

ИЗУЧЕНИЕ ПЕКУЛЯРНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТНОЙ
CP – ЗВЕЗДЫ θ Aur

С.Г.АЛИЕВ

*Шемахинская Астрофизическая Обсерватория**им. Н.Туси НАН Азербайджана**e – mail: sbaliev@yahoo.com*

Исследованы фазовые изменения интенсивности спектральных линий пекулярных элементов (Si, Mn, Ca), магнитного поля и блеска магнитной CP – звезды θ Aur.

Обнаружены две большие пекулярные области поверхности (пятен) расположенные вблизи магнитных полюсов. Получено, что наибольшее пекулярное (аномальное) пятно находится вокруг положительного полюса магнитного поля.

Ключевые слово – Химические аномалии – Магнитные Ap звезды .

1. Введение

Данная работа является продолжением исследований магнитных химически пекулярных звезд, на базе комплексно–спектральных, магнитных и фотометрических наблюдений [1,2].

Магнитные химически пекулярные звезды (в дальнейшем в тексте CP-звезд) расположены в пределах полосы главной последовательности (классы светимости V- III) в спектральном диапазоне ВО-FO. Для этих звезд наиболее общим является наличие мощного магнитного поля полоидального типа, в спектрах которых имеются аномально сильные линии большого набора различных химических элементов (Si, Cr, Sr, Mn, Eu и т.д.). Интенсивность продольного компонента магнитного поля меняются в широких пределах от нескольких десятков гаусс до десятков килогаусс [3].

Между химическим составом отдельных магнитных звезд имеются большие различия, иногда приводящие исследователей к заключению, что нельзя найти две CP – звезды с одинаковым химическим составом.

Согласно аномалиям химического состава магнитные CP – звезды подразделяются на пять основных групп: λ 4200 – Si, Si, Si - Cr – Eu, Sr – Cr – Eu и Sr. [4, 5]. Эта классификация статистически коррелирует с эффективной температурой магнитных звезд. Несмотря на наблюдаемые аномалии, глобальные характеристики этих звезд (интенсивности и профили водородных линий, распределение энергии в спектре, фотометрические индексы) не сильно отличаются от соответствующих характеристик нормальных звезд того же спектрального класса. Исходя из этого, к магнитным CP – звездам со времени начала исследования их атмосферы были применены те же методы, что и для нормальных звезд. В дальнейшем, анализ химического состава атмосфер этих звезд показал, что содержание аномальных элементов на порядок превышает содержание этих же

элементов в атмосфере Солнца. Разумеется, эти аномалии не охватывают звезду в целом, иначе ее глобальные характеристики не соответствовали бы нормальным звездам главной последовательности.

Согласно [6], неоднородность имеет место только в очень небольшой части (в виде пятна) звезды – звездной атмосфере.

Большинство работ по магнитным звездам часто дают неоднозначные сводки по химическому составу и по параметрам атмосферы. По-видимому, это обусловлено некорректностью прямого применения классических методов для нормальных звезд к магнитным CP- звездам и неоднородностью поверхности этих звезд.

Во многих работах спектральная переменность, присущая CP – звездам, не учитывалась, поэтому часть разногласий может быть обусловлена этим фактом.

Для выяснения физических процессов, происходящих в атмосферах CP - звезд, нам представляется весьма многообещающим провести комплексные исследования на основании спектральных, магнитных и фотометрических наблюдений для достаточно большого числа типичных представителей этих звезд.

С этой целью для дальнейшего исследования нами была составлена программа наблюдений для различных магнитных CP - звезд, расположенных в спектральном диапазоне B6 – F0.

В настоящей работе приводятся результаты комплексного исследования одной из типичных представителей кремниевых магнитных CP- звезд θ Au γ = HD40312 = HR2095 = 37Au γ .

Основные задачи данного исследования заключаются в следующем:

1. Уточнить значение периода для исследуемой магнитной звезды θ Au γ ;
2. На основе комплексных наблюдений выявить характер изменения спектра, блеска и их связи с магнитным полем.

