

Исследование неправильной переменной звезды UX Ориона

Г. В. Зайцева

Для неправильной переменной UX Ori получено более 100 фотоэлектрических наблюдений величин V и показателей цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ и построены кривые их изменения в четыре наблюдательных сезона. Показано, что распределение энергии в спектре этой звезды соответствует не ее спектральному классу A2–A3, а значительно более позднему (примерно A9). Это покраснение является аномальным, т. к. оно не может быть вызвано межзвездным поглощением. Возможное его объяснение получено в предположении существования у UX Ori околосветной пылевой оболочки. Сложный характер изменения показателей цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ звезды объяснен изменениями как цветовой температуры звезды, так и относительной интенсивности наблюдаемой в ее спектре водородной эмиссии.

The Study of the Irregular Variable Star UX Orionis

by G. V. Zajtseva

More than 100 photoelectric observations of the magnitude V and colour indices $(B-V)$ and $(U-B)$ have been obtained for the irregular variable UX Ori and the curves of their variations for four observational seasons are constructed. It is shown that the energy distribution in the spectrum of this star corresponds not to its spectral class A2–A3 but to considerably later one (approximately A9). This reddening is abnormal because it can not be due to the interstellar absorption. The possible interpretation is obtained assuming that UX Ori possesses the circumstellar dust envelope. The complex character of the variations of $(U-B)$ and $(B-V)$ colour indices of the star is interpreted by the changes in colour temperature of the star and the relative intensity of the hydrogen emission observed in its spectrum.

UX Ori — изолированная неправильная переменная (Холопов, 1959) спектрального класса A2—A3 с эмиссией H α (Злей, Бэбкок, 1943). Фотографические наблюдения этой звезды, полученные рядом авторов за последние 60 лет, проанализированы Драгомирецкой (1967). В ее работе отмечено чередование у UX Ori периодов медленных колебаний блеска с амплитудой 0.^m6 и быстрых колебаний с амплитудой до 2^m.

Изучение спектров UX Ori привело нас к выводу об аномальном покраснении этой звезды (Зайцева, 1971a). Спектрофотометрическая температура UX Ori, определенная по участку спектра $\lambda\lambda$ 4000—6000 Å, оказалась приблизительно на 4000° ниже, чем та, которая соответствует ее спектральному классу A2—A3. При этом мы учитывали понижение спектрофотометрической температуры UX Ori, вызываемое избирательным межзвездным поглощением у звезд агрегата Ориона, составляющее примерно 1000°.

Нами был обнаружен также сложный характер изменения показателей цвета (B—V) и (U—B) UX Ori (Зайцева, 1971b).

Цель настоящей работы состояла в более подробном изучении кривой блеска, цветовых изменений и аномального покраснения UX Ori. Материалом послужили фотоэлектрические наблюдения UX Ori, которые были начаты на Крымской станции ГАИШ в 1966 г. До 1970 г. наблюдения проводились на 48-см рефлекторе, а затем на 60-см рефлекторе. За время наблюдений было получено более 100 измерений блеска в системе UB ν .

В таблице 1 приведены наблюдения UX Ori. В первом столбце дана юлианская дата момента наблюдения, во втором — звездные величины V, в третьем и четвертом — показатели цвета (B—V) и (U—B). На рис. 1 приведены кривая блеска в лучах V и кривые показателей цвета (B—V) и (U—B). Вертикальными черточками отмечены средние квадратичные ошибки наблюдений в тех случаях, когда они превосходят 0.^m02 — 0.^m03.

