

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

ISSN 0321 — 4885

БЮЛЛЕТЕНЬ
ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ
№ 83

ДУШАНБЕ — 1997

АКАДЕМИЯИ ИЛМХОИ ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН

БЮЛЛЕТЕНИ
ИНСТИТУТИ АСТРОФИЗИКА
№ 83

1705040000 —
Б ————— (без объявл.)
М 502-96

© Бюллетень Института астрофизики
Академии наук Респ. Тадж., 1997 г., № 83

НАШРИЕТИ "ДОНИН"
ДУШАНБЕ — 1997

БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.

УДК 523.841

Ю.В.БОРИСОВ, Н.П. РЕДЬКИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛЬМЕРОВСКИХ ДЕКРЕМЕНТОВ
ЗВЕЗДЫ Т ТЕЛЬЦА

Анализируется поведение бальмеровских декрементов от H_4 до H_{13} по наблюдениям Т Тельца, проведенным в 1983 г. ($D = 44 \text{ \AA/mm}$) и в 1986 г. ($D = 29 \text{ \AA/mm}$) на обсерватории Санглок. Отмечается их аномальный характер для номеров линий выше шести.

INVESTIGATION OF T TAURI STAR BALMER DECREMENTS by
Yu.V.Borisov and N.P.Redkina

T Tauri star balmer decrements which have been observed at the Mt. Sanglok observatory during 1983 ($D = 44 \text{ \AA/mm}$) and 1986 ($D = 29 \text{ \AA/mm}$) are analysed. An anomalous character of the balmer decrements for the lines with $n > 6$ is noted.

Введение. Бальмеровские декременты звезд типа Т Тельца отличаются интересными особенностями. Крутой спад декрементов от линии H_α к H_β ($\lg H_\alpha/H_\beta = 0.6 - 1.5$) сменяется пологим ходом декрементов для высоких членов бальмеровской серии. Известно, что пологий ход декремента соответствует большой оптической толице излучающей среды, а крутой подъем от H_β к H_α — оптически тонкому излучающему газу. Это отражает реально существующую неоднородность физических условий в эмиссионных областях звезд типа Т Тельца: наличие плотного газа вблизи поверхности звезды и протяженной оболочки более низкой плотности [1,2].

Несмотря на значительные успехи в области исследования эмиссионных спектров звезд типа Т Тельца, диагностика их хромосфер остается одной из важных проблем. Характер поведения высоких членов бальмеровской серии и физические условия излучающей среды на уровнях формирования этих линий хорошо не изучены. Имеющиеся в литературе данные [3,4] касаются в основном первых трех водородных линий бальмеровской серии. Поэтому изучение декрементов в области высоких членов бальмеровской серии водорода как с точки зрения характера их хода, так и изменений со временем представляется интересной задачей.

Наблюдения. Спектральные наблюдения звезды Т Тельца проведены на 1м телескопе обсерватории Санглок с помощью спектрографа UAGS при подвеске его к выходу 13.5 м фокуса Кассегрена. В первом варианте (1983) использована дифракционная решетка $651''/16.8$ в сочетании с камерой Шмидта ($F = 175 \text{ mm}$, второй порядок, $D = 44 \text{ \AA/mm}$). Этим обеспечен необходимый для выполнения задачи диапазон спектра от бальмеровского предела до линии H_β . Наложение спектра первого порядка устраивалось порядкоразделительным фильтром. Во время наблюдений 1986 г. использована комбинация решетки $651''/23$ (третий порядок, $D = 29.5 \text{ \AA/mm}$) с той же камерой при этом спектр с длинноволнового конца ограничивался $\lambda = 4610 \text{ \AA}$. Спектры калибровались на призменном спектрографе ИСП-73 с девятиступенчатым ослабителем одновременно с основной экспозицией при температуре подкупольного помещения. Протяжка

спектров и запись на диаграмму в почернениях осуществлялась на микроденситометре *MD* - 100. Характеристические кривые (логарифм пропускания - плотность Беккера) аппроксимировались полиномами третьей и пятой степени с помощью программ обработки спектров.

Анализ и интерпретация. На рис.1 приведены бальмеровские декременты для конца октября 1983 г., являющиеся наиболее характерными для этого сезона наблюдений. Они отличаются значительной переменностью во времени. Для высоких членов серии Бальмера ход декрементов пологий, в линии H_δ видна аномалия.

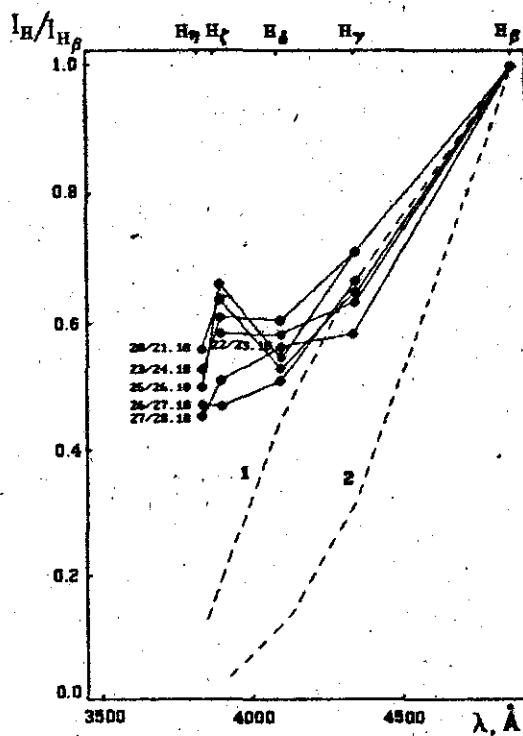


Рис.1. Поведение бальмеровских декрементов звезды Т Тельца по наблюдениям 1983 г. Теоретические декременты (штриховые линии): для зоны 1 - $T_e = 10000$ К, $N_e = 10^{13}$ см $^{-3}$, $\beta_{12} = 10^{-5}$; для зоны 2 - $T_e = 10000$ К, $N_e = 10^{10}$ см $^{-3}$, $\beta_{12} = 2 \cdot 10^{-6}$.

Для определения физических параметров излучающего газа воспользуемся результатами теоретических расчетов интенсивностей водородного спектра Гринина и Катышевой [5]. Предполагается, что излучающий газ однороден по температуре и плотности и его тепловое равновесие поддерживается нерадиативными источниками нагрева (за счет диссипации энергии турбулентных движений, акустических и гидромагнитных волн). В вышенназванной работе приводятся относительные интенсивности первых трех линий бальмеровской серии для следующих значений параметров излучающего газа: $T_e = 10000 - 20000$ К, $N_e = 10^8 - 10^{12}$ см $^{-3}$, коэффициент диллюции $W = 10^{-1} - 10^{-3}$, вероятность выхода кванта в линии L_α $\beta_{12} = 10^{-3} - 10^{-5}$ при фиксированной температуре звезды $T = 5000$ К.

Линия H_α нами не наблюдалась, поэтому отношение I_{H_α}/I_{H_β} было

взято из работы Коуена и Куи [3]. Наличие у последних отношения I_{H_7}/I_{H_3} , позволило сравнить наши данные с результатами Коуена и Куи и убедиться, что они не противоречат друг другу. Отметим, что поскольку бальмеровские декременты изменяются со временем, результаты нашего анализа, включающего линию H_α , следует считать приближенными. Сравнение наблюдаемого хода бальмеровского декремента с результатами Гринина и Катышевой показывают, что водородная эмиссия первых трех линий серии Бальмера образуется в околосозвездной оболочке со значениями параметров: $T_e = 10^4 \text{ K}$, $N_e = 10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-3}$, но ближе к $N_e = 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Эти результаты не согласуются с выводами Брауна и др. [2], которые со звездным ветром связывают менее плотную оболочку. Согласие может быть получено, если предположить, что эмиссия в линии H_α частично образуется в хромосфере.

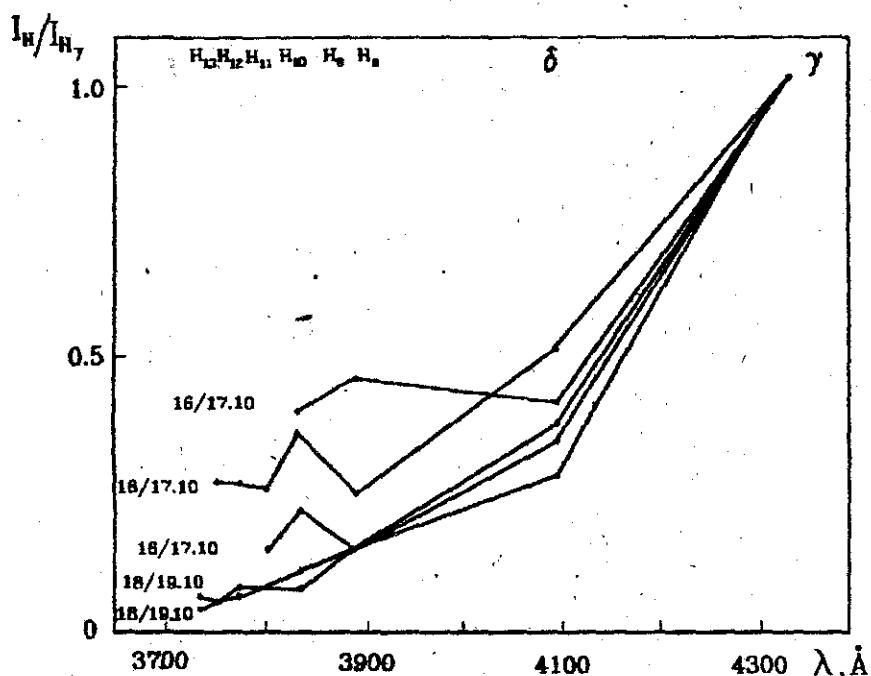


Рис.2. Поведение бальмеровских декрементов звезды Т Тельца по наблюдениям 1986 г.: по 3-м спектрам в течении ночи 16/17.10 и 2-м в течении ночи 18/19.10.

На рис. 1 пунктирными линиями нанесены теоретические декременты, вычисленные Грининым [6] для случая хромосферы (линия 1) с параметрами: $T_e = 10^4 \text{ K}$, $N_e = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и $\beta_{12} = 10^{-5}$ и оболочки (линия 2) с параметрами: $T_e = 10^4 \text{ K}$, $N_e = 10^{10} \text{ см}^{-3}$ и $\beta_{12} = 2 \cdot 10^{-6}$. Из сравнения теоретических и наблюдаемых декрементов видно, что наблюдаемый декремент лежит частично между оболочкой и хромосферой звезды, однако в отдельные даты в сентябре-октябре 1983 г. располагается выше хромосферы. Для линий с $n > 5$ все декременты лежат над зоной 1, т.е. соответствуют более плотной среде. Наблюдаемые бальмеровские декременты еще раз подтверждают наличие неоднородных физических условий в эмиссионных областях звезд типа Т Тельца от нижней хромосферы до оболочки, обусловленной звездным ветром. Хотя одновременных

фотометрических наблюдений не проводилось, однако есть указания на значительное понижение уровня непрерывного спектра звезды в УФ диапазоне в рассматриваемый период наблюдений. Так погрязание звезды Т Тельца в полосе V в сезоны наблюдений 1983-84 гг. (Хербет и др.[7]; Киселев и др.[8]) по сравнению с предыдущими (1981-82 гг.) сопровождалось ослаблением блеска в полосе U . Возможно, что для появления упомянутых выше аномалий (например в линии H_{δ}) важную роль играет темный фон.

На рис. 2 приведены бальмеровские декременты, полученные по наблюдениям 1986 г. (сентябрь-октябрь). Здесь уже отсутствует линия H_{β} , декременты рассчитаны относительно линии H_{γ} . Так же как и в предыдущий период наблюдаются их изменения со временем и аномалии для $n > 6$. Возрастание величины бальмеровских декрементов при $n > 6$, видимо свидетельствует о повышении хромосферной температуры и электронной концентрации. Аномальные бальмеровские декременты могут быть обусловлены наличием крупномасштабного радиационного взаимодействия в спектральных линиях между зонами с высокой и низкой концентрацией электронов (Гринин [6,9]). Такое взаимодействие может осуществляться в атмосферах звезд типа Т Тельца в предположении, что движение газа происходит вдоль магнитных силовых линий с открытой (звездный ветер) и замкнутой (активные области) конфигурацией.

Заключение. Анализ бальмеровских декрементов звезды Т Тельца показывает, что линии бальмеровской серии водорода при $n > 6$ формируются в плотной излучающей среде с $N_e \geq 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Этот вывод следует считать весьма приближенным, т.к. линия H_{α} нами не наблюдалась, кроме того необходимы модельные расчеты для конкретной звезды. Однако факт возникновения линии H_{α} в оптической тонкой оболочке звезды является действительным и подтвержден наблюдениями многих авторов [2-4]. Также не вызывает сомнения существование у звезды Т Тельца плотной хромосферы и оптически тонкой оболочки, т.е. значительных градиентов параметров излучающего газа, что в сочетании с радиационным взаимодействием в спектральных линиях между областями газа с высокой и низкой электронной концентрацией может привести к образования аномальных бальмеровских декрементов. Изучение природы этого явления важно при исследовании кинематики движущегося газа в атмосфере Т Тельца звезд и топологии магнитных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринин В.П. – Астрофизика, 1980, т.16, С.243.
2. Brown A., Ferraz M.C., Jordan C. – Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1984, vol.206, p.739.
3. Cohen M., Kuhi L.V. – Astrophys. J. Suppl. Ser., 1979, vol.41, p.743.
4. Hartmann L. – Astrophys. J. Suppl. Ser., 1982, vol.48, p.109.
5. Гринин В.П., Катышева Н.А. – Изв. Крымской обс., 1980, т.62, С.59.
6. Гринин В.П. – Изв. Крымской обс., 1980, т.62, С.54.
7. Herbst W., Holtzman J., Klasky R. – Astron. J., 1983, vol.88, p.1648.
8. Киселев Н.Н., Редькина Н.П., Тарасов К.В., Чернова Г.П. – Астрон. цирк., 1984, №1353, С.5.
9. Гринин В.П. – Астрофизика, 1978, т.14, С.201.

**БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.**

УДК 523.841

Н.П.РЕДЬКИНА, О.Г.ЗАУСАЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД
ТИПА Т ТЕЛЬЦА**

На основе фотографических и фотодиэлектрических наблюдений за период ~90 лет проведен поиск циклических колебаний блеска звезд типа Т Тельца. Обнаружена цикличность порядка нескольких лет (3 – 10) и несколько десятков лет (45 – 60). Это явление объясняется существованием из поверхности молодых звезд пятнообразовательной деятельности, обусловленной гидромагнитной активностью, происходящей в глобальных масштабах. Полагается, что циклическая активность эволюционирует вместе со звездой с торможением осевого вращения.

AN INVESTIGATION OF THE T TAURI STARS CYCLIC ACTIVITY
by N.P. Redkina, O.G.Zausaeva.

A search for the T Tauri stars cyclic light fluctuations on the basis of the photographic and photoelectric data for the ~90 years period is carried out. The cycles which are 3 – 10 years and 45 – 60 years, are discovered. This phenomenon is explained by hydromagnetic activity on the surface of the young stars which takes place in the global scale. It is expected that the cyclic activity evolves along with the star with braking axial rotation.

1. Введение

Важным шагом в понимании внутреннего строения Солнца, структуры его внешних слоев в рамках теории звездной эволюции является определение места Солнца в семействе эволюционных треков звезд различных масс и химсостава. С другой стороны, изучение природы солнечных явлений, накопление данных об их свойствах позволяет распространить наши знания на другие объекты, для которых непосредственное изучение деталей поверхности невозможно. В то же время ряд наблюдательных фактов подтверждает существование на их поверхности структурных образований солнечного типа, таких как хромосфера, переходная область, корона, пятна и др. На основе опыта исследования солнечной активности созданы теоретические модели для интерпретации звездной переменности. Подобные работы ведут к сближению методов исследования звезд и Солнца, к взаимному обмену информацией между ними. Такая проблема, как природа активности Солнца и звезд (причины появления пятен, солнечные магнитные циклы, глобальные свойства солнечного и звездного ветра и др.) может быть поставлена и в отношении объектов с более активными атмосферами, например, звезд типа Т Тельца. Ряд наблюдаемых явлений на звездах этого типа: пятнообразовательная деятельность, хромосферная активность, вспышки, признаки существования корон, звездного ветра и др., говорят в пользу возможной идентичности ряда физических процессов, происходящих на поверхности старых и молодых звезд. В настоящей работе мы делаем попытку выявить у звезд типа Т Тельца тенденцию к квазициклическому характеру переменности

наблюдаемых характеристик, тем самым приблизить проблему активности молодых звезд к общей проблеме звездной переменности солнечного типа.

2. Солнечная и звездная активность.

Крафт [1] показал, что карлики поздних спектральных классов теряют свой угловой момент за время их жизни на главной последовательности, причем, звезды с сильной эмиссией в линиях $CaII$ H и K врачаются быстрее чем со слабой эмиссией в этих линиях. В дальнейшем Скуманич [2] нашел соотношение скорость-возраст [$v\sin i \propto t^{-1/2}$] для этих звезд, которое интерпретируется в рамках гидромагнитной теории как потеря углового момента вращающейся звездой со временем вследствие взаимодействия вращения, магнитного поля и звездного ветра. Скуманич [2] показал, что эмиссия $CaII$ пропорциональна скорости вращения, и этот факт был подтвержден в ряде других работ [3,4]. Солнце на этих зависимостях занимает положение согласно своему возрасту и скорости осевого вращения. Установленные связи свидетельствуют, что звездная активность затухает по мере торможения осевого вращения за время пре-
бывания звезды на главной последовательности.

Исследуя хромосферную активность карликов поздних спектральных классов Уилсон [5] обратил внимание на тот факт, что наблюдаемые изменения потоков эмиссии в линиях H и K $CaII$ могут иметь периодическую компоненту, как результат вращательной модуляции, если активные области на поверхности звезды располагаются неоднородно по долготе, как это имеется место в случае Солнца. Благодаря этому эффекту были определены периоды осевого вращения у ряда звезд главной последовательности поздних спектральных классов [3].

Известно, что активные области на Солнце располагаются в виде широтных зон пятнообразования, которые мигрируют к экватору с течением времени, что приводит к циклическому изменению хромосферной активности со средним периодом 11 лет. Естественно предположить существование циклов активности у звезд, имеющих на своей поверхности структуры, подобные солнечным. Обнаружено, что большинство звезд главной последовательности поздних спектральных классов имеют цикличность в изменении H и K эмиссии ~7-15 лет [5]. При этом распределение периодов имеет два максимума частот около 10 и 2 лет [3].

Наличие у карликов поздних спектральных классов циклической активности дает основание поставить вопрос о том, существуют ли подобные процессы на молодых звездах. Решение этого вопроса имеет важное значение для понимания природы солнечной активности, ее эволюции со временем, взаимосвязи с процессами торможения осевого вращения и изменения как внутренних, так и внешних слоев атмосферы звезды.

3. Определение индекса активности. Сбор наблюдательного материала.

Наиболее общепринятым объяснением активности звезд типа Т Тельца является их пятнообразовательная деятельность. Если она представляет собой совокупность случайных процессов, то должна дать суммарную кривую блеска (или какого-либо другого наблюдаемого параметра во времени) нерегулярного типа [6]. Если эти процессы носят хотя бы

«**Фонактж ұмбадоғын атпенілдіңдең**» жағынан өткізу үшін 1998-2000-жылдардағы
«**Атоменергик мемлекеттік миссияның**» мәдениет жағынан көмекшілік берілген.

частичный детерминированный характер, то можно ожидать наличия цикличности во временных изменениях наблюдаемых параметров. К настоящему времени имеются сведения о возможной цикличности изменения блеска у нескольких звезд типа Т Тельца. Наличие периодичности порядка нескольких лет (по типу 11-летнего солнечного цикла) обнаружено у *DG Тельца* ~10 лет, [7], у *V536 Орла* ~3 лет, [8], у *RY Тельца* ~6 лет, [9].

В работе [7] отмечено наличие "векового" цикла ~45 лет у *DFTельца*.

Для изучения возможных циклических колебаний наблюдаемых параметров звезд типа Т Тельца были выбраны 5 звезд. В качестве индекса активности принят блеск звезды в синей области спектра, что продиктовано наличием фотографических наблюдений с начала века [10]. Привлечены также фотоэлектрические наблюдения в полосе В [11], при этом использовалось приближенное соотношение $B = m_{pg} + 0.^m 11$. Статистическая обработка результатов наблюдений проводилась двумя методами: рассчитывались среднегодичные и среднесезонные значения блеска по слаженным среднемесячным значениям. Анализ среднегодичных и среднесезонных кривых блеска исследуемых звезд показывает, что несмотря на сождый характер временных изменений блеска, в них прослеживаются некоторые закономерности. Практически у всех исследуемых звезд имеются колебания порядка нескольких лет (от 5 до 12 лет) и нескольких десятков лет (~ 40 - 50).

4. Поиск циклов активности порядка нескольких лет.

Поиски периодичности слаженных среднегодичных и среднесезонных значений блеска исследуемых звезд проведен с помощью двух программ, одна из которых базируется на методе Лиминга [12] (Рахимов, ИА АН РТ), другая разработана Горанским (ГАИШ). Как уже отмечалось в предыдущем параграфе, все исследуемые звезды имеют две формы долгопериодических колебаний блеска: "вековую" и порядка нескольких лет. Для поиска периода колебаний блеска во временном интервале порядка нескольких лет необходимо было устраниТЬ "вековую" составляющую. Удаление тренда проводилось методом наименьших квадратов с аппроксимирующим полиномом 2-го порядка внутри интервалов ~ 10–12 лет.

Процедура поиска периодов с помощью двух независимых программ заключалась в следующем. Сначала были найдены наиболее вероятные периоды по методу Лиминга (1) (как известно, этот метод исключает ложные периоды), затем проводился поиск периодов по программе Горанского (2).

DF Тельца. На рис.1 (а,б) приведены спектр мощности и фазовая кривая звезды *DF Тельца* соответственно, полученные по программе (2). Наиболее вероятными периодами являются 5.24, 6.45 и 7.11 года (на рис.1а обозначены стрелками). По Лимингу наилучшему периоду удовлетворяет 7.11 года, этому же значению периода соответствует наилучшая фазовая зависимость (рис. 1б).

RY Тельца. Спектр мощности и фазовая кривая для этой звезды рассчитанные по программе (2), приведены на рис.2(а,б) соответственно. Наиболее вероятные периоды 4.26 и 5.79 года отмечены стрелками (рис. 2а). Согласно методу Лиминга наилучшим периодом является 5.82 года, ему же соответствует наилучшая фазовая зависимость (рис.2б).

Ранее Зайцева [9], применив совершенно другую методику анализа долгопериодических колебаний блеска звезды *RY Тельца*, обнаружила

период, равный 5.83 года. Полученное согласие может служить доказательством реальности найденного периода.

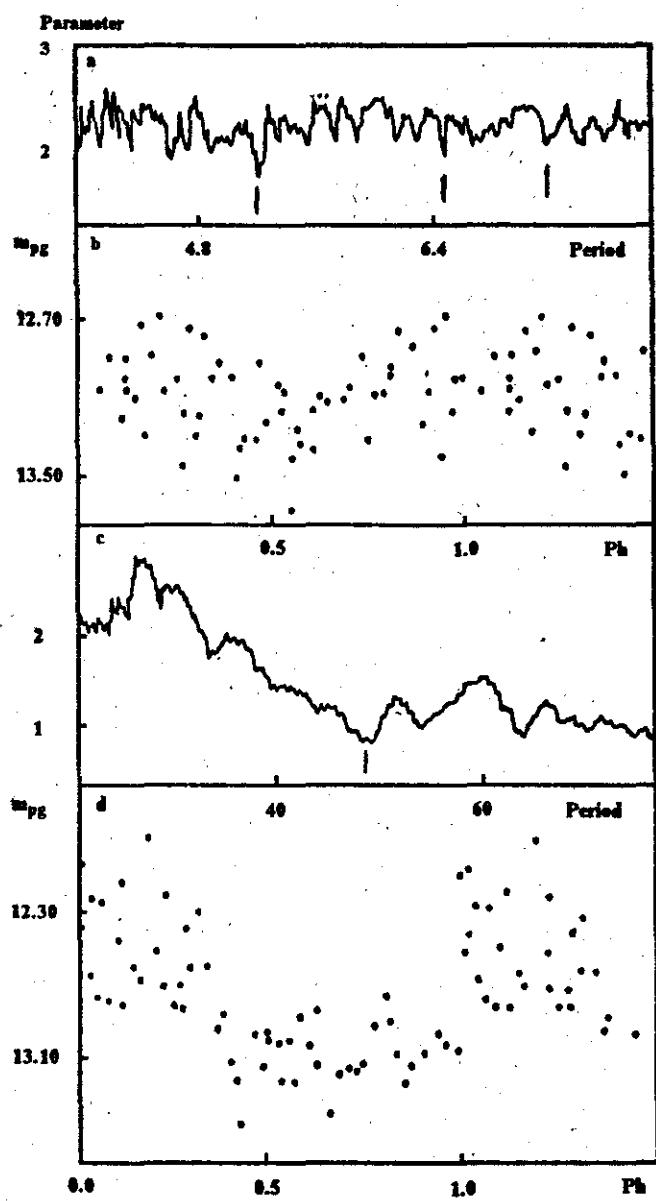


Рис.1. Спектры мощности и фазовые кривые звезды *DG Тельца*: а,б – соответствуют цикличности порядка нескольких лет; с,д – "вековым" циклам.

DG Тельца. Из двух наиболее вероятных периодов, полученных с помощью программы (2): 9.81 года и 8.86 года (на рис.3а отмечены стрелками), мы выбрали значение 9.81 года которое соответствует наилучшему периоду по Димингу. Фазовая кривая, рассчитанная с этим периодом, приведена на рис.3б. Следует отметить, что ранее в работе [7] был обнаружен период ~ 10 лет.

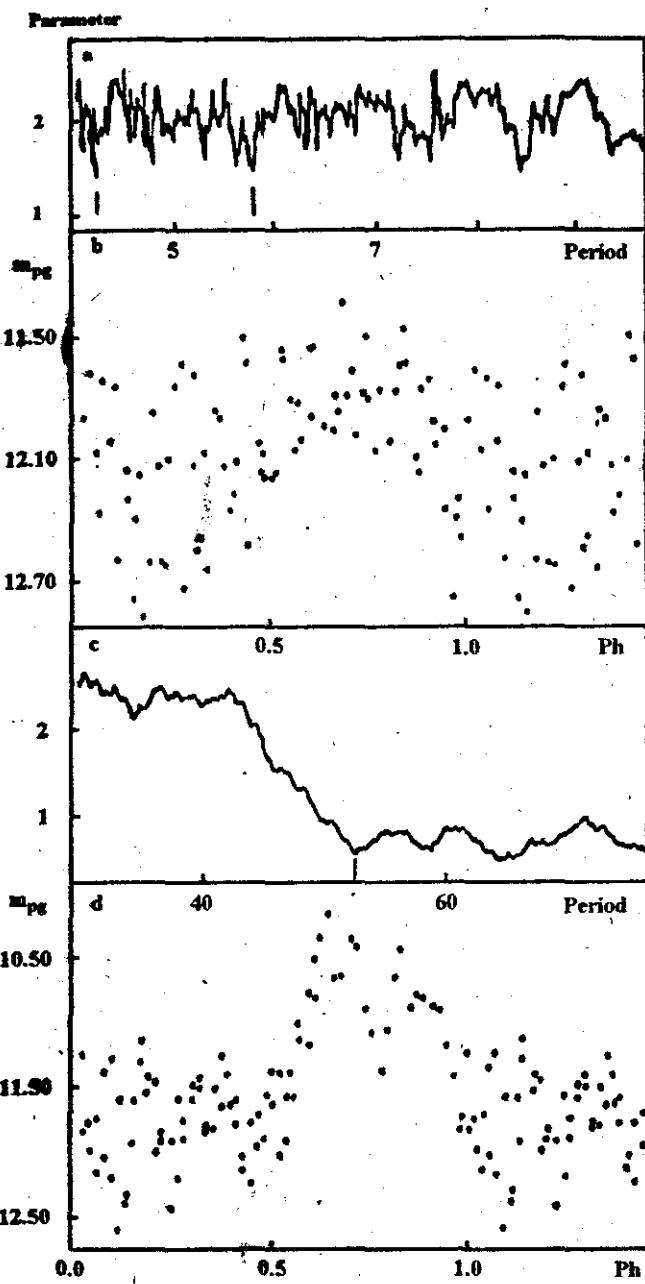


Рис.2. Спектры мощности и фазовые кривые звезды *RY Тельца*: а,б – соответствуют цикличности порядка нескольких лет; с,д – "вековым" циклам.