Изменение спектра, в том числе линии водорода и некоторых пекулярных элементов (Si, Cr) у звезды θ Au γ , отмечались еще ранее в работах [7,8]. Винзер [9] проводил фотометрические наблюдения для этой звезды в системе UVV и обнаружил изменение блеска с периодом $P=1.3717$ -d.

В дальнейшем Адельман наблюдал эту звезду в системе стремгрена (uvby) и в отличие от Винзера получил изменение блеска с периодом $P = 3.62$ -d [10]. Библиография исследований для θ Au γ имеется в работе [11]. В этих работах отмечены различные значения для периода переменности этой звезды в пределах 0.7-4-d.

В связи вышеизложенным, мы решили еще раз вернуться к изучению различных пекулярных характеристик звезды θ Au γ на базе комплексных наблюдений.

2. Материал наблюдений и их обработка

Нами были проведены спектральные наблюдения звезды θ Au γ в двух вариантах. В первом варианте в качестве приемника излучения применялась фотографическая фотоэмульсия, а во втором варианте – современный приемник излучения – ПЗС матрица.

Журнал наблюдений и первичные результаты обработки CCD спектров опубликованы в [12]. Спектральные наблюдения звезды θ Au γ были начаты нами еще в сентябре 1978 г. на 2м телескопе Шамахинской Астрофизической Обсер-

ватории им. Н. Туси НАН Азербайджана. За время 1978 – 1986 гг. нам удалось получить более 60 высококачественных фотографических спектрограмм с обратной дисперсией $4\text{Å}^0/\text{мм}$. Время экспозиции в зависимости от условий погоды составляло около 10 – 15 минут. Некоторые спектрограммы были сняты настолько близко по фазе ($\Delta\varphi \approx 0.01-0.03$), что их можно отнести к одной фазе. Полученные спектрограммы охватывают синие области спектра в интервале длин волн $\lambda\lambda 3700 - 4800\text{Å}$.

Журнал наблюдений для высококачественных фотографических спектров, которые были использованы в данной работе, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Журнал наблюдений

№ п/п	JD 2440000+	Ф		№ п/п	JD 2440000+	Ф	
		1.3717	3.6188			1.3717	3.6188
1	3781.343	0.512	0.570	27	3834.447	0.226	0.245
2	3781.465	0.601	0.604	28	3834.467	0.241	0.251
3	3781.512	0.635	0.617	29	3834.488	0.256	0.256
4	3781.567	0.675	0.632	30	3834.513	0.274	0.263
5	3798.439	0.975	0.265	31	3834.541	0.294	0.271
6	3798.486	0.010	0.308	32	3834.562	0.310	0.277
7	3798.515	0.031	0.316	33	3841.339	0.251	0.150
8	3829.338	0.501	0.833	34	3841.355	0.263	0.154
9	3829.376	0.529	0.844	35	3841.432	0.319	0.175
10	3829.418	0.560	0.855	36	3841.467	0.344	0.185
11	3829.451	0.584	0.865	37	3841.503	0.370	0.195
12	3829.479	0.605	0.872	38	3841.551	0.405	0.208
13	3829.560	0.642	0.888	39	3841.590	0.432	0.219
14	3830.397	0.247	0.110	40	3841.629	0.462	0.230
15	3830.440	0.305	0.130	41	3842.245	0.911	0.400
16	3830.460	0.319	0.143	42	3842.480	0.083	0.472
17	3830.512	0.357	0.158	43	3842.533	0.121	0.480
18	3833.434	0.472	0.959	44	3842.563	0.143	0.490
19	3833.559	0.579	0.000	45	3842.606	0.175	0.500
20	3834.286	0.109	0.201	46	3843.278	0.664	0.685
21	3834.309	0.125	0.207	47	3843.324	0.698	0.698
22	3834.331	0.141	0.213	48	3843.335	0.705	0.701
23	3834.357	0.161	0.220	49	3843.422	0.769	0.725
24	3834.382	0.179	0.227	50	3843.469	0.804	0.738
25	3834.405	0.195	0.234	51	3843.514	0.836	0.750
26	3834.425	0.210	0.239	52	3843.534	0.753	0.780

Во втором столбце этой таблицы указан список юлианских дат для каждой спектрограммы. Там же приведены фазы для каждого из спектров, вычисленных по двум значениям периода – 1.3717-d, 3.6188-d, которые часто встречаются в литературе. Фотометрическая точность регистрации профилей линий оказались лучше, чем 1%.