Таблица 1

J.D.24...	V	(B—V)	(U—B)	J.D.24...	V	(B—V)	(U—B)
39136.312	10.11	+0.32	+0.49	40924.394	10.34	+0.44	+0.67
137.297	10.32	+0.41	+0.47	927.360	10.26	+0.39	+0.52
406.805	11.15	+0.57	+0.59	939.446	10.32	+0.46	+0.64
407.583	11.14	+0.46	+0.53	942.304	10.16	+0.43	+0.60
408.534	11.33	+0.50	+0.44	966.284	10.56	+0.52	+0.63
414.590	12.00	+0.45	+0.36	967.281	10.58	+0.51	+0.63
416.575	11.94	+0.46	+0.38	968.325	10.42	+0.48	+0.62
437.502	11.90	+0.47	+0.23:	973.297	10.34	+0.47	+0.59
438.531	11.92	+0.44	+0.43	977.335	10.05	+0.38	+0.57
442.478	12.03	+0.43	+0.36	978.292	10.50	+0.48	+0.72
452.498	12.23	+0.30	+0.30:	979.313	10.59	+0.49	+0.74
480.423	10.88	+0.51	+0.49	982.274	10.23	+0.44	+0.64
40241.30	11.30	+0.48	+0.53	983.332	10.23	+0.45	+0.66

Таблица 1 (продолжение)

J.D.24...	V	(B-V)	(U-B)	J.D.24...	V	(B-V)	(U-B)
40995.310	10.62	+0.53	+0.57	41336.353	10.08	+0.38	+0.48
41001.348	10.46	+0.43	+0.64	339.294	10.80	+0.42	+0.59
003.311	10.45	+0.49	+0.65	346.397	11.37	+0.53	—
004.245	10.48	+0.47	+0.65	348.354	11.11	+0.40:	—
017.273	10.19	+0.40	+0.57	349.327	10.80	+0.46	+0.61
188.558	10.93	+0.49	+0.58	354.317	11.16	+0.55	+0.66
194.551	11.68	+0.36	+0.41	355.236	11.52	+0.52	+0.48
196.562	11.57	+0.42	+0.46	356.226	11.27	+0.51	+0.60
198.574	11.22	+0.46	+0.43	394	11.16	+0.48	+0.60
204.574	11.97	+0.46	+0.40	357.315	11.14	+0.56	+0.63
205.524	11.87	+0.46	+0.49	361.254	11.75	+0.45	+0.38
206.567	11.32	+0.53	+0.65	369.271	11.77	+0.47	+0.47
207.585	11.32	+0.48	—	372.221	11.73	+0.44	+0.42
211.581	11.16	+0.53	+0.65	390.28	10.56	+0.41	—
217.591	10.20	+0.43	+0.60	391.24	10.51	+0.43	+0.59
220.552	10.29	+0.41	+0.60	392.231	10.58	+0.42	+0.54
229.549	10.54	+0.47	+0.63	395.259	10.98	+0.50	+0.46
235.536	10.79	+0.50	+0.58	396.241	10.75	+0.46	+0.54
236.508	10.59	+0.46	+0.62	400.239	10.22	+0.38	+0.48
238.582	10.55	+0.46	+0.59	564.563	11.07	+0.46	+0.49
240.553	10.75	+0.48	+0.61	570.578	11.90	+0.42	+0.24
247.537	10.99	+0.50	+0.57	573.551	11.14	+0.54	+0.52
253.469	10.85	+0.52	+0.61	577.551	10.98	+0.49	+0.52
254.530	11.86	+0.48	+0.31	579.533	11.63	+0.41	+0.34
262.444	11.44	+0.54	+0.62	596.560	11.43	+0.41	+0.34
264.567	11.23	+0.54	—	599.545	10.99	+0.44	+0.40
265.464	11.30	+0.56	+0.63	619.407	12.34	+0.25	+0.12
267.485	11.82	+0.42	+0.50	632.458	11.90	+0.35	+0.25
268.473	11.68	+0.49	+0.51	637.372	11.65	+0.42	+0.31
289.497	10.80	+0.52	—	653.426	11.41	+0.46	+0.39
297.554	11.19	+0.48	—	654.363	11.29	+0.47	+0.42
300.474	11.33	+0.44	+0.48	655.330	11.27	+0.47	+0.47
312.500	10.14	+0.36	+0.42	658.482	11.61	+0.41	+0.37
313.318	10.29	+0.41	+0.51	682.350	10.92	+0.52	+0.55
321.322	11.27	+0.45	+0.51	684.351	10.84	+0.52	+0.53
325.338	11.56	+0.44	+0.44	685.406	10.49	+0.44	+0.50
334.318	10.13	+0.36	+0.41	686.303	10.54	+0.44	+0.51
335.304	10.05	+0.36	+0.44				

