.00	5.00	3.72	5.75	5.85
112185	A1.05	60	67	0.48	1.31	2.01	1.98	0.76	1.83
112413	B7.9	50	140	2.17	2.20	2.15	3.03	1.58	5.95
118022	A0.0	160	120	1.27	3.08	6.78	4.29	3.73	5.45
118054	B9.2	—	—	0.72	—	—	1.51	1.37	2.10
123299	B9.6	—	—	1.15	—	—	1.15	0.55	—
124224	B7.2	90	250	3.15	—	—	2.25	2.55	—
129174	B8.0	170	90	1.43	5.82	—	2.35	1.55	3.72
130158	B7.9	—	130	1.56	—	—	1.57	—	—
130557	B9.5	—	65	1.03	—	—	1.19	0.77	1.67
130559A	B9.2	—	128	1.40	—	5.05	4.00	4.50	4.56
130559B	B9.2	—	—	0.87	—	4.88	2.95	4.61	4.96
133652	B7.7	—	215	2.48	—	—	1.77	0.91	1.67
134759	B7.7	—	95	1.97	—	—	—	—	—
137909	A7.7	190	100	1.30	1.74	2.32	2.10	1.46	5.26
138764	B5.75	—	45	1.16	—	—	—	—	—
139160	B5.4	—	—	0.71	—	—	—	—	—
142096	B2.9	—	—	1.47	—	—	—	—	—
142250	B6.15	—	35	1.43	—	—	—	—	—
142301	B3.5	—	127	1.21	—	—	—	—	—
142378	B3.3	—	—	1.31	—	—	—	—	—
142884	B4.85	—	135	1.95	4.90:	—	3.72	≥15	≥18
142990	B2.9	—	—	2.17	—	—	—	—	—
143807	B8.95	70	55	0.93	1.50	1.03	1.45	1.05	1.09
144334	B4.3	—	100	1.35	—	—	—	—	—
144661	B4.7	130	100	1.28	1.52	—	—	2.65	—
144844	B7.1	—	85	1.60	1.42	—	0.57	1.25	—
145102	B8.35	—	110	1.38	—	—	1.50	1.00	—
145792	B4.6	—	—	1.18	—	—	—	—	—
146001	B6.0	—	—	0.94	—	—	—	—	—
147010	B6.6	—	185	2.45	7.00	—	8.00	4.00	4.50

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Звезда HD (BD)	Sp (T _e)	W _λ , мÅ		Индексы пекулярности P (E)					
		Hg II	Si II	Si II	Mn II	Cr I	Cr II	Sr II	Eu II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
147550	A2.45	—	30	0.74	—	0.43	0.87	0.55	—
147890	B7.15	—	465	2.55	—	—	1.95	2.00	5.00
148112	A0.0	40	—	0.73	1.48	2.95	2.05	1.52	2.30
148199	B7.6	—	175	1.82	4.12	5.70	3.72	2.03	4.73
148579	B8.3	—	170	1.08	—	—	—	1.43	—
148605	B2.6	—	—	0.95	—	—	—	—	—
150035	A7.2	—	—	1.19	2.17	1.69	2.47	0.90	2.60
151346	B5.2	—	135	1.25	—	—	—	—	—
151525	B9.8	70	110	1.94	3.37	3.12	3.00	1.75	4.26
152107	A2.7	—	132	1.00	1.12	2.37	2.94	3.36	3.77
153882	A2.1	190	—	1.50	3.25	4.47	3.22	1.73	3.70
158704	B7.05	90	55	1.16	3.14	—	1.28	1.07	—
159376	B8.7	—	105	1.78	—	—	2.27	1.24	2.04
161701	B6.3	80	65	1.08	1.50	—	1.28	—	—
173524	B8.2	30	—	0.42	1.40	—	0.99	0.59	—
173650	B9.7	70	120	2.13	1.38	2.25	2.06	1.75	3.70
174933	B6.4	95	47	0.92	2.07	—	1.50	1.20	2.65
175744	B5.9	—	190	2.57	—	—	1.11	0.84	—
175869	B8.0	—	95	0.93	—	—	—	—	—
176232	A8.3	230	50	0.61	0.80	1.04	0.71	1.16	1.43
179761	B7.2	—	—	1.25	—	—	0.75	—	—
183056	B6.7	—	90	1.82	1.75	—	2.00	0.85	3.33
183339	B5.5	—	55	0.84	—	—	—	—	—
184961	B8.2	—	85	0.79	1.18	2.47	1.71	1.13	2.27
188041	A5.9	140	120	1.27	3.07	2.25	2.83	2.33	6.82
190229	B6.0	80	25	0.85	1.10	0.65	0.76	—	1.62
196502	A2.9	170	110	0.89	2.35	3.35	3.40	2.60	3.73
201601	A8.65	—	40	1.04	1.05	1.22	1.00	1.97	2.73
204131	B9.8	—	—	0.98	—	2.75	2.55	2.32	2.29
204411	A3.4:	120	—	0.61	1.41	1.57	1.37	0.68	1.78
205073	B9.6	—	10	0.77	—	0.92	1.50	1.14	1.25
205116	B9.6	—	—	0.68	—	0.77	0.61	0.86	0.72
205117	A1.1	—	—	1.07	—	—	0.66	0.80	—
205198	B9.8	—	—	0.75	—	—	1.17	0.95	—
205331	A0.3	—	—	1.00	—	1.63	1.92	0.77	—
209515	B9.4	—	75	1.60	—	—	1.45	1.44	1.72
210424	B6.7	—	100	1.40	—	—	—	—	—
210873	B8.9	200	—	1.04	3.18	1.54	1.67	1.74	—
220825	B9.9	—	50	1.03	2.00	3.23	3.03	3.83	5.80
224801	B7.6	60	150	2.89	—	—	1.76	2.70	6.25