RW Возничего. С помощью программы (2) получены периоды 6.48, 3.25, 4.35 года (см. рис.4а). Наилучший период по Лимингу 4.45 года, для него на рис.4б приведена фазовая зависимость.

SU Возничего. На рис.5а приведен спектр мощности, на котором наиболее значимые периоды 4.32, 4.62, 6.47 года отмечены стрелками. Поиск периодов по методу Лиминга дает наилучшее значение 6.47 года. Фазовая кривая для этого значения периода приведена на рис.5б.

Parameter

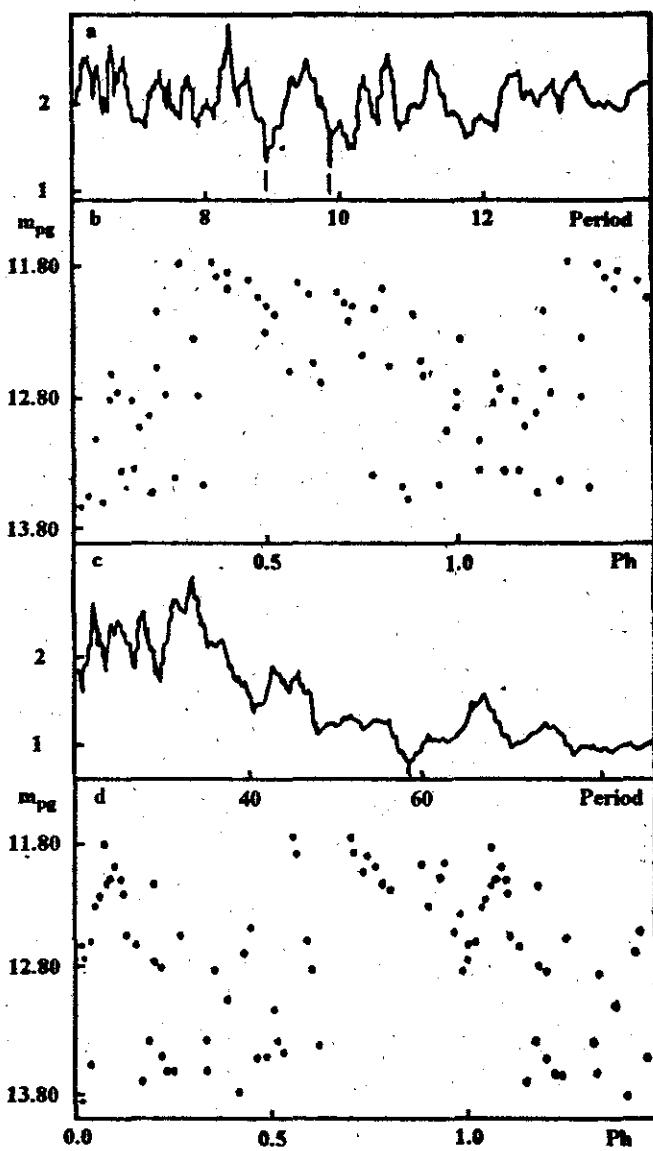


Рис.3. Спектры мощности и фазовые кривые звезды *DG* Тельца: а, б – соответствуют цикличности порядка нескольких лет; с, д – "вековым" циклам.

Анализ полученных результатов дает основание предположить наличие периодичности долговременных изменений блеска исследуемых звезд типа Т Тельца во временном интервале 4 – 10 лет. Как было отмечено, для *RY* Тельца и *DG* Тельца идентичные периоды уже были обнаружены. Причем, авторы работ [7,9] связывают найденную периодичность не с двойственностью звезд, а их активностью. В настоящее время известно, что *RY* Тельца — двойная система. Анализ данных фотометрических наблюдений показывает, что 6-летние циклы происходят без изменения

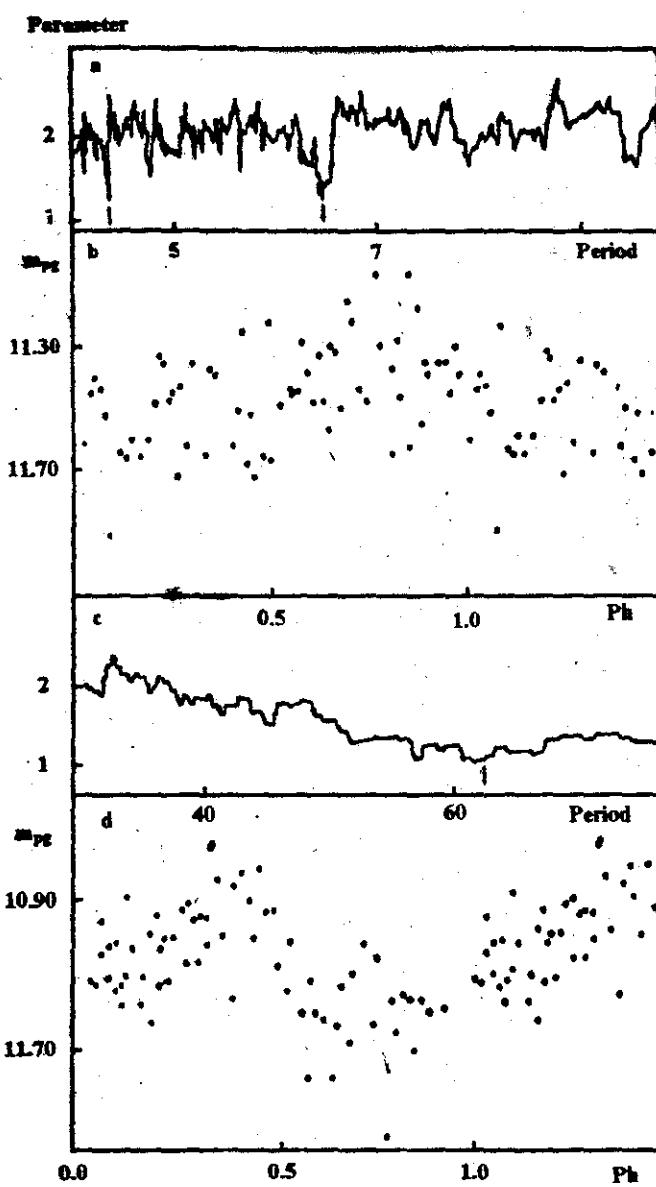


Рис.4. Спектры мощности и фазовые кривые звезды *RW* Возничего: а, б – соответствуют цикличности порядка нескольких лет; с, д – "вековым" циклам.

показателей цвета. Если бы звезда была затменной системой, изменение цвета должно было бы происходить вследствие различия спектральных классов компонентов системы: $K1$ и $M5$ [13]. Далее, продолжительность циклов для всех 5-ти звезд изменяется от цикла к циклу, а сама цикличность практически замыкается при "вековом" возрастании блеска. Отсюда можно сделать предположение о существовании скрытой периодичности. Известно, что распределение наблюдаемых солнечных циклов, которые в среднем близки к 11 годам, сильно отличается от гауссовского и включает в себя такие крайние значения, как 8 и 15.

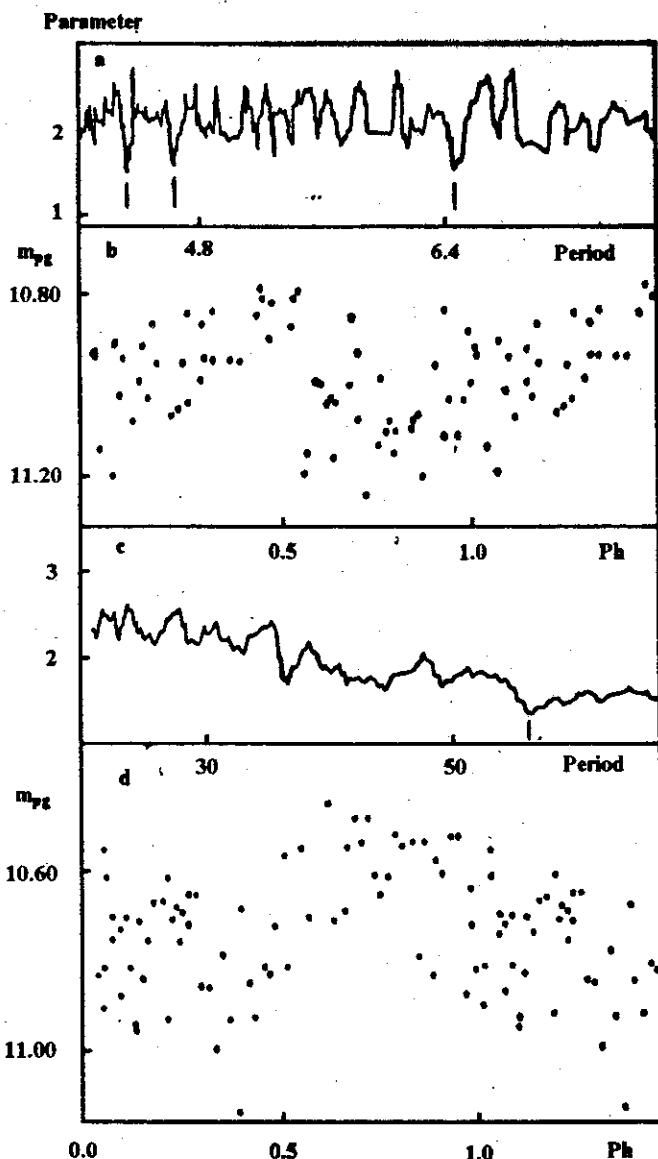


Рис.5. Спектры мощности и фазовые кривые звезды *SU* Возничего: а, б – соответствуют циклическим порядкам нескольких лет; с, д – "вековым" циклам.

К сожалению, окончательного вывода о характере активности звезд типа Т Тельца с помощью выбранного индекса активности (блеска) сделать невозможно из-за отсутствия длинных рядов наблюдений \sim нескольких сотен лет. Если за индекс активности принять хромосферный поток, то данные наблюдений даже ~ 20 лет могут пролить свет на существование циклической активности, подобной солнечной.

5. Определение вековых циклов.

Для поиска "вековых" циклов проделана процедура подобная той, которая была применена в предыдущем разделе. С помощью двух независимых программ получены наиболее вероятные периоды, проведен анализ

спектров мощности и фазовых зависимостей исследуемых звезд. Определены следующие значения наиболее значимых периодов: *RY Тельца* – 53.05 года; *DF Тельца* – 47.71 лет; *DG Тельца* – 59.24 лет; *RW Возничего* – 62.83 года; *SU Возничего* – 56.9 лет. Спектры мощности и фазовые зависимости для указанных периодов приведены на рис.1–5. Следует отметить, что эти периоды имеют невысокую надежность, т.к. получены на временном интервале ~ 1.5 цикла. Ранее Чесевичем [7] с помощью оригинального метода был обнаружен период ~ 45 лет у звезды *DF Тельца*, что согласуется с найденным нами периодом. Чесевич предположил, что этот период определяется активностью самой звезды.

6. Одни из возможных путей эволюции магнитной активности от звезд типа Т Тельца до главной последовательности.

Из результатов исследований видно, что долгопериодические колебания блеска звезд типа Т Тельца не носят случайный характер, т.е. кроме случайной компоненты присутствует также частично детерминированная компонента. Поэтому можно предположить, что звезды типа Т Тельца обладают цикличностью в изменениях наблюдаемых параметров порядка 4–10 лет и 40–60 лет. Известно, что скрытая периодичность (цикличность) представляет собой колебания со случайно меняющимися около своих средних значений периодами, амплитудами и фазами. Именно такой циклической активностью обладают Солнце и большинство звезд главной последовательности поздних спектральных классов. Однако звезды главной последовательности, в том числе и Солнце, являются довольно старыми объектами, возраст которых достигает нескольких миллиардов лет. Изучаемые нами объекты очень молоды, их возраст $\sim 10^6$ лет. Это эмиссионные объекты с сильной поверхностной активностью. Есть основание считать, что на их поверхности действуют пятнообразовательные процессы. Такой характер активности в сочетании с цикличностью позволяет предположить существование на звездах типа Т Тельца циклической активности, подобной солнечной, но происходящей в глобальных масштабах. Качественную картину происходящих эволюционных процессов можно представить в следующем виде.

Пятнообразовательная деятельность. Известно, что на Солнце активные области располагаются узкими зонами по широте в северном и южном полушариях примерно симметрично от экватора. В начале 11-летнего цикла они появляются на широте $\pm 35^\circ$, достигают широты $\pm 15^\circ$ в максимуме и $\pm 7^\circ$ в конце цикла. Имеется ряд косвенных подтверждений существования значительных магнитных потоков на высоких широтах у солнцеподобных звезд. Наблюдения звезд типа *RY Дракона* подтверждают тот факт, что темные пятна на поверхности этих объектов располагаются на более высоких широтах, чем у Солнца и дрейфуют по направлению к полюсу [14]. Аналог этому явлению можно найти и на Солнце. В то время как зона пятнообразования в течение 11-летнего цикла мигрирует к экватору (закон Шперера), в эпохи максимумов сильных циклов наблюдается вторичная зона Бекера, смещающаяся к полюсу [15]. Возможно, что ярко выраженная меридианальная циркуляция зоны пятнообразования к полюсу на более молодых активных карликах в результате эволюции процесса взаимодействия магнитного поля, конвекции и дифференциального вращения появляется на Солнце как вторичная зона Бекера, представляющая собой остаточную форму былой бурной деятельности. Экстраполируя этот процесс далее к звездам типа Т Тельца,

можно предположить, что обе вышеупомянутые зоны пятнообразования интенсивно действуют на экстремально молодых объектах. Кроме того, на звездах типа Т Тельца нерегулярная компонента, определяемая вспышечной активностью, видимо намного превышает детерминированную, что сказывается на поведении наблюдаемых физических параметров.

Магнитная активность. Известно, что определяющую роль в формировании циклических процессов на Солнце играет магнитное поле. Естественно предположить, что и на других звездах, обладающих циклической активностью, столь же важное значение имеют магнитные поля. Магнитные поля солнцеподобных звезд были измерены Марси [16] и Греем [17] по наблюдениям профилей спектральных линий, расширенных зеемановским расщеплением. Значения напряженности магнитных полей лежат в интервале от нескольких сотен до 3000 Гс, относительная площадь поверхности звезды, занимаемая магнитными полями, от 0.2 до 0.9. Средняя величина напряженности магнитного поля коррелирует с потоком эмиссии в линии $CaII H$ и K [15]. То обстоятельство, что магнитные поля на солнцеподобных звездах занимают значительную часть поверхности (тогда как на Солнце ~2%), дает основание предположить, что их морфология существенно отличается от солнечной. Согласно Марси [15], для объяснения вращательной модуляции в широких спектральных полосах и в линии $CaII H$ и K на поверхности активных карликов должны существовать крупномасштабные структуры магнитных полей. С другой стороны эти структуры должны содержать магнитные поля более мелких масштабов, которые, скорее всего, должны быть биполярными, т.к. иначе в линиях с зеемановским расщеплением наблюдалась бы круговая поляризация, а она не обнаружена. При изучении пространственной и временной структуры крупномасштабных магнитных полей на Солнце были найдены комплексы активности, представляющие собой длинные ряды взаимосвязанных активных областей в одном долготном интервале. Комплекс активности является, по-видимому, более высокой единицей организации процесса активности, чем активные области, из которых он состоит. Если крупномасштабные звездные магнитные структуры подобны солнечным активным комплексам, они должны быть более плотно заполнены биполярными единичными структурами (по сравнению с Солнцем) для того, чтобы объяснить большие площади магнитных пятен и большие хромосферные потоки на активных карликах. Экстраполируя этот процесс далее к звездам типа Т Тельца, мы можем предположить наличие еще более глобальных магнитных структур. Напряженность магнитных полей пятен на звездах типа Т Тельца должна быть порядка нескольких килогаусс, иначе более сильные поля были бы уже измерены. Действительно, косвенные оценки магнитных полей дают значения от нескольких сотен до нескольких тысяч гаусс [18]. Следовательно, объяснение лежит в величине площади магнитных пятен. Видимо, крупномасштабные магнитные структуры покрывают практически всю поверхность звезды и еще более плотно заполнены единичными биполярными структурами, чем на активных карликах.

Продолжительность циклов. Результаты наших исследований указывают на возможность существования у звезд типа Т Тельца двух форм активности: порядка нескольких лет (4–10) и нескольких десятков лет (45–60). Наши результаты можно расширить с помощью уже известных результатов из литературных источников. Например, V536 Орла обладает периодичностью ~3 лет, [8], Т Тельца – ~6 лет [19]. Тогда мож-

но считать, что у ряда звезд типа Т Тельца обнаружены квазипериоды порядка 3–10 лет. Как уже упоминалось, поздние карлики имеют цикличность ~7–15 лет, при этом распределение циклов имеет максимум на периодах 10–12 лет. Оказалось, что циклическая активность ~10–12 лет обнаружена среди звезд с периодом вращения более 20 дней, т.е. среди медленно вращающихся звезд главной последовательности [3]. Наличие "вековой" компоненты достаточно хорошо известно только для Солнца (~80–90 лет), т.к. возможность измерения хромосферных потоков от поздних карликов появилась сравнительно недавно. Интересно, что солнечные циклы пятнообразования различаются по своей физической сути: 11-летний цикл отражает частоту возникновения новых групп пятен, а вековой цикл — изменение мощности группы пятен. Гипотеза о существовании циклической активности на молодых звездах сталкивается с возникновением ряда проблем, связанных с разработкой теоретических моделей, учитывающих, что звезды типа Т Тельца малых масс практически полностью конвективны, имеют дифференциальное вращение, в то же время вращаются гораздо быстрее, чем поздние карлики. Трудность заключается в том, что даже для Солнца достоверная теоретическая модель циклической активности не построена.

Если скрытая периодичность зарождается на стадии звезд типа Т Тельца, то необходимо объяснить, почему продолжительность циклов у молодых звезд меньше, чем у старых. Исследования показали, что хромосферная активность звезд в ходе эволюции к главной последовательности затухает с торможением осевого вращения [20]. Что же происходит с циклической активностью? Этот вопрос остается открытым даже для Солнца. Анализ исторических и современных свидетельств солнечной активности указывает на то, что за последние 2000 лет ее уровень претерпел три или четыре сильных отклонения от нормального состояния, каждое длительностью около столетия, как, например, известный минимум Маундера. Исследования показали, что в течение маундеровского периода нормальный солнечный цикл был практически полностью подавлен [14]. Это свидетельствует о том, что природа солнечной активности изменяется и в настоящее время.

Эволюционируя к главной последовательности, звезды типа Т Тельца претерпевают глобальные изменения, связанные с перестройкой структуры внутренних слоев, уменьшением радиуса, глубины и размеров конвективной зоны, торможением осевого вращения и т.д. Циклическая активность также испытывает глобальные изменения вплоть до ее исчезновения в определенные периоды. При этом предполагается, что случайная компонента играет главенствующую роль по сравнению с детерминированной. Поэтому не все звезды этого типа могут показывать циклическую активность в рассматриваемый наблюдаемый период (~90 лет). Одним из важных параметров, с которым может коррелировать продолжительность среднего периода циклической активности, является период осевого вращения. Исследуя звезды разных возрастов, обладающих циклической активностью, можно проверить гипотезу о том, что в среднем циклическая активность эволюционирует вместе со звездой, т.е. с торможением осевого вращения, при этом средний период цикличности увеличивается, главенствующая роль случайной компоненты постепенно ослабевает. Уменьшается и мощность физических процессов, а следовательно и амплитуда колебаний физических параметров.

7. Заключение.

Из высказывания можно сделать следующие выводы:

1. Исследуемые звезды испытывают циклические колебания блеска со средними периодами: RY Тельца – 5.79 лет; DFTельца – 7.11 лет; DGТельца – 9.81 лет; RW Ворничего – 4.45 года; SU Ворничего – 6.47 лет.
2. Наблюдается наличие "вековой" составляющей активности со средними периодами: RY Тельца – 53.05 года; DFTельца – 47.71 лет; DGТельца – 59.24 лет; RW Ворничего – 62.83 года; SU Ворничего – 56.9 лет.
3. Делаются следующие предположения:
 - а) пятнообразовательная деятельность происходит в глобальных масштабах; возможно действуют две или более зон пятнообразования.
 - б) топология магнитных полей отличается от солнечной, т.е. крупномасштабные магнитные структуры, покрывающие практически всю поверхность звезды, должны быть плотно заполнены биполярными единичными структурами.
 - в) продолжительность циклов у молодых звезд меньше, а амплитуда циклов намного больше, чем у поздних карликов (например, хромосферные потоки на один, два порядка).
 - г) циклическая активность (средний период и амплитуда цикла) изменяется в ходе эволюции звезды к главной последовательности вследствие перестройки ее внутренних и внешних слоев и торможения осевого вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kraft R.P. — *Astrophys. J.*, Vol.150, N2, 1967, p.551.
2. Skumanich A. — *Astrophys. J.*, Vol.171, N2, 1972, p.565.
3. Vaughan A.H., Baliunas S.L., Middelkoop F. et al. — *Astrophys. J.*, Vol.250, N1, 1981, p.276.
4. Catalano S., Marilli E. — *Astron. and Astrophys.*, Vol.121, N2, 1983, p.190.
5. Wilson O.C. — *Astrophys. J.*, Vol.226, N2, 1978, p.379.
6. Gershberg R.E. — *Astron.Nachr.*, Vol.303, 1982, p.251.
7. Цесевич В.П., Драгомирецкая Б.А. — Проблемы космической физики, Выпуск 2, 1967, с.110.
8. Цесевич В.П. Исследование переменных звезд в созвездиях Орла, Лебедя, Лиры и Лисички. — Киев: Наукова думка, 1976, с.207.
9. Зайцева Г.В. Курочкин Н.Е. — АЦ, №1126, 1980, с.3.
10. Цесевич В.П., Драгомирецкая Б.А. Звезды типа RW Ворничего. — Киев: Наукова думка, 1973, с.435.
11. Rydgren A.E., Schmelz J.T., Zak D.S. et al. — Publications of U.S. Naval Observatory, Vol.25, part 1, 1984, p.7.
12. Diming T.J. — *Astrophys. Space Sci.*, Vol.36, N1, 1975, p.137.
13. Hege E.K. et al. — *Bull. Lowell obs.*, Vol.9, 1983, p.185.
14. Vogt S.S. — *Astrophys. J.*, Vol.240, N2, 1980, p.567.
15. Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. — М.: Наука, 1986, с.296.
16. Marcy G.W. — *Astrophys. J.*, Vol.276, N1, 1984, p.286.
17. Grey D.F. — *Astrophys. J.*, Vol.277, N2, 1984, p.640.
18. Гнедин Ю.Н., Редькина Н.П., Тарасов К.В. — Астрон. журн., Т.65, 1988, с.366.
19. Зайцева Г.В. — Астрофизика, Т.31, №3, 1989, с.489.
20. Редькина Н.П. — АЦ, №1527, 1988, с.17.

УДК 523.841

Ю.В.БОРИСОВ, Н.Х.МИНИКУЛОВ

**ЦИКЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН
Н И К СаII В СПЕКТРЕ ЗВЕЗДЫ Т ТЕЛЬЦА**

Проведен поиск циклической составляющей в изменениях эквивалентных ширин и полуширины эмиссионных линий H и K CaII в спектре Т Тельца. По эквивалентным ширинам этих линий обнаружены циклические изменения со средним периодом 6.67^д. Предполагается, что такие изменения эквивалентных ширин являются результатом осевого вращения звезды, имеющей пятнистую структуру поверхности.

**THE CYCLIC CHANGES OF EQUIVALENT WIDES OF H AND K
CaII LINES IN THE T TAURI SPECTRA, by Yu.V.Borisov and N.Kh.Minkulov**

The cyclic variation of equivalent wides and halfwides of CaII H and K emission lines in the T Tauri spectra are searched. The changes of equivalent wides with an average period 6.67 day is discovered. It is assumed that the changes of equivalent wides are result of an axial rotation of star with the spotted surface.

Патрульные спектральные наблюдения Т Тельца в линиях H и K CaII проведены фотографически со спектрографом *UAGS* на 1-м телескопе в течение 16 ночей октября-ноября 1986г. с целью поиска изменений в спектре звезды (появление непрерывной эмиссии ультрафиолете, вспышек и ослаблений интенсивностей отдельных линий). Эмиссионные профили, лежащие в ядрах широких абсорбционных линий поглощения, представляют собой сложные комбинированные профили, искажающие друг друга. Поэтому для вычисления эквивалентных ширин эмиссионных профилей необходимо было учесть вклад замытой абсорбции. Абсорбционные профили H и K CaII моделировались профилями этих линий нормальных карликов главной последовательности спектральных классов $G2 - K2$, соответствующих спектральному классу Т Тельца. В качестве основания эмиссионных линий H и K CaII принимались уровни центральной остаточной интенсивности, составляющие 0.11 и 0.13 от уровня непрерывного спектра, соответственно. Значения вычисленных параметров линий приведены в таблице.