Из рисунка 1 видно, что в 1966 г. амплитуда величин V достигала 2^m , причем в минимуме блеска показатели цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ были меньше, чем в максимуме. В сезон наблюдений 1970–71 гг. происходили колебания около наибольшего блеска звезды с амплитудой 0.6^m . Характер цветовых изменений был иным, чем в 1966 г., поскольку уменьшения блеска звезды сопровождалось увеличениями показателей цвета $(B-V)$ и $(U-B)$. В 1971–72 гг. активность звезды вновь возросла. По нашим на-

блюдениям в этот сезон можно отметить изменения блеска на 2^m за 5–6 дней. Наибольшее зарегистрированное нами изменение блеска со-

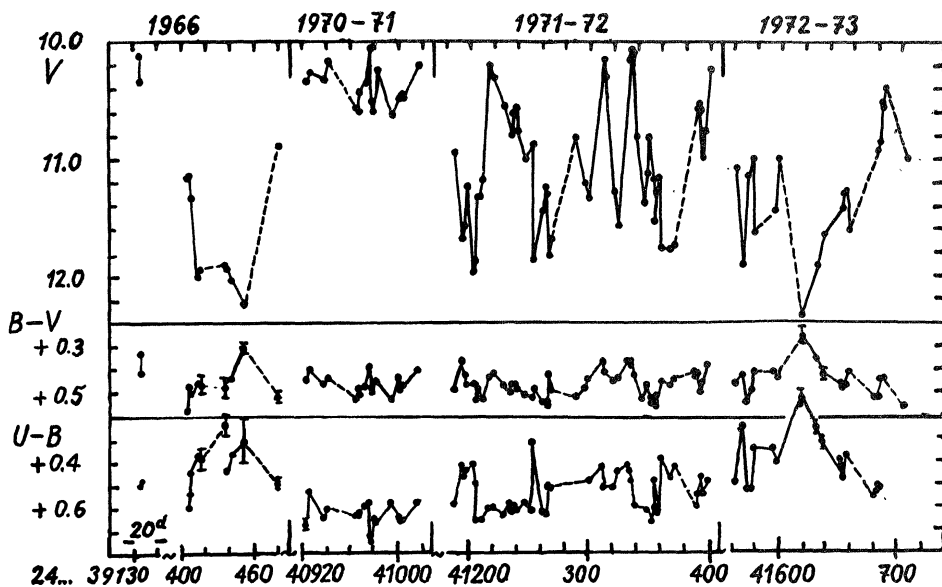


Рис. 1

ставляет 1^m за 1 день. В этот период не было строгой определенности в соотношении между изменениями блеска звезды и ее показателей цвета, но в общем можно сказать, что при сильных ослаблениях блеска показатели цвета уменьшились, причем $(U-B)$ в большей степени, чем $(B-V)$. В последний сезон наблюдений 1972–73 гг. средний блеск звезды был ниже, чем в предыдущий, т. е. звезда была в глубоком и продолжительном минимуме. В этот период можно отметить более четкую зависимость между блеском и показателями цвета, такую же, что и для 1966 г.

С помощью диаграмм, представленных на рис. 2, мы выделили две составляющие в изменении блеска UX Ori. Первая составляющая — изменение блеска от наибольшего ($10.^m0-10.^m2$) до среднего (11^m). Уменьшению блеска соответствует увеличение показателей цвета $(B-V)$ и $(U-B)$. Вторая составляющая — изменение блеска от среднего (11^m) до минимального (12^m). Она характеризуется обратным изменением показателей цвета, т. е. при уменьшении блеска показатели цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ уменьшаются.