пекулярных звезд ($\varepsilon_i \approx 9.8$ эВ для линий Si II 4128, 4131 и $\varepsilon_i \approx 12.5$ эВ для Si II 4200).

На рис. 3 даны зависимости $W_\lambda(4200)$ от $W_\lambda(4128+4131)$ для пяти диапазонов спектральных классов. Если представить эти зависимости в виде соотношения $W_\lambda(4200) = a + b W_\lambda(4128+4131)$, то оказывается, что свободный член $a \leq 5$ мÅ для всех диапазонов спектральных классов, а коэффициент b возрастает от 0.15 для диапазона A5.5—A8.7 до 0.26 для B4.0—B6.5. Это возрастание коэффициента b отражает естественное относительное увеличение возбуждения ионов Si II на уровень с $\varepsilon_i = 12.5$ эВ по сравнению с уровнем с $\varepsilon_i = 9.8$ эВ с ростом температуры. Кроме того, из рис. 3 следует, что и в спектрах нормальных звезд должна присутствовать линия Si II λ 4200.7 с $130 > W_\lambda > 40$ мÅ. Следовательно, индекс пекулярности P (Si II) для CP-звезд можно находить и по этой линии. Для этого необходимо лишь увеличить число стандартных звезд с измеренными $W_\lambda(4200)$, обратив должное внимание на учет блендирования, особенно при больших скоростях вращения.

3. Зависимости индексов пекулярности от спектрального класса и T_e . Сведения, представленные в табл. 3 и 4, мы использовали в первую очередь для поисков закономерностей в зависимостях $P(E)$ от спектрального класса и в соотношениях между индексами пекулярностей для разных элементов.

На рис. 4 и 5 представлены зависимости спектральных индексов пекулярности от $Sp(T_e)$ и T_e для CP-звезд. На каждом из рисунков светлыми кружками обозначены CP-звезды, в спектрах которых по качественному определению типа пекулярности (см. столбец 10 табл. 3) отмечено наличие данного типа пе-

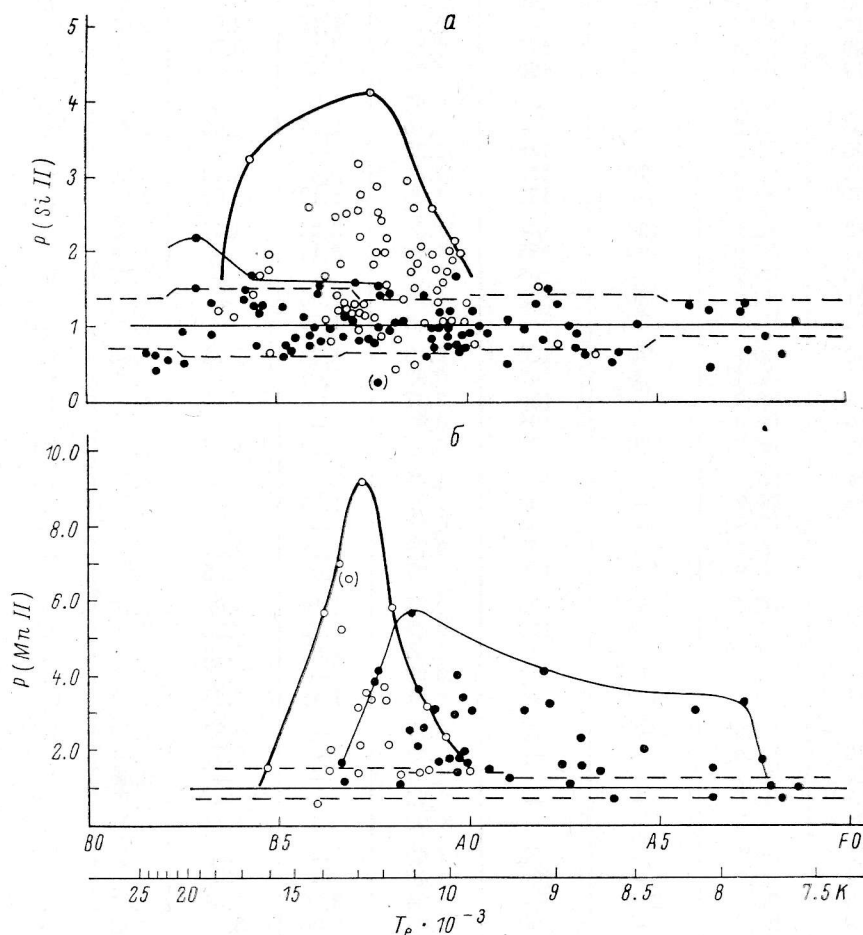


Рис. 4. Зависимость $P(\text{Si II})$ (а) и $P(\text{Mn II})$ (б) от спектрального класса $Sp(T_e)$.