Таблица

**Полуширины и эквивалентные ширины
линий H и K CaII**

JD (2446000+)	H CaII		K CaII	
	$\Delta\lambda$	$W_\lambda, \text{ Å}$	$\Delta\lambda$	$W_\lambda, \text{ Å}$
720.312	3.28	7.99	2.46	6.83
720.399	3.05	8.15	1.93	5.55
720.485	2.93	7.67	2.46	7.19
721.300	2.93	8.52	2.70	7.50
722.310	4.16	16.44	3.34	17.19
722.438	4.51	29.88	3.52	27.40
723.335	4.16	27.03	3.16	22.70

1	2	3	4	5
723.468	3.52	17.23	2.93	16.80
724.319	2.99	17.19	2.99	20.54
724.449	3.40	19.94	2.70	15.90
725.354	3.63	22.34	2.46	17.45
725.475	3.28	16.32	2.81	9.63
726.335	3.46	15.48	2.64	11.36
726.462	3.22	18.58	2.75	15.42
727.326	2.87	6.33	2.46	6.88
728.310	2.99	25.63	2.75	14.25
728.441	3.16	14.47	2.81	12.17
729.285	3.05	13.74	2.64	17.70
729.397	3.22	17.35	2.64	15.44
730.252	3.46	15.40	2.64	12.48
730.439	3.52	16.59	3.52	20.42
731.297	3.11	12.93	2.70	12.69
731.447	3.46	17.76	2.52	14.61
732.281	3.34	15.16	3.05	16.18
732.428	3.63	20.59	2.93	17.37
733.288	3.75	13.71	3.28	12.21
733.427	3.87	17.12	3.05	14.44
734.310	3.40	13.64	2.87	16.05
734.462	3.52	18.70	2.81	16.64
735.371	3.52	12.47	2.87	11.48
736.291	3.63	22.63	3.11	23.99
736.443	4.04	27.35	3.40	26.32
737.274	3.34	14.86	2.87	15.72
737.420	3.81	24.71	3.28	22.88
738.285	3.98	20.80	2.99	28.28
738.436	3.75	31.92	3.28	21.86

Известно, что для самой Т Тельца по фотометрическим наблюдениям установлен квазипериод 2.8 дня [1], связанный с осевым вращением звезды, имеющей пятнистую поверхность. Однако, в работе [1] указывалось, что период 5.6^d также является одним из вероятных периодов. Поэтому поиск циклических составляющих в изменениях эквивалентных ширин (W_{λ}) и полуширины ($\Delta\lambda$) эмиссионных линий H и $K CaII$ проводился в интервале от 1 до 10 дней по программе, разработанной В.Горянским (ГАИШ, г.Москва). Наиболее чувствительными к вращению системы "звезды+газовая оболочка" оказались эквивалентные ширины линий H и $K CaII$. Спектры мощности, рассчитанные для этих линий, показали, что наиболее значимыми квазипериодами являются 6.57^d для линии $H CaII$ и 6.77^d для $K CaII$. Фазовые кривые, построенные с использованием этих периодов представлены на рис.1 и 2. Из рисунков видно, что изменения эквивалентных ширин эмиссионных линий H и $K CaII$ происходят синхронно со средним квазипериодом 6.67^d. Этот результат согласуется с периодом осевого вращения звезды в 5.6 дня.

Присутствие эмиссионных линий H и $K CaII$ в спектре свидетельствует о существовании хромосферы у Т Тельца [2]. С другой стороны эти линии могут также образоваться в протяженной газовой оболочке звезды. Появление активных областей на поверхности переменной сильно влияет на состояние хромосферы и оболочки. Это приведет к вариации

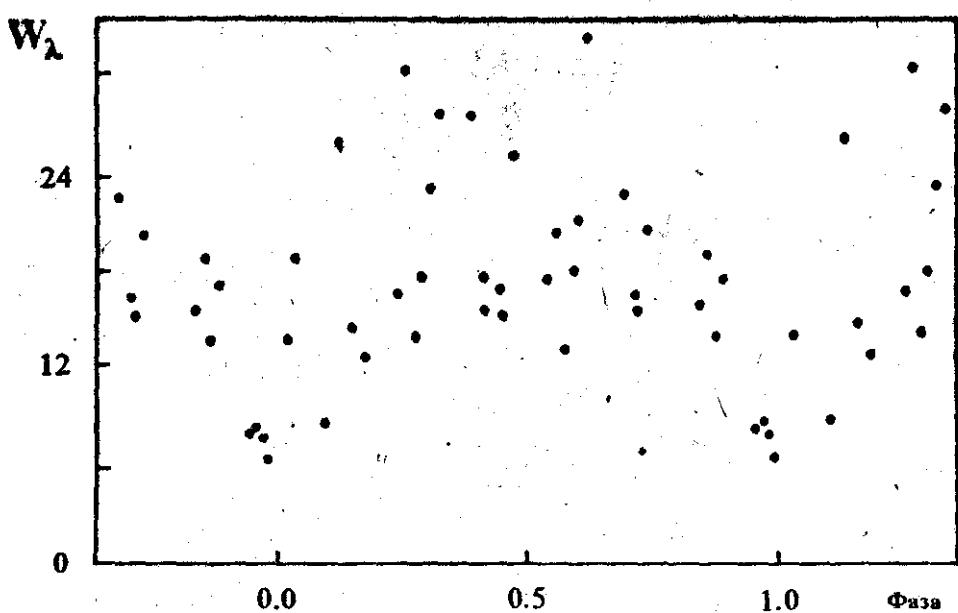


Рис.1. Изменения эквивалентной ширины эмиссионной линии $H\text{ CaII}$ с периодом 6.57 дня.

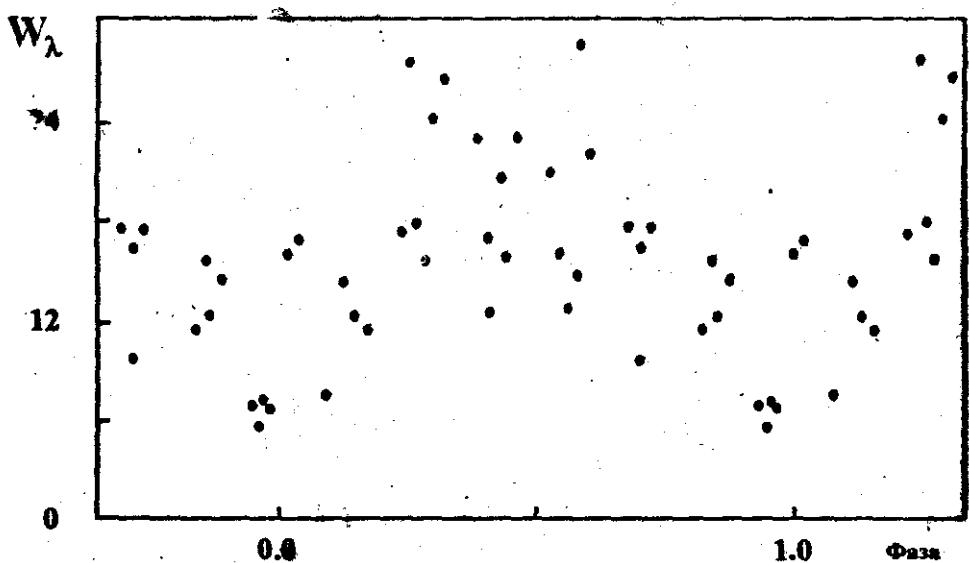


Рис.2. Изменения эквивалентной ширины эмиссионной линии $K\text{ CaII}$ с периодом 6.77 дня.

ям потока излучения в линиях H и $K\text{ CaII}$. В системе "звезды+оболочка", имеющей большую протяженность, должна существовать дисперсия скоростей. В результате чего возникает разница во времени происходящих процессов на поверхности звезды и их последствий в хромосфере и

в оболочке. Оценим расстояние, на котором происходят максимальные изменения интенсивности в спектральных линиях H и $K\text{CaII}$. По минимальной полуширине линии $K\text{CaII}$ находим скорость вращения, которая составляет порядка 200 км/сек. Это согласуется с данными полученными Кухи [3] для линии $K\text{CaII}$ в спектре Т. Тельца. Зная скорость и средний период вращения находим расстояние в единицах радиуса Т. Тельца [1,4]: $R \approx 3.6 \cdot R_{\odot}$.

Таким образом, вычисления показывают, что максимальные изменения интенсивности линий H и $K\text{CaII}$ происходят вблизи поверхности Т. Тельца. Отсюда приходим к выводу, что квазипериодические изменения эквивалентных ширин эмиссионных линий H и $K\text{CaII}$ являются результатом вращательной модуляции звезды с активными областями на поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Herbst W., Booth J.F., Chugainov P.F. et al. *Astrophys.J.*, 1986, V.310, N2, part 2, p.L67-L75.
2. Поток энергии Солнца и его изменения. Под ред. О.Уайта, Изд. "Мир", М., 1980, с.528.
3. Kuh L.V. *Publ.Astron Soc.Pacific*, 1965, V.77, N457, p.253-256.
4. Cohen M. and Kuh L.V. *Astrophys.J.Supppl.Ser.*, 1979, V.41, p.743-843.

**БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.**

УДК 523.84

М.Р.АХМЕТЗЯНОВ, Н.Х.МИНИКУЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ БЛЕСКА MZ ЛЕБЕДЯ

По 509 пластинкам фототеки Института астрофизики АН РТ полученным в период с 1971 по 1984 гг. сделаны оценки блеска переменной *MZ* Лебедя, по результатам которых проведен поиск периода. Показано, что у *MZ* Лебедя изменяется форма кривой блеска и амплитуда. Отмечается увеличение периода изменения блеска со временем. Эти факты позволяют отнести *MZ* Лебедя к звездам типа *RV* Тельца.

THE INVESTIGATION OF THE LIGHT CURVE OF MZ CYG,
by M.R.Akhmetzyanov and N.Kh.Minikulov.

On 509 photoplates valuations magnitude of the variable star *MZ* Cyg are made, on which results period is determined. It is clear that the form of the light curve and amplitude of *MZ* Cyg are changing. The increase of period is also marked. It makes possible to relate *MZ* Cyg to the *RV* Tau - type stars.

Переменная звезда *MZ* Лебедя была открыта К.Хофмейстером в 1931 году [1]. По данным ОКПЗ [2] эта звезда отнесена к цефеидам сферической составляющей (*CWA*). Интервал изменения блеска по фотографическим наблюдениям, согласно [3], лежит в пределах от 11.5 до 13.0 звездной величины. Тамже даны значения двух периодов: 1) $Max = 2427639.1 + 21.0655E$ (-670 < E < -50); 2) $Max = 2427642.12 + 21.178E$ (-50 < E < +75), а так же отмечено возможное изменение периода *MZ* Лебедя. Более поздние исследования Григорьевского [4] по уточнению периода этой звезды дали новые значения: $Max = 2427619.884 + 21.25877E$. Кроме того, он отметил возможность очень частых и значительных скачкообразных изменений периода. Фотоволтетрические наблюдения [5] подтверждают изменение формы кривой блеска. Анализируя кривую блеска переменной, Ерлексова [6] отметила, что возможно *MZ* Лебедя относится к типу звезд *RV* Тельца, и в таком случае период следует удвоить.

Для проверки этого высказывания и дальнейших исследований *MZ* Лебедя нами были произведены оценки блеска переменной по 509 пластинкам из коллекции фототеки Института астрофизики, полученным в период с 1971 по 1984 годы в Гиссарской астрономической обсерватории с помощью 40-см астрографа. На рис.1 дана карта отождествления *MZ* Лебедя со звездами сравнения, значения фотографических звездных величин которых приведены в таблице. Звезды сравнения были измерены в полосах *B* и *V* с помощью электрофотометров 1-м телескопа обсерватории Санглок в течении 3-х ночей и в течении 2-х ночей на 70-см телескопе АЗТ-8 Гиссарской обсерватории. Они показали постоянство блеска в пределах $m < 0.1$. Ошибки измерения блеска *MZ* Лебедя в фотографических лучах составляет не хуже $0.2'' - 0.3''$ звездной величины. Результаты оценок блеска переменной приведены на рис.2, откуда заметно, что общая амплитуда изменения блеска является непостоянной.

Таблица

Фотографические звездные величины
звезд сравнения

Звезда	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
m_{pg}	11.2	12.2	12.4	12.8	13.0	14.7

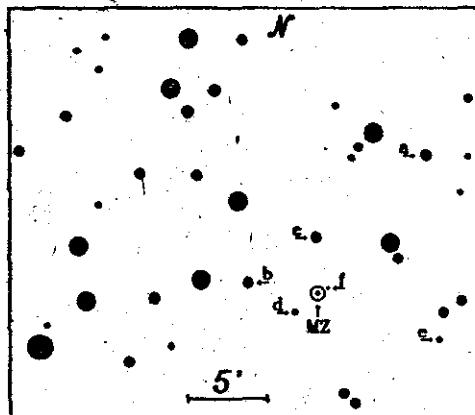


Рис.1. Карта отождествления *MZ* Лебедя со звездами сравнения.

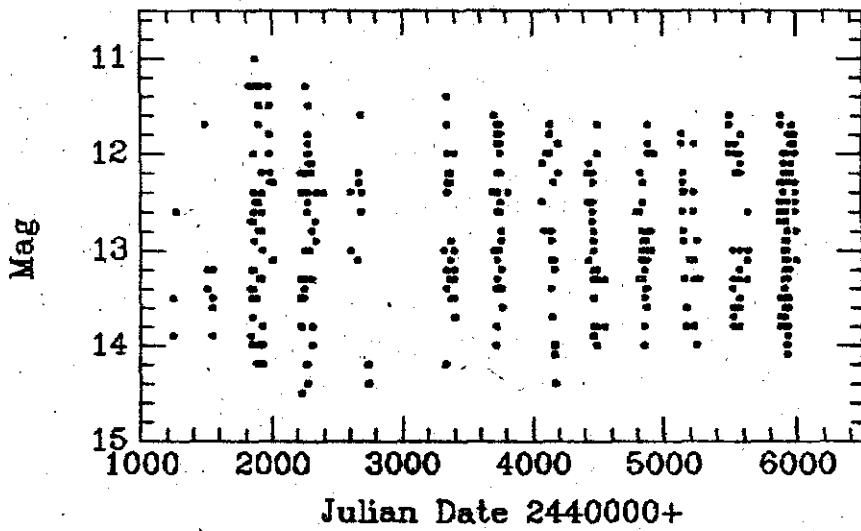


Рис.2. Кривая блеска *MZ* Лебедя в период с 1971 по 1984 гг.

Для уточнения значения периода изменения блеска переменной использована программа, основанная на методе Диминга, и специальная программа, разработанная и любезно предоставленная Ю.Колпаковым (ГАИШ, г.Москва). Результаты поиска периода (рис.3) показали, что существует максимальный пик, указывающий на изменение блеска звезды с периодом 21.342 дня. На рис.4 представлена кривая блеска *MZ* Лебедя, свернутая с со следующими элементами

$$Max = JD 2447246.125 + 21.342 E,$$

где интервал изменения блеска в фотографических лучах составил от 11 до 14 звездных величин.

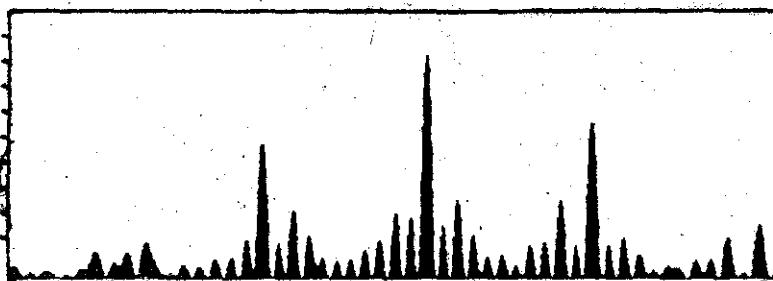


Рис.3. Спектр мощности MZ Лебедя в интервале от 17 до 25 дней.

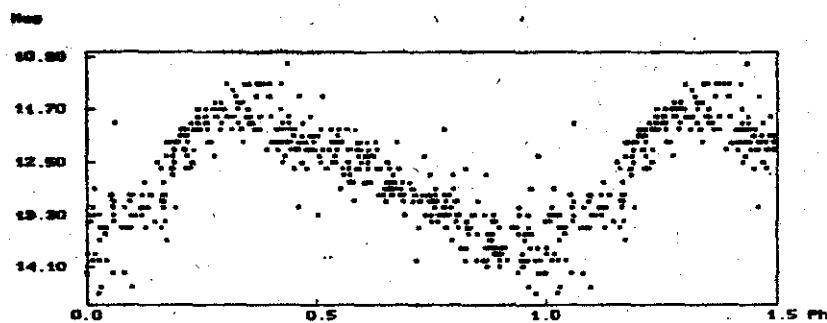


Рис.4. Фазовая кривая блеска MZ Лебедя, свернутая с периодом 21.342 дня.

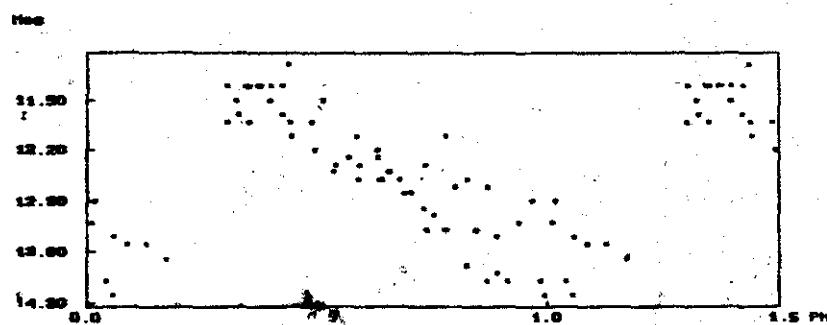


Рис.5. Фазовая кривая блеска MZ Лебедя, полученная для 1973 года.

Описывая особенности звезд типа RV Тельца, Несевич [7] приводит 4 типа нарушения ритмов колебаний блеска, которыми они отличаются. Проверим наблюдаемы ли эти нарушения для MZ Лебедя.

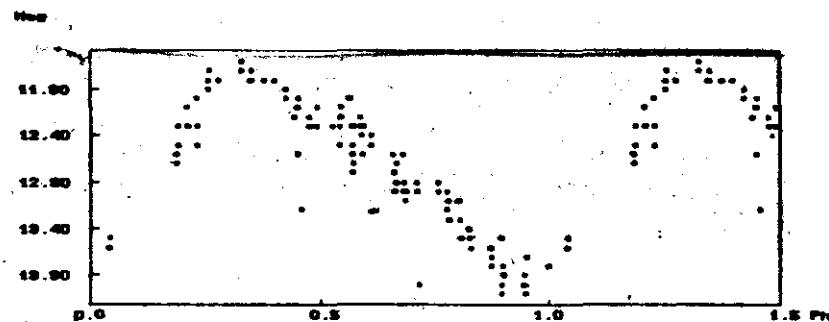


Рис.6. Фазовая кривая блеска MZ Лебедя, полученная в 1983–1984 гг.

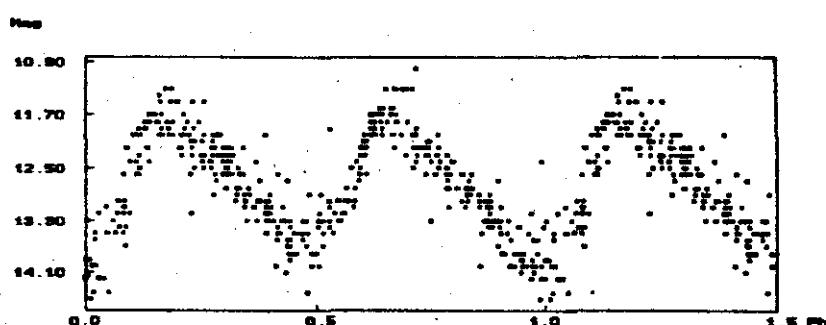


Рис.7. Фазовая кривая блеска MZ Лебедя, с удвоенным периодом (42.684 дня).

Первое нарушение состоит в изменении формы кривой блеска. Выше было отмечено такое нарушение в [5]. Наши данные также подтвердили этот факт и в качестве примера на рис.5 и 6 приведены кривые блеска, полученные для разных сезонов наблюдений. Сравнивая эти два рисунка, можно легко заметить различие в наклонах кривых, а также различие в темпе изменения блеска.

Второе нарушение определяется сменой периодических колебаний блеска хаотическими с последующим восстановлением периодических колебаний блеска. Такого нарушения в характере изменения блеска переменной нам не удалось заметить.

Как было отмечено выше, кривая блеска, приведенная на рис.2, демонстрирует непостоянство изменения общей амплитуды. Это является третьим нарушением.

Четвертое нарушение состоит в изменении периода звезды. Приведенные в [3,4] значения периода относятся к интервалу времени с конца прошлого века до 1963 г. Можно отметить, что величины периодов отличаются, причем более поздние определения указывают на его увеличения. Значения периодов, приведенный в ОКПЗ (21.314 дня) [2] и полученный нами (21.342 дня), являются более поздними по времени. Откуда можно заметить, что период изменения блеска MZ Лебедя не только изменяется но и постепенно увеличивается.

Таким образом, анализ наблюдательных данных показывает, что переменную MZ Лебедя можно отнести к звездам типа RV Тельца. В этом случае звезда должна обладать двойным периодом. На рис.7 приведена кривая блеска MZ Лебедя с удвоенным периодом, где хорошо заметны различия в глубинах ослабления блеска на фазах 0.5 и 1.0, что также является доказательством в пользу включения этой переменной к звездам типа RV Тельца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoffmeister C. Astron. Nachr., 1931, Bd.242, s.129.
2. Общий Каталог Переменных Звезд, М.: Изд. Наука, 1985.
3. Менкова Т.С. Перем. звезды, 1940, Т.9-10, с.271.
4. Григорьевский В.М. Перем. звезды, 1964, Т.15, с.321.
5. Weaver H., Steinmetz D. Lowell Bull., 1960, V.5, N5, (Berkeley reprint 1960, N110).
6. Erleksova G.E. IBVS, 1979, N1663.
7. Нескучный В.П. Звезды типа RV Тельца. В кн.: "Пульсирующие звезды", М.: Изд. Наука, 1979, с.140.

БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.

УДК 523.841

Ю.В.БОРИСОВ, Б.Н.ПИЛОСОВА

ДВУМЕРНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ
КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД F0 – K7 ПО СПЕКТРАМ С
УМЕРЕННОЙ ДИСПЕРСИЕЙ. I. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
И ГЛУБИНЫ ИЗБРАННЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ В
ДИАПАЗОНЕ $\lambda\lambda$ 3933–4508 Å.

Представлен каталог эквивалентных ширин W_λ и глубин R_λ 35 линий поглощения, включая линии H_γ , H_δ , $K CaII$, умеренные и слабые линии металлов для 107 звезд карликов, гигантов и сверхгигантов классов F0 – K7. Спектрограммы получены на спектрографе UAGS 1-метрового телескопа обсерватории Санглок с дисперсией 29.5 Å/мм. Каталог позволяет строить температурные и светимостные критерии спектральной классификации, основанные на W_λ и на R_λ .

A TWO-DIMENTIONAL QUANTITATIVE SPECTRAL CLASSIFICATION OF F0-K7 STARS WITH MODERATE DISPERSION SPECTRA. I. THE EQUIVALENT WIDTHS AND DEPTHS OF THE SELECTED ABSORPTION LINES IN THE INTERVAL OF $\lambda\lambda$ 3933–4508 Å, by Yu.V.Borisov and B.N.Pilosova

For 107 F0–K7 dwarfs, giants and supergiants the catalogue of the equivalent widths and depths of 35 absorption lines including H_γ , H_δ , $K CaII$, the moderate and weak lines of the metals are presented. The spectrograms with the dispersion of 29.5 Å/mm were taken with the UAGS spectrograph of the Sanglock observatory 1-meter telescope. The catalogue makes possible to construct the temperature and luminosity criteria of spectral classification based on W_λ and R_λ .

1. Введение.

Методы спектральной классификации звезд применяются для исследования ряда важных проблем астрофизики и звездной астрономии. Особый интерес представляет двумерная количественная классификация, основанная на изучении изменения интенсивностей линий поглощения различных элементов со спектральным классом и с абсолютной величиной звезд. Сопоставление результатов такого изучения с теоретическими расчетами интенсивностей линий в зависимости от эффективной температуры и ускорения силы тяжести позволяет определить физические параметры звезды и, с другой стороны, проверить правильность предпосылок, лежащих в основе теории моделирования звездных атмосфер. Точная спектральная классификация важна также для изучения многих проблем происхождения и эволюции звезд.

В классических работах Мустеля и др. [1], Копылова [2–4] по спектрограммам с дисперсией 75 Å/мм создана достаточно однородная система двумерной количественной классификации звезд классов O5 – F2 и одномерная количественная классификация звезд F0 – K5. С целью изучения крупномасштабной структуры Галактики в работах Шиукашвили

[5], Бартая [6] и др. проведена массовая двумерная количественная классификация звезд по бесцелевым спектрам с дисперсией 166 Å/мм. В ряде работ, например [7] введен для классификации параметр металличности. Отметим также ранние работы Вильямса [8], выполненные с таким же, как у нас разрешением, но для B звезд. Подробная библиография работ по количественной спектральной классификации содержится в [9].

Количественный спектральный класс (SP) определяется с помощью набора критериев, представляющих собой комбинации эквивалентных ширин W_λ или глубин R_λ специально подобранных спектральных линий. Мы посчитали оправданным использование как интенсивных линий, рассматривавшихся ранее в работах по спектральной классификации, так и, с учетом нашего разрешения, более слабых изолированных линий. Следует принять во внимание, что в спектрах многих переменных звезд, применение к которым мы планируем осуществить в дальнейших работах, интенсивные линии-классификаторы искажены эмиссионными компонентами и не пригодны для классификации. Поэтому же причине мы полагали уместным провести классификацию не только по зависимостям $W - SP$, но и по зависимостям $R - SP$, так как спектральная классификация по глубине линий имеет преимущества в случае, когда получение надежных значений W затруднительно. Таким образом, необходима достаточно обширная сетка критериев по W и R , в которой были бы представлены не только интенсивные линии H , $C\alpha$ и $F\epsilon$, но также умеренные и слабые линии металлов.

2. Наблюдательный материал.

Наблюдения звезд-стандартов спектральной классификации выполнены на 1-метровом телескопе обсерватории Санглок в период 1980-91 гг. со спектрографом *UAGS* регистрацией спектров на фотопластинки фирм *ORWO ZU21* и *KODAK 103aO*. Регистрируемый диапазон спектра $\lambda\lambda$ 3600-4550 Å в третьем порядке дифракционной решетки $651''/23$. Красный конец спектра второго порядка отсекался полосовым порядкоразделительным фильтром. С длиннофокусной камерой Шмидта это обеспечивало в фокальной плоскости обратную линейную дисперсию 29.5 Å/мм.

Программа звезд спектральной классификации составлена по известным спектральным атласам и каталогам. В таблице 1 представлены спектральные и фотометрические характеристики звезд программы. Для обеспечения однородности наблюдательного материала при отборе звезд исключались пекулярные и перемещенные звезды, а также двойные звезды, кроме случаев, когда компоненты оптически разрешены. Следует отметить, что многие из звезд программы являются зональными фотометрическими стандартами с хорошо изученными распределениями энергии в спектре. Данные о спектральных классах звезд взяты из различных источников, в основном из [10], показатели цвета – из каталогов Бланко [11] и Комарова [12], светимости – в основном из [12].