Большой разброс точек на диаграмме $V, (U-B)$ объясняется не только большими ошибками наблюдений в фильтре U, но он имеет, по-видимому, и физический смысл. Путем осреднения восьми значений ве-

личин V и соответствующих показателей цвета в наибольшем, среднем и наименьшем блеске мы определили амплитуды для двух указанных

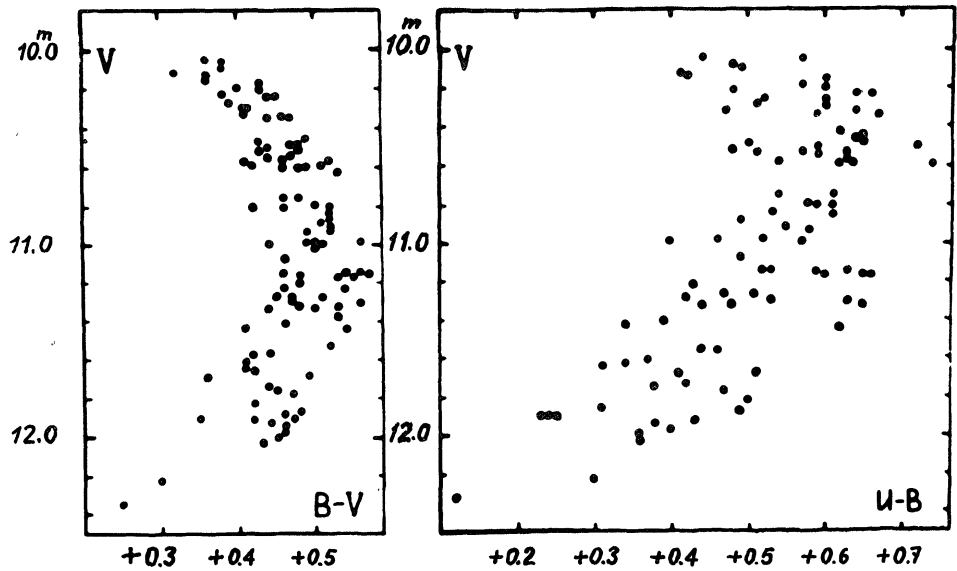


Рис. 2

составляющих. Значения этих амплитуд в лучах V, В и U приведены в таблице 2.

Таблица 2

	A_V	A_B	A_U
Сост. 1	1 ^m 0	1 ^m 2	1 ^m 3
Сост. 2	0.8	0.7	0.5

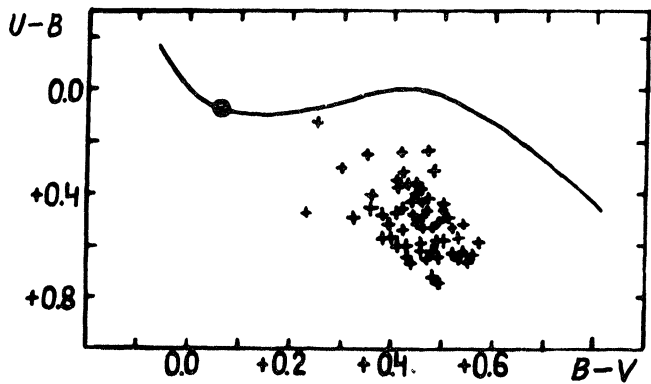


Рис. 3

На рисунке 3 показана трехцветная диаграмма (U-B), (B-V). Кривая линия представляет собой положения, занимаемые нормальными звездами класса светимости V. Наши наблюдения UX Ori нанесены на

эту диаграмму крестиками. Как видно из рис. 3, наблюдаемые показатели цвета UX Ori значительно больше (краснее), чем те, которые соответствуют ее спектральному классу A2—A3 (положение звезды A2 отмечено кружком).