Внизу указана соответствующая шкала эффективных температур T_e . Дополнительные пояснения к рис. см. в тексте.

кулярности, темные кружки — CP-звезды без такого указания. Сплошными кривыми условно обозначены верхние границы индексов пекулярностей для CP-звезд с данным типом пекулярности (жирная линия) и без указания на наличие такового (тонкая линия). Отрезками штриховых прямых линий по обе стороны от значения $P=1$ отмечены границы «пекулярности», в которых располагаются нормальные звезды. Эти границы определяются полным разбросом \bar{W}_λ линий данного элемента для индивидуальных звезд около средней зависимости \bar{W}_λ от спектрального класса.

Зависимость $P(\text{Cr I})$ от $Sp(T_e)$ в графической форме нами не строилась, поскольку она полностью подобна аналогичной зависимости для $P(\text{Cr II})$.

Из совместного анализа рис. 4 и 5 можно сделать следующую серию выводов.

а) Низкотемпературная граница области, занимаемой CP-звездами, определяется как $Sp \geq A9.0$ ($T_e \geq 7500$ К). Самой холодной из пекулярных звезд в нашей выборке является стронций-европиевая звезда $\gamma \text{Egu} = \text{HD 201601}$

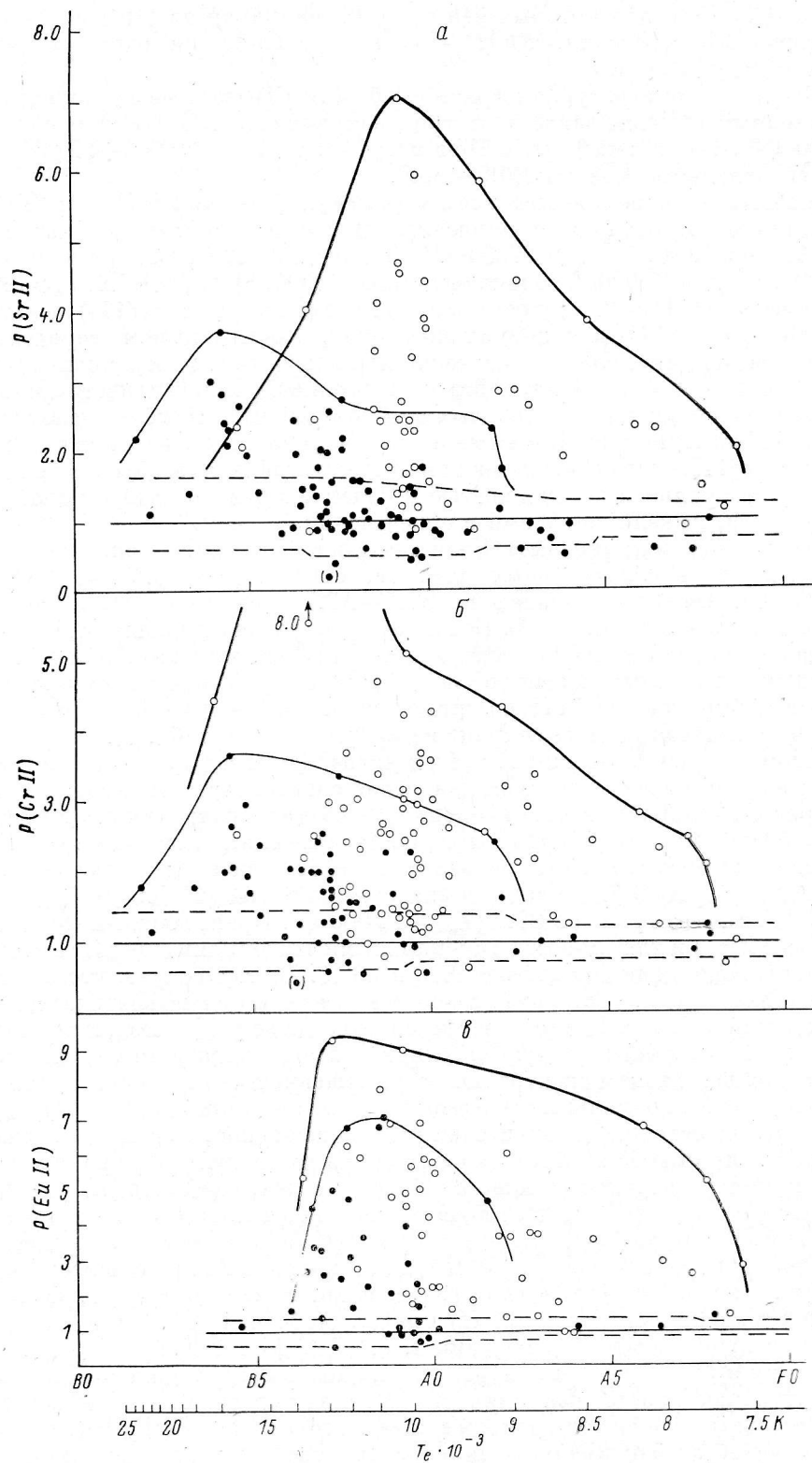


Рис. 5. То же, что и рис. 4, для $P(\text{SrII})$ (*a*), $P(\text{CrII})$ (*б*) и $P(\text{EuII})$ (*в*).