Для контроля точности регистрации профилей линии и выявления возможных быстрых изменений спектра звезды 17 сентября 1978г. (JD2443829) были получены один за другим пять спектров θ Aur. Одновременно были получены по три спектра с одинаковым режимом для нормальных звезд α Del (B8) и θ Leo (A2). Сравнение этих спектров показывает, что почти все детали в спектрограммах отчетливо прослеживаются и имеются хорошие совпадения профилей линий. Высокая точность позволяет использовать линии с глубиной всего лишь 5-6%. Преимущество слабых линий перед сильными линиями заключается в том, что они образуются, в основном, в пятнах, где повышена аномалия химического состава (концентрация элемента) и интенсивности магнитного поля.

Для решения поставленной задачи нам необходимо было отождествление спектральных линий в спектре данной звезды. Следует отметить, что отождествление линии в спектрах магнитных CP - звезд представляет значительную трудность. Первое заключается в том, что ввиду повышенной концентрации различных химических элементов линии в спектрах этих звезд очень плотные, многие из которых не наблюдаются в спектрах нормальных звезд, второе – из-за неоднородности поверхностей этих звезд линии пекулярных элементов расщепляются на компоненты, которые ошибочно можно идентифицировать как (отдельные) линии других химических элементов. Кроме того, исследуемая звезда θ Aur быстро вращается, наблюдаемые линии довольно широкие ($\Delta\lambda > 1\text{ \AA}$) и многие из них очень мелкие (не глубокие). Поэтому выявить такие линии среди шумов записи представляет большую трудность. Чтобы избавиться от этих затруднений отождествление линий были проведены по четырем регистрограммам данной звезды, которые относятся к фазам $\varphi=0.00, 0.40, 0.50$ и 0.90 . Одновременно были использованы по две регистрограммы для нормальных звезд θ Leo (A0) и α Leo (B8). В результате нам удалось уверенно идентифицировать более 400 линий (за исключением водородных) в фотографических спектрах этой звезды. Большинство этих линий относятся к следующим элементам: H I, H II, Mg II, Si II, Si III ($\lambda 4553$), Ca II, Ti II, Fe I, II, Cr I, II, Mn II, Sr II, Y II, Pr II, Nd II, Sm II, Eu II, Gd II.

Кроме этих линий в спектре исследуемой звезды обнаружены несколько десятков уверенных линий, многие из которых соответствуют линиям тяжелых элементов $Z > 80$.

Таблица, содержащая список отождествленных линий, занимает очень много места, поэтому мы не приводим ее в данной статье. В этой части данной работы мы приводим результаты обработки для линий водорода и нескольких десятков линий основных пекулярных элементов Si, Mn и Ca.

Во всех выбранных спектрограммах были измерены полные (суммарные) эквивалентные ширины W_λ (средние по всему видимому диску звезды), полуширины $\Delta\lambda$ и центральные глубины R_0 . Для некоторых выбранных линий пекулярных элементов (Si, Mn) измерены и лучевые скорости V_r по центру тяжести этих линий (см. ниже).

Ошибки измерения вышеуказанных величин были определены по трем спектрограммам нормальных звезд α Del и θ Leo. Ошибка определения величин W_λ , в зависимости от интенсивности линий не превышает 8-10%, а для лучевых скоростей $\Delta V_r \leq 3\text{ км/с}$.

Для выявления пекулярных признаков исследуемой звезды необходимо было анализировать характер изменения параметров спектральных линий в течение периода. К сожалению, в литературе даются разные значения периода для этой звезды, в пределах 0.7-4 суток. Исходя из этого, в первую очередь мы решили провести поиски (или уточнить) периода, на основании комплексно-фотометрических, спектральных и магнитных наблюдений.