Аналогичный вывод был получен в результате проведенного нами сравнения распределения энергии в спектрах UX Ori и звезды сравнения BD — 4°1032 спектрального класса G5. Для двух ночей были определены разности величин этих двух звезд с фильтрами UBV и интерференционными клиньями (Черепашук и др., 1973). Измерения с клиньями проводились в двух спектральных областях — $\lambda\lambda$ 6850 и 7900 Å. Блеск V UX Ori различался в эти две ночи на 0.^m3. Распределение энергии в спектре звезды сравнения было принято таким же, что и для звезды 70 Vir (Ириарте и др., 1965) спектрального класса G5V. На рис. 4 представлены кривые распределения энергии для UX Ori и звезд спектральных классов G5V и A2V. Нуль-пункты этих кривых по оси ординат — произвольные. Для удобства сравнения обе кривые для UX Ori приведены к одному блеску V. Из рис. 4 видно, что распределение энергии в спектре UX Ori соответствует не ее спектральному классу A2—A3, а более позднему (примерно A9). Можно также отметить (рис. 4), что при ослаблении блеска у UX Ori происходит относительное усиление излучения в ультрафиолетовой и красной областях. В отличие от ранее опубликованной работы (Зайцева, 1971a) здесь распределение энергии в спектре UX Ori найдено для значительно большего интервала длин волн.

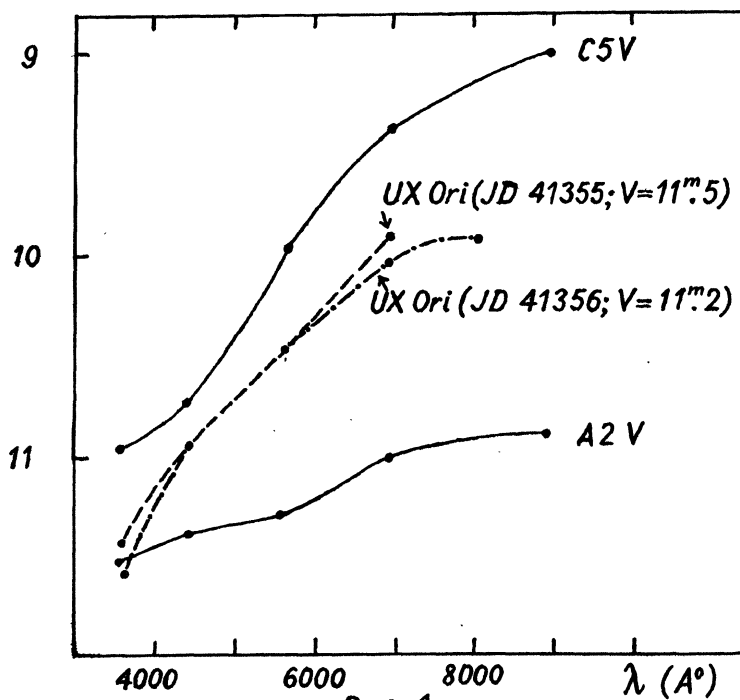


Рис. 4

Вопрос о межзвездном поглощении в направлении UX Ori обсуждался ранее (Зайцева, 1970). Было установлено, что соответствующий избыток цвета $E_{B-V} = 0.08$. С целью дополнительного исследования величины межзвездного поглощения нами были измерены величины V и показатели цвета $(B-V)$ и $(U-B)$ восьми звезд, находящихся в окрестностях UX Ori не далее $20'$ от этой звезды. Эти данные вместе со спектрами измеренных звезд HDE приведены в таблице 3. Пользуясь Q -методом (Джонсон и Морган, 1953), мы вычислили нормальные показатели цвета $(B-V)_0$ и избытки цвета E_{B-V} для этих звезд, приведенные в табл. 3 (в седьмом и восьмом столбцах). Для двух звезд спектральных классов K0 и K7 θ -метод не применялся. Мы видим, что для большинства окрестных звезд избытки цвета невелики, они существенно меньше тех, которые следует принять для UX Ori, чтобы сместить точки, соответствующие наблюдаемым значениям $(B-V)$ и $(U-B)$ в район двухцветной диаграммы, занимаемый звездами спектральных классов A2–A3. Это служит дополнительным доказательством того, что аномальное покраснение UX Ori не вызвано селективной межзвездной экстинкцией.