Все спектрограммы были прокалиброваны на том же спектрографе с помощью ступенчатой щели и промерены на самбрегистрирующем микрофотометре МД-100 с увеличением в 50 раз. Для каждой ночи наблюдений строилась характеристическая кривая, которая представлялась полиномом n -ой степени и использовалась для перевода отсчетов на регистрациях из почернений в интенсивности. Непрерывный спектр проводился, как обычно, по реперным точкам, вблизи которых отсутствовали

Таблица 1

Фотометрические и спектральные данные исследованных звезд

№ п/п	Назв. звезды	HD	Sp (MK)	V	B - V	MV	Номер спектра
1	ωEri	31109	A9IV	4.39	0.26	-1.73	890092,115
2	ρGem	58946	F0V	4.16	0.31	+3.02	880078, 82,87
3	$78UMa$	113139	F2V	4.94	0.37	+2.33	890212
4	μVir	129502	F3IV	3.86	0.38	+1.82	900035,40
5	ζSer	164259	F3V	4.62	0.38	+2.79	900034
6	θCyg	185395	F4V	4.48	0.38	+3.58	830102, 830107
7	αCMi	61421	F5V	0.35	0.42	+2.65	840056, 860087, 860303,304
8	ιPeg	210027	F5V	3.76	0.44	+3.11	830041, 50,77
9	ξPeg	215648	F6IV	4.19	0.50	+2.46	810034
10	$110 Her$	173667	F6V	4.19	0.46	+2.64	820122, 880003, 900021
11	$40 Leo$	89449	F6IV	4.78	0.45	+3.25	820020
12		208906	F7V	6.94	0.51	-1.04	890122,156
13	θPer	16895	F7V	4.12	0.49	+3.54	830114,195
14	νPeg	220657	F8IV	4.38	0.61	+1.40	830190, 890103
15	νAnd	9826	F8V	4.09	0.54	+2.99	890071
16	βVir	102870	F8V	3.61	0.55	+3.48	820040
17	χHer	142373	F9V	4.61	0.56	+3.35	900019
18	$12 Per$	16739	F9V	4.90	0.59	+1.97	900071
19	ιPer	19373	G0V	4.05	0.59	+3.67	830113, 890192
20	ηCas	4614	G0V	3.44	0.58	+4.74	830204
21		115043	G1V	6.85	0.60		890005
22	Sun		G2V	-26.74	0.65	+4.83	830071, 840010
23		221830	G2V	6.85	0.59		890120,159
24	$85 Peg$	224930	G2V	5.75	0.67	+5.33	890121
25	$16 Cyg A$	186408	G2V	5.96	0.65	+3.62	900052
26	$16 Cyg B$	186427	G3V	6.20	0.66	-0.79	900051
27	μCas	6582	G5V	5.17	0.69	+5.84	830111, 890123
28	$51 Peg$	217014	G5V	5.50	0.67	+4.82	890119,160
29	μHer	161797	G5IV	3.41	0.75	+3.58	880024
30	τCet	10700	G8V	3.49	0.72	+5.69	90124, 176,187
31	$61 UMa$	101501	G8V	5.33	0.73	+5.68	820044
32	βAql	188512	G8IV	3.71	0.86	+2.94	820088
33		175225	G9IV	5.50	0.83	+3.01	900050
34	σDra	185144	K0V	4.68	0.80	+5.94	820077

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
35		154345	K0V	6.77	0.73		900036, 900042
36	ηCep	198149	K0IV	3.42	0.92	+2.68	820113, 830089
37	γCep	222404	K1V	3.22	1.03	+2.25	890104,178
38	$\alpha^2 Eri$	26965	K1V	4.44	0.82	+5.95	890093, 890151
39	ϵEri	22049	K2V	3.73	0.88	+6.14	890150,196
40		219134	K3V	5.57	1.01	+6.48	890105
41	61 Cyg A	201091	K5V	5.22	1.18	+7.49	880093
42	61 Cyg B	201092	K7V	6.05	1.37	+8.38	880092
43		213619	F2III	6.6	0.34		890170
45		203405	F3III	6.8	0.37		890167
46	36 Per	21770	F4III	5.31	0.39	+2.55	890055,131
47		209166	F4III	5.62	0.38	+3.40	890169
48		221970	F5III	6.3	0.43		890145
49		203842	F5III	6.4	0.47		890168
50		182900	F6III	5.73	0.48	+3.19	900015
51	δUMa	82328	F6III	3.18	0.47	+1.76	890016, 26,33
52	31 Com	111812	G0III	4.94	0.67	-0.06	820048
53	πCep	218658	G2III	4.41	0.78	-4.11	890177
54	βDra	159181	G2III	2.80	0.97	-3.18	900014
55	$\delta^2 Dra$	177249	G3III	5.37	0.92	+5.37	900017,74
56	$\alpha^2 Aqr$	200497	G4III	5.53	0.68		890157
57		151627	G5III	6.19	0.86		890155
58	σUMa	71369	G5III	3.35	0.83	-3.64	890077, 208,223
59	ϵDra	188119	G7III	3.83	0.89	+0.7	890083,144
60	31 Boo	129312	G7III	4.86	1.00	-0.49	900028,39
61	βHer	148856	G8III	2.78	0.94	-1.07	820062, 890137
62	αAur	34029	G8III	0.06	0.78	-0.98	840055, 860012,54, 86268,269
63		185955	G9III	6.20	0.82		890096
64	κCyg	181276	G9III	3.77	0.96	+0.58	820118
65	ϵTau	28305	K0III	3.54	1.02	-0.18	880069,70
66	$\delta^2 Tau$	28307	K0III	3.85	0.95	+1.44	880071,72
67	βGem	62509	K0III	1.14	1.00	+0.98	880001,2
68	ιCep	216228	K1III	3.50	1.05	+1.28	830042, 63,88,146
69	βCet	4128	K1III	2.04	1.02	+0.82	810114
70	αBoo	124897	K2III	-0.05	1.23	-0.40	860069, 109,110
71	αAri	12929	K2III	2.00	1.15	+0.17	890180
72	ιDra	137759	K2III	3.28	1.16	+0.81	820053,60
73	αHya	81797	K3III	1.99	1.44	-2.28	820037, 890201

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
74	δAnd	3627	$K3III$	5.75	1.28	+2.65	810059,60
75	βUMi	131873	$K4III$	2.08	1.46	-0.64	820050, 900007
76	σBoo	133124	$K4III$	4.80	1.51	+0.71	900018,48
77		142574	$K4III$	5.44	1.59	+2.53	900027,41
78	αTau	29139	$K5III$	0.86	1.53	-0.88	890056,87
79	γDra	164058	$K5III$	2.23	1.52	-0.65	890030
80	φCas	7927	$F0Ia$	4.99	0.69	-7.6	890161,229
81	νAql	182835	$F2Ib$	4.66	0.59		810081, 890117
82	$89 Her$	163506	$F2Ia$	5.44	0.32	-7.1	820188, 121,229
83	νHer	164136	$F2II$	4.93	0.39	5.91	820068, 890079
84	$44 Cyg$	195593	$F5Iab$	6.18	1.00		830200
85	αPer	20902	$F5Ib$	1.80	0.48	-4.3	830115, 890149
86	$35 Cyg$	193370	$F5Ib$	5.17	0.67	-4.82	830028,35
87	$41 Cyg$	195295	$F5II$	4.01	0.40	-1.85	830100, 890102
88	$45 Dra$	171635	$F7Ib$	4.77	0.61	-1.10	900030,43
89	δCMa	54605	$F8Ia$	1.85	0.68		820016
90	γCyg	194093	$F8Ib$	2.21	0.67		820092,244
91	ρCas	224014	$G0Ia$	4.59	1.26	-1.43	900069
92	βAqr	204867	$G0Ib$	2.88	0.83		810107
93		217476	$G0Ia$	5.08	1.55		830043,56
94	εLeo	84441	$G0II$	2.97	0.81	-5.76	820006
95	αAqr	209750	$G2Ib$	2.93	0.98	-5.10	810030, 890227
96	$9 Peg$	206859	$G5Ib$	4.32	1.17	-2.94	810086, 900006
97	ϵGem	48329	$G8Ib$	2.99	1.40	-2.84	890136,205
98	ζCyg	202109	$G8II$	3.19	0.99	-0.35	890136,205
99	ϑLyr	180809	$K0II$	4.35	1.25		820090, 900003
100	ϑHer	163770	$K1III$	3.85	1.35		890080, 900012
101	ζCep	210745	$K1Ib$	3.36	1.55	-4.2	810045, 830090
102	$56 Ori$	39400	$K2II$	4.75	1.38	-5.52	890153, 188,193
103	ϵPeg	206778	$K2Ib$	2.40	1.53		810108, 830092
104	γAql	186791	$K3II$	2.71	1.53	-3.76	830071, 900004
105	$\sigma' CMa$	50877	$K3Iab$	3.86	1.72		890200,203
106	$105 Her$	168532	$K4II$	5.27	1.53		900031
107	ξCyg	200905	$K5Ib$	3.72	1.65	-5.06	830093

Таблица 2

Избранные для классификации
линии поглощения

№ п/п	Длина волны, Å	Ион и номер мультиплета
1	3933.7	<i>CaII</i> (1)
2	4005.3	<i>FeI</i> (43)
3	4030.8	<i>MnI</i> (2)
4	4033.1	<i>MnI</i> (2)
5	4034.5	<i>MnI</i> (2)
6	4045.8	<i>FeI</i> (43)
7	4063.6	<i>FeI</i> (43)
8	4071.7	<i>FeI</i> (43)
9	4077.7	<i>SrII</i> (1)
10	4101.7	<i>H6</i>
11	4132.1	<i>FeI</i> (43) + <i>VI</i> (27)
12	4143.9	<i>FeI</i> (43)
13	4163.7	<i>TiII</i> (105) + <i>CrI</i> (35)
14	4167.3	<i>MgI</i> (15)
15	4191.5	<i>FeI</i> (152) + (355)
16	4202.0	<i>FeI</i> (42)
17	4215.5	<i>SrII</i> (1)
18	4226.7	<i>CaI</i> (2)
18	4250.5	<i>FeI</i> (152) + (42)
20	4254.3	<i>CrI</i> (1)
21	4260.5	<i>FeI</i> (152)
22	4271.8	<i>FeI</i> (42) + (152)
23	4318.7	<i>CaI</i> (5) + <i>TiI</i> (235)
24	4325.8	<i>FeI</i> (2) + (42)
25	4340.5	<i>H5</i>
26	4383.6	<i>FeI</i> (41)
27	4404.8	<i>FeI</i> (41)
28	4415.1	<i>FeI</i> (41)
29	4425.1	<i>CaI</i> (4)
30	4427.3	<i>FeI</i> (2)
31	4466.6	<i>FeI</i> (350)
32	4476.0	<i>FeI</i> (350) + (830)
33	4494.6	<i>FeI</i> (68)
34	4501.3	<i>TiII</i> (31)
35	4508.3	<i>FeII</i> (38)

линиями поглощения, и его проведение не представляло особых затруднений. Осложнения были связаны с проведением контура линий вследствие его искажения блендингом соседних линий. Отметим, что сами по себе эффекты блендинга в нашем рассмотрении несущественны, так как в редукционных кривых, связывающих эквивалентную ширину со спектральным классом, отражается ход и самой линии, и блендинга, происходящего с ней компонента. Задача состояла только в тождественном выделении контура каждой линии на всех спектрограммах, что представляло известные трудности вследствие изменения интенсивностей блендинирующих компонентов со спектральным классом и светимостью объектов.

3. Каталог эквивалентных ширин и глубин линий поглощения.

Для расчета основных параметров линий поглощения и анализа полученных результатов на языке *BASIC* для *IBM AT* составлен пакет программ, позволяющий

- 1) вычислять эквивалентные ширины W_λ и глубины R_λ линий поглощения любого профиля (также и линий, находящихся в крыльях более сильных компонентов);
- 2) представлять зависимость между W_λ и R_λ для каждой звезды графически на экране дисплея и проводить анализ полученных результатов;
- 3) для каждой спектrogramмы представлять зависимость $R(W)$ полиномом n -ой степени, что дает возможность оценивать эквивалентные ширины W_λ по глубинам R_λ в случае, если уверенное проведение контура линии, а, следовательно, и определение W_λ , затруднительно.

По составленной программе вычислены эквивалентные ширины и глубины 35 линий поглощения, выбранных в качестве классификаторов, список которых с указанием основного компонента химического элемента, степени ионизации и номера мультиплета приведен в таблице 2. Результаты расчетов W_λ и R_λ , усредненные по всем имеющимся для данного об'екта спектrogramмам, занесены в файлы базы данных по карликам, гигантам и сверхгигантам и представлены в Приложении.

Вероятные ошибки отдельного определения W_λ^i оценены по формуле

$$\rho = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum (W_\lambda^i - \bar{W}_\lambda)^2}{n_1 - 1}}$$

где \bar{W}_λ – среднее арифметическое значение эквивалентной ширины линии, определенное по n спектrogramмам для данного об'екта. В таблице 3 приведены относительные вероятные ошибки одного определения ρ/\bar{W}_λ , выраженные в процентах, где $\bar{W}_\lambda = \sum W_\lambda / n_1$ – средние значения W_λ в указанных в таблице диапазонах, n_1 – число линий в каждом диапазоне.

Таблица 3

Относительные вероятные ошибки определения
эквивалентных ширин

Диапазон W_λ , mA	ρ/\bar{W}_λ , %	n_1
0 - 200	15.7	99
200 - 300	16.1	78
300 - 400	12.0	70
400 - 500	9.0	72
500 - 1000	8.0	182
1000 - 1500	7.9	54
1500 - 2000	6.1	29
2000 - 10000	5.2	37
10000 - 20000	3.8	13

Видно, что ошибка ρ/\bar{W}_λ , характеризующая точность определения каждого значения эквивалентной ширины линии данной интенсивности, убывает с ростом интенсивности от 16% для $W_\lambda < 300A$ до 3% для

$W_\lambda > 10000\text{A}$. Эти ошибки сравнимы с приведенными в работе [8] для дисперсии 36 А/мм и меньше полученных в работе [2] для дисперсии 75 А/мм.

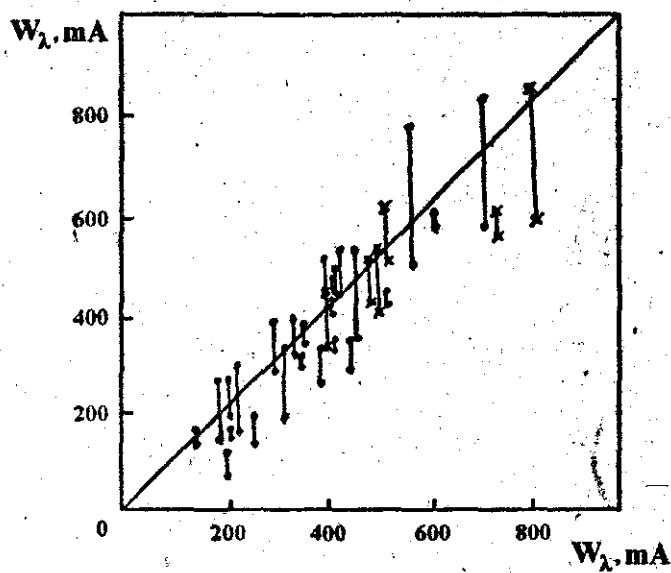


Рис.1. Сравнение эквивалентных ширин, определенных в данной работе (ось ординат) для звезды θ CYG, с данными других авторов: точки – из работы [13], крестики – из работы [1], вертикальным отрезком соединены значения, полученные нами по двум спектрограммам θ CYG.

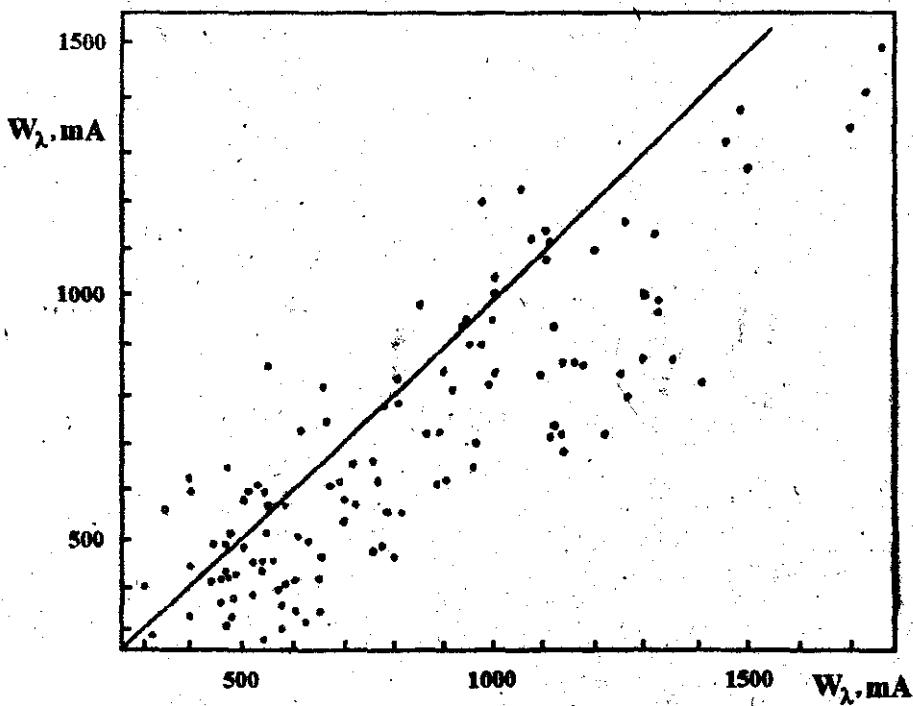


Рис.2. Сравнение эквивалентных ширин, полученных в данной работе, и в работе [1].

Сравнение полученных нами значений эквивалентных ширин с данными других авторов представлено на рисунках. На рисунке 1 показаны результаты такого сравнения для звезды ϑ CYG с данными Паннекука [13] и Мустеля [1], причем эквивалентные ширины, полученные Паннекуком с дисперсией 8 А/мм, суммировались по всем близлежащим к данной линии компонентам в пределах нашего разрешения, а из данных Мустеля с дисперсией 75 А/мм исключались линии-бледы, разрешаемые на наших спектрограммах. На рисунке 2 приведено сравнение эквивалентных ширин, полученных нами и Мустелем, проведенное по 18 звездам, оказавшимся общими в списках наблюденных объектов. Это сравнение показало несколько меньшие значения определенных нами эквивалентных ширин, что обясняется нашим большим разрешением и отсечением некоторых бледирующих компонентов при проведении контуров линий. Следует отметить, что обнаружение систематических отличий в этих зависимостях, обусловленное разными дисперсиями, не имеет значения для нашего исследования, так как существенной является лишь внутренняя сходимость результатов для всего использованного для построения спектральной классификации материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мустель Э.Р. и др. – Известия КрАО, 1958, т.18, с.3-37.
2. Копылов И.М. – Известия КрАО, 1958, т.20, с.123-155.
3. Копылов И.М. – Известия КрАО, 1958, №20, с.156-207.
4. Копылов И.М. – Известия КрАО, 1960, №23, с.148-173.
5. Шиукашвили М.А. – Бюл. Абаст. АО, 1969, №37, с.43-67.
6. Бартая Р.А. – Бюл. Абаст. АО, 1979, №50, с.3-239.
7. Малютко В.Д. – Публ. Тартуской АО, 1977, №45, с.150-172.
8. Williams E.G. – Astrophys. J., 1936, Vol.83, p.279-338.
9. Кузнецов В.И. – Астрометрия и астрофизика, 1982, т.46, с.43-57.
10. Morgan W.W., Keenan P.C., Kelman E. – An atlas of stellar spectra with an outline of spectral classification, Chikago press, 1943.
11. Blanko V.M. et al. – Photoelectric catalogue magnitudes and colors of stars in the UBV and UCBV systems, Washington, 1968.
12. Комаров Н.С. и др. – Фотометрический и спектральный каталог ярких звезд, Киев, Наукова думка, 1979.
13. Pannekoek A. and Van Albada G.B. – Publ. Astron. Inst. Amsterdam, 1939, Vol.6, 1-70.

ПРИЛОЖЕНИЕ

КАТАЛОГ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН И ГЛУБИН ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ

КАРЛИКИ

$\lambda, \text{Å}$	ИОН	ω_{Erl}		β_{Gem}		78 UMa		μ_{Vir}		ζ_{Ser}		0 Cyg		α_{CMi}	
		W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A
3933.7	Ca II(I)	5518	0.87	7066	0.87	7065	0.81	5868	0.87	7006	0.87	8598	0.90	8086	0.92
4005.3	Fe I(43)	195	0.17	440	0.37	429	0.28	343	0.32	281	0.34	547	0.52	562	0.42
4030.8	Mn I(2)	192	0.18	479	0.36	348	0.23	342	0.31	394	0.34	421	0.46	502	0.37
4033.1	Mn I(2)	141	0.15	388	0.33	0	0.00	310	0.31	307	0.34	440	0.38	442	0.36
4034.5	Mn I(2)	70	0.10	166	0.21	0	0.00	174	0.19	0	0.00	229	0.25	231	0.26
4045.8	Fe I(43)	152	0.15	507	0.39	523	0.28	439	0.37	480	0.37	578	0.58	632	0.48
4063.6	Fe I(43)	196	0.15	506	0.36	416	0.25	330	0.32	397	0.40	467	0.50	570	0.41
4071.7	Fe I(43)	161	0.12	520	0.37	329	0.21	360	0.30	459	0.38	403	0.43	435	0.36
4077.7	Sr II(I)	203	0.20	701	0.45	529	0.33	490	0.37	222	0.23	647	0.52	791	0.45
4101.7	H6	13336	0.71	11716	0.81	8660	0.70	6355	0.73	8336	0.80	7257	0.81	6720	0.76
4132.1	Fe(43)+V(27)	180	0.15	517	0.35	411	0.23	422	0.31	399	0.33	494	0.40	467	0.36
4143.9	Fe I(43)	176	0.15	395	0.34	348	0.23	378	0.33	290	0.31	463	0.39	436	0.36
4163.7	TlII(105)+Cr(35)	49	0.07	159	0.18	88	0.07	86	0.13	126	0.17	95	0.15	84	0.11
4167.3	Mg II(15)	52	0.07	253	0.26	282	0.23	192	0.24	191	0.21	318	0.33	332	0.29
4191.5	Fe I(152)+(355)	69	0.09	245	0.23	156	0.14	189	0.22	170	0.23	265	0.31	226	0.24
4202.0	Fe I(42)	199	0.17	388	0.31	210	0.21	306	0.32	354	0.27	345	0.37	361	0.30
4215.5	Sr II(I)	173	0.14	361	0.40	263	0.23	329	0.28	334	0.31	413	0.43	476	0.36
4226.7	Ca II(2)	358	0.26	689	0.42	774	0.37	757	0.47	658	0.40	698	0.55	828	0.50
4250.5	Fe II(152)+(42)	176	0.16	331	0.27	188	0.20	338	0.29	242	0.31	324	0.38	312	0.29
4254.3	Cr II(I)	119	0.12	190	0.24	116	0.14	119	0.18	133	0.20	167	0.25	207	0.20
4260.5	Fe II(52)	223	0.18	359	0.27	334	0.21	451	0.32	263	0.33	415	0.44	466	0.36
4271.8	Fe I(42)+(152)	172	0.16	469	0.33	322	0.21	367	0.34	265	0.31	433	0.42	490	0.36
4318.7	Ca II(9)+Ti I(23)	77	0.09	276	0.25	111	0.11	171	0.21	246	0.21	146	0.20	172	0.16
4325.8	Fe I(2)+(42)	94	0.10	625	0.37	679	0.31	607	0.37	307	0.43	625	0.47	626	0.42
4340.5	H5	12471	0.70	8176	0.77	6337	0.64	5098	0.74	7439	0.80	6554	0.80	5811	0.75
4383.6	Fe I(41)	243	0.18	437	0.31	361	0.28	333	0.33	560	0.38	479	0.44	584	0.39
4404.8	Fe I(41)	92	0.10	278	0.24	110	0.14	211	0.25	256	0.27	322	0.40	301	0.27
4427.3	Fe II(2)	99	0.10	90	0.14	76	0.10	154	0.18	151	0.18	202	0.23	150	0.16
4466.6	Fe I(350)	255	0.16	219	0.21	211	0.18	140	0.20	300	0.20	220	0.27	177	0.19
4476.0	Fe I(350)+(830)	63	0.10	163	0.17	81	0.10	119	0.17	94	0.15	201	0.25	171	0.18
4494.6	Fe I(68)	154	0.14	250	0.26	77	0.11	133	0.17	154	0.23	283	0.31	214	0.20
4501.3	Ti II(31)	146	0.13	311	0.29	123	0.17	147	0.21	180	0.21	255	0.25	252	0.21
4508.3	Fe II(38)	89	0.12	246	0.27	95	0.10	153	0.18	149	0.18	198	0.20	143	0.16

$\lambda, \text{Å}$	II OH	v And	β Vir	γ Her	12 Per	γ Cas	HD 115043								
	W _A	R _A	W _A	R _A	W _A	R _A	W _A								
3933.7	Ca II(1)	1040.5	0.93	1000.5	0.87	996.2	0.95	1063.3	0.93	1081.8	0.93	917.5	0.85	1243.7	0.87
4005.3	Fe I(43)	470	0.54	642	0.44	450	0.43	553	0.51	753	0.62	418	0.33	911	0.57
4030.8	Mn I(2)	533	0.46	596	0.41	386	0.37	409	0.44	686	0.54	330	0.28	855	0.50
4033.1	Mn I(2)	506	0.41	469	0.34	227	0.30	347	0.38	511	0.49	286	0.25	795	0.49
4034.5	Mn I(2)	287	0.33	0	0.00	184	0.23	170	0.25	255	0.41	192	0.12	506	0.36
4045.8	Fe I(43)	792	0.66	827	0.55	681	0.63	895	0.67	1140	0.73	732	0.50	1433	0.74
4063.6	Fe I(43)	630	0.56	477	0.43	474	0.51	746	0.58	918	0.62	562	0.40	1225	0.66
4071.7	Fe I(43)	579	0.50	387	0.37	460	0.46	579	0.50	723	0.56	500	0.34	892	0.56
4077.7	Sr II(1)	724	0.51	810	0.38	445	0.40	590	0.46	890	0.50	441	0.30	958	0.46
4101.7	H ₆	4204	0.75	4175	0.68	2925	0.69	4502	0.70	2395	0.69	2213	0.56	3294	0.69
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	470	0.41	581	0.40	384	0.36	480	0.47	735	0.51	287	0.25	673	0.50
4143.9	Fe I(43)	529	0.46	581	0.40	432	0.40	489	0.46	738	0.57	422	0.31	869	0.50
4163.7	TII(105)+CrI(35)	95	0.15	92	0.15	84	0.12	67	0.12	211	0.23	40	0.05	163	0.25
4167.3	Mg I(15)	353	0.33	322	0.34	253	0.31	356	0.37	619	0.43	163	0.20	439	0.34
4191.5	Fe I(152)+(355)	362	0.30	242	0.27	207	0.28	239	0.30	493	0.40	169	0.18	256	0.34
4202.0	Fe I(42)	446	0.40	428	0.36	387	0.34	379	0.41	546	0.43	268	0.25	768	0.47
4215.5	Sr II(1)	513	0.43	329	0.31	439	0.34	472	0.46	627	0.46	311	0.27	466	0.46
4226.7	Ca I(2)	1124	0.67	813	0.54	951	0.67	1223	0.72	1405	0.69	1014	0.54	1684	0.72
4250.5	Fe I(152)+(42)	661	0.43	423	0.34	374	0.34	261	0.33	541	0.41	350	0.28	666	0.50
4254.3	Cr I(1)	282	0.30	414	0.31	241	0.28	434	0.40	357	0.33	259	0.23	396	0.36
4260.5	Fe I(152)	599	0.50	768	0.43	496	0.43	681	0.51	723	0.51	658	0.37	967	0.46
4271.8	Fe I(42)+(152)	768	0.52	692	0.50	621	0.51	826	0.60	934	0.61	732	0.46	1046	0.62
4318.7	Ca I(5)+Ti II(235)	236	0.23	124	0.15	75	0.11	93	0.15	92	0.18	112	0.11	130	0.20
4325.8	Fe I(2)+(42)	854	0.55	969	0.49	907	0.50	1061	0.60	1263	0.57	642	0.44	1061	0.56
4340.5	H ₅	4059	0.72	3217	0.63	3059	0.70	4510	0.72	3377	0.68	249	0.58	3263	0.68
4383.6	Fe I(41)	876	0.56	881	0.50	774	0.54	987	0.62	1199	0.54	835	0.50	1332	0.63
4404.8	Fe I(41)	539	-0.46	627	0.44	406	0.43	588	0.46	723	0.46	595	0.40	523	0.46
4415.1	Fe I(41)	458	0.38	510	0.37	459	0.37	468	0.43	372	0.30	423	0.30	541	0.46
4425.1	Ca I(4)	152	0.15	166	0.18	123	0.18	156	0.20	176	0.18	67	0.10	152	0.23
4427.3	Fe I(2)	106	0.17	218	0.18	189	0.20	86	0.15	214	0.18	92	0.15	135	0.20
4466.6	Fe I(350)	221	0.20	201	0.20	182	0.20	155	0.23	0	0.00	96	0.12	239	0.25
4476.0	Fe I(350)+(830)	167	0.18	99	0.12	118	0.15	91	0.15	0	0.00	110	0.11	124	0.20
4494.6	Fe I(68)	206	0.20	295	0.25	346	0.25	285	0.30	0	0.00	166	0.17	247	0.28
4501.3	Ti II(31)	182	0.20	158	0.17	187	0.27	200	0.21	0	0.00	94	0.12	174	0.20
4508.3	Fe II(38)	80	0.12	160	0.15	96	0.14	125	0.20	0	0.00	60	0.07	205	0.23