3. Поиски периода. Практически все магнитные CP-звезды являются фотометрическими, спектральными и магнитными переменными с одним и тем же периодом, который является периодом вращения звезды. Такая закономерность может распространяться и на исследуемую звезду θ Aur. Переменность блеска изучена на основе UVV наблюдений и для периода получен $P = 1.3717$ -d [9]. В дальнейшем эту звезду в системе Стремгрена ($uvby$) наблюдал Адельман и для периода получил $P=3.62$ -d [10]. Противоречивыми оказались и результаты магнитных $P = 3.61$ -d [11] и спектральных $P = 3.69$ -d [8] наблюдений.

Совокупности сведений различных источников позволили нам предположить, что период θ Aur может оказаться в пределах 1.37-d-3,7-d. Поэтому мы решили провести поиски периода в этом интервале времени с шагом 10 минут, который соответствует среднему значению экспозиции наших спектрофотометрических наблюдений. Для этого были использованы измеренные эквивалентные ширины линий H5-H7, $\lambda 3933$ CaII и $\lambda \lambda 4128-30$ SiII и данные по фотометрическим [10] и магнитным наблюдениям [11].

Периодограммы построены способом прямого перебора вероятных периодов. Для каждого вероятного периода по всем спектральным наблюдениям строилась фазовая кривая эквивалентных ширин выбранных линий. Затем, в каждом варианте определялось отклонение от среднего значения. Минимум средней величины отклонений считался признаком вероятного периода. Таким образом, были найдены несколько вероятных периодов, но наименьшее среднее отклонение оказалось для периодов вблизи 1.37 и 3.61 сут.

На рис. 1 показан пример периодограммы, построенный по этим двум значениям периода. В данном случае использовались интенсивности линии H δ , полученные из наших наблюдений. На рисунке по оси ординат отложены эквивалентные ширины H δ , по оси абсцисс - фазы, которые вычислены по вышеуказанным значениям периода. Найденные периоды соответствуют результатам, полученным ранее в работах [9] и [10]. Анализ построенных периодограмм, в том числе и рис. 1 показывает, что для всех комплексных наблюдений более удовлетворяющим периодом является $P = 3.6188$ сут.

Исходя из этого, в дальнейших исследованиях для звезды θ Aur фазы были вычислены по этому значению периода. Для сравнения результатов магнитных, спектральных и фотометрических наблюдений привязка по фазам была проведена по эфемериду $JD_{max}=2441238.88+3.6188E$. Отметим, что при поиске периода использованы материалы наблюдений, полученные с небольшим интервалом времени (1978- 86 гг.). Поэтому, для большего интервала времени необходимо еще уточнить полученное значение периода с помощью спектра мощности, на основе большего количества наблюдений.

