

Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej



Paweł Koziatek

Klasyfikacja widmowa olbrzymów w
wybranych układach symbiotycznych i próba
ekstrakcji widma gorącego składnika.

Praca magisterska
opiekun: dr hab. Maciej Mikołajewski

Toruń, 2007

Chciałbym złożyć serdeczne podziękowania na ręce mojego Promotora dr hab. Macieja Mikołajewskiego za jego wiedzę i umiejętności, którymi zawsze chętnie się ze mną dzielił, prowadząc mnie przez kolejne etapy tej pracy. Szczególne słowa uznania i wdzięczności należą się mgr Jędrzejowi Osiwale, który udostępniając swoje dane oraz pomagając mi w zrozumieniu idei pracy bardzo przyczynił się do jej powstania. Dziękuję też moim kochanym Rodzicom za to, że niezmiennie wspierali mnie przez wszystkie lata w dążeniu do celu.

UMK zastrzega sobie prawo własności niniejszej pracy magisterskiej w celu udostępniania dla potrzeb działalności naukowo-badawczej lub dydaktycznej.

Spis treści

1	Wstęp	7
1.1	Gwiazdy symbiotyczne	7
2	Pomiary TiO w widmach standardów typu M	11
2.1	Rejestrowanie widm	11
2.2	Metoda pomiaru pasm TiO	12
2.3	Wyniki pomiarów pasm TiO w widmach standardów	14
2.4	Oszacowanie typu widmowego oraz pomiaru struktur TiO dla zmiennych typu mira	19
2.5	Typ widmowy w zależności od struktur TiO	26
2.6	Średnie typy widmowe i rozkłady energii w ich widmach	30
3	Rozkłady energii w widmach gwiazd symbiotycznych	35
3.1	Kalibracja danych obserwacyjnych	35
3.2	Rozkłady energii gwiazd symbiotycznych	38
3.2.1	AG Peg	38
3.2.2	AX Per	41
3.2.3	BX Mon	43
3.2.4	CI Cyg	45
3.2.5	NQ Gem	47
3.2.6	RS Oph	49
3.2.7	T CrB	51
3.2.8	TX CVn	53
3.2.9	YY Her	55
3.2.10	Z And	57
3.2.11	ZZ CMi	59
3.2.12	MWC 560	61
3.2.13	V934 Her	62

4	Typy widmowe gwiazd symbiotycznych	63
5	Ekstrakcja widma gorącego składnika	67
5.1	Widma olbrzymów typu M	67
5.2	Widmo gorącego składnika	72
5.3	Podsumowanie	81
6	Suplement 1	83
6.1	T CrB	83
6.2	V934 Her	88
6.3	ZZ CMi	90
7	Suplement 2	95
7.1	AG Dra	96
7.2	AG Peg	98
7.3	ZZ CMi	99
7.4	o Ceti	100
7.5	AX Per	101
7.6	BX Mon	102
7.7	CH Cyg	103
7.8	CI Cyg	105
7.9	EG And	106
7.10	MWC 560	107
7.11	NQ Gem	108
7.12	PU Vul	109
7.13	R Aqr	110
7.14	RS Oph	111
7.15	T CrB	112
7.16	TX CVn	113
7.17	V627 Cas	114
7.18	V1016 Cyg	115
7.19	YY Her	116
7.20	V934 Her	117
7.21	Z And	118
	Bibliografia	121

Rozdział 1

Wstęp

1.1 Gwiazdy symbiotyczne

Gwiazdami symbiotycznymi, czyli gwiazdami typu *Z Andromedae*, nazywamy oddziałujące układy podwójne gwiazd składające się z trzech składników. Jednym z nich jest biały karzeł, drugim jest chłodny, zaawansowany ewolucyjnie olbrzym lub nadolbrzym, będący w niektórych układach zmienną typu mira. Podejrzewa się, że istnieją układy symbiotyczne z gwiazdą neutronową. Trzeci składnik stanowi mgławica otaczająca obie gwiazdy, powstała z materii wyrzucanej z chłodnego składnika i pobudzana do świecenia przez gorący komponent. Ze względu na rozmiary chłodnego składnika, separacja między gwiazdami musi być odpowiednio duża. Gwiazdy symbiotyczne są więc układami o największej separacji oraz o najdłuższych okresach orbitalnych wynoszących od 200 dni do około 20 lat. Występują rzadko, znanych jest zaledwie mniej niż dwieście tego typu układów (Belczyński et al., 2000). Większość z nich znajduje się w naszej Galaktyce, ale piętnaście spośród obecnie badanych zlokalizowanych jest poza naszą galaktyką: jeden w karłowatej galaktyce w Smoku, sześć w Małym Obłoku Magellana, a osiem w Dużym Obłoku Magellana.