$\lambda, \text{Å}$	ИОН	Sun	HD221830	85 Peg	16 CygA	16 CygB	μ -Cas	51 Peg
		W _A	R _A	W _A	R _A	W _A	R _A	W _A
3933.7	Ca II(1)	14017	0.91	12606	0.89	12447	0.93	12303
4005.3	Fe I(43)	829	0.65	579	0.48	555	0.46	593
4030.8	Mn I(2)	623	0.56	494	0.37	402	0.40	494
4033.1	Mn I(2)	656	0.50	387	0.37	350	0.31	440
4034.5	Mn I(2)	525	0.46	280	0.30	304	0.30	292
4045.8	Fe I(43)	1479	0.76	897	0.69	1025	0.69	992
4063.6	Fe I(43)	1141	0.69	726	0.55	855	0.61	1052
4071.7	Fe I(43)	868	0.62	571	0.52	787	0.56	698
4077.7	Sr II(1)	960	0.53	602	0.44	654	0.36	590
4101.7	H ₆	2070	0.71	1770	0.69	2035	0.61	1959
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	604	0.57	506	0.43	475	0.43	648
4143.9	Fe I(43)	965	0.63	574	0.50	618	0.52	596
4163.7	TuI(105)+CrI(35)	237	0.28	181	0.16	100	0.14	144
4167.3	Mg I(15)	585	0.46	387	0.32	534	0.34	466
4191.5	Fe I(152)+(355)	385	0.42	364	0.33	333	0.34	425
4202.0	Fe I(42)	582	0.53	443	0.43	416	0.41	493
4215.5	Sr II(1)	551	0.52	471	0.37	378	0.37	586
4226.7	Ca I(2)	1615	0.77	1606	0.74	2699	0.77	1776
4250.5	Fe I(152)+(42)	670	0.57	567	0.39	750	0.46	661
4254.3	Cr I(1)	545	0.50	499	0.34	540	0.41	453
4260.5	Fe I(152)	1111	0.62	719	0.51	741	0.52	716
4271.8	Fe I(42)+(152)	1261	0.69	931	0.63	882	0.60	979
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	236	0.25	228	0.23	194	0.20	164
4325.8	Fe I(2)+(42)	1342	0.68	941	0.56	883	0.56	990
4340.5	H ₅	2075	0.67	1497	0.66	2388	0.64	2043
4383.6	Fe I(41)	1443	0.68	1174	0.62	1280	0.66	1293
4404.8	Fe I(41)	996	0.59	710	0.51	802	0.51	1026
4415.1	Fe I(41)	749	0.49	452	0.39	458	0.37	738
4425.1	Ca I(4)	292	0.26	180	0.20	180	0.20	191
4427.3	Fe I(2)	248	0.23	165	0.21	292	0.23	221
4466.6	Fe I(350)	275	0.26	160	0.21	278	0.21	343
4476.0	Fe I(350)+(830)	127	0.12	210	0.22	216	0.20	218
4494.6	Fe I(68)	401	0.29	268	0.29	241	0.28	567
4501.3	Ti II(31)	207	0.22	201	0.22	219	0.20	334
4508.3	Fe II(38)	115	0.15	66	0.09	89	0.12	219

$\lambda, \text{Å}$	NOH	μ	Hertzsprung	τ Cet	61 UMa	β Aql	HDI175225	σ Dra	HDI154345
		W_λ	R_λ	W_λ	R_λ	W_λ	R_λ	W_λ	R_λ
3933.7	Ca II(I)	16451	0.98	12430	0.85	15127	0.86	14160	0.94
4005.3	Fe I(43)	942	0.77	803	0.60	826	0.46	888	0.61
4030.8	Mn I(2)	741	0.70	672	0.53	435	0.41	644	0.57
4033.1	Mn I(2)	758	0.63	598	0.50	529	0.43	615	0.57
4034.5	Mn I(2)	560	0.57	439	0.38	255	0.28	543	0.50
4045.8	FeI(43)	1475	0.87	1506	0.77	2231	0.77	1421	0.75
4063.6	Fe I(43)	1382	0.81	1239	0.73	1326	0.62	1233	0.69
4071.7	Fe I(43)	1406	0.77	963	0.66	737	0.52	1069	0.63
4077.7	Sr II(1)	1060	0.75	789	0.45	713	0.49	960	0.55
4101.7	H6	1597	0.69	1506	0.60	1539	0.57	1196	0.61
4132.1	FeI(43)+VI(27)	962	0.67	720	0.54	544	0.43	907	0.62
4143.9	Fe I(43)	988	0.70	981	0.64	869	0.52	1197	0.69
4163.7	TmII(05)+CrI(35)	282	0.31	115	0.15	142	0.20	0	0.00
4167.3	Mg I(15)	789	0.62	368	0.37	455	0.28	670	0.51
4191.5	Fe I(152)+(355)	538	0.55	434	0.38	419	0.40	835	0.55
4202.0	Fe I(42)	827	0.66	651	0.51	890	0.49	951	0.64
4215.5	Sr II(1)	1026	0.68	523	0.45	622	0.43	1064	0.66
4226.7	Ca I(2)	1824	0.86	2057	0.82	1628	0.77	1905	0.81
4250.5	Fe I(152)+(42)	1096	0.63	943	0.58	887	0.50	1021	0.64
4254.3	Cr I(1)	736	0.62	813	0.54	799	0.44	763	0.61
4260.5	Fe I(152)	1028	0.75	1018	0.63	842	0.55	1047	0.70
4271.8	Fe I(42)+(152)	1401	0.81	1250	0.76	1262	0.61	1091	0.75
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	345	0.34	165	0.20	176	0.20	0	0.00
4325.8	Fe I(2)+(42)	1584	0.81	1292	0.72	1924	0.66	1347	0.76
4340.5	H5	1706	0.73	1556	0.63	1311	0.51	1248	0.66
4383.6	Fe I(41)	1784	0.83	1744	0.78	2278	0.79	1600	0.68
4404.8	Fe I(41)	1289	0.75	1142	0.69	1027	0.58	1015	0.57
4415.1	Fe I(41)	973	0.67	759	0.56	715	0.46	716	0.43
4425.1	Ca II(4)	411	0.36	314	0.30	288	0.25	134	0.17
4427.3	Fe I(2)	389	0.36	328	0.32	319	0.28	156	0.18
4466.6	Fe I(350)	387	0.37	264	0.26	297	0.28	0	0.00
4476.0	Fe I(350)+(830)	241	0.25	197	0.24	126	0.15	0	0.00
4494.6	Fe I(68)	632	0.43	359	0.32	323	0.34	0	0.00
4501.3	Ti II(31)	450	0.37	211	0.23	0	0.00	377	0.31
4508.3	Fe II(38)	123	0.5	97	0.12	205	0.25	0	0.00

$\lambda, \text{Å}$	ИОН	η	Cep	γ	Cep	α^2	Eri	ϵ	Eri	HD219134	61 CygA	61 CygB	
		W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A
3933.7	Ca II(1)	13996	0.93	16907	0.93	15085	0.86	15280	0.85	18480	0.85	19069	0.88
4005.3	Fe I(43)	749	0.58	858	0.69	723	0.62	967	0.68	1238	0.75	1075	0.70
4030.8	Mn I(2)	789	0.55	835	0.68	804	0.60	1009	0.67	1305	0.80	1872	0.82
4033.1	Mn I(2)	690	0.52	887	0.67	757	0.62	997	0.65	1447	0.79	1412	0.82
4034.5	Mn I(2)	487	0.43	828	0.57	626	0.40	833	0.55	1264	0.70	1084	0.80
4045.8	Fe I(43)	1286	0.75	1725	0.86	1937	0.83	1465	0.84	2799	0.86	2386	0.87
4063.6	Fe I(43)	1136	0.70	1411	0.81	1525	0.78	1618	0.79	2439	0.81	2250	0.81
4071.7	Fe I(43)	839	0.63	1105	0.77	1221	0.72	1480	0.76	1803	0.81	1567	0.87
4077.7	Sr II(1)	814	0.50	1001	0.59	909	0.43	804	0.50	1072	0.62	1341	0.60
4101.7	H ₆	1020	0.56	1182	0.55	1211	0.57	1177	0.53	1521	0.61	1592	0.66
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	730	0.57	1033	0.72	898	0.56	995	0.64	1453	0.77	1378	0.82
4143.9	Fe I(43)	952	0.68	1835	0.78	1315	0.69	1585	0.73	2306	0.82	2754	0.83
4163.7	Ti II(105)+Cr I(35)	340	0.37	682	0.46	247	0.23	248	0.23	784	0.50	658	0.56
4167.3	Mg I(15)	578	0.49	912	0.63	605	0.45	497	0.43	1035	0.62	747	0.58
4191.5	Fe I(152)+(355)	728	0.46	724	0.59	617	0.50	525	0.46	942	0.64	746	0.63
4202.0	Fe I(42)	705	0.57	931	0.71	813	0.62	823	0.59	1114	0.75	1629	0.76
4215.5	Sr II(1)	944	0.66	1300	0.78	708	0.49	936	0.60	1126	0.74	1171	0.70
4226.7	Ca I(2)	1741	0.83	2641	0.91	3832	0.88	4626	0.87	6516	0.93	9199	0.93
4250.5	Fe I(152)+(42)	973	0.57	1141	0.71	999	0.61	1240	0.70	1593	0.81	1714	0.79
4254.3	Cr I(1)	680	0.56	990	0.71	1079	0.63	1193	0.68	1996	0.85	2170	0.89
4260.5	Fe I(152)	1084	0.63	1048	0.73	1055	0.64	1262	0.70	2022	0.81	1336	0.80
4271.8	Fe I(42)+(152)	1160	0.75	1519	0.85	1327	0.75	1612	0.78	2549	0.87	1872	0.87
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	116	0.20	201	0.22	210	0.22	211	0.21	585	0.43	491	0.47
4325.8	Fe I(2)+(42)	1395	0.74	1753	0.82	1716	0.71	1823	0.78	2502	0.86	1945	0.87
4340.5	H ₅	1214	0.58	1188	0.59	1394	0.55	1223	0.53	1200	0.56	954	0.56
4383.6	Fe I(41)	1436	0.75	2418	0.87	2427	0.78	2907	0.81	3274	0.89	3316	0.87
4404.8	Fe I(41)	981	0.68	1447	0.80	1527	0.75	1602	0.78	2795	0.83	2080	0.81
4415.1	Fe I(41)	757	0.57	913	0.68	939	0.59	958	0.65	1447	0.75	1321	0.74
4425.1	Ca I(4)	283	0.28	367	0.40	371	0.30	377	0.37	669	0.56	809	0.56
4427.3	Fe I(2)	148	0.23	368	0.36	350	0.33	421	0.37	663	0.54	753	0.60
4466.6	Fe I(350)	183	0.21	426	0.32	294	0.27	308	0.30	524	0.44	295	0.40
4476.0	Fe I(350)+(830)	97	0.14	204	0.23	210	0.21	276	0.26	487	0.37	280	0.37
4494.6	Fe I(68)	471	0.37	849	0.53	394	0.31	545	0.40	903	0.55	712	0.52
4501.3	Ti II(31)	121	0.18	478	0.38	252	0.20	277	0.22	256	0.28	283	0.30
4508.3	Fe II(38)	89	0.15	123	0.18	90	0.12	150	0.15	124	0.20	184	0.23

ГИТАРЫ

$\lambda, \text{Å}$	ИОН	HD213619	13 Peg	HD203405	36 Per	HD209166	HD221970	HD203842	
		W _A	R _A	W _A	R _A	W _A	R _A	R _A	
3933.7	Ca II(1)	7742	0.86	6469	0.81	6662	0.80	7472	0.90
4005.3	Fe I(43)	247	0.25	402	0.27	523	0.28	551	0.37
4030.8	Mn I(2)	239	0.25	260	0.25	368	0.28	472	0.30
4033.1	Mn I(2)	160	0.21	247	0.25	312	0.25	441	0.27
4034.5	Mn I(2)	0	0.00	0	0.00	150	0.21	136	0.14
4045.8	Fe I(43)	285	0.25	477	0.31	350	0.25	589	0.41
4063.6	Fe I(43)	222	0.18	414	0.31	368	0.25	469	0.34
4071.7	Fe I(43)	192	0.23	261	0.25	189	0.23	625	0.36
4077.7	Sr II(1)	341	0.34	673	0.37	718	0.34	663	0.39
4101.7	H ₆	9078	0.70	7577	0.70	7772	0.68	6837	0.75
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	195	0.23	174	0.23	318	0.28	461	0.29
4143.9	Fe I(43)	161	0.15	290	0.18	236	0.23	417	0.29
4163.7	Ti II(105)+Cr I(35)	125	0.11	65	0.07	107	0.15	140	0.15
4167.3	Mg I(15)	89	0.11	127	0.15	186	0.15	285	0.23
4191.5	Fe I(152)+(355)	78	0.11	81	0.09	95	0.11	241	0.21
4202.0	Fe I(42)	139	0.17	226	0.17	180	0.21	338	0.25
4215.5	Sr II(1)	326	0.20	321	0.20	282	0.25	330	0.26
4226.7	Ca I(2)	699	0.31	966	0.37	354	0.20	827	0.43
4250.5	Fe I(152)+(42)	166	0.20	204	0.20	314	0.17	408	0.29
4254.3	Cr I(1)	121	0.15	84	0.14	168	0.17	223	0.21
4260.5	Fe I(152)	195	0.20	316	0.23	249	0.18	369	0.30
4271.8	Fe I(42)+(152)	276	0.28	356	0.23	244	0.27	388	0.33
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	78	0.12	193	0.17	261	0.18	171	0.17
4325.8	Fe I(2)+(42)	384	0.31	737	0.33	504	0.31	816	0.38
4340.5	H ₅	7518	0.68	7135	0.68	6856	0.66	6822	0.76
4383.6	Fe I(4)	250	0.25	535	0.33	444	0.27	607	0.36
4404.8	Fe I(4)	93	0.11	292	0.20	152	0.15	259	0.25
4415.1	Fe I(4)	274	0.28	202	0.20	380	0.27	394	0.31
4425.1	Ca I(4)	46	0.09	229	0.17	38	0.05	127	0.15
4427.3	Fe I(2)	68	0.10	64	0.10	25	0.02	203	0.20
4466.6	Fe I(350)	108	0.15	162	0.20	189	0.20	249	0.20
4476.0	Fe I(350)+(830)	84	0.14	95	0.14	36	0.05	236	0.17
4494.6	Fe I(68)	101	0.15	150	0.15	158	0.20	161	0.17
4501.3	Ti II(31)	103	0.12	267	0.17	55	0.05	227	0.24
4508.2	Fe II(38)	146	0.15	136	0.11	208	0.18	128	0.15

$\lambda, \text{Å}$	ION	HD182960	θ UMa	31 Com	π Cep	β Dra	γ Dra	β Aqr
		W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A
3933.7	Ca II(1)	8371	0.89	10541	0.92	9231	0.77	11474
4005.3	Fe I(43)	779	0.50	731	0.46	724	0.37	761
4030.8	Mn I(2)	610	0.47	571	0.41	436	0.38	922
4033.1	Mn I(2)	476	0.43	426	0.35	359	0.37	644
4034.5	Mn I(2)	330	0.25	210	0.23	184	0.28	505
4045.8	FeI(43)	883	0.60	967	0.56	912	0.44	1298
4063.6	Fe I(43)	629	0.49	783	0.47	637	0.40	1183
4071.7	Fe I(43)	558	0.43	523	0.43	430	0.34	827
4077.7	Sr II(1)	665	0.51	959	0.50	909	0.47	1098
4101.7	H6	5738	0.74	6737	0.77	2340	0.55	1204
4132.1	FeI(43)+VI(27)	551	0.43	624	0.42	273	0.27	813
4143.9	Fe I(43)	601	0.36	714	0.42	518	0.34	1048
4163.7	TII(105)+CrI(35)	196	0.23	199	0.21	156	0.11	321
4167.3	Mg I(15)	365	0.28	426	0.33	249	0.18	836
4191.5	Fe I(152)+(355)	389	0.31	423	0.32	260	0.25	595
4202.0	Fe I(42)	431	0.38	466	0.35	445	0.31	686
4215.5	Sr II(1)	620	0.43	622	0.40	468	0.34	1125
4226.7	Ca I(2)	936	0.47	1203	0.61	857	0.46	1828
4250.5	Fe I(152)+(42)	481	0.31	428	0.35	357	0.25	571
4254.3	Cr I(1)	370	0.30	348	0.27	430	0.31	675
4260.5	Fe I(152)	485	0.43	789	0.43	622	0.38	914
4271.8	Fe I(42)+(152)	569	0.44	745	0.44	739	0.40	1361
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	240	0.25	199	0.22	89	0.12	846
4325.8	Fe I(2)+(42)	1212	0.46	838	0.43	1105	0.46	1536
4340.5	H5	4758	0.81	5250	0.73	3000	0.62	2568
4383.6	Fe I(41)	724	0.47	863	0.45	735	0.46	1631
4404.8	Fe I(41)	351	0.30	483	0.32	627	0.34	1168
4415.1	Fe I(41)	357	0.38	518	0.32	431	0.31	716
4425.1	Ca I(4)	220	0.23	245	0.22	123	0.15	267
4427.3	Fe I(2)	169	0.21	303	0.25	129	0.15	329
4466.6	Fe I(350)	352	0.38	286	0.22	262	0.21	504
4476.0	Fe I(350)+(830)	218	0.23	210	0.17	159	0.14	157
4494.6	Fe I(68)	255	0.31	362	0.26	328	0.23	635
4501.3	Ti II(31)	258	0.28	358	0.27	253	0.20	459
4508.3	Fe II(38)	203	0.23	266	0.18	148	0.15	218

$\lambda, \text{Å}$	NoH	κ	Cyg	κ	Tau	κ'	Tau	β	Gem	κ	Cep	β	Cet	β	Boo
		W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A
3933.7	Ca II(1)	14182	0.98	20439	0.95	17160	0.89	12104	0.82	16266	0.94	0	0.00	18136	0.93
4005.3	Fe I(43)	780	0.61	1143	0.84	1125	0.83	1457	0.70	1217	0.75	978	0.63	1206	0.59
4030.8	Mn I(2)	746	0.56	1252	0.81	1180	0.75	1147	0.63	1099	0.69	1133	0.64	1034	0.55
4033.1	Mn I(2)	667	0.50	1159	0.77	944	0.70	1095	0.62	985	0.63	882	0.56	1300	0.57
4034.5	Mn I(2)	507	0.43	815	0.68	821	0.68	0	0.00	847	0.59	931	0.53	0	0.00
4045.8	Fe I(43)	1387	0.75	2117	0.90	1907	0.89	1960	0.83	2020	0.86	1806	0.82	2391	0.78
4063.6	Fe I(43)	1444	0.70	1821	0.88	1527	0.87	2094	0.81	1950	0.84	1580	0.75	2013	0.74
4071.7	Fe I(43)	1019	0.62	1727	0.87	1282	0.85	1392	0.73	1426	0.77	1241	0.71	1200	0.62
4077.7	Sr II(1)	1116	0.61	1547	0.81	1461	0.81	1806	0.72	1585	0.71	1500	0.68	1937	0.62
4101.7	H6	892	0.54	1970	0.78	1579	0.79	1649	0.66	1460	0.64	1559	0.65	1766	0.64
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	836	0.62	1421	0.84	1294	0.81	1523	0.73	1246	0.72	1109	0.68	1585	0.59
4143.9	Fe I(43)	1412	0.63	1916	0.87	1679	0.85	2671	0.81	2097	0.81	1424	0.75	2482	0.75
4163.7	ThII(105)+CrI(35)	560	0.36	1380	0.74	785	0.62	0	0.00	645	0.47	603	0.43	1075	0.48
4167.3	Mg II(15)	932	0.56	1345	0.75	1348	0.78	1653	0.72	1112	0.67	1009	0.63	1175	0.50
4191.5	Fe I(152)+(3.55)	677	0.49	1072	0.75	1050	0.74	1178	0.60	908	0.62	773	0.53	1078	0.48
4202.0	Fe I(42)	897	0.60	1362	0.84	1331	0.82	1494	0.72	1213	0.72	1139	0.66	1463	0.61
4215.5	Sr II(1)	1163	0.72	1855	0.89	1887	0.87	1883	0.77	1622	0.79	1519	0.75	1553	0.64
4226.7	Ca II(2)	1785	0.82	2631	0.93	2593	0.92	3307	0.89	2689	0.90	2581	0.90	3530	0.92
4250.5	Fe I(152)+(42)	1265	0.58	1618	0.78	1458	0.77	1604	0.69	1245	0.67	1055	0.62	1208	0.56
4254.3	Cr II(1)	876	0.54	1003	0.77	1029	0.74	1523	0.68	1152	0.65	879	0.58	1346	0.56
4260.5	Fe I(152)	1184	0.66	1292	0.85	1250	0.84	1805	0.72	1321	0.74	1211	0.68	1554	0.59
4271.8	Fe I(42)+(152)	1213	0.75	1878	0.89	1698	0.87	2321	0.85	1811	0.82	1562	0.78	2320	0.75
4318.7	Ca II(5)+Ti II(235)	180	0.18	472	0.49	315	0.38	325	0.31	321	0.28	299	0.30	132	0.15
4325.8	Fe I(2)+(42)	1752	0.70	2035	0.90	2000	0.87	2457	0.81	2147	0.81	1828	0.78	2243	0.74
4340.5	H5	1400	0.58	2038	0.79	1622	0.81	1674	0.68	1562	0.65	1662	0.68	1640	0.62
4383.6	Fe I(41)	2356	0.79	2291	0.91	2004	0.88	2866	0.81	2280	0.84	1905	0.80	2613	0.81
4404.8	Fe I(41)	0	0.00	1731	0.86	1472	0.84	1829	0.73	1690	0.76	1517	0.74	1830	0.69
4415.1	Fe I(41)	0	0.00	1177	0.80	1207	0.75	1169	0.62	1143	0.67	1058	0.62	1286	0.52
4425.1	Ca II(4)	0	0.00	514	0.54	478	0.53	378	0.37	409	0.41	352	0.37	607	0.31
4427.3	Fe I(2)	0	0.00	574	0.55	560	0.54	474	0.34	386	0.40	428	0.37	339	0.25
4466.6	Fe I(350)	0	0.00	739	0.53	502	0.46	760	0.36	593	0.37	491	0.36	525	0.31
4476.0	Fe I(350)+(8.30)	0	0.00	281	0.34	310	0.34	321	0.31	239	0.25	361	0.31	270	0.23
4494.6	Fe I(68)	0	0.00	1096	0.67	995	0.63	905	0.50	867	0.51	801	0.50	885	0.43
4501.3	Ti II(31)	0	0.00	724	0.54	1098	0.60	501	0.37	719	0.39	727	0.46	622	0.32
4508.3	Fe I(38)	0	0.00	297	0.34	253	0.28	142	0.15	283	0.19	0.00	0.00	0.00	0.13

A, A'	W _{OH}	α , Ari	1, Dra	α , Hya	8 And	B UMa	o Boo	W _A	R _A	HDI(2574)						
3933.7	Ca II(1)	16117	0.96	15047	0.88	0	0.00	17016	0.94	16248	0.93	0	0.00	0	0.00	0.00
4005.3	Fe I(43)	1089	0.78	1067	0.68	1046	0.60	1057	0.83	933	0.62	1317	0.84	1023	0.84	0.73
4030.8	Mn I(2)	792	0.70	1119	0.66	1682	0.69	1220	0.82	862	0.65	1381	0.82	1151	0.77	0.77
4033.1	Mn I(2)	761	0.66	952	0.65	0	0.00	1492	0.82	1125	0.67	1303	0.87	1265	0.80	0.80
4034.5	Mn I(2)	640	0.54	820	0.52	0	0.00	872	0.75	487	0.47	927	0.71	1028	0.68	0.68
4045.8	Fe I(43)	1731	0.88	2460	0.84	2933	0.83	2598	0.92	1849	0.81	2571	0.89	2125	0.87	0.87
4063.6	Fe I(43)	1657	0.85	1913	0.82	2413	0.82	1768	0.90	1627	0.77	2037	0.91	2132	0.82	0.82
4071.7	Fe I(43)	1146	0.80	1469	0.74	1879	0.70	1648	0.86	1235	0.69	1779	0.81	1858	0.74	0.74
4077.7	Sr II(1)	1096	0.71	1248	0.63	2258	0.70	1359	0.73	1235	0.63	1818	0.84	1813	0.75	0.75
4101.7	H6	1372	0.66	935	0.55	1691	0.63	1772	0.77	1195	0.57	1673	0.71	1785	0.72	0.72
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	868	0.67	1129	0.71	1555	0.67	1239	0.76	953	0.62	1642	0.80	1504	0.73	0.73
4143.9	Fe I(43)	1535	0.81	2326	0.79	1856	0.80	2451	0.87	2124	0.74	2603	0.84	2464	0.83	0.83
4163.7	TII(105)+CrI(35)	405	0.39	948	0.55	1415	0.54	1113	0.67	651	0.56	1090	0.65	1080	0.60	0.60
4167.3	Mg II(5)	779	0.63	891	0.57	1343	0.58	1552	0.82	1042	0.56	1318	0.67	1108	0.60	0.60
4191.5	Fe I(152)+(355)	765	0.62	1016	0.63	1133	0.61	1324	0.81	845	0.60	1321	0.73	1266	0.66	0.66
4202.0	Fe I(42)	1000	0.74	1442	0.71	2196	0.68	1108	0.75	1116	0.60	1745	0.82	1662	0.75	0.75
4225.5	Sr II(1)	1146	0.81	1680	0.75	2000	0.75	1543	0.79	1041	0.61	1934	0.85	1618	0.78	0.78
4226.7	Ca II(2)	2417	0.93	3291	0.92	2861	0.97	3605	0.98	3390	0.92	4590	0.98	4510	0.96	0.96
4250.5	Fe I(152)+(42)	895	0.68	1284	0.67	1548	0.68	1252	0.70	797	0.55	1882	0.79	1523	0.75	0.75
4254.3	Cr II(1)	874	0.68	1112	0.68	2026	0.74	1295	0.80	1124	0.68	2134	0.89	1893	0.87	0.87
4260.5	Fe I(152)	929	0.72	1445	0.71	1587	0.69	995	0.71	907	0.50	1766	0.79	1368	0.73	0.73
4271.8	Fe I(42)+(152)	1261	0.85	1674	0.84	2405	0.85	1767	0.88	1595	0.74	2804	0.89	2399	0.87	0.87
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	0	0.00	330	0.28	391	0.33	533	0.56	0	0.00	506	0.41	782	0.55	0.55
4325.8	Fe I(2)+(42)	1673	0.85	2210	0.81	2751	0.82	2015	0.85	1608	0.71	2466	0.87	2453	0.87	0.87
4340.5	H5	1121	0.66	1348	0.56	1820	0.63	1358	0.70	1504	0.55	1616	0.65	1670	0.74	0.74
4383.6	Fe I(41)	2058	0.90	2713	0.86	3504	0.87	2327	0.91	2094	0.82	3126	0.90	2739	0.91	0.91
4404.8	Fe I(41)	1214	0.83	1728	0.80	2628	0.83	1731	0.87	1658	0.76	2686	0.91	2181	0.89	0.89
4415.1	Fe I(41)	729	0.68	1084	0.66	1478	0.69	877	0.70	1453	0.67	1786	0.82	1758	0.81	0.81
4425.1	Ca II(4)	188	0.28	504	0.43	530	0.37	671	0.64	474	0.34	574	0.56	719	0.61	0.61
4427.3	Fe I(2)	300	0.28	497	0.40	547	0.37	701	0.67	737	0.40	718	0.58	865	0.65	0.65
4446.6	Fe I(350)	282	0.28	470	0.31	712	0.43	771	0.56	609	0.34	720	0.50	728	0.58	0.58
4476.0	Fe I(350)+(830)	0	0.00	229	0.20	554	0.37	514	0.46	539	0.31	613	0.39	496	0.43	0.43
4494.6	Fe I(68)	905	0.57	962	0.48	1668	0.60	1488	0.75	928	0.49	1085	0.65	1126	0.66	0.66
4501.3	Ti II(31)	466	0.34	591	0.38	712	0.47	943	0.62	663	0.40	925	0.50	873	0.53	0.53
4508.3	Fe I(38)	0	0.00	215	0.21	346	0.25	499	0.46	378	0.21	354	0.27	354	0.28	0.28