$\{Sp(T_e)=A8.65, T_e=7580 \text{ К}, P(\text{Sr II})=1.97, P(\text{Eu II})=2.73$; в отношении Si, Mn, Cr звезду следует считать «нормальной»]. В более полной выборке CP-звезд ($n=450$), для которых известны T_e , например из [16], и для каждой из которых мы определили $Sp(B-V)_0$, не оказалось ни одной пекулярной звезды с $T_e < 7500 \text{ К}$.

б) Верхняя температурная граница области CP-звезд менее определена и существенным образом зависит от типа пекулярности. Во всяком случае, некоторые CP-звезды типа He-w и He-g могут иметь $T_e \approx 30\,000\text{--}32\,000 \text{ К}$, т. е. иметь спектральные классы B0.5—B0.0.

в) Собственно «кремниевые» звезды (с пекулярностями Si II или Si II 4200) располагаются в довольно ограниченном диапазоне спектральных классов, от B3 до A0 (при $19\,000 > T_e > 9750 \text{ К}$). Более того, из 12 CP-звезд с измеренными $P(\text{Si II})$ и с $T_e > 17\,000 \text{ К}$ только одна (HD 142990, $Sp(T_e)=B2.9, T_e=19\,000 \text{ К}$, He-w) имеет $P(\text{Si II})=2.17$; у остальных 11 звезд значения $P(\text{Si II})$ лежат в пределах полосы $P(\text{Si II})$ для нормальных звезд. Таким образом, вероятно, правильнее считать, что область собственно кремниевых звезд ограничена диапазоном $17\,000 > T_e \geq 9750 \text{ К}$. Вне этого диапазона T_e интенсивности линий Si II у CP-звезд не отличаются от таковых для нормальных звезд. Расположение некоторых CP-звезд на рис. 4, а ниже полосы нормальных звезд, а также попадание многих «Si II»- и «Si II 4200»-звезд в пределы этой полосы обусловлено, скорее всего, их спектральной переменностью и качественным характером оценки типа пекулярности, нежели ошибками в определении W_λ и P .

г) Собственно «марганцевые» CP-звезды также располагаются в относительно узком диапазоне спектральных классов, от B6.2 до B9.5 ($14\,000 > T_e \geq 10\,000 \text{ К}$). Однако в диапазоне B7.5—A7.7 имеется большое количество CP-звезд, у которых линии Mn II также существенно усилены по сравнению с нормальными для данного спектрального класса, при этом они составляют 75 % (31 из 41 звезды) из общего числа CP-звезд, у которых эта сильная «марганцевая» аномалия [$P(\text{Mn II})$ достигают значений 3—4] не нашла своего отражения в качественном типе пекулярности (столбец 10, табл. 3).

д) Аномально сильные линии Sr II в спектрах CP-звезд прослеживаются практически во всем рассматриваемом диапазоне спектральных классов, от B1.8 до A8.7 (рис. 5, а). Любопытно, что доля CP-звезд со значениями $P(\text{Sr II})$, определенно большими, чем у нормальных, но не отмеченных как имеющие пекулярность стронциевого типа, быстро растет с увеличением T_e : от нуля для звезд позже A2 ($T_e \leq 9000 \text{ К}$) до 10 % в диапазоне B8—A2 ($11\,700 > T_e > 9000 \text{ К}$) и до 80 % для звезд раньше B7.7 ($T_e > 12\,000 \text{ К}$). Практически подобная ситуация имеет место и для CP-звезд с аномальными значениями $P(\text{Cr II})$ на рис. 5, б: соответствующие доли составляют 0.16 и 65 %. Не исключено, что это обстоятельство связано с относительной слабостью и в целом с систематическим ослаблением линий Sr II и Cr II с ростом температуры даже у CP-звезд, и при визуальных, качественных оценках типа пекулярности по спектрограммам, как правило, со сравнительно низким спектральным разрешением аномальное, по сравнению со стандартными (нормальными) звездами, усиление линий Cr II и Sr II не всегда может быть выявлено. Дополнительным, но, возможно, косвенным свидетельством действия именно этой причины является тот факт, что у индивидуальных CP-звезд при спектральных классах более ранних, чем ~ B6 ($T_e \geq 14\,000 \text{ К}$), мы практически не можем достаточно точно определять $P(\text{Mn II})$ и $P(\text{Eu II})$, поскольку W_λ линий этих элементов зачастую оказываются ниже предела их уверенного обнаружения ($W_\lambda \leq 20 \text{ мÅ}$) даже при сравнительно малых скоростях вращения и высоком спектральном разрешении. Во всяком случае, из CP-звезд, имеющих тип пекулярности Mn, (Hg) или Eu, наиболее горячие имеют спектральный класс практически не ранее B6, т. е. $T_e \leq 14\,000 \text{ К}$.