Gwiazdy symbiotyczne stały się celem badań we wczesnych latach trzydziestych XX wieku. Ich widma przedstawiają pasma absorpcyjne tlenku tytanu (TiO), charakterystyczne dla chłodnego składnika układu symbiotycznego, a także linie emisyjne jednokrotnie zjonizowanego helu HeII lub podwójnie zjonizowanego tlenu [OIII] oraz czasem nawet kilkukrotnie zjonizowanego żelaza, co wskazuje na obecność gorącej mgławicy. Widma ukazują obecność chłodnej gwiazdy typu M, z temperaturą powierzchniową poniżej 4000K, ale występują też układy z olbrzymem typu K. Chłodne gwiazdy typu M mają

najbardziej złożone widma. Są usiane absorpcjami, z których jedne są bardzo silne i głębokie, a inne widać tylko przy największej rozdzielczości. Natężenia pasm absorpcyjnych tlenku tytanu pozwalają sklasyfikować poszczególne podtypy widm. Dla najwcześniejszych – M0 do M2 – odwołujemy się dodatkowo do linii atomowych, zwłaszcza linii wapnia (4226\AA) i najsilniejszych linii żelaza. Dla typów późniejszych od M2 natężenie pasm TiO jest podstawowym wskaźnikiem podtypu widmowego. W typach późnych – M7 i M8 – pojawia się również silne pasmo tlenku wanadu (VO). Opierając się na kryteriach dla linii i pasm z podczerwonej części widma wyróżniono podtypy M9 i M10. Olbrzymy typu widmowego K charakteryzują się temperaturą powierzchniową od 3500K do 5000K. Widma takich gwiazd posiadają linie metali niezjonizowanych oraz liczne pasma cząsteczkowe.

Systematyczne obserwacje w podczerwieni doprowadziły do podziału gwiazd symbiotycznych na dwa typy:

- **Typ D** – pokazujący emisję w podczerwieni, co wskazuje na obecność grubej otoczki pyłowej
- **Typ S** – emitujący podczerwone promieniowanie typowe dla atmosfer czerwonych olbrzymów

Układy typu D na ogół zawierają zmienną typu mira i ich okres orbitalny jest prawdopodobnie dłuższy niż 10 lat. Układy typu S są stosunkowo ubogie w pył i charakteryzują się okresami raczej krótszymi. W przypadku obiektów zaliczanych do typu D, pył emituje termiczne promieniowanie o średniej temperaturze 1000K.

W swojej pracy chcę dokonać klasyfikacji widmowej chłodnego składnika spośród układów symbiotycznych obserwowanych najczęściej w Centrum Astronomii w Piwnicach pod Toruniem. Zastosowana przeze mnie metoda, oparta na pomiarze strumieni w pasmach TiO pozwala precyzyjnie określić podtyp widmowy gwiazd typu M. W drugim rozdziale prezentuję wyniki badań pasm tlenku tytanu dla gwiazd standardowych powyższego typu, co w kolejnych rozdziałach ma posłużyć do ekstrakcji widma gorącego składnika w wybranych układach symbiotycznych. W rozdziale trzecim zamieszczam rozkłady energii w opracowanych widmach gwiazd razem z widmem pochodzącym z katalogu Munariego i Zwittera (2002). W rozdziale czwartym przedstawiam nowe podtypy widmowe chłodnych składników gwiazd symbiotycznych uzyskane przy pomocy metody opartej na pomiarze pasm tlenku tytanu w wid-

mach olbrzymów i opisanej w rozdziale drugim niniejszej pracy. Rozdział piąty zawiera widma wyekstrahowanych gorących składników wybranych układów symbiotycznych. Na końcu (rozdział 7.) zamieszczam w postaci uzupełnienia do całej pracy spis wszystkich obserwacji gwiazd symbiotycznych wykonanych teleskopem o średnicy 90 cm dla wszystkich obserwowanych zakresów i użytych siatek dyfrakcyjnych.