λ, A	ION	α	Tau	γ	Dra
		W _A	R _A	W _A	R _A
3933.7	Ca II(1)	0	0.00	0	0.00
4005.3	Fe I(43)	1156	0.71	1744	0.75
4030.8	Mn I(2)	1434	0.77	1864	0.82
4033.1	Mn I(2)	1243	0.77	1480	0.81
4034.5	Mn I(2)	1166	0.68	0	0.00
4045.8	Fe I(43)	2567	0.91	2843	0.87
4063.6	Fe I(43)	2472	0.87	2726	0.86
4071.7	Fe I(43)	1810	0.78	1841	0.81
4077.7	Sr II(1)	1744	0.75	1923	0.81
4101.7	H6	1892	0.71	2002	0.75
4132.1	Fe I(43)+V I(27)	1480	0.74	1603	0.79
4143.9	Fe I(43)	2791	0.83	3144	0.87
4163.7	Ti II(105)+Cr I(35)	1133	0.58	1655	0.68
4167.3	Mg I(15)	1275	0.61	1742	0.70
4191.5	Fe I(152)+(355)	1179	0.66	1273	0.75
4202.0	Fe I(42)	1535	0.76	1628	0.81
4215.5	Sr II(1)	1663	0.78	1963	0.85
4226.7	Ca I(2)	6428	0.98	6741	0.99
4250.5	Fe I(152)+(42)	1656	0.76	2159	0.85
4254.3	Cr I(1)	1958	0.86	2923	0.88
4260.5	Fe I(152)	1472	0.75	2024	0.81
4271.8	Fe I(42)+(152)	2572	0.88	3110	0.91
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	395	0.36	382	0.37
4325.8	Fe I(2)+(42)	2330	0.86	2684	0.88
4340.5	H5	1582	0.65	1739	0.74
4383.6	Fe I(41)	3084	0.89	3196	0.92
4404.8	Fe I(41)	2379	0.88	3304	0.89
4415.1	Fe I(41)	1574	0.77	1798	0.81
4425.1	Ca I(4)	558	0.52	614	0.43
4427.3	Fe I(2)	783	0.56	777	0.52
4466.6	Fe I(350)	670	0.44	660	0.46
4476.0	Fe I(350)+(830)	554	0.34	727	0.46
4494.6	Fe I(68)	1207	0.60	1552	0.68
4501.3	Ti II(31)	912	0.51	1071	0.56
4508.3	Fe II(38)	335	0.28	207	0.21

СВЕРХГИГАНТЫ

$\lambda, \text{Å}$	ИОН	φ_{Cas}	v_{Aql}	89 Her	v_{Her}	44 Cyg	α_{Per}	35 Cyg						
		W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	
3933.7	Ca II(1)	7883	0.96	10511	0.93	11811	0.97	7310	0.89	13879	0.93	14172	0.95	
4005.3	Fe I(43)	510	0.42	836	0.56	742	0.64	470	0.37	778	0.50	925	0.66	
4030.8	Mn I(2)	425	0.29	666	0.48	474	0.56	387	0.36	764	0.46	900	0.62	
4033.1	Mn I(2)	229	0.21	520	0.44	491	0.53	312	0.32	614	0.44	565	0.56	
4034.5	Mn I(2)	0	0.10	259	0.32	349	0.44	169	0.21	310	0.23	394	0.43	
4045.8	Fe I(43)	517	0.43	672	0.56	621	0.58	436	0.40	743	0.50	626	0.54	
4063.6	Fe I(43)	541	0.37	679	0.50	493	0.60	463	0.37	685	0.41	686	0.39	
4071.7	Fe I(43)	489	0.32	606	0.40	484	0.52	443	0.34	637	0.38	620	0.51	
4077.7	Sr II(1)	728	0.53	931	0.57	1011	0.73	596	0.40	901	0.60	1092	0.61	
4101.7	H6	4204	0.83	8266	0.89	4427	0.85	6408	0.78	5934	0.72	8124	0.85	
4132.1	Fe I(43)+VII(27)	475	0.33	616	0.52	617	0.54	485	0.37	650	0.46	804	0.58	
4143.9	Fe I(43)	375	0.33	632	0.45	447	0.51	540	0.39	735	0.46	800	0.59	
4163.7	Tm I(105)+Cr I(35)	404	0.38	353	0.37	317	0.41	135	0.17	119	0.15	379	0.41	
4167.3	Mg I(15)	89	0.12	232	0.24	253	0.31	222	0.22	278	0.25	295	0.29	
4191.5	Fe I(152)+(355)	178	0.17	416	0.36	381	0.39	282	0.25	462	0.34	551	0.45	
4202.0	Fe I(42)	441	0.37	646	0.50	459	0.50	410	0.31	672	0.46	716	0.56	
4215.3	Sr II(1)	595	0.49	676	0.57	640	0.67	551	0.41	864	0.46	695	0.59	
4226.7	Ca I(2)	664	0.46	946	0.55	560	0.54	745	0.43	1135	0.56	916	0.61	
4250.5	Fe I(152)+(42)	400	0.27	555	0.44	563	0.52	499	0.31	511	0.40	594	0.51	
4254.3	Cr I(1)	290	0.25	415	0.34	349	0.34	257	0.24	271	0.28	356	0.39	
4260.5	Fe II(152)	351	0.31	442	0.39	496	0.45	347	0.30	557	0.43	527	0.52	
4271.8	Fe I(42)+(152)	685	0.45	750	0.50	551	0.56	531	0.37	695	0.44	791	0.52	
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	75	-	0.12	321	0.28	147	0.23	132	0.16	265	0.23	326	0.34
4325.8	Fe I(2)+(42)	948	0.59	942	0.59	741	0.56	658	0.41	784	0.62	957	0.51	
4340.5	H5	5001	0.83	8606	0.89	5064	0.83	5377	0.73	5734	0.88	8078	0.90	
4383.6	Fe I(41)	1024	0.56	1447	0.58	772	0.56	373	0.31	1241	0.58	719	0.49	
4404.8	Fe I(41)	465	0.37	362	0.36	394	0.38	268	0.28	325	0.28	363	0.35	
4415.1	Fe I(41)	534	0.44	772	0.54	535	0.46	437	0.37	827	0.55	645	0.55	
4425.1	Ca I(4)	150	0.19	280	0.23	213	0.27	162	0.18	231	0.21	424	0.30	
4427.3	Fe I(2)	207	0.25	387	0.29	95	0.15	138	0.14	237	0.25	144	0.20	
4466.6	Fe I(350)	156	0.19	281	0.28	214	0.28	234	0.22	275	0.28	165	0.30	
4476.0	Fe I(350)+(830)	115	0.16	284	0.25	142	0.23	115	0.15	261	0.28	201	0.21	
4494.6	Fe I(68)	270	0.29	669	0.38	330	0.28	272	0.23	425	0.34	156	0.25	
4501.3	Ti II(31)	763	0.55	669	0.47	469	0.36	472	0.31	516	0.50	221	0.37	
4508.3	Fe I(38)	678	0.49	538	0.41	395	0.36	254	0.24	365	0.34	448	0.39	

$\lambda, \text{Å}$	MOH	41 Cyg	45 Dra	δ CMa	γ Cyg	ρ Cas	β Aqu	HD217476
		W_{λ}	R_{λ}	W_{λ}	R_{λ}	W_{λ}	R_{λ}	W_{λ}
3933.7	Ca II(1)	10286	0.97	17377	0.98	0	0.00	16015
4005.3	Fe I(43)	637	0.54	788	0.68	1241	0.61	611
4030.8	Mn I(2)	527	0.51	770	0.64	1166	0.62	626
4033.1	Mn I(2)	434	0.42	647	0.59	615	0.55	397
4034.5	Mn I(2)	223	0.27	401	0.48	489	0.46	252
4045.8	Fe I(43)	601	0.58	971	0.73	1144	0.62	664
4063.6	Fe I(43)	486	0.48	814	0.63	1139	0.61	732
4071.7	Fe I(43)	290	0.39	523	0.56	644	0.60	519
4077.7	Sr II(1)	425	0.40	614	0.63	1546	0.77	1043
4101.7	H6	6402	0.81	4109	0.81	4575	0.68	2545
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	488	0.45	910	0.66	1331	0.66	627
4143.9	Fe I(43)	493	0.46	1000	0.68	1515	0.72	755
4163.7	TiII(105)+CrI(35)	206	0.25	439	0.53	618	0.55	252
4167.3	Mg I(15)	188	0.21	470	0.42	448	0.46	0
4191.5	Fe I(152)+(355)	269	0.32	659	0.53	886	0.56	457
4202.0	Fe I(42)	425	0.43	648	0.65	961	0.61	686
4215.5	Sr II(1)	537	0.49	951	0.72	1154	0.75	977
4226.7	Ca I(2)	780	0.53	1131	0.74	1451	0.75	1287
4250.5	Fe I(152)+(42)	491	0.40	745	0.54	1024	0.62	890
4254.3	Cr I(1)	341	0.34	433	0.45	570	0.49	565
4260.5	Fe I(152)	431	0.44	580	0.59	924	0.60	715
4271.8	Fe I(42)+(152)	559	0.46	874	0.63	1509	0.72	831
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	194	0.26	400	0.42	386	0.41	294
4325.8	Fe I(2)+(42)	843	0.54	1226	0.62	1594	0.74	1032
4340.5	H5	6854	0.81	5248	0.83	6792	0.84	4049
4383.6	Fe I(41)	561	0.46	848	0.60	1506	0.76	1083
4404.8	Fe I(41)	384	0.38	481	0.53	636	0.56	357
4415.1	Fe I(41)	608	0.52	883	0.66	1450	0.74	668
4425.1	Ca I(4)	161	0.18	197	0.26	251	0.33	145
4427.3	Fe I(2)	290	0.28	452	0.43	832	0.55	422
4466.6	Fe I(350)	474	0.42	435	0.37	870	0.56	423
4476.0	Fe I(350)+(830)	166	0.19	375	0.43	498	0.37	253
4494.6	Fe I(68)	395	0.32	354	0.37	1225	0.57	468
4501.3	Ti II(31)	569	0.48	637	0.52	1143	0.68	605
4508.3	Fe II(38)	379	0.34	507	0.40	885	0.57	217

$\lambda, \text{Å}$	HOH	s Leo	α Agr	9 Peg	s Gem	ζ Cyg	θ Lyr	θ Her
		W _A	R _A	W _A	R _A	W _A	R _A	W _A
3933.7	Ca II(I)	15348	0.88	23404	0.89	24986	0.88	0
4005.3	Fe I(43)	884	0.49	1170	0.75	965	0.76	1431
4030.8	Mn I(2)	749	0.46	1204	0.71	1098	0.74	1591
4033.1	Mn I(2)	570	0.40	1055	0.65	974	0.66	1464
4034.5	Mn I(2)	332	0.30	710	0.55	686	0.61	997
4045.8	FeI(43)	889	0.57	1474	0.83	1702	0.87	2113
4063.6	Fe I(43)	858	0.50	1601	0.74	1693	0.79	2303
4071.7	Fe I(43)	627	0.43	953	0.66	1107	0.70	1764
4077.7	Sr II(I)	1280	0.58	1942	0.84	1666	0.82	2591
4101.7	H6	2195	0.62	3563	0.83	2353	0.83	1831
4132.1	FeI(43)+VI(27)	617	0.40	1108	0.72	1049	0.74	1418
4143.9	Fe I(43)	860	0.46	1444	0.75	1934	0.79	2632
4163.7	TII(105)+CH(35)	318	0.27	644	0.52	1007	0.56	1129
4167.3	Mg I(15)	430	0.34	831	0.58	1241	0.67	1307
4191.5	Fe I((152)+(355))	358	0.31	911	0.61	1025	0.62	1340
4202.0	Fe I(42)	663	0.41	1040	0.70	1114	0.72	1449
4215.5	Sr II(I)	978	0.56	1363	0.82	1585	0.85	1909
4226.7	Ca I(2)	1599	0.63	1772	0.84	2277	0.87	2891
4250.5	Fe I((152)+(42))	406	0.37	885	0.59	959	0.60	1310
4254.3	Cr I(I)	339	0.34	792	0.54	890	0.56	1183
4260.5	Fe I(152)	552	0.43	1034	0.69	943	0.70	1184
4271.8	Fe I((42)+(152))	870	0.51	1306	0.77	1537	0.79	1862
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	211	0.15	343	0.37	338	0.34	399
4325.8	Fe I(2)+(42)	1304	0.56	1719	0.76	1628	0.77	2337
4340.5	H5	2241	0.70	3334	0.87	2509	0.83	2847
4383.6	Fe I(41)	1154	0.56	1729	0.77	1756	0.86	2428
4404.8	Fe I(41)	691	0.43	1082	0.69	1385	0.71	1787
4415.1	Fe I(41)	614	0.41	1216	0.73	1059	0.70	1682
4425.1	Ca I(4)	262	0.18	401	0.40	391	0.42	559
4427.3	Fe I(2)	311	0.25	792	0.52	623	0.50	801
4466.6	Fe I(350)	538	0.49	946	0.57	702	0.52	1089
4476.0	Fe I(350)+(830)	217	0.23	434	0.36	288	0.31	600
4494.6	Fe I(68)	592	0.34	1150	0.58	947	0.58	1777
4501.3	Ti II(31)	487	0.31	1213	0.56	931	0.55	1311
4508.3	Fe II(38)	253	0.18	669	0.42	458	0.37	607

$\lambda, \text{Å}$	MOH	ζ	Cep	56 Ori	ϵ	Peg	γ	Aql	α'	CMa	105 Her	ξ	Cyg
		W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A	W_A	R_A
3933.7	Ca II(1)	28558	0.93	0	0.00	28520	0.95	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4005.3	Fe I(43)	1426	0.90	1249	0.78	1317	0.75	1235	0.77	852	0.74	1389	0.72
4030.8	Mn I(2)	1595	0.91	1234	0.74	1270	0.78	1437	0.78	1072	0.88	1313	0.75
4033.1	Mn I(2)	1338	0.91	1169	0.75	1309	0.79	1228	0.80	0	0.00	1264	0.76
4034.5	Mn I(2)	1025	0.85	0	0.00	1038	0.86	1048	0.78	0	0.00	0	0.00
4045.8	Fe I(43)	2689	0.95	2677	0.87	2267	0.84	2161	0.85	1479	0.87	1808	0.92
4063.6	Fe I(43)	2680	0.93	2307	0.85	2069	0.85	2125	0.85	1986	0.85	2523	0.88
4071.7	Fe I(43)	1741	0.91	1686	0.78	1679	0.79	2096	0.87	1426	0.70	1584	0.81
4077.7	Sr II(1)	2213	0.93	2006	0.78	1868	0.84	1769	0.82	1708	0.86	1453	0.76
4101.7	H6	1718	0.90	1800	0.73	1742	0.77	1863	0.74	1328	0.73	1499	0.67
4132.1	Fe I(43)+VI(27)	1713	0.90	1391	0.77	1099	0.76	1322	0.77	1423	0.77	1473	0.73
4143.9	Fe I(43)	2330	0.94	2437	0.84	2088	0.83	2789	0.83	2099	0.85	2493	0.80
4163.7	TII(105)+CrI(35)	1106	0.79	957	0.57	1625	0.69	964	0.61	853	0.59	1070	0.60
4167.3	Mg I(15)	1341	0.86	1314	0.69	1299	0.74	1134	0.71	1197	0.65	1112	0.66
4191.5	Fe I(152)+(355)	1310	0.87	1116	0.66	1216	0.75	1247	0.74	1625	0.75	1288	0.69
4202.0	Fe I(42)	1876	0.93	1734	0.75	1515	0.80	1545	0.82	1570	0.79	1431	0.75
4215.5	Sr II(1)	2202	0.96	2084	0.85	1782	0.86	2008	0.86	2104	0.88	1766	0.82
4226.7	Ca I(2)	3251	0.97	3388	0.93	3711	0.93	4031	0.97	6390	0.89	4154	0.97
4250.5	Fe I(152)+(42)	1398	0.89	1501	0.75	1402	0.81	1377	0.79	1504	0.76	1354	0.75
4254.3	Cr I(1)	1308	0.91	1217	0.72	1207	0.80	1424	0.85	1620	0.79	1545	0.80
4260.5	Fe I(152)	1190	0.90	1432	0.75	1120	0.81	1223	0.81	1669	0.72	1203	0.79
4271.8	Fe I(42)+(152)	2143	0.95	2113	0.88	2230	0.88	2243	0.90	2696	0.88	2387	0.92
4318.7	Ca I(5)+Ti I(235)	617	0.68	321	0.33	614	0.66	715	0.60	629	0.49	439	0.46
4325.8	Fe I(2)+(42)	2267	0.96	2374	0.85	2281	0.92	2503	0.91	2557	0.89	2404	0.87
4340.5	H5	1986	0.95	2008	0.76	1913	0.89	2050	0.84	2731	0.87	1457	0.72
4383.6	Fe I(41)	2525	0.97	3107	0.91	2571	0.93	2991	0.93	3360	0.93	2534	0.93
4404.8	Fe I(41)	1825	0.96	2138	0.85	2126	0.91	2411	0.90	2564	0.87	1934	0.77
4415.1	Fe I(41)	1484	0.92	1429	0.75	1590	0.86	1550	0.84	1937	0.81	1703	0.82
4425.1	Ca I(4)	648	0.75	365	0.37	736	0.72	689	0.65	750	0.59	772	0.61
4427.3	Fe I(2)	845	0.80	603	0.52	957	0.76	824	0.68	1388	0.75	1086	0.62
4466.5	Fe I(350)	1033	0.78	830	0.52	1226	0.75	1030	0.63	1232	0.68	963	0.57
4476.0	Fe I(350)+(830)	548	0.60	423	0.32	611	0.61	963	0.61	750	0.45	366	0.38
4494.6	Fe I(68)	1550	0.85	1142	0.59	1160	0.78	1295	0.72	1673	0.73	987	0.67
4501.3	Ti II(31)	1373	0.77	790	0.47	1150	0.73	1086	0.62	1413	0.68	865	0.51
4508.3	Fe II(38)	718	0.64	642	0.38	556	0.65	625	0.46	920	0.50	611	0.43

БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.

УДК 523.841

Ю.В.БОРИСОВ, Б.Н.ПИЛОСОВА

ДВУМЕРНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ
КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД F0-K7 ПО СПЕКТРАМ С
УМЕРЕННОЙ ДИСПЕРСИЕЙ. II. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ
КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ

На основе составленного авторами каталога эквивалентных ширин и глубин избранных в диапазоне $\lambda\lambda$ 3933-4508 Å линий поглощения разработаны критерии спектральной классификации по температуре. Спектрограммы для 107 F0-K7 карликов, гигантов и сверхгигантов были получены на обсерватории Санглок с дисперсией 29.5 Å/мм. Зависимости эквивалентных ширин W и глубин R от спектрального класса звезды Sp , а также от показателя цвета $B - V$ аппроксимированы полиномами оптимальных степеней. Выделены критерии, чувствительные к температуре во всем диапазоне спектральных классов. Малоизменяющиеся со спектральным классом критерии рекомендованы для поиска эффектов светимости.

A TWO DIMENSIONAL QUANTITATIVE SPECTRAL CLASSIFICATION OF F0-K7 STARS WITH MODERATE DISPERSION SPECTRA. II. THE TEMPERATURE CRITERIA OF CLASSIFICATION, by Yu.V. Borisov and B.N. Pilosova

On the basis of the compiling by the authors catalogue of the equivalent width and depth of selected absorption lines in the interval of 3933-4508 Å/mm the criteria have been worked out for classifying stars by temperature. The spectrograms for 107 F0-K7 dwarfs, giants and supergiants were taken on the Sanglock observatory with the dispersion of 29.5 Å/mm. The dependences of the equivalent widths W and depths R on the spectral class Sp and also on the colour index $B - V$ have been approximated by polynomials of optimum degrees. The criteria which are sensitive to temperature in whole spectral interval were picked out. The little changable by spectral class criteria have been recommended for consideration on luminosity effects.

На основе представленного в работе [1] каталога эквивалентных ширин и глубин избранных в диапазоне $\lambda\lambda$ 3933-4508 линий поглощения нами разработана сетка критериев спектральной классификации по температуре. Исследовались зависимости W и R от спектрального класса Sp , а также от показателя цвета $B - V$. Редукционные кривые, представляющие ход зависимостей критериев от Sp и $B - V$, аппроксимировались полиномами оптимальных степеней от 1 до 7 с вычислением средне-квадратической ошибки аппроксимации.

В таблицах 1-4 представлены значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов диаграмм $W - Sp$, $W - (B - V)$, $R - Sp$, $R - (B - V)$ для карликов IV-V классов светимости. В них по порядку приведены: длина волн спектральной линии-критерия, полиномиальные коэффициенты $A0 - A7$, диапазон действия критерия по аргументу Sp или $B - V$ и средне-квадратические ошибки сглаживания функций W или R . Аргумент Sp ,

определяемый в стандартной классификации сочетанием латинской буквы и цифры, представлен условным числом от 0 до 2,7 в пределах $F0 - K7$ с шагом 0,1 на спектральный подкласс, так что классу $F0$ соответствует значение 0,0, $F1 - 0,1$ и т.д.

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов диаграммы $W_\lambda - SP$ для карликов IV – V классов светимости

Длина волны	A_0	A_1	A_2	A_3	Диапазон SP	Ошибка σ
	A_4	A_5	A_6	A_7		
3933.7	5883.050	6224.698	-1071.108	201.361	0.00	2.50
4005.3	328.607	393.537	-118.432	26.135	0.00	2.50
4030.8	318.926	461.484	-439.782	165.421	1.80	2.50
4033.1	283.811	363.119	-352.442	146.720	1.80	2.70
4034.5	137.511	255.038	-211.431	102.228	0.00	2.70
4045.8	317.120	714.718	-125.883	66.273	0.00	2.70
4063.6	309.866	482.660	-100.291	74.161	0.00	2.70
4071.7	304.805	301.896	-16.524	39.936	0.00	2.70
4077.7	411.205	419.624	73.104	-324.408		
	149.406	-15.297			0.00	2.70
4101.7	11690.33	-12926.05	5021.239	-592.015	0.00	1.80
4132.1	368.092	112.674	11.312	33.481	0.00	2.70
4143.9	247.458	-508.798	3593.388	-4560.689		
	2203.732	-346.480			1.00	2.70
4163.7	116.933	-41.758	-1044.308	3754.168		
	-4598.862	2555.435	-650.739	61.460	0.00	2.70
4167.3	172.369	235.466			0.00	2.70
4191.5	175.954	40.375	159.260	-35.580	0.00	2.70
4202.0	286.650	82.118	100.684	2.700	0.00	2.70
4215.5	275.676	762.784	-1492.340	1428.253		
	-569.483	84.998			0.00	2.70
4226.7	446.028	-2297.579	11038.30	12023.95		
	4863.022	-588.753			2.00	2.70
4250.5	233.544	89.845	246.370	-38.081	1.00	2.70
4254.3	99.540	443.415	-364.775	185.684	0.00	2.70
4260.5	260.716	565.047	-206.024	71.189	0.00	2.70
4271.8	230.906	762.684	-281.133	108.768	0.00	2.70
4318.7	170.481	143.174	-570.788	694.268		
	-338.303	59.938			1.80	2.70
4325.8	366.288	655.486	-120.273	58.102	0.00	2.70
4340.5	9602.125	-10212.98	4320.348	-639.149	0.00	2.70
4383.6	296.203	751.002	494.826	95.681	0.00	2.70
4404.8	131.962	561.427	-180.059	105.722	0.00	2.70
4415.1	304.143	155.944	9.731	32.260	1.00	2.70
4425.1	89.830	251.118	-308.472	125.057	1.30	2.70
4427.3	90.406	279.617	-282.255	107.364	1.10	2.70
4466.6	194.384	13.912	25.560		0.00	2.70
4476.0	105.511	154.648	-143.067	45.540	1.50	2.70
4494.6	167.781	39.332	98.249	-11.440	0.20	2.70
4501.3	205.079	-54.147	102.389	-28.995	0.00	2.70
4508.3	152.034	21.300	-61.661	20.650	0.00	2.70
						49.50

Таблица 2

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов диаграммы $W_{\lambda} - (B - V)$ для карликов IV – V классов светимости

Длина волны	<i>A</i> 0	<i>A</i> 1	<i>A</i> 2	<i>A</i> 3	Диапазон	<i>B</i> – <i>V</i>	Ошибкa σ
	<i>A</i> 4	<i>A</i> 5	<i>A</i> 6	<i>A</i> 7			
3933.7	-539.178	24848.99	-7094.362	-142.540	0.30	1.30	1426.80
4005.3	115.224	602.547	848.194	-630.943	0.30	1.00	124.40
4030.8	216.889	214.841	564.886		0.30	1.40	161.90
4033.1	672.862	-2161.007	3845.076	-1344.651	0.40	1.40	141.20
4034.5	-33.661	350.834	459.254		0.70	1.40	130.30
4045.8	-239.896	1463.465	1875.838	-1050.773	0.30	1.40	283.10
4063.6	498.468	-1952.491	5688.316	-2447.370	0.30	1.40	213.50
4071.7	450.189	-1514.708	4306.517	-1849.222	0.30	1.40	181.20
4077.7	231.840	790.543			0.30	1.40	156.20
4101.7	28047.33	-77826.53	73316.78	-22339.62	0.30	0.80	1092.60
4132.1	-886.580	9709.387	-28094.38	38397.69			
	-22624.11	4664.392			0.60	1.20	116.00
4143.9	104.107	99.610	1447.417		0.30	1.40	208.90
4163.7	120.168	-352.980	668.890		0.40	1.40	83.50
4167.3	-158.929	1189.442	-318.019		0.30	1.40	123.20
4191.5	-240.884	1289.711	-386.682		0.30	1.40	100.00
4202.0	-155.167	1237.819	-100.035		0.30	1.40	141.70
4215.5	502.849	-1471.559	3261.865	-1209.391	0.30	1.40	109.30
4226.7	1808.832	-21179.19	161802.3	-194414.3			
	165110.0	-48498.45			0.50	1.40	743.80
4250.5	-406.667	1934.632	-321.513		0.40	1.40	179.90
4254.3	-109.233	319.750	1075.909		0.30	1.40	199.20
4260.5	-86.483	1378.367			0.30	1.40	172.80
4271.8	-477.649	2502.380	-282.158		0.30	1.40	207.20
4325.8	-106.887	1033.458	2278.419	-1275.870	0.30	1.40	215.20
4340.5	22358.28	-60492.43	57304.76	-17959.46	0.30	0.80	896.60
4383.6	472.845	-2618.830	8641.918	-3826.223	0.30	1.30	304.10
4404.8	563.577	-3129.119	7466.769	-3138.493	0.30	1.40	242.40
4415.1	489.054	-1597.132	3771.676	-1559.569	0.30	1.40	118.80
4425.1	159.624	-264.141	378.909	205.686	0.50	1.40	74.10
4427.3	80.554	116.341	44.121	238.872	0.30	1.40	94.10
4494.6	-139.461	870.297	-110.233		0.30	1.40	103.90

По характеру чувствительности эквивалентной ширины линии W и глубины R к температуре, а следовательно, по форме зависимостей, выделены диаграммы трех видов:

- 1) с хорошо выраженным монотонным изменением критерия во всем диапазоне спектральных классов;
- 2) с очень слабым изменением критерия или почти неизменным его значением во всем диапазоне спектральных классов;
- 3) с заметным изменением критерия только в некотором диапазоне спектральных классов. Например, для некоторых зависимостей $W - Sp$ наблюдается резкое увеличение крутизны в области поздних спектральных классов, что может быть связано с влиянием молекулярного поглощения.