Поэтому мы полагаем, что вопрос о том, насколько далеко в область высоких температур простирается пекулярность CP-звезд в отношении Mn и Eu (и других редкоземельных элементов), а также таких элементов, как P, Hg, Ga и т. д., т. е. вопрос об их максимальной температуре требует специального спектрального исследования и подтверждения. Решающую роль в этом направлении должны сыграть ультрафиолетовые спектральные наблюдения горячих CP-звезд в области $\lambda < 3000 \text{ Å}$, их качественная или (лучше) количественная спектраль-

ная классификация и сравнение с ультрафиолетовыми спектрами нормальных звезд близких температур.

Из рис. 4 и 5 со всей очевидностью следует, что наиболее «типичные» пекулярные элементы: Si II, Mn II, Sr II, Cr II, Eu II ведут себя вдоль температурной последовательности весьма различным образом. Это обстоятельство неоднократно и в самых разных аспектах отмечалось в многочисленной литературе по СР-звездам. В связи с этим следующим естественным этапом в поисках возможных общих закономерностей в проявлении аномалий этих элементов в спектрах СР-звезд является последовательное сопоставление их индексов пекулярности.

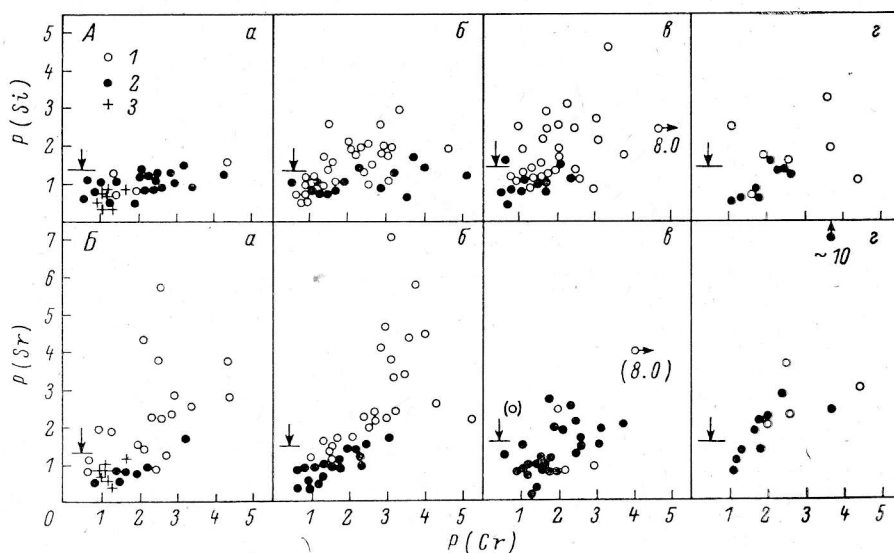


Рис. 6. Зависимости индексов $P(\text{Si II})$ (A) и $P(\text{Sr II})$ (B) от величины $P(\text{Cr II})$ для четырех интервалов спектральных классов.

a — A0.0—A8.7; $б$ — B8.0—B9.9; $в$ — B6.0—B7.9; $г$ — B1.6—B5.9; 1 — СР-звезды, имеющие в качественной классификации указания на пекулярность Si (рис. 6A) и Sr (рис. 6B); 2 — СР-звезды без указаний на пекулярность Si и Sr соответственно; 3 — звезды Am. В каждой части рисунка горизонтальной чертой и стрелкой указана верхняя граница величины P для нормальных звезд.

4. Сопоставление индексов пекулярности Si II, Mn II, Sr II, Cr II, Eu II.

Для этого сопоставления за «опорный» химический элемент был взят Cr II, как наиболее богатый линиями в интервале длин волн λ 3800—4950 Å и показывающий аномальные интенсивности этих линий во всем изучаемом диапазоне спектральных классов, от B2 до A8.

На рис. 6 представлены зависимости $P(\text{Si II})$ и $P(\text{Sr II})$ от величины $P(\text{Cr II})$ для четырех интервалов спектральных классов, на рис. 7 — зависимости $P(\text{Mn II})$ и $P(\text{Eu II})$ от величины $P(\text{Cr II})$ для трех интервалов спектральных классов.

Из анализа рис. 6 и 7 можно сделать следующие выводы.

а) У СР-звезд в спектральном диапазоне A0.0—A8.7 (рис. 6A, a) имеется слабая корреляция между $P(\text{Si II})$ и $P(\text{Cr II})$: при росте $P(\text{Cr II})$ от 1.0 до 4.5 индекс $P(\text{Si II})$ возрастает в среднем от 0.8 до 1.4, оставаясь, однако, в пределах полосы индексов $P(\text{Si II})$ для нормальных звезд (см. также рис. 4, a). При переходе к более ранним спектральным классам СР-звезд (рис. 6A, $б$, звезды B8.0—B9.9) корреляция раздваивается за счет появления большого количества собственно кремниевых звезд с типом пекулярности Si и (или) Si 4200, у которых наклон корреляционной зависимости $P(\text{Si II})$, $P(\text{Cr II})$ примерно в 2 раза больше, чем у СР-звезд без кремниевой пекулярности, затем наклон зависимости $P(\text{Si II})$, $P(\text{Cr II})$ становится еще больше с еще большим разбросом (рис. 6A, $в$, звезды B6.0—B7.9), и, наконец, у СР-звезд B1.8—B5.9 корреляция $P(\text{Si II})$, $P(\text{Cr II})$ практически не просматривается, возможно, из-за малого числа звезд.