Rozdział 2

Pomiary TiO w widmach standardów typu M

2.1 Rejestrowanie widm

Widma wykorzystane na potrzeby niniejszej rozprawy zostały uzyskane głównie przez mgr Jędrzeja Osiwałę, jak również przeze mnie. Instrumentem, który posłużył do tego celu był Kanadyjski Spektrograf Kopernikowski (dalej zwany *CCS* od angielskiego *Canadian Copernicus Spectrograph*), umieszczony w ognisku teleskopu *Schmidta-Cassegraina* o średnicy zwierciadła 90 cm, który znajduje się w Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Piwnicach pod Toruniem. *CCS* jest unikatowym spektrografem szczelinowym ufundowanym przez Polonię z Kanady i USA na pięćsetną rocznicę urodzin Mikołaja Kopernika. Spektrograf został zaprojektowany przez E.H. Richardsona, konstrukcję i mechanikę projektował G.A. Brealey (Richardson and Brealey, 1973). Spektrograf jest kompaktowym urządzeniem opartym na optyce pozaosiowej, pierwotnie zoptymalizowany do pracy z płytami fotograficznymi jako detektorem. W roku 2000 spektrograf przeszedł gruntowną modernizację, której zadaniem było dostosowanie go do współpracy z kamerą CCD (od ang. *Charge Coupled Device*).

Obserwacje zostały wykonane w rozdzielczości $R = 1000$, dla szczeliny 0.26 mm (co odpowiada ≈ 4 sekundom łuku na niebie) i siatki dyfrakcyjnej 600 rys/mm dla zakresu 3500–5500Å. Kilka widm zostało uzyskanych z siatką 300 rys/mm, ale nie posłużyły one do wyznaczania kryteriów klasyfikacji. Dla zdecydowanej większości widm obserwowanych gwiazd były rejestrowane widma standardów spektrofotometrycznych, dobieranych tak, by znajdowały

się one w niewielkiej odległości kątowej od gwiazdy programowej. Odległość ta z reguły nie przekraczała kilku stopni. Standardy były obserwowane zaraz po lub tuż przed rejestrowaniem widma gwiazdy programowej. Pozwoliło to na uwzględnienie ewentualnej zmiany pogody podczas obserwacji. Obrabiając dane obserwacyjne przy pomocy zestawu pakietów zawartych w środowisku IRAF stosowałem krzywą czułości uzyskaną dla danego sezonu i ustawienia elementów optycznych. Przy wyznaczaniu rozkładów energii korzystałem ze średniej ekstynkcji atmosferycznej dla Piwnic, gdyż ewentualne błędy wynikające z różnicy pomiędzy prawdziwą a średnią ekstynkcją nie mają znaczącego wpływu na uzyskiwane rozkłady energii. Jako standardy spektrofotometryczne były wybierane gwiazdy stałe o wczesnych typach widmowych B, A, F, ze względu na niewielką ilość linii widmowych i dominacją kontinuum. W ich doborze pomogły katalogi wtórnych standardów spektrofotometrycznych opublikowanych pod redakcją Głuszniewy (Glushneva et al., 1992, 1998). Stosowałem głównie katalog z 1998 roku zawierający rozkłady energii 866 gwiazd w zakresie 3225-7615Å, z krokiem 50Å. Błąd wyznaczenia strumieni standardów zawartych w powyższym katalogu wynosi według autorów 3.2%.

2.2 Metoda pomiaru pasm TiO

Metoda, którą tu opisuję została wcześniej już zastosowana przez mgr Jędrzeja Osiwałę i zebrane w tym rozdziale wyniki są wynikami głównie jego pracy.

Widma standardów typu M zostały wstępnie znormalizowane do jasności $V=5\text{mag}$ w celu ułatwienia porównywania ze sobą różnych typów widmowych. Takie posunięcie nie wpływa na wyznaczane z tych widm wielkości, ponieważ tymi wielkościami są stosunki mierzonych pól w obrębie tego samego widma. Do analizy wybrano gwiazdy niepoczerwienione, dlatego też w obrabianych widmach poczerwienienie międzygwiazdowe nie było uwzględniane.