Таблица 2

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов диаграммы $R_\lambda - SP$ для карликов IV – V классов светимости

Длина волны	A_0	A_1	A_2	A_3	Диапазон SP		σ
	A_4	A_5	A_6	A_7	0.00	2.50	
3933.7	0.895	0.000			0.00	2.50	0.04
4005.3	0.281	0.340	-0.104	0.012	0.00	1.50	0.08
4030.8	0.270	0.304	-0.185	0.059	0.00	2.50	0.08
4033.1	0.320	0.005	0.068		1.00	2.50	0.08
4034.5	0.162	0.260	0.166	0.059	0.00	2.70	0.08
4045.8	0.272	0.582	-0.210	0.027	0.00	2.00	0.07
4063.6	0.262	0.393	-0.076	0.002	0.00	2.00	0.07
4071.7	0.247	0.310	-0.046	0.003	0.00	2.70	0.08
4077.7	0.321	0.265	-0.145	0.031	0.00	2.70	0.08
4101.7	0.763	0.062	-0.187	0.055	0.00	2.00	0.05
4132.1	0.255	0.254	-0.095	0.029	0.00	2.70	0.07
4143.9	0.249	0.268	-0.032	0.006	0.00	2.70	0.07
4163.7	0.113	0.023	0.202	-0.288			
	0.145	-0.022			1.80	2.70	0.06
4167.3	0.216	0.138			0.00	2.70	0.08
4191.5	0.171	0.194	-0.032	0.008	0.00	2.70	0.07
4202.0	0.245	0.143	0.042	-0.010	0.00	2.70	0.06
4215.5	0.271	0.171	-0.024	0.009	0.00	2.70	0.80
4226.7	0.337	0.486	-0.156	0.022	0.00	2.70	0.05
4250.5	0.223	0.196	-0.011	0.008	0.00	2.70	0.06
4254.3	0.161	0.203	-0.043	0.028	0.00	2.70	0.06
4260.5	0.238	0.337	-0.071	0.007	0.00	2.70	0.07
4271.8	0.232	0.408	-0.059	-0.004	0.00	2.10	0.06
4318.7	0.157	0.186	-0.214	0.072	1.80	2.70	0.06
4325.8	0.265	0.390	-0.097	0.012	0.00	2.70	0.07
4340.5	0.742	0.017	-0.072	0.119	0.00	2.70	0.05
4383.6	0.246	0.448	-0.103	0.008	0.00	2.70	0.06
4404.8	0.168	0.359	-0.048	0.002	0.00	2.70	0.06
4415.1	0.248	0.151	0.008	0.002	0.00	2.70	0.07
4425.1	0.139	0.132	-0.139	0.060	1.80	2.70	0.05
4427.3	0.129	0.201	-0.174	0.064	1.00	2.70	0.06
4466.6	0.198	-0.000	-0.031	-0.002	1.00	2.70	0.05
4476.0	0.136	0.149	-0.141	0.044	1.80	2.70	0.05
4494.6	0.183	0.069	0.016	0.002	0.00	2.70	0.06
4501.3	0.203	0.020	0.009	-0.003	0.00	2.70	0.06
4508.3	0.179	0.033	-0.074	0.025	0.00	2.70	0.05

Сведения о характере редукционных кривых $W - Sp$ и $R - Sp$ для избранных линий-классификаторов из таблицы 2 статьи [1] содержатся в табл.5. В колонках A, B, C знаками "+" отмечены зависимости $W - Sp$ и $R - Sp$ в соответствии с указанным выше характером редукционных кривых для звезд карликов (D), гигантов (G) и сверхгигантов (SG).

Сравнение с зависимостями $W - Sp$, построенными нами по данным Мустеля и др. [2] показало их хорошую совместимость для совпадающих линий-классификаторов, хотя имеется некоторый систематический сдвиг, отмеченный нами и в работе [1].

Таблица 4

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов диаграммы $R_\lambda - (B - V)$
для карликов IV – V классов светимости

Длина волны	A_0	A_1	A_2	A_3	Диапазон $B - V$		Ошибка σ
	A_4	A_5	A_6	A_7	0.25	1.40	
3933.7	0.895	0.002			0.25	1.40	0.04
4005.3	-0.042	1.343	-0.617		0.25	0.90	0.08
4030.8	0.130	0.557			0.25	1.40	0.08
4033.1	0.087	0.580			0.25	1.40	0.07
4034.5	-0.016	0.596			0.25	1.40	0.07
4045.8	-0.160	1.952	-0.927		0.25	1.00	0.09
4063.6	-0.151	1.705	-0.749		0.25	1.00	0.08
4071.7	-0.011	0.914	0.198	-0.326	0.25	1.20	0.09
4101.7	0.310	2.641	-3.924	-1.197			
	4.697	-1.947			0.50	0.80	0.05
4132.1	0.024	0.858	-0.203		0.25	1.40	0.07
4143.9	0.083	0.460	0.724	-0.489	0.25	1.20	0.07
4163.7	0.097	-0.047	0.324		0.25	1.40	0.06
4167.3	-0.045	0.893	-0.313		0.25	1.40	0.08
4191.5	-0.067	0.880	-0.274		0.25	1.40	0.07
4202.0	-0.061	1.058	-0.335		0.25	1.40	0.07
4215.5	0.021	0.853	-0.227		0.25	1.40	0.07
4226.7	-0.203	2.423	-1.764	0.446	0.25	1.40	0.07
4250.5	-0.057	0.988	-0.234		0.25	1.40	0.07
4254.3	0.217	-0.667	2.100	-0.905	0.25	1.40	0.07
4260.5	-0.122	1.443	-0.587		0.25	1.20	0.07
4271.8	-0.233	1.884	-0.820		0.25	1.20	0.07
4325.8	-0.134	1.611	-0.661		0.25	1.20	0.07
4340.5	0.721	0.322	-0.870	0.378	0.30	1.40	0.06
4383.6	-0.186	1.800	-0.761		0.25	1.10	0.07
4404.8	-0.261	1.678	-0.645		0.25	1.00	0.08
4415.1	0.226	-0.258	1.421	-0.716	0.25	1.40	0.07
4425.1	0.247	-0.555	0.950	-0.230	0.50	1.40	0.06
4427.3	0.110	0.006	0.240	0.001	0.25	1.40	0.07
4466.6	0.305	-0.671	1.231	-0.517	0.25	1.20	0.05
4476.0	0.124	0.134	-0.096	0.095	0.25	1.40	0.05
4494.6	0.037	0.460	-0.057		0.25	1.40	0.06
4501.3	0.227	-0.200	0.480	-0.228	0.25	1.20	0.05
4508.3	0.142	0.260	-0.558	0.308	0.90	1.40	0.05

Из анализа рассмотренных нами зависимостей следует, что большинство избранных нами в качестве классификаторов линий поглощения чувствительны к температуре и могут быть использованы в качестве температурных критерии спектральной классификаций. Неизменяющиеся и слабоменяющиеся со спектральным классом критерии могут быть рассмотрены для поиска эффектов светимости. Эффект заметен на рисунках 1 и 2 и проявляется в параллельном смещении диаграмм для карликов, гигантов и сверхгигантов. Классификаторы по линиям умеренной интенсивности, редко наблюдающимся в эмиссии, например, 4250, 4254, 4260 и т.д., могут быть использованы для спектральной классификации некуллярных звезд с эмиссионными особенностями.

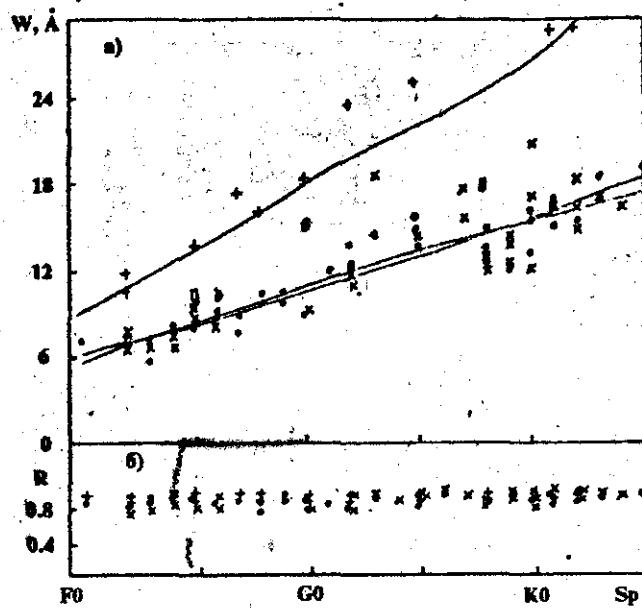


Рис.1. Зависимости $W_{\lambda} - SP$ и $R_{\lambda} - SP$ для линии $CaII\ K$. Эффект светимости проявляется только в зависимости W_{λ} от SP . Значками обозначены: • – карлики IV – V классов светимости, × – гиганты III класса светимости, + – сверхгиганты I, □ – сверхгиганты II. Сплошные линии – полиномиальные аппроксимации зависимостей.

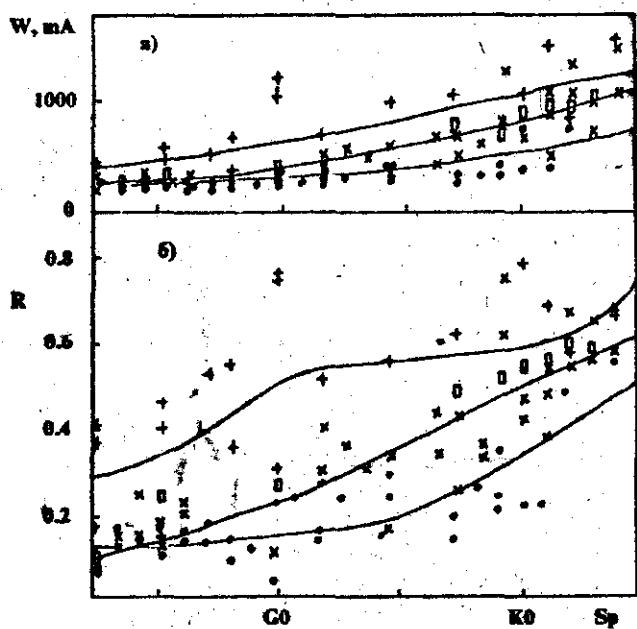


Рис.2. Зависимости $W_{\lambda} - SP$ и $R_{\lambda} - SP$ для линии бленды титана с хромом $\lambda 4163.7$. Эффект светимости проявляется в ходе обеих параметров одновременно. Обозначения те же.

Таблица 5.

Сведения о характере редукционных кривых $W_\lambda - Sp$ и $R_\lambda - Sp$

Длина волны	A						B						C					
	W			R			W			R			W			R		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3933.7	+	+	+													+	+	+
4005.3				+	+	+	+	+	+	+	+							
4030.8				+	+	+	+	+	+	+	+							
4033.1				+	+	+	+	+	+	+	+							
4034.5				+	+	+	+	+	+	+	+							
4045.8	+	+																
4063.6	+	+	+															
4071.6	+	+	+	+	+	+												
4077.7				+	+	+												
4101.7	+	+	+															
4132.1				+	+	+												
4143.9				+	+	+												
4163.7				+	+	+												
4167.3	+	+																
4191.5	+	+	+	+	+	+												
4202.0	+	+	+	+	+	+												
4215.5	+	+	+	+	+	+												
4226.7				+	+	+												
4250.5	+	+	+	+	+	+												
4254.3				+	+	+												
4260.5	+	+	+	+	+	+												
4271.8	+	+	+	+	+	+												
4318.7				+														
4325.8	+	+	+	+	+	+												
4340.5	+	+	+															
4383.6	+	+	+	+	+	+												
4404.8	+	+	+	+	+	+												
4415.1				+	+	+												
4425.1	+	+																
4427.3				+	+	+												
4466.6	+																	
4476.0				+														
4494.6	+			+	+	+												
4501.3				+														
4508.3				+														

ЛИТЕРАТУРА

- Борисов Ю.В., Пилосова Б.Н. – Бюллетень института астрофизики, 1997, №83, с.28-53.
- Мустель Э.Р. – Известия КрАО, 1958, т.18, с.3-37.

**БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.**

УДК 523.841

В.Н.ИРКАЕВ, В.САТЫВОЛДИЕВ, А.О.ЮФЕРЕВ

UBV - ФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД В АССОЦИАЦИИ Т4 ЛЕВЕДЯ

Проведена фотографическая *UBV* фотометрия звезд области ассоциации Т4 Лебедя. Построена диаграмма $V - (B - V)$.

UBV PHOTOMETRY OF THE T4 CYGNIES ASSOSIATION STARS
by B.N.Irkaev, V.Satyvaldiev, A.O.Yuferev

Photographic *UBV*-photometry of the stars in the assosiation T4 Cygnies is derived.

Ассоциация Т4 Лебедя подробно изучалась в Институте астрофизики АН Таджикистана начиная с 1968 г. Проводились систематические наблюдения области ассоциации на 40-см астрографе Гиссарской астрономической обсерватории с целью поиска новых переменных звезд ярче 16.5^m . После выявления переменных ярче 16.5^m мы задались целью изучить более слабые звезды. Для этого с 1981 года проводились наблюдения избранных областей ассоциации на 1-м телескопе обсерватории Санглок. Для наблюдений использовались пластинки *ZU* – 21 размером 16×16 см, покрывающие участок неба порядка $45' \times 45'$. В связи с тем, что диаметр ассоциации Т4 Лебедя превышает 5° , а размер поля 1-м телескопа гораздо меньше, нами было выбрано выше 20 площадок, более или менее распределенных по ассоциации. В результате 3-х летних поисков удалось обнаружить слабые переменные звезды только в одной из площадок с координатами: $\alpha_{1900} = 21^h 00^m$, $\delta_{1900} = +37^\circ 40'$.

Построив карту межзвездного поглощения по пластинкам 40-см астрографа, мы обнаружили, что площадка с упомянутыми выше координатами, условно названная нами *Д 13*, находится на краю наиболее запыленного участка неба. Именно этим фактом объясняется, по-видимому, наличие переменных звезд слабее 16.5^m . С другой стороны, поглощение в центральной части этой ассоциации весьма незначительно, да и вообще в области ассоциации Т4 Лебедя практически отсутствуют следы пыли.

Распределение переменных звезд по ассоциации не показывает какой либо закономерности, а сама переменность звезд требует дальнейшего тщательного изучения для уточнений их принадлежности к орионовым переменным. Поэтому можно предположить, что область ассоциации Т4 Лебедя не является ассоциацией в общепринятом смысле, а является либо случайной группировкой переменных звезд, либо при отсутствии орионовых переменных — просто участком Млечного Пути.

Для выяснения эволюционного статуса звезд области *Д 13* ассоциации были проведены *UBV* снимки этой площадки с целью построения диаграммы $V - (B - V)$. Кроме того, была проделана работа по созданию вторичного фотоэлектрического стандарта в этом участке неба. Для определения звездных величин стандартных звезд слабее $14^m - 15^m$, использовалась методика астрономического заведения звезд. Эта работа частично проделана совместно с В.П.Горанским (ГАИШ, г.Москва), любезно

предоставившим методику заведения звезд. Суть методики заключается в измерении на пластинке разности координат измеряемых и опорных звезд, последующими переводом этой разности в отсчеты оффсет-гига телескопа. Выставляя одну из опорных звезд в диафрагму фотометра, мы зная разность координат звезд, переводились на слабую звезду по микрометрам оффсет-гига.

Используя данную методику, нам удалось определить фотоволюционные величины звезд $m_V = 19^m$ с удовлетворительной точностью. Заданный таким образом стандарт охватывая диапазон звездных величин от 7.0^m до 19.0^m .

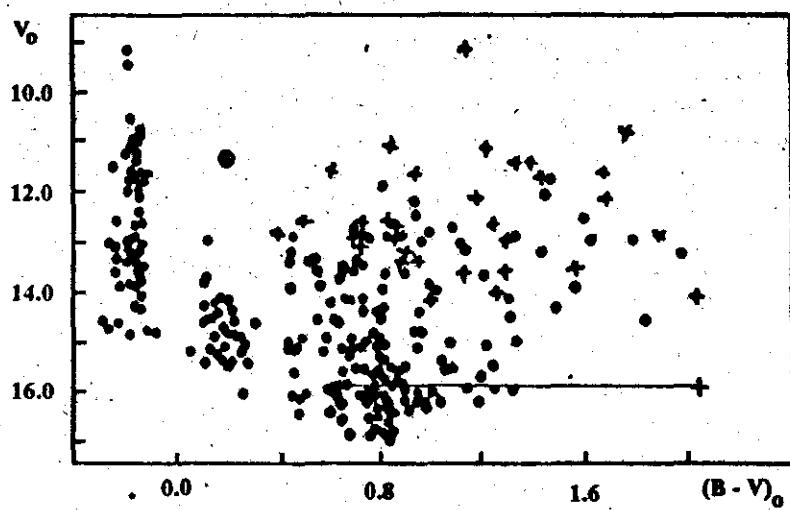


Рис.1. $V - (B - V)$ диаграмма для звезд в ассоциации Т4 Лебедя.

Далее проводились снимки площадки $\Delta 13$ ассоциации Т4 Лебедя в фильтрах, соответствующих стандартной UBV -системе. Всего было получено по 3 пластиинки в каждом фильтре. На каждой пластиинке измерялось выше 300 звезд, выбранных для построения диаграммы $V - (B - V)$. Данные измерений усреднялись по трем пластиинкам и привязывались к стандарту. Полученные для каждой звезды значения $V, (B - V), (U - B)$ были исправлены за межзвездное поглощение при помощи двухцветных диаграмм $(B - V)_0 - (U - B)_0$ [1]. Исправленные за межзвездное поглощение значения V и $(B - V)$ использовались для построения диаграмм. Диаграмма $V - (B - V)$, построенная для площадки $\Delta 13$ ассоциации Т4 Лебедя, приведена на рис.1. Сгущение звезд в левой и нижней частях диаграммы представляют собой верхнюю часть главной последовательности (ГП).

Звезды, расположенные в центральной части рис.1, попадают в Т-полосу образуемую орionовыми переменными.

Используя данные, собранные А.Я.Филиным по литературным источникам, а также полученные нами в Институте астрофизики АН Таджикистана, мы нанесли на диаграмму фотоволюционные величины орionовых переменных всей ассоциации. На рис.1, эти звезды помечены крестиками. Видно, что все звезды легли в центральную часть рисунка, где находится Т-полоса. Кроме того, прослежена определенная зако-

изомерность в фотометрическом поведении этих звезд в зависимости от расстояния от ГП. Так например, переменная звезда $H_{\alpha}7$, помеченная на рис.1 кружком, находится ближе к ГП. У этой звезды амплитуда изменения блеска с июня 1983 г. по август 1984 года колебалась в пределах $0.07''$, в то время как у звезды $V9$, расположенной значительно дальше от ГП, всего лишь за один месяц 1984 года амплитуда изменений блеска в фильтре V составила $0.5''$, а показатель цвета $(B - V)$ $1.5''$. На рис.1 границы изменения $(B - V)$ звезды $V9$ соединены прямой линией. Для остальных звезд приведены средние амплитуды изменений блеска и показателя цвета.

Исходя из эволюционного статуса звезд, находящихся в пределах Т-полосы, делаем предположение, что звезды, расположенные в центральной части рис.1, орionовые переменные и являются членами ассоциации Т4 Лебедя.

Авторы приносят искреннюю благодарность ныне покойному А.Я.Филину и В.П.Горанскому за помощь в работе и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Страйкис В. Многоцветная фотометрия звезд. Издательство Мокслас, Вильнюс, 1977г.

Ю.В.БОРИСОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СПЕКТРОГРАФА UAGS МЕТРОВОГО ТЕЛЕСКОПА
РИЧИ-КРЕТЬЕНА. II. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ И
СЕЛЕКТИВНОСТЬ ОПТИКИ СПЕКТРОГРАФА

В статье по избранным линиям спектра срзвнения ЛПКFe исследован инструментальный профиль спектрографа *UAGS* 1-м телескопа обсерватории Санглок. Для вариантов дисперсий $D = 29$ и 44 \AA/mm с помощью стандартных звезд с известными фотоэлектрическими распределениями энергии в спектре выведены выравнивающие коэффициенты для учета селективности оптики. Инструментальный профиль представлен таблицей с шагом $0,05 \text{ \AA}$. Затабулированы выравнивающие коэффициенты, учитывающие в комплексе полосы пропускания оптических элементов спектрографа: дифракционной решетки, порядководделительного фильтра и фотоэмulsionии.

THE INVESTIGATION OF THE TECHNICAL CHARACTERISTICS
OF THE UAGS SPECTROGRAPH FOR THE 1-m RCC TELESCOPE.
II. THE INSTRUMENTAL PROFILE AND THE EQUATING COEFFI-
CIENTS OF THE SPECTROGRAPH'S OPTICAL ELEMENTS PASS-
BAND, by Yu.V.Borisov.

The *UAGS* spectrograph instrumental profile of the 1-m telescope of the Sanglok observatory is investigated with the help of the ejected spectral lines of the hollow cathode lamp (*HCLFe*). The profile with the step 0.05 \AA is presented as the table. The equating coefficients accounting up the passbands of the spectrograph's optical elements: as the diffraction grating, the order dividing filter and the photoemulsion are tabulated.

Введение

Работа является результатом исследования характеристик спектрографа *UAGS* 1m *RCC* телескопа обсерватории Санглок в режиме фотографической регистрации спектрограмм. Результаты ранних работ [1,2] принесли определенную пользу при эксплуатации спектрографа. В них также исследовано гнущие элементы оптического тракта при изменении пространственной ориентации спектрографа по часовому углу в пределах ± 4 часа от меридиана.

Настоящая работа посвящена характеристикам, которые необходимо учитывать в некоторых исследованиях при обработке спектрограмм после записи их на диаграммную ленту.

Инструментальный профиль характеризует форму и параметры профиля изображения, формируемого оптикой спектрографа в фокальной плоскости камеры от освещенной источником бесконечно тонкой входной щели, которое регистрируется приемником излучения. Он ответственен за реальную разрешающую способность спектрографа. Знание

инструментального профиля позволяет учесть искажения профиля спектральной линии в составе волнового фронта перед входной щелью аппаратурой после прохождения излучения через оптику спектрографа. Характеристики регистрируемого профиля зависят от качественной работы оптических элементов, важнейшими из которых являются параллельность щек входной щели, качество нарезки и параметры дифракционной решетки, стигматичность оптики. Степень приближения к картине истинного инструментального профиля определяется также информационными показателями приемника излучения. В некоторых исследованиях, например, при определении $V \cdot \sin i$ звезд по профилям спектральных линий, учет инструментального профиля обязателен. При этом отделение составляющей турбулентной скорости, также вызывающей эффект уширения линий в крыльях, в принципе разрешимая задача с помощью моделирования атмосфер для конкретных звезд. Знание инструментального профиля позволяет переводить эквивалентные ширины и центральные глубины, вычисленные из наблюдений в инструментальной системе в стандартную, как наиболее отвечающую требованиям теоретической интерпретации явлений в звездных атмосферах. Изучение картины инструментального профиля, снятого на различные сорта фотоэмulsionий, необходимо, поскольку уширения, вызванные регистрацией на различные эмульсии, весьма показательны при оценке качества информационных возможностей фотопластинок, как приемников излучения. Дополнительное уширению, вызванное регистрирующей аппаратурой, не должно интерпретироваться процессами в плазме звездных атмосфер. Степень такого уширения можно оценить при регистрации слабых линий на различные типы эмульсий. Это побудило нас заняться исследованием инструментального профиля в объеме достаточном для рационального использования возможностей разрешения спектрографа $UAGS$ ($R \sim 19000$).

В приборах с высокой разрешающей способностью при исследовании инструментального профиля в качестве приемника излучения используют малоинерционные фотоэлектрические регистрирующие системы, а в качестве источника — слабые тонкие линии, возбуждаемые в лампах с полым катодом (ЛПК), или монохроматическим лазером. В литературе исследования инструментального профиля спектрографов с высоким спектральным разрешением уделяется должное внимание. Исследованы солнечные и звездные спектрографы, на которых получены известные атласы: Уtrechtский атлас солнечного спектра, Гриффиновские атласы спектров Арктура и Проциона. В то же время для приборов средней разрешающей силы этому вопросу уделяется мало внимания.

Учет селективности оптического тракта и спектральной чувствительности приемника излучения необходим в некоторых астрофизических исследованиях, когда максимумы, плато и формы спектральных кривых пропускания оптических элементов спектрографа и приемника излучения не совпадают, а лишь частично перекрываются. На рис. 1. приведены кривые спектральной чувствительности фотоэмulsionии *Kodak 103aO* (1a) и кривые пропускания в процентах отраженного света (сплошные линии рис. 1б) для третьего порядка решетки $651''/23^\circ$ и для второго порядка решетки $651''/16.8^\circ$. На нем штрихом показаны также кривые пропускания для двух часто используемых порядков разделительных фильтров синей и синезеленой области спектра. Данные заимствованы из работы [3].

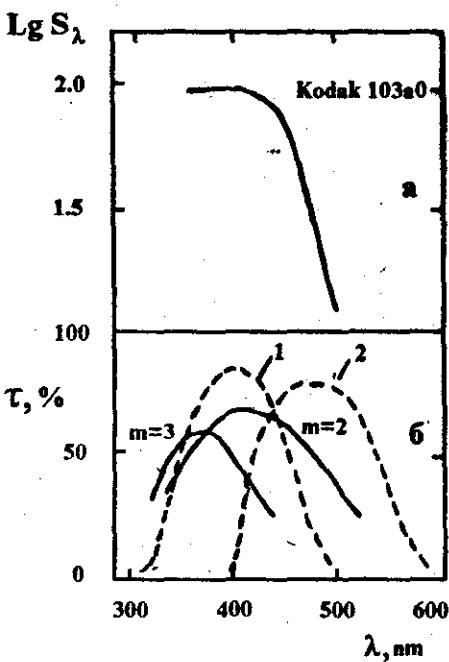


Рис.1. Кривая спектральной чувствительности фотоэмulsionии *Kodak 103aO* (рис.1а) и полосы пропускания порядковоизделительных фильтров (штрихи), решток $651''/23^\circ$, раб.-порядок 3 и $651''/16.^\circ8$ порядок 2 (сплошные линии рис.1б), выраженные в процентах по данным [3].