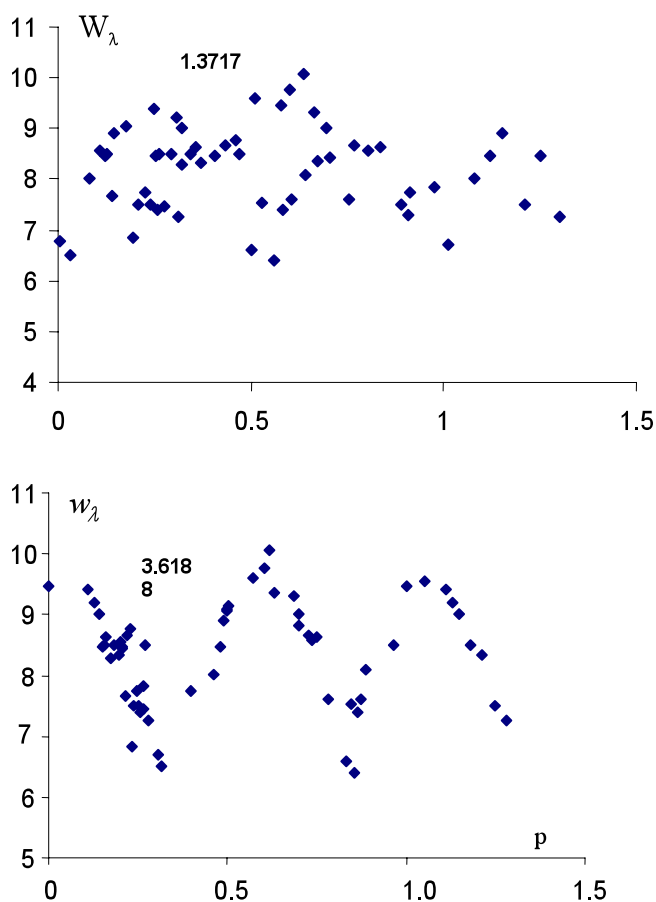


Рис 1. Фазовая зависимость интенсивности (W_λ) линии H_γ , свернутые по двум значениям периода $P_1=1.371$ -d, $P_2=3.6188$ -d.

4. Переменность спектральных линий.

Для решения поставленной задачи и выявления характера переменности спектральных линий в течение периода нами были измерены эквивалентные ширины линий водорода и пекулярных элементов (SiII, KCaII, FeII, MnII, CrII и т.д.).

Для определения основных параметров звезды (T_e , $\lg g$) в первую очередь были обработаны все линии водорода (H-линий) бальмеровской серии во всех фотографических спектрах. Для каждой H-линий построены фазовые зависимости эквивалентных ширин (W_λ). Все рассматриваемые H – линии показывают периодические и синхронные изменения. Однако, амплитуды изменения величин W_λ для всех H – линий неодинакова. Наибольшие изменения обнаруживаются у линий H_α - H_δ , которые эффективно формируются в глубинах $\tau \geq 0.6 - 0.7$. [12].

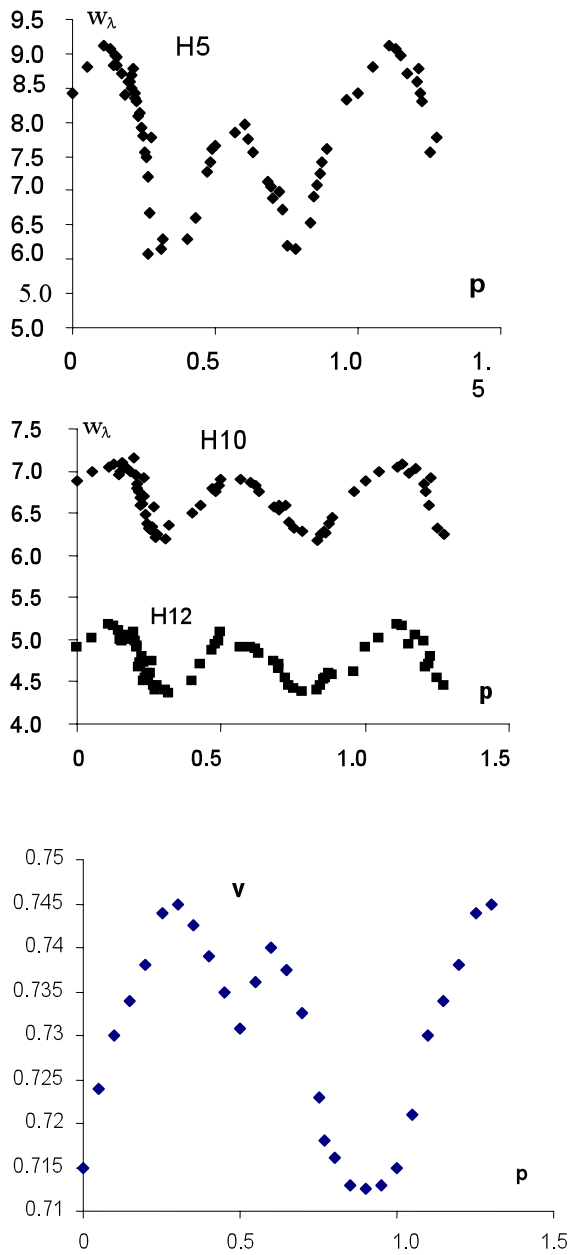


Рис.2. Сравнение изменений эквивалентных ширин линий H_5 , H_{10} , H_{12} и изменений блеска (v $\lambda 4100\text{\AA}$) по фазам периода.