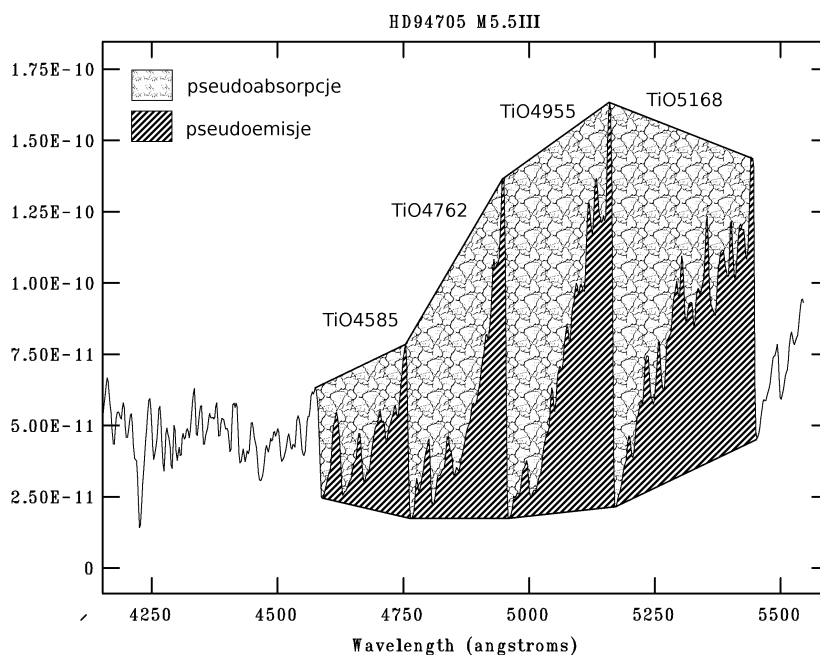
Zakresy mierzone w widmach są zdefiniowane w tabeli 2.1. dla następujących parametrów:

- A_{λ}^{TiO} – pseudoabsorpcja względem „szczytów” kolejnych pasm TiO;
- E_{λ}^{TiO} – pseudoemisja; pozostałość po pseudoabsorpcjach TiO, mierzona pomiędzy „dnami” kolejnych pasm TiO (*rys 1.*)
- F_{λ}^{TiO} – całkowite strumienie energii emitowane w zakresie wyznaczonym pomiędzy „dnami” lokalnych pasm TiO.

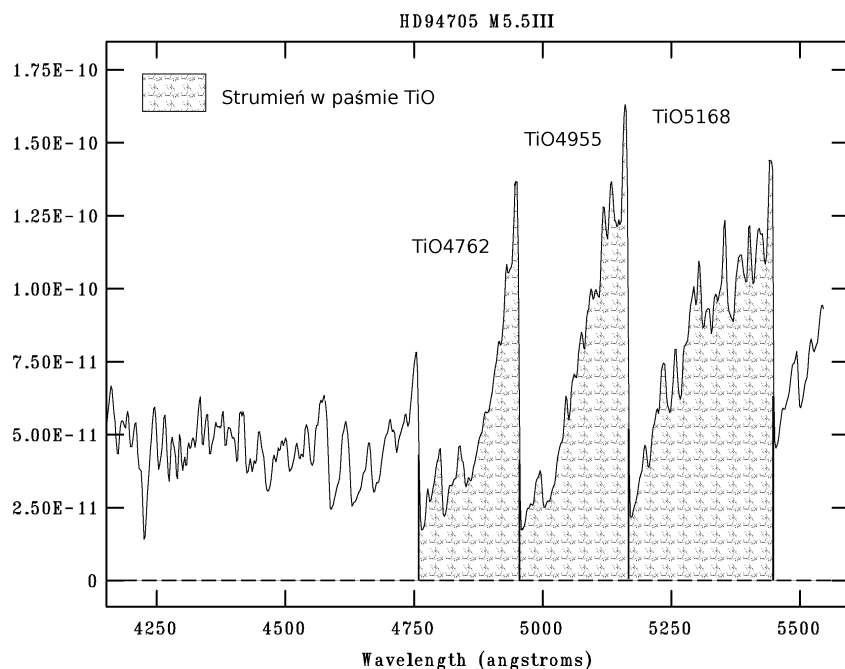
Graficzne przedstawienie sposobu pomiaru strumienia w pseudoabsorpcji i pseudoemisji zawiera *rysunek 2.1*. Na *rysunku 2.2* przedstawiłem sposób pomiaru całkowitego strumienia energii F_{λ}^{TiO} w fragmencie widma zawierającego odpowiednią strukturę absorpcyjną TiO. Obydwa rysunki wykonał mgr Jędrzej Osiwała. Wskaźniki typu widmowego zostały określone jako stosunki zmierzonych strumieni odpowiednich pól. W *tabeli 1*. zawarłem również szerokości pasm, w których został wyznaczony strumień w danym paśmie TiO od poziomu zerowego strumienia w widmie.