Таблица 3

BD	Sp	V	(B-V)	(U-B)	Q	$(B-V)_0$	E_{B-V}
-4°1033	F8	10.77	+0.44	+0.01	-0.31	+0.44	0.00
-4 1037	G0	9.74	+0.66	+0.32	-0.16	+0.29	0.17
-4 1036	F8	10.72	+0.61	+0.13	-0.31	+0.44	0.17
-4 1028	K0	9.48	+0.99	+0.91	—	—	—
-4 1031	K7	9.32	+1.48	+2.03	—	—	—
-4 1032	G5	8.73	+0.74	+0.28	-0.25	+0.68	0.06
-3 999	A2	8.42	+0.10	+0.13	+0.06	+0.08	0.02
-3 996	F2	10.95	+0.58	+0.20	-0.22	+0.34	0.24

Следует отметить, что расхождения между показателем цвета $(B-V)$ и спектральным классом, подобные тому, что у UX Ori, были ранее найдены Венцелем у некоторых звезд типа T Tau. Венцель привел убедительные доказательства того, что в случае RY Tau это аномальное покраснение вызвано коротковолновым продолжением излучения ее инфракрасного источника (Венцель, 1970). Вполне вероятно, что аномальное покраснение UX Ori родственно по своему происхождению наблюдаемому у звезд типа T Tau. Однако избыточное излучение UX Ori в инфракрасной области пока еще никем не обнаружено. Поэтому, не исключая возможности существования у дополнительного источника инфракрасного и красного излучения, мы рассмотрим здесь, как причину ее покраснения, селективную экстинкцию в околозвездной оболочке.

На двухцветной диаграмме (рис. 5) тремя кружками отмечены наблюдаемые значения показателей цвета UX Ori при следующих значениях ее блеска: максимальном ("max"), минимальном ("min") и том, которому соответствует излом на диаграмме V, (B-V) ("z"). Далее мы сместим эти три кружка в место двухцветной диаграммы, приблизительно соответствующее спектральному классу UX Ori A2-A3. При этом мы предполагаем, что зависимость экстинкции околозвездной пылевой оболочки от длины волны такая же, что и для межзвездной среды ($E_{U-B}/E_{B-V} = 0.72$). Таким образом находим, что для UX Ori избыток цвета $E_{B-V} = 0.30$.

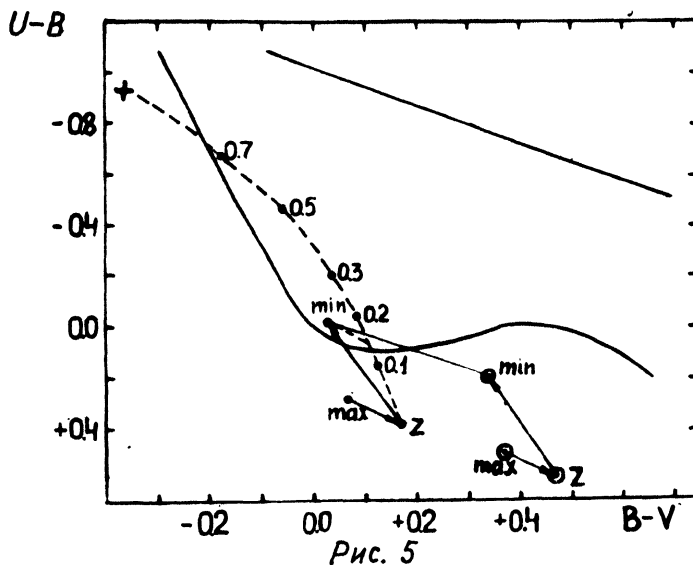


Рис. 5

Направление перемещения на двухцветной диаграмме из точки "max" в точку "z" таково, что оно может быть вызвано изменением температуры поверхности звезды. Вычислим пределы изменения цветовой температуры звезды в точках "max" и "z" по формуле (Мартынов, 1967):