б) Из рис. 6B следует, что корреляция $P(\text{Sr II})$, $P(\text{Cr II})$ прослеживается в каждом из четырех спектральных диапазонов, однако с разной степенью чет-

кости. Из рис. 6Б, а и в (диапазоны А0.0—А8.7 и В8.0—А9.9) очевидно, что ход зависимости $P(\text{Sr II})$, $P(\text{Cr II})$ у собственно стронциевых звезд (светлые кружки) отличается от такового для СР-звезд без стронциевой пекулярности; в диапазоне В6.0—В7.9 зависимость проявляется слабо, возможно, из-за отсутствия в этом спектральном диапазоне (в нашей выборке?) СР-звезд с большими значениями $P(\text{Sr II})$ и $P(\text{Cr II})$, поскольку для самых горячих звезд (рис. 6Б, г, звезды В1.8—В5.9) корреляция определенно существует.

в) Рис. 7А представляет особый интерес, в первую очередь потому, что он демонстрирует наличие двух четко разделяющихся последовательностей, об-

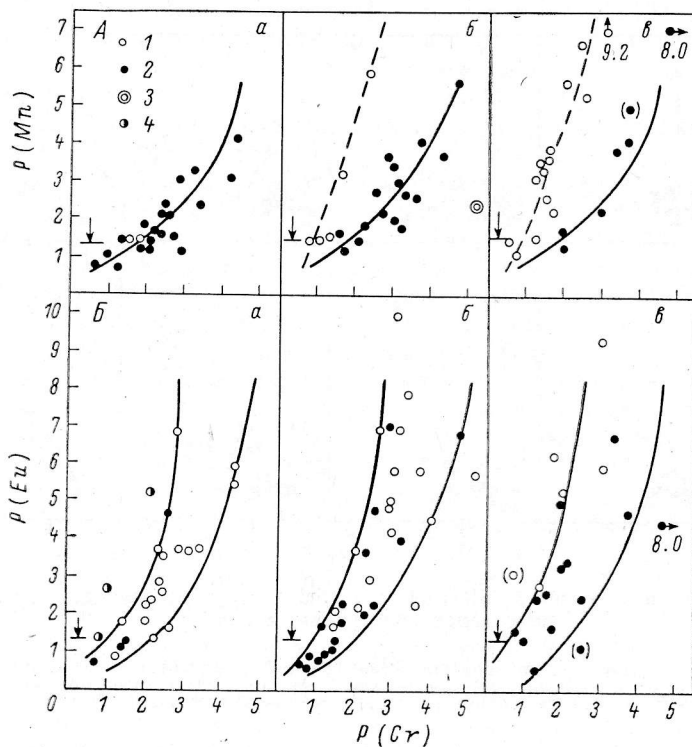


Рис. 7. Зависимость индексов $P(\text{Mn II})$ (А) и $P(\text{Eu II})$ (Б) от величины $P(\text{Cr II})$ для трех интервалов спектральных классов.

а — А0.0—А8.7; б — В8.0—В9.9; в — В6.0—В7.9. Смысл обозначений тот же, что и на рис. 6; 3 — звезда 17 Com A (HD 108662); 4 — звезды β CrB=HD 137909 [$S_p(T_e)$]=А7.7]; 10 Ag1=HD 176232 [$S_p(T_e)$]=А7.3] и γ Equ=HD 201601 [$S_p(T_e)$]=А8.65].

разованных собственно (ртутно)-марганцевыми звездами (светлые кружки) и СР-звездами без указаний в их типе пекулярности на аномальную интенсивность линий Hg II и Mn II (темные кружки). Лишь одна звезда (17 Com A=HD108662) выпадает из этой закономерности.

Для заданной величины $P(\text{Cr II})$ значения $P(\text{Mn II})$ для первой последовательности в среднем в 2.5—3.5 раза больше, чем для второй. Создается определенное впечатление, что собственно марганцевые звезды, у которых линии Mn II особенно усилены даже по сравнению с СР-звездами, у которых аномально сильны линии других пекулярных элементов, представляют собой особый класс пекулярных звезд. Известно, например, что ртутно-марганцевые звезды имеют в среднем довольно слабые магнитные поля по сравнению с другими СР-звездами [27]. Контраст здесь, однако, не столь велик, как это иногда подчеркивается. Так, по количественным данным о величинах $\langle B_e \rangle$, использованным в работе [28], мы подсчитали, что для марганцевых звезд (интервал В5—А0, число звезд 10; звезда 17 Com A с $\langle B_e \rangle = 650$ Гс исключена) $\langle B_e \rangle = 420$ Гс. Для прочих СР-звезд в том же спектральном интервале ($n=24$) имеем $\langle B_e \rangle = 740$ Гс.