Tablica 2.1: Zakresy mierzonych pasm TiO, a także szerokości pól pseudoabsorpcji, pseudoemisji oraz strumienia

	$A_{\lambda}^{TiO} [\text{\AA}]$	$E_{\lambda}^{TiO} [\text{\AA}]$	$F_{\lambda}^{TiO} [\text{\AA}]$	Szerokość pasma $\Delta\lambda^{TiO} [\text{\AA}]$
TiO 5168Å	5158-5440	5170-5453	5170-5453	283
TiO 4955Å	4947-5158	4960-5172	4960-5172	212
TiO 4762Å	4753-4947	4766-4961	4766-4961	195
TiO 4626Å	4617-4753	4591-4767	—	—
TiO 4585Å	4572-4753	4632-4767	—	—



Rysunek 2.1: Graficzne przedstawienie idei pomiaru strumienia w *pseudoabsorpcjach* i *pseudoemisjach*.



Rysunek 2.2: Graficzne przedstawienie idei pomiaru całkowitego strumienia energii pomiędzy „dnami” lokalnych pasm TiO.

2.3 Wyniki pomiarów pasm TiO w widmach standardów

Począwszy od strony 18. zamieszczam tabele z wynikami pomiarów pól zdefiniowanych na *rysunkach 2.1 i 2.2* dla standardów spektrofotometrycznych typu widmowego M. Tabele 2.2 i 2.3 zawierają wartości strumieni w mierzonych polach powstałych w wyniku absorpcji TiO pasm 4762Å, 4955Å oraz 5168Å, natomiast tabele 2.4 i 2.5 pasm 4585Å oraz 4626Å. Dane pochodzą z pomiarów pól dla wszystkich opracowanych widm szczelinowych uzyskanych przy pomocy Kanadyjskiego Spektrografu Kopernikowskiego (CCS) z lat 2002–2005. Wartości strumieni w mierzonych zakresach są wyrażone w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dla A_{λ}^{TiO} i E_{λ}^{TiO} oraz w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Å}^{-1}$ dla F_{λ}^{TiO} . Wyniki pomiarów udostępnił mi na potrzeby tej pracy mgr Jędrzej Osiwała. Dla każdego pasma tlenku tytanu (TiO) podaję trzy wartości strumieni (pod warunkiem, że taka

ich ilość została w przypadku danego pasma zmierzona):

- strumień uzyskany z pomiarów pól pseudoabsorpcji (A_{λ}^{TiO}) ;
- strumień uzyskany z pomiarów pól pseudoemisji (E_{λ}^{TiO}) ;
- średni strumień uzyskany z pomiarów pól pseudoemisji TiO mierzony od poziomu zera $(f_{\lambda}^{TiO} = \frac{F_{\lambda}^{TiO}}{\Delta\lambda^{TiO}})$;

W celu otrzymania wartości integralnego strumienia w polu, gdzie zmierzono F_{λ}^{TiO} , należy wartości zamieszczone w tabelach pomnożyć przez szerokość fragmentu widma, w którym był wykonywany pomiar. Dane o szerokościach odpowiednich pasm TiO zawiera *tabela 2.1*. Gwiazdy zawarte w tabeli pogrupowałem w sposób uwzględniający ich podtypy widmowe, zaczynając od obiektów najgorętszych, a na najchłodniejszych kończąc.

Typ widmowy badanych standardów zawarty w trzeciej kolumnie tabeli został zaadoptowany z danych przekazanych mi przez mgr Jędrzeja Osiwałę i pochodzi z pracy Keenana (Keenan and McNeil, 1989). W dalszych częściach tej pracy posłużą one do porównania nowych typów widmowych uzyskanych metodą, którą graficznie przedstawiłem na *rysunkach 2.1* oraz *2.2*.