В качестве примера на рис.2 представлены изменения интенсивности для линий H_γ , H_{10} и H_{12} в течение периода. Для сравнения, на этом же рисунке приведены изменения блеска (v $\lambda 4100\text{\AA}$) по наблюдениям [10]. Отсюда видно, что эквивалентные ширины H – линий совпадают с изменением блеска исследуемой звезды. Мы рассмотрели также фазовые изменения эквивалентных ширин линий

пекулярных элементов SiII, MnII и CaII. На рис. 3 приведены изменения интенсивности линий SiII $\lambda 4128$ и KCaII $\lambda 3933$ с фазой периода. Как видно, изменение W_λ линий кремния происходит в фазе с W_λ линий KCaII. На рис.3 также приведены кривые изменения интенсивности магнитного поля (Be) по наблюдениям [11].

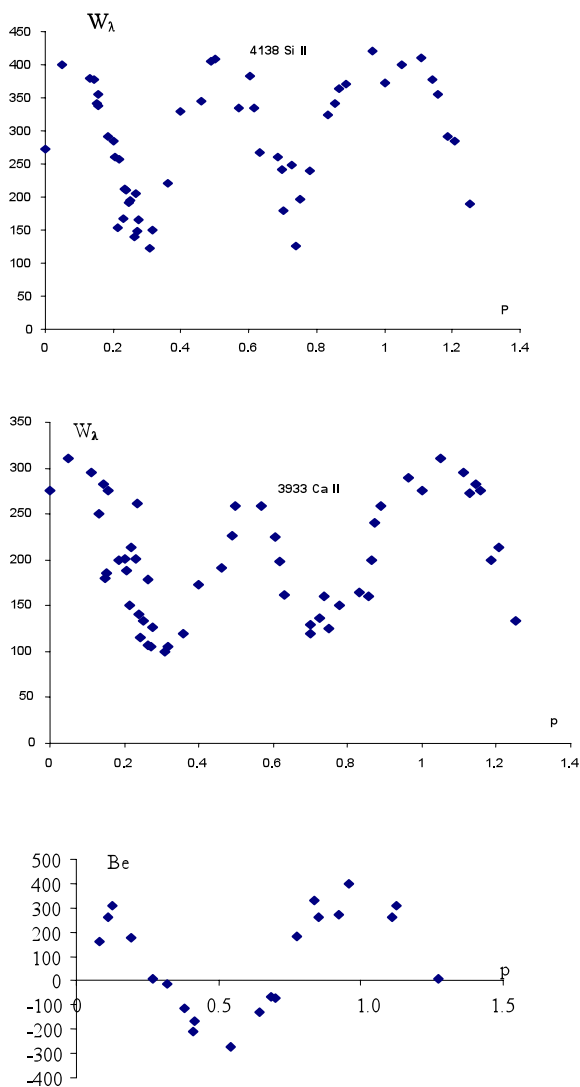


Рис. 3. Сопоставление изменений W_λ для линий $\lambda 4128$ SiII, $\lambda 3933$ CaII и изменений напряженности магнитного поля (Be).

Из рис.3 видно, что эквивалентные ширины линий кремния, кальция и величин Be меняются синхронно. Сопоставления фазовых зависимостей (рис.2,3) показывают, что фазы экстремумов изменения спектра, блеска и магнитного поля совпадают в пределах точности измерений. Во всех фазовых зависимостях

обнаруживается двойная волна. Согласно модели наклонного ротатора этот наблюдаемый факт свидетельствует о наличии двух пекулярных (аномальных) областей на поверхности данной звезды.

По фазовым кривым линий водорода и пекулярных элементов нам удалось определить долготы (ℓ) этих областей, которые соответствуют $\ell \approx 30^\circ$, 200° и расположены на диаметрально противоположных участках поверхности данной звезды.