Для исследований привлечены спектрофотометрические стандарты с фотоэлектрическими распределениями энергии в спектре, которые свободны от влияния селективности аппаратуры в широком диапазоне спектра благодаря привязкам к физическому эталону, либо использованию дифференциального метода их определения. При обработке фотографических наблюдений обычно вводят выравнивающие коэффициенты, успешно учитывающие эффект селективности оптики.

Мы вполне отдаём себе отчет в том, что как регистрируемый профиль, так и выравнивающие коэффициенты при фотографическом методе регистрации спектров зависят от качества и однородности партий фотопластинон, тщательности фокусировки всех элементов аппарата, меняющихся условий наблюдений, даже от личных качеств и аккуратности наблюдателя. Поэтому при проведении исследований, требующих учета этих функций, необходимо переопределение их по мере необходимости.

Исследование инструментального профиля спектрографа UAGS

Работа проводилась по специально отобранным одиночным спектральным линиям умеренной и слабой интенсивности, возбуждаемым электрическим током в лампе с железным полым катодом (ЛПКFe). Атлас спектра приведен в работе [2]. спектрограммы регистрировались на фотоэмulsionии *ORWO ZU21* и *Kodak 103aO* в диапазоне $\lambda\lambda$ 3500-4550 Å с обратной линейной дисперсией $D = 29.5$ Å/мм. Этот вариант комбинации оптических элементов и фотоэмulsionии чаще всего используется

нами при регистрации звездных спектров. Порядок обработки спектрограмм и энергетических щкалок-калибровок при вычислении интенсивностей профиля стандартный. Для обоих вариантов вычислялись профили следующих спектральных линий: $\lambda\lambda 4143.9, 4181.9, 4191.0, 4219.4, 4235.9, 4282.4, 4325.8$ Å. Результатами расчетов являлись нормированные к центральной интенсивности профили в функции расстояния от центра линии в ангстремах. Все профили усреднялись и сглаживались на крупномасштабном графике, с которого затем снимались отсчеты нормированных интенсивностей с шагом 0,05 Å по длине волны. Результаты для обеих эмульсий приведены в таблице 1. Оба профиля симметричны относительно оси проходящей через центр линии, поэтому в таблице приведены полупрофили. Полуширина профиля при регистрации на *ORWO ZU21* составляет 0,70 Å, на пластинках *Kodak 103aO* — 0,44 Å и существенно отличаются друг от друга. Однако отметим, что профиль, регистрируемый на *Kodak 103aO* характеризуется большим протяжением крыльев зоны спектральных линий в силу большей фотографической широты этой эмульсии и меньшего коэффициента контрастности. Эта эмульсия также существенно выигрывает по гранулометрическим свойствам меньшим размером зерен светочувствительных кристаллов. В результате значения интенсивности линий удается проследить до 0,0071 ее полной интенсивности, что существенно ближе к фону, чем для эмульсии *ORWO ZU21* (0,017, согласно таблице 1). По этим причинам в качестве приближения к инструментальному профилю принят профиль, зарегистрированный на пластинках *Kodak 103aO*.

Таблица 1

Инструментальный профиль спектрографа *UAGS*,
полученный для двух сортов фотоэмulsion.

Длина волны $\Delta\lambda$, Å	Нормированные интенсивности		Длина волны $\Delta\lambda$, Å	Нормированные интенсивности			
	<i>ORWO</i>	<i>103aO</i>		<i>ORWO</i>	<i>ZU21</i>	<i>Kodak</i>	<i>103aO</i>
0.00	1.000	1.000	0.50	0.248	0.163		
0.05	0.985	0.955	0.55	0.198	0.131		
0.10	0.932	0.750	0.60	0.160	0.109		
0.15	0.850	0.610	0.65	0.124	0.091		
0.20	0.760	0.512	0.70	0.090	0.075		
0.25	0.670	0.435	0.75	0.062	0.059		
0.30	0.560	0.365	0.80	0.037	0.045		
0.35	0.454	0.310	0.85	0.017	0.031		
0.40	0.370	0.255	0.90	0.000	0.019		
0.45	0.296	0.207	0.95	0.000	0.007		
			1.00	0.000	0.000		

Исследование селективности пропускания оптических элементов спектрографа

Для выполнения этой задачи на малом зенитном расстоянии регистрировались спектры звезд-стандартов раннего спектрального класса с хорошо выраженным линиями Бальмеровской серии водорода и *CaII H*

и K , а также с непрерывным спектром и известными абсолютными распределениями энергии в спектре. Распределение энергии для этих звезд приведены в работах Харитонова, Глущиной, Князевой [4], а также Волошиной, Глущиной и др. [5]. Привлечены спектрограммы звезд αCMi и αAur .

Подробно исследованы функции пропускания спектрографа $UAGS$ при регистрации спектров на неочувственную и гиперсенсибилизированную фотомультию $Kodak 103aO$. Гиперсенсибилизация проводилась комплексным воздействием на эмульсию трех сенсибилизирующих факторов: нагрева при $T=46-49^{\circ}\text{C}$, вакуумирования в течение 7-9 часов с последующим выдерживанием в среде водорода в течение 45 мин.

Таблица 2

Коэффициенты выравнивания инструментальных интенсивностей за селективность оптики спектрографа $UAGS$.

Длина волны $\lambda, \text{ Å}$	Линия, ион	Коэффициенты выравнивания			
		Решетка 651"/23°, порядок 3, $D = 29.5 \text{ A/mm}$, фильтр 1		Решетка 651"/16.8°, порядок 2, $D = 44 \text{ A/mm}$, без фильтра	
		<i>Kodak</i> <i>103aO</i> неочувств.	<i>Kodak</i> <i>103aO</i> очувств.	<i>Kodak</i> <i>103aO</i> неочувств.	<i>ORWO</i> <i>ZU21</i> очувств.
3704	<i>H</i> 16	1.150	1.534	2.364	1.140
3712	<i>H</i> 16	1.123	1.506	2.294	1.123
3722	<i>H</i> 14	1.100	1.475	2.238	1.109
3722	<i>H</i> 13	1.082	1.432	2.015	1.096
3750	<i>H</i> 12	1.059	1.372	1.845	1.090
3771	<i>H</i> 11	1.027	1.285	1.585	1.062
3798	<i>H</i> 10	1.014	1.210	1.351	1.048
3835	<i>H</i> 9	1.002	1.132	1.220	1.040
3889	<i>H</i> 8	0.986	1.030	1.147	1.035
3934	<i>K CaII</i>	0.910	0.962	1.088	1.042
3934	<i>H CaII + H7</i>	0.814	0.844	1.103	1.036
3889	<i>H</i> 6	0.703	0.725	1.082	1.020
3889	<i>H</i> 5	1.000	1.000	1.000	1.000
3889	<i>H</i> 4	—	—	1.991	2.589

Сравнение интенсивностей в инструментальной системе с распределением энергии в спектре звезды проводилось для длин волн, определяемых положением ядер линий серии Бальмера $H_5 - H_{16}$ и линиями $CaII H$ и K , для которых чаще всего вычисляются декремент. Абсолютные распределения энергии и инструментальные интенсивности выведенные по шкалкам-калибровкам, нормировались к длине волны линии H_5 , соответствующей максимуму пропускания большинства оптических элементов спектрографа. Нормированные распределения энергии сравнивались друг с другом. Разница между ними относилась за счет селективности в пропускании оптики и спектральной чувствительности приемника излучения. За меру селективности выбрано отношение

$$K_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_{4340}} \cdot \frac{I_{4340}}{I_\lambda}$$

где K_λ – множитель, выравнивающий инструментальную интенсивность, вычисленную в шкале калиброванной пластиинки, за селективность, E_λ и I_λ – значения интенсивностей фотоэлектрического распределения энергии в спектре звезды и в инструментальной шкале, соответственно. Операция учета селективности сводится к умножению интенсивности, полученной с пластиинки, на множитель K_λ .

Коэффициенты выравнивания выведены для двух вариантов дисперсий: $D = 29.5 \text{ A/mm}$ с дифракционной решеткой $651''/23^\circ$ и $D = 44 \text{ A/mm}$ с решеткой $651''/16.8^\circ$ при использовании одной и той же камеры Шмидта $F = 175\text{cm}$. Окончательные результаты сведены в таблицу 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что учет поправки за селективность оптики и приемника излучения становится существенным при расширении рабочего участка спектра, на котором рассматриваются детали спектра и особенно важен для варианта с решеткой $651''/16.8^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Ю.В. Исследование рабочих характеристик спектрографа *UAGS* метрового телескопа Ричи-Кретьена. — Бюлл. Ин-та астрофиз. АН Тадж.ССР, 1989, №78, с.31-36.
2. Борисов Ю.В., Ерлексова Г.Е., Зубарева Т.Е. Атлас спектральных линий лампы с железным полым катодом к спектрографу *UAGS*. — Бюлл. Ин-та астрофиз. АН Тадж.ССР, 1989, №78, с.17-30.
3. Универсальный дифракционный астроспектрограф. Инструкция по эксплуатации -н/п "Карл Цейсс Йена (ГДР)", 1979, с.51.
4. Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Сводный спектрофотометрический каталог звезд. Алма-ата, Наука, 1978, с.198.
5. Волошина И.Б., Глушнева Н.Н., Дорошенко В.Т., и др. Спектрофотометрия ярких звезд. Под ред. Н.Н.Глушневой, 1982, М., Наука, с.256.

**БЮЛЛЕТЕНЬ ИНСТИТУТА АСТРОФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН, № 83, 1997 г.**

А.Г.КРЫЛОВ, О.НАИМОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ НАПРАВЛЯЮЩИХ ЛИНЕЕК
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Приводятся результаты исследования формы направляющих линеек измерительных машин Института астрофизики.

**THE INVESTIGATION OF THE FORM OF DIRECTIONAL RULERS
OF MEASURING MACHINES, by A.G.Krylov and O.Naimov**

**Results of the investigation of the form of directional rulers of measuring machines
of the Institute of Astrophysics are given.**

Измерительные машины, позволяющие определять на астронегативах прямоугольные координаты x, y небесных объектов с точностью до 1-2 микрон, широко используются для решения различных астрономических задач. В настоящее время в Институте астрофизики АН Таджикской ССР имеются следующие полуавтоматические измерительные машины фирмы Карл Цейсс Йена.

Наименование измерительной машины	заводской номер	год ввода в эксплуатацию	Принадлежность подразделению Института астрофизики
Аскорекорд	41060	1970	метеорный отдел
Аскорекорд	41062	1970	отдел астрометрии
Аскорекорд -ЗДП-Е	50148	1982	отдел астрометрии
Аскорис	52743	1983	отдел переменных звезд
Аскоремат	62076	1987	отдел астрометрии

Фактическая точность измерений координат на астронегативах зависит не только от случайных ошибок оператора, но и от инструментальных погрешностей измерительных машин, которые иногда могут превышать формальную точность отсчетов (10^{-4} мм) в десятки и даже сотни раз [1-6].

По своему происхождению инструментальные погрешности делятся на ошибки кривизны направляющих линеек, ошибки миллиметровых штрихов на шкалах x и y и ошибки окулярных микрометров [5-9].

Наибольшие погрешности вызывает кривизна направляющих линеек, особенно при измерениях на астронегативах большого формата (например, на стеклянных пластинках 30x30 см широкогоугольного астрографа или на пленочных снимках 7x50 см спутниковой камеры ВАУ).

Кривизна направляющей линейки, параллельной оси Ox , искажает координаты y , а кривизна линейки, параллельной оси Oy , вносит ошибки в координаты x . Путем сравнения направляющих линеек с параллельной прямой линией нами получены поправки $\Delta x = f(y)$ и $\Delta y = \varphi(x)$ к измеренным координатам для машин Аскорекорд-М (Аскорекорд метеорного отдела), Аскорекорд-А (Аскорекорд отдела астрометрии), Аскорекорд-ЗДП-Е и Аскоремат.

Для получения идеальной прямой линии, параллельной исследуемой линейке, использовалась тонкая стальная нить, натянутая в металлической рамке. Все неровности нити исключались измерениями в двух положениях с поворотом рамки с нитью на 180° вокруг продольной оси. Средние арифметические значения координат средины нити, измеренной в двух положениях, свободны от неровностей нити и должны лежать на прямой линии. Наклон этой прямой к исследуемой направляющей линейке учитывался математическим способом путем вычисления методом наименьших квадратов уравнения идеальной прямой в виде $x = a_1y + b_1$ для направляющей, параллельной оси Oy , или $y = a_2x + b_2$ для направляющей, параллельной оси Ox . Сравнение положений соответствующих точек на вычисленной идеальной прямой и на измеренной в двух положениях стальной нити дает поправки за кривизну направляющей линейки, параллельно которой натягивалась нить.

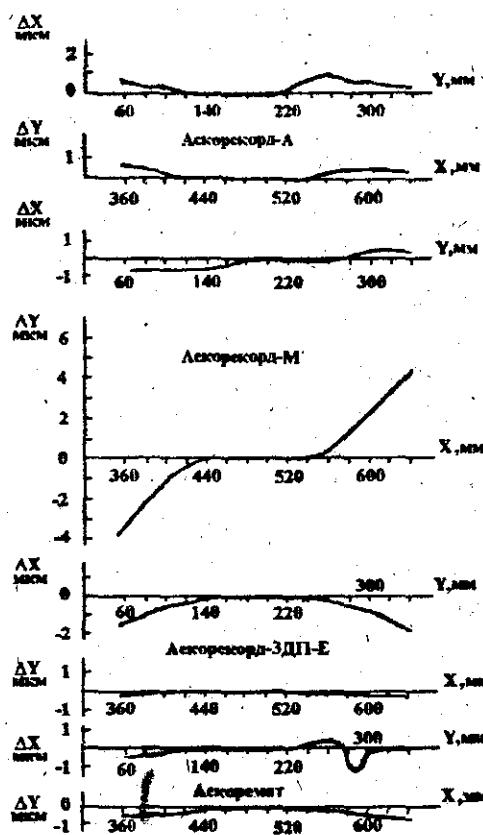


Рис.1. Поправки за кривизну направляющих линеек.

На рисунке 1 представлены графические изображения поправок за кривизну направляющих линеек четырех измерительных машин Института астрофизики. Наилучшими оказались направляющие измерительных машин Аскорекорд-ЗДП-Е и Аскоремат. У измерительной машины Аскорекорд-М значительно искривлена направляющая, параллельная оси Ox , что при измерениях снимков большого формата может привести к ошибкам до 10 микрон по координате y .

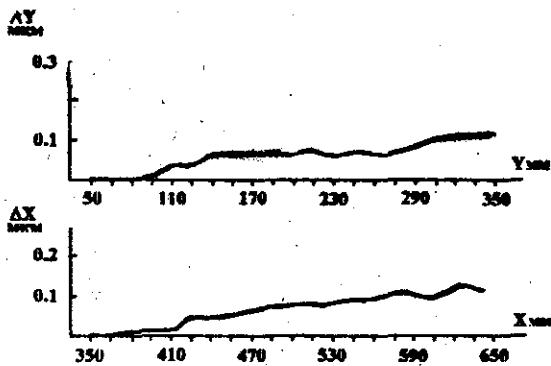


Рис.2. Поправки к миллиметровым штрихам шкал
прибора Аскорекорд-ЗДП-Е

Ошибки миллиметровых штрихов на шкалах x и y как правило указываются в заводском паспорте. Они не изменяются со временем, поэтому повторять на обсерваториях эти трудоемкие исследования нецелесообразно. У измерительных машин последних выпусков ошибки шкал невелики. Их суммарное влияние не превышает 0.8 микрона относительно центра шкалы. Для примера на рисунке 2 графически представлены поправки к миллиметровым штрихам шкал прибора Аскорекорд-ЗДП-Е.

Изменение масштаба вдоль шкалы ($r_{\text{ен}}$) оказалось менее $5 \cdot 10^{-6}$ от длины измеряемого интервала.

Неперпендикулярность шкал x и y полностью учитывается при астрометрической редукции по методу Тернера, поэтому исследовать ее не нужно.

Ходовые ошибки окулярных микрометров оказались менее 1 микрона, а периодические - менее 0.1 микрона.

Наши исследования показали, что используемые для астрометрических работ измерительные машины обладают минимальными инструментальными погрешностями, учет которых необходим крайне редко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюхина Н.М. и Каримов Д.К. - Сообщения ГАИШ, 1961, №104.
2. Богуславская Е.Я. и Козаренко Б.И. - Тр. ГАИШ, 1961, т.30.
3. Подобед В.В. - АЖ, 1951, т.28, вып.1.
4. Поттер Х.И. и Чудовичева О.Н. - Изв. ГАО, 1960, №166.
5. Крылов А.Г. и Юрьевич В.А. - Бюлл. станций оптического наблюдения ИСЗ, 1965, №43.
6. Крылов А.Г. - Бюлл. Ин-та астрофиз. АН ТаджССР, 1966, №48.
7. Богуславская Е.Я. Фотографическая астрометрия. - М.-Л., 1947.
8. Марек К.Х., Юрьевич В.А., Карский Г., Мочко Я. Инструкция по исследованию аппаратуры для фотографических наблюдений искусственных спутников Земли. Потсдам, 1969.
9. Крылов А.Г. - Бюлл. Ин-та астрофиз. АН ТаджССР, 1982, №71

ПАМЯТИ ТОВАРИЩЕЙ

Ольга Платоновна ВАСИЛЬЯНОВСКАЯ

В июле 1993 г. в городе Душанбе на 74 году жизни скончалась известный исследователь астроклимата и переменных звезд, кандидат физико-математических наук О.П. Васильяновская.

Родилась в 1919 г. в городе Вологде Российской Федерации. В 1938 г. поступила на математико-механический факультет Ленинградского государственного университета. В годы героической обороны Ленинграда с октября 1941 г. по март 1942 г. работала в одном из госпиталей. Награждена медалью "За оборону Ленинграда". Эвакуировалась, учебу возобновила в 1943 г., стала дипломированным астрономом в 1946 г. Из-за трудностей того времени диплом ей был вручен лишь 2,5 года спустя.

С 1947 г. и до ухода на пенсию работала в Сталинабадской астрономической обсерватории, преобразованной в 1958 г. в Институт астрофизики Академии наук Таджикистана. Первое десятилетие ее работы здесь пришлось на годы становления института. Активно участвовала в работах по службе неба, в наблюдениях солнечных и лунных затмений, в исследованиях переменных звезд и астероидов. Одновременно работала над диссертацией. Диссертацию "Исследование методов учета прозрачности атмосферы при дневных астрофотометрических наблюдениях" она защитила в Пулково в конце 1954 г. Она - один из первых кандидатов наук - астрономов в Таджикистане.

О.П. Васильяновская изучила астроклимат в пунктах Искандер-Куль, Санглок и Ходжа-Оби-Гарм с помощью менисковых телескопов АЗТ-7 по специальной программе Пулковской обсерватории, определила основные астроклиматические характеристики и показала, что лучшим местом является Санглок. Изучила физические свойства большого количества долгопериодических цефеид сферической составляющей Галактики, произвела их классификацию по нескольким характеристикам - кривым блеска, нестабильности периодов, колориметрическим, спектральным, пространственно-кинематическим и возрастным данным. Связала механизм перемены этих звезд с их эволюционным развитием. Она - автор свыше 40 опубликаций.

Много лет заведовала отделом переменных звезд института. Сочетала научную и общественную работу. Выступала с научно-популярными лекциями по линии общества "Знание".

Многолетний плодотворный и добросовестный труд О.П. Васильяновской отмечен Грамотой Президиума Верховного Совета Таджикской ССР, медалями "За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина" и "Ветеран труда". Она пользовалась большим авторитетом в коллективе института и у научной общественности.

Дирекция. Редакция.

Надыр Мамедович ХАШИМОВ

В октябре 1994 г. на 71 году жизни в городе Москве, куда незадолго до того переехал на жительство к сыну, скоропостижно скончался замечательный экспериментатор в области моделирования кометных явлений, кандидат физико-математических наук Н.М.Хашимов.

Родился в 1924 году в городе Самарканде. Закончил там же Узбекский государственный университет, получив специальность "физик". В последующие годы преподавал в Таджикском госуниверситете, проводил экспериментальные исследования в области физической электроники в Физико-техническом институте имени С.У.Умарова Академии наук Таджикистана. Получил интересные экспериментальные результаты в области взаимодействия заряженных частиц с поверхностью металлов, за которые ему была присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук.

С 1972 г., более 20 лет Н.М.Хашимов работал старшим научным сотрудником лаборатории экспериментальной астрофизики Института астрофизики Академии наук Таджикистана в области моделирования физических процессов, происходящих в кометах. Здесь он провел интересные масс-спектральные исследования. На созданных им установках он посредством бомбардировки в вакууме и при низких температурах образцов различных льдов моделировал воздействие частиц солнечного ветра на кометные пылинки и на поверхность ядер комет. Среди продуктов ионного распыления он обнаружил отрицательные ионы, такие сложные ионно-молекулярные образования как кластеры. Он сформулировал представления о зарядовых пятнах, о возможном механизме изменения блеска комет на больших гелиоцентрических расстояниях из-за влияния заряда поверхности ледяных пылинок и ядра кометы на скорость их сублимации. Образ комет, как естественных зондов межпланетной среды, получил, благодаря выполненным им экспериментам и подтверждению некоторых их результатов в наблюдениях комет, яркое подкрепление.

Н.М. Хашимов награжден несколькими медалями, в том числе медалью "За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 г.г.". Он пользовался большим уважением товарищей, был скромен, трудолюбив, отзывчив.

Дирекция. Редакция.

Анатолий Георгиевич КРЫЛОВ

В канун Нового 1996 года в городе Душанбе на 59 году жизни после тяжелой, продолжительной болезни ушел из жизни известный специалист в области фотографических наблюдений искусственных спутников Земли и фундаментальной астрометрии, кандидат физико-математических наук А.Г.Крылов.

Родился в 1937 году в станице Пролетарская Пролетарского района Ростовской области Российской Федерации. Закончил Московский государственный университет по специальности "астрономия" и аспирантуру при Астрономическом Совете АН СССР. Был направлен на работу на станцию ИСЗ при Институту астрофизики АН Тадж.ССР.

А.Г.Крылов проработал в Институте астрофизики всю свою жизнь. Сначала занимался фотографированием спутников и обработкой наблюдений на Гиссарской обсерватории и на советских станциях наблюдений ИСЗ за рубежом. После монтажа на Гиссарской обсерватории Высокоточной астрономической установки организовал на ее базе отдел астрометрии, которым руководил в 1975-1989 г.г. Отдел активно участвовал в реализации комплексных программ по фундаментальной и прикладной астрометрии.

Основные научные исследования А.Г.Крылова относятся к области фотографических наблюдений ИСЗ и к составлению фотографических каталогов положений звезд. Он много сделал в области методики наблюдений и измерений снимков, математического обеспечения автоматизированной обработки снимков. Им предложена оптимальная методика фотографических наблюдений различных ИСЗ, найдены способы измерений с максимальной точностью. А.Г.Крылов развил в нашем институте новое направление - фундаментальную астрометрию. На 40-см цейссовском астрографе Гиссарской обсерватории выполнено фотографирование с перекрытием южной зоны звездного неба от -2град. до -30град. по склонению, созданы уникальные программы астрометрической редукции, первая версия Гиссарского астрометрического каталога. Он - автор более 60 публикаций.

А.Г.Крылов много сделал для подготовки кадров астрометристов, преподавал в Таджикском госуниверситете, руководил работой аспирантов.

Он был активным спортсменом - альпинистом, был спортивным организатором и вдохновителем молодежи Гиссарской обсерватории.

Дирекция. Редакция.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.В.Борисов, Н.П.Ред'кина. Исследование бальмеровских декрементов звезды Т Тельца.....	3
Н.П.Ред'кина, О.Г.Заусаева. Исследование циклической активности звезд типа Т Тельца.....	7
Ю.В.Борисов, Н.Х.Миникулов. Циклические изменения эквивалентных ширин <i>H</i> и <i>K CaII</i> в спектре звезды Т Тельца.....	19
М.Р.Ахметзянов, Н.Х.Миникулов. Исследование кривой блеска <i>MZ</i> Лебедя.....	23
Ю.В.Борисов, Б.Н.Пилосова. Двумерная количественная спектральная классификация звезд <i>F0</i> – <i>K7</i> по спектрам с умеренной дисперсией. I. Эквивалентные ширины и глубины избранных линий поглощения в диапазоне $\lambda\lambda$ 3933–4508 Å.....	28
Ю.В.Борисов, Б.Н.Пилосова. Двумерная количественная спектральная классификация звезд <i>F0</i> – <i>K7</i> по спектрам с умеренной дисперсией. II. Температурные критерии классификации.....	54
Б.Н.Иркаев, В.Сатыволдиев, А.О.Юферев. <i>UBV</i> — фотометрия звезд в ассоциации Т4 Лебедя.....	61
Ю.В.Борисов. Исследование рабочих характеристик спектрографа метрового телескопа Ричи-Кретьена. II. Инструментальный профиль и селективность оптики спектрографа.....	64
А.Г.Крылов, О.Наимов. Исследование формы направляющих линеек измерительных машин.....	70
О.П.Васильяновская	73
Н.М.Хашимов	74
А.Г.Крылов	75

CONTENTS

Yu.V.Borisov, N.P.Red'kina. Investigation of T Tauri star balmer decrements.	3
N.P.Red'kina, O.G.Zausaeva. An investigation of the T Tauri stars cyclic activity.	7
Yu.V.Borisov, N.Kh.Minikulov. The cyclic changes of equivalent wides of H and K Call lines in the T Tauri spectra.	19
M.R.Akhmetzyanov, N.Kh.Minikulov. The investigation of the light curve of <i>MZ</i> Cyg.	23
Yu.V.Borisov, B.N.Pilosova. A two-dimensional quantitative spectral classification of F0–K7 stars with moderate dispersion spectra. I. The equivalent widths and depths of the selected absorption lines in the interval of $\lambda\lambda$ 3933–4508 Å.	28
Yu.V.Borisov, B.N.Pilosova. A two-dimensional quantitative spectral classification of F0–K7 stars with moderate dispersion spectra. II. The temperature criteria of classification.	54
B.N.Irkaev, V.Satyvoldiev, A.O.Yuferev. <i>UBV</i> — photometry of the T4 Cygnies assosiation stars.	61
Yu.V.Borisov. The investigation of the technical characteristics of the UAGS spectrograph for the 1-m RCC telescope. II. The instrumental profile and the aquating coefficients of the spectrograph's optical elements passband.	64
A.G.Krylov, O.Naimov. The investigation of the form of directional rulers of measuring machines.	70
O.P.Vasilyanovskaya	73
N.M.Khashimov	74
A.G.Krylov	75

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии наук Республики Таджикистан

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

М.Н.Максумов (ответ. редактор), Р.Ш.Бибарсов, В.С.Гетман, А.Ф.Заусаев, С.И.Ибодов (ответ. секретарь), Б.Н.Иркаев, Ф.Н.Масуми, Г.Г.Новиков, Н.П.Редъялна, Г.П.Чернова

Редактор издательства
Технический редактор
Корректор

Сдано в набор 20.01.98. Подписано в печать 2.02.98.
Формат 70x105 1/16. Бумага тип № . Сорт 1. Печать offsetная Усл.-печ. л. 67.
Уч.-изд. л. 66. Тираж 100 Заказ 9. Цена - руб. коп. договорная.

Издательство и типография "Дониш", 734029, Душанбе,
ул. Айни, 121, корп.2

Компьютерный набор и верстка Н.Х.Миннуколова