$$(B-V) = \frac{7900}{T} - 0.72$$

При $(B-V)_0^{\max} = 0.07$ и $(B-V)_0^z = 0.17$, получим $T_{\max} = 10000^\circ$ и $T_z = 8900^\circ$. Отметим, что перемещение из точки "max" в точку "z" можно объяснить также переменной величиной экстинкции в околозвездной оболочке. Какое из этих двух объяснений соответствует действительности, сейчас решить трудно.

Для того, чтобы объяснить перемещение UX Ori на двухцветной диаграмме из точки "z" в точку "min", мы предположим, что точка "z" еще соответствует только тепловому излучению звезды, но далее доля этого излучения уменьшается, а доля водородной эмиссии в континууме и в линиях возрастает. Крестиком на диаграмме обозначены значения показателей цвета излучения оптически тонкого облака водородного газа с электронной плотностью $n_e \geq 10^6 \text{ см}^{-3}$ и электронной температурой $T_e = 10000^\circ$ (Гершберг, 1967). Точки на штриховой линии, обозначенные как 0.1, 0.2 ... 0.7 соответствуют различным долям водородной эмиссии в полном излучении звезды в лучах В. Показатели цвета (B-V) и (U-B) той доли, которая принадлежит тепловому излучению звезды, приняты такими же, как в точке "z", перенесенной с учетом покраснения, вызываемого околосветной оболочкой. Соответствие между наблюдаемым направлением перемещения на двухцветной диаграмме и тем, которое найдено в предположении возрастания доли водородной эмиссии, можно считать удовлетворительным. Таким образом можно заключить, что в минимуме блеска UX Ori доля, вносимая водородной эмиссией, составляет около 15% в лучах В.

Дополнительным подтверждением сделанного предположения могут служить наблюдавшиеся изменения интенсивности H α -эмиссии в спектре UX Ori (Зайцева, Колотилов, 1972). Было найдено, что при уменьшении блеска звезды полное излучение в этой линии, выраженное в единицах непрерывного спектра, увеличивается.

Таким образом, можно представить суммарное излучение UX Ori состоящим из: 1) собственного теплового излучения звезды; 2) водородной эмиссии, наиболее сильно проявляющейся в минимуме блеска звезды, и 3) возможно, мы наблюдаем действие околосветной пылевой оболочки, выражающееся в общем аномальном покраснении звезды.

В заключение выражаю благодарность В.М.Лютину за помощь в наблюдениях.

Литература:

- Венцель, 1970 — Wenzel W., MVS 5, 117.
 Гершберг Р.Е., 1967, Изв. КрАО 36, 236.
 Джонсон и Морган, 1953 — Johnson H.L., Morgan W.W., ApJ 117, 313.
 Драгомирецкая Б.А., 1967, "Проблемы космической физики", вып. 2, 134.
 Зайцева Г.В., 1970, ПЗ 17, 294.
 Зайцева Г.В., 1971а, Астрофизика 7, 333.
 Зайцева Г.В., 1971б, АИ № 628.
 Зайцева Г.В., Колотилов Е.А., 1972, АИ № 699.
 Ириарте и др., 1965 — Iriarte B., Johnson H.L., Mitchell R.I., Wisniewsky W.K., Sky and Tel. 30, 21.

Мартынов Д.Я., 1967, "Курс практической астрофизики", Наука, М., стр. 447.

Холопов П.Н., 1959, АЖ 366, 295.

Черепашук А.М., Лютый В.М., Халиуллин Х.Ф., 1973, АЖ 50, вып. 4.

Элвей и Бэбкок, 1943 — Elvey C.T., Babcock H.W., ApJ 97, 423.

Крымская станция ГАИШ

*Поступила в редакцию
в мае 1973 г.*