Таким образом, анализ результатов комплексных наблюдений HD 40312 позволяет нам сделать следующие выводы:

1. Найденные значения периода $p = 3.6188$ сут. в равной степени удовлетворяет всем комплексным наблюдениям и является периодом вращения звезды.

2. Обнаружено, что интенсивности магнитного поля, линий водорода и пекулярных элементов (Si, Mn и Ca), а также блеск звезды, в течение периода изменяются синхронно.

3. Получено, что основные пекулярные элементы, такие как Si, Mn и Ca концентрируются в двух больших областях поверхности (пятнах), которые расположены вокруг магнитных полюсов на поверхности звезды.

В заключении, автор приносит благодарность за построение графиков и помощь при оформлении статьи к печати Иманлы Г.С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев С.Г., Зейналов С.Г. Изучение пятнистой структуры атмосферы у магнитной CP-звезды 56 Ari. Azerbaijan National Academy of Sciences Transactions, Ser. Phys-Matemat. And Tech. Sciences Physics and Astron. Vol. XXVI, № 2. (2006), с.222.
2. Алиев С.Г. Изучение пекулярных особенностей магнитной CP-звезды SX Ari. BDU. Fizika fakul. "Fizikanın aktual problemləri", IV. Res. Elmi konfrans.material. Bakı (29-30 iyun 2006). S.17.
3. H.W. Babcock. Astrophys. j. vol. 132. (1960) p.521.
4. M.Jaschek, C.Jaschek. The position of the peculiar A-type stars in the color-absolute magnitude diagram. Z. Astrophys vol.45. (1958). P.35-48.
5. K.Osawa. Spectral classification and three-color photometry of A-type peculiar stars. Ann.Tokyo Astron Obs. Vol.9. Ser.2. (1965).P.123-144.
6. В.Л.Хохлова. Магнитные звезды. Итоги науки и техники. Астрономия. ВИНТИ. М.1983. т.24.с.233-289.
7. W.A.Hiltner, W.W. Morgan Astrophys. J. vol.99 (1944). P.318.
8. Алиев С.Г., Рустамов Дж. Н. Астрономический циркуляр. № 1533. (1988) с.13-15.
9. J. Winzer Ph.D. thesis. University of Toronto (1974).
10. S.J.Adelman. Astron. Sos. Pacific. vol.109. (1997) p.9-14.
11. E.F.Borra, J.D.Landstreet. Astrophys. J. Suppl. Ser., 42 (1980) p. 421.
12. Алиев С.Г., Исмаилов Н.З. Proc. Inter. Conf. "N.Tusi and Modern Astronomy". Baku. Poligraf – Servis – (2002) P.221.
13. Копылов И.М. Изв. КрАО. Том 35. 1966. с.11.

**ΘAUR KR-ULDUZUNUN PEKULYARLIQ
XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏDQIQI**

S.H.ƏLİYEV

XÜLASƏ

θ Aur KP-mağnit ulduzunda pekulyar elementlərin xəttlərinin intensivliklərinin, mağnit sahəsinin və həmçinin ulduzunun parlaqlığının fazadan asılı olaraq dəyişmələri tədqiq edilmişdir.

Aşkar edilmişdir ki, ulduzun mağnit qütbləri ətrafında yerləşən iki böyük oblastlar (ləkələr) vardır.

Müəyyən edilmişdir ki, ən çox pekulyarlığa malik olan ləkə mağnit sahəsinin müsbət qütbündə yerləşmişdir.

Aparıcı söz : Kimyəvi pekulyar, Ap mağnit ulduzları

**THE STUDY OF THE PECULIARITIES OF PROPERTY OF THE MAGNETIC
CP- STAR ΘAUR**

S.Q.ALIYEV

SUMMARY

Phase variation intensity of the lines peculiar elements (Si, Mn, Ca), of magnetic field and light curves were analysed of the magnetic CP-star θ Aur.

Two large peculiarity region (spots) located near magnetic poles has been found.

The largest peculiarity spot are located near the positive magnetic (anomalies) pole was determined on the surface that star.

Key word: Chemically peculiar, magnetic Ap stars.