г) Общая корреляция между $P(\text{Eu II})$ и $P(\text{Cr II})$ достаточно хорошо прослеживается во всем спектральном диапазоне В6—А9 (рис. 7Б, а—в), причем

отличия в поведении зависимостей P (Eu II), P (Sr II) для собственно европиевых звезд и SR-звезд без явно выраженной европиевой аномалии не проявляются. В то же время можно сделать вывод, что у значительной доли SR-звезд усиление линий Sr II не обязательно сопровождается соответствующим усилением линий Eu II, даже если принять во внимание ошибки в определении P (Sr II) и P (Eu II).

Общее заключение из анализа табл. 4 и рис. 6 и 7 таково. Увеличение индекса пекулярности для одного из аномальных элементов в спектрах SR-звезд (в нашем случае для Sr II) сопровождается соответствующим (в статистическом смысле, но количественно далеко не одинаковым) увеличением индекса P для всех остальных из рассмотренных здесь аномальных элементов, включая, возможно, Fe II, Ti II, V II. При этом при последовательном сравнении P (Sr II) с P (Eu II), P (Sr II), P (Si II) и P (Mn II) все отчетливее проявляется раздвоение корреляционных зависимостей, достигающее своей наиболее выраженной формы в зависимостях P (Sr II), P (Mn II) для разных температурных диапазонов (рис. 7А). Можно сделать вывод, что в атмосферах SR-звезд помимо некоей основной причины, приводящей к общему (комплексному) увеличению степени пекулярности спектров магнитных звезд (а такой причиной может быть, скорее всего, средняя по поверхности звезды величина поверхностного магнитного поля и масштабы, геометрические и амплитудные, локальных неоднородностей магнитного поля и аномалий химического состава), могут работать и другие факторы, обусловленные температурой атмосферы и атомными свойствами того или иного химического элемента и приводящие к дополнительному (в смысле избирательности, но не в смысле величины) возрастанию степени (индекса) пекулярности этого элемента (см. п. а—в данного раздела).

Наличие второго фактора увеличивает, например, индекс пекулярности для Si II в среднем в 2 раза (рис. 6А, б и в) и для Mn II в среднем в 3 раза (рис. 7А, б и в). Сейчас, однако, представляется затруднительным сделать окончательный вывод о том, что таким фактором может служить просто дополнительное, но реальное увеличение обилия (сверхпекулярность) данного элемента (например, Mn) по сравнению с общим относительным увеличением обилия аномальных элементов в атмосферах магнитных звезд по сравнению с нормальными. Сложности и значительные неопределенности в применении общепринятых методов нахождения достаточно точного химического состава и других параметров SR-звезд отмечены, например, в [30, 31].

Заключение. В результате выполненной работы можно сформулировать следующие выводы и рекомендации для дальнейших исследований SR-звезд с помощью количественных индексов спектральной пекулярности.

1. Использование индексов P позволяет установить достаточно надежные температурные границы распространенности SR-звезд различных типов пекулярности, что имеет немаловажное значение для изучения вопросов происхождения химических аномалий и феномена SR-звезд вообще. Представляет интерес массовое определение индексов P во всем температурном диапазоне распространенности SR-звезд для элементов группы железа (Fe II, Ti II, V II) и редкоземельных элементов, для Ne I по группам линий разных серий, для Ca II и Mg II. Особый интерес представляет при изучении горячих SR-звезд (Br-звезд разных типов) определение и статистическое изучение индексов пекулярности для C II, N II, O II, C III, Si III, Si IV, Ne II, S II, Fe III, P II, Ga II и т. д.

2. Изучение зависимостей между индексами P для различных аномальных элементов позволяет количественно подчеркнуть любопытную особенность, присущую семейству SR-звезд. На общем фоне значительного в среднем увеличения индексов P у SR-звезд по сравнению с нормальными можно выделить отдельные группы SR-звезд, у которых тот или иной химический элемент имеет особенно повышенные величины P (рис. 6 и 7). Конечно, это явление в общем давно и хорошо известно и находит свое отражение в приписывании (каждой) SR-звезде одного или нескольких типов пекулярности по качественной оценке характера спектра (табл. 4, столбец 10).

Однако использование индексов пекулярности позволяет ввести понятие «сверхпекулярности» в отношении того или иного химического элемента и выражать такое избыточное усиление индекса P в количественном виде, например

$SP(E) = P(E) / \sum_1^n P(E)/n$, где $P(E)$ — индексы пекулярности данного элемента. Из рис. 6 и 7 и табл. 4 следует, что это дополнительное увеличение P выражено у разных элементов в разной степени. Наиболее четко такое свойство спектров пекулярных звезд проявляется в случае Мп II (рис. 7А), выделяя тем самым собственно (ртутно)-марганцевые звезды в особую группу СР-звезд. Эту особенность необходимо иметь в виду при наблюдательной проверке любых гипотез происхождения СР-звезд.

3. Определение индексов P для большой выборки СР-звезд позволяет провести более полное сопоставление спектральных (P) и фотометрических ($\Delta\alpha$ по Майцену и (или) Z в Женевской системе) индексов пекулярности с целью установления физической природы и механизмов образования широких абсорбционных полос, например при λ 5200, в спектрах химически пекулярных и магнитных звезд, а также еще раз, на более богатом количественном материале, обратиться к поискам возможной зависимости аномалий химического состава от величины магнитного поля.

Последней задачей будет посвящена наша следующая работа.

Автор глубоко благодарен Л. В. Вяткиной и О. И. Щербаневой за помощь при подготовке статьи к печати.

Литература

1. Леушин В. В. Спектрофотометрическое исследование Ар-звезд. I. Двумерная количественная спектральная классификация. — Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 1971, 43, с. 113—129.
2. Леушин В. В. Количественное исследование пекулярностей в спектрах звезд Ар. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1971, 3, с. 36—61.
3. Клочкова В. Г., Копылов И. М., Кумайгородская Р. Н. Вр-и Ар-звезды в движущемся скоплении Скорпиона—Центавра. — Письма в Астрон. журн., 1981, 7, вып. 6, с. 366—371.
4. Клочкова В. Г. Пекулярные звезды в Плеядах. — Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв., 1983, вып. 37, с. 73—80.
5. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Пекулярные звезды в потоке Большой Медведицы. — Астрон. журн., 1984, 61, вып. 1, с. 136—142.
6. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Вр-и Ар-звезды в ассоциации Персей ОВ II. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1984, 20, с. 3—10.
7. Клочкова В. Г. Пекулярные звезды в скоплениях α Рег, М39, Волосы Вероники. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1984, 20, с. 11—15.
8. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Вр-и Ар-звезды в движущемся скоплении Скорпиона—Центавра. II. — Письма в Астрон. журн., 1984, 10, с. 508—515.
9. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Пекулярные звезды — члены группы Плеяд. — Астрон. журн., 1985, 62, вып. 1, с. 87—93.
10. Клочкова В. Г. Исследование Вр-звезд в ассоциациях Ог1ОВ1. — Письма в Астрон. журн., 1985, 11, с. 502—510.
11. Клочкова В. Г., Копылов И. М. О скоростях вращения химически пекулярных звезд. — Астрон. журн., 1986, 62, с. 947—955.
12. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Химически пекулярные звезды в группировках разного возраста. — Астрон. журн., 1986, 62.
13. Копылов И. М. Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 109 О5—В7 звезд. — Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 1958, 20, с. 123—155.
14. Копылов И. М. Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 62 В8—F2 звезд. — Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 1960, 22, с. 189—206.
15. Копылов И. М. Двумерная количественная спектральная классификация 238 звезд О5—В7 и построение диаграммы спектр—абсолютная величина. — Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 1958, 20, с. 156—207.
16. Копылов И. М. Двумерная количественная спектральная классификация звезд спектральных классов В8—F2. — Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 1960, 23, с. 148—173.
17. Копылов И. М. Диаграмма $(B-V)_0$, $(U-B)_0$ для звезд класса светимости V с солнечным химическим составом. — Астрон. журн., 1985, 62, с. 348—354.
18. Страйжис В. Л. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Моклас, 1977, с. 105.
19. Глаголевский Ю. В., Чунакова Н. М. Эффективные температуры для пекулярных звезд. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1986, 22.
20. Спектроскопическое исследование оптической компоненты Лебеда X-1 / О. Э. Ааб, Л. В. Бычкова, И. М. Копылов и др. — Письма в Астрон. журн., 1981, 7, с. 417—421.
21. Клочкова В. Г., Копылов И. М., Панчук В. Е. К вопросу о применении моделей атмосфер для определения параметров горячих звезд. — Астрон. журн., 1983, 60, с. 1114—1119.

22. B e r t a u d Ch., F l o q u e t M. Nouveau catalogue des étoiles a à spectre particulier (Ap) et à raies métalliques (Am). — *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1974, 16, p. 71—153.
23. В а в с о с к Н. W. A catalog of magnetic stars. — *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1958, 3, N 30, p. 141—210.
24. Б о я р ч у к А. А., К о п ы л о в И. М. Сводный каталог скоростей вращения 2558 звезд. — *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.*, 1964, 31, с. 44—99.
25. W o l f f S. C. The rotational velocities of magnetic Ap-stars. — *Astrophys. J.*, 1981, 244, N 1, p. 221—229.
26. U e s u g i A., F u k u d a J. Revised catalogue of stellar rotational velocities. Department of Astronomy, Kyoto University, Japan, 1982.
27. S e a r l e L., S a r g e n t W. L. Studies of the peculiar A stars. II. The Silicon-abundance anomaly. — *Astrophys. J.*, 1964, 139, p. 793—812.
28. C o n t i P. S. Zeeman measures of four double-lined peculiar A stars. — *Astrophys. J.*, 1970, 160, p. 1077—1082.
29. Г л а г о л ь с к и й Ю. В., К л о ч к о в а В. Г., К о п ы л о в И. М. Об исследовании магнитных полей звезд у пекулярных звезд разного возраста. — *Астрон. журн.*, 1986, 63.
30. К о п ы л о в И. М., К у м а й г о р о д с к а я Р. Н. Спектрофотометрическое исследование магнитно-переменной звезды α^2 CVn по спектрограммам высокого разрешения. III. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1973, 5, с. 37—51.
31. Х о х л о в а В. Л. Особенности аномалий химического состава атмосфер магнитных Ap-звезд. — *Astron. Nachr.*, 1976, 297, с. 217—227.

Поступила в редакцию 14.11.85