Wyniki zawarte w tabelach 2.4 oraz 2.5 nie są używane w dalszej części pracy.

Tablica 2.2: Wartości strumieni w mierzonych polach A_{λ}^{TiO} , E_{λ}^{TiO} oraz strumienia średniego f_{λ}^{TiO} powstałych w wyniku absorpcji TiO w pasmach 4762Å, 4955Å oraz 5168Å. Tabela zawiera dane dla wszystkich opracowanych widm szczelinowych CCS z lat 2002–2005. Strumienie są wyrażone w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dla A_{λ}^{TiO} i E_{λ}^{TiO} i w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Å}^{-1}$ dla f_{λ}^{TiO}

gwiazda	data obserwacji	typ widmowy	TiO 5168			TiO 4955			TiO 4762		
			A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}
HD102212	2002.03.18	M 1 III	—	—	—	5.37	5.53	0.104	3.61	3.4	0.106
HD102212	2003.02.23	M 1 III	4.44	11.0	0.135	5.21	5.46	0.103	3.51	3.38	0.106
HD206330	2002.08.21	M 1 III	—	—	—	5.44	6.15	0.11	4.01	3.71	0.109
HD144542	2002.08.28	M 1.25 III	—	—	—	6.37	6.15	0.113	4.24	3.76	0.111
HD204724	2002.08.21	M 1.25 III	—	—	—	5.19	6.03	0.109	4.03	3.51	0.108
HD222670	2002.08.24	M 2 III	—	—	—	7.32	7.87	0.115	5.05	4.85	0.108
HD202380	2004.04.21	M 2 I	13.7	22.7	0.255	9.44	10.4	0.167	5.92	4.48	0.128
HD23475	2004.04.14	M 2.25 II	9.07	15.2	0.154	7.92	8.50	0.119	5.66	4.99	0.11
HD23475	2004.04.15	M 2.25 II	10.2	17.2	0.175	8.47	9.16	0.128	5.90	5.16	0.113
HD190788	2004.04.26	M 2.5 II	16.7	23.5	0.224	12.1	12.7	0.153	8.13	6.16	0.116
HD42995	2003.02.23	M 2.5 III	9.9	15.3	0.144	8.57	9.13	0.111	6.25	5.73	0.103
HD167006	2002.08.28	M 3 III	—	—	—	9.31	9.65	0.115	6.56	6.37	0.107
HD40239	2004.03.17	M 3 II	12.7	19.1	0.151	11.5	11.5	0.117	8.18	7.51	0.104
HD40239	2004.04.15	M 3 II	13.1	19.3	0.158	11.3	11.2	0.117	8.00	7.19	0.103
HD40239	2004.04.14	M 3 II	10.7	16.4	0.132	10.4	10.2	0.108	7.79	6.91	0.099
HD9778	2003.04.25	M 3 II	10.4	16.5	0.15	9.10	9.92	0.118	6.49	6.11	0.109
HD9778	2004.03.05	M 3 II	11.0	16.8	0.155	9.17	10.0	0.116	6.61	6.01	0.106
HD9778	2004.03.15	M 3 II	10.2	17.1	133.0	8.96	9.68	108.0	6.37	5.92	102.0
HD9778	2004.04.25	M 3 II	9.68	16.1	0.148	9.05	9.16	0.116	6.59	5.74	0.106
HD124681	2004.05.13	M 3 III	10.5	18.3	0.144	10.6	9.97	0.105	7.63	6.96	0.0978
HD204599	2002.08.21	M 3.25 III	—	—	—	10.7	10.9	0.117	7.68	7.02	0.105
HD186776	2002.04.11	M 3.5 III	—	—	—	9.18	8.56	0.0967	6.86	6.40	0.0966
HD4408	2002.09.03	M 4 III	15.6	21.3	0.161	13.3	13.3	0.122	9.27	8.63	0.105
HD4408	2002.09.08	M 4 III	15.1	20.9	0.158	13.0	13.0	0.12	9.18	8.42	0.102
HD159354	2003.07.23	M 4 III	18.7	24.1	0.169	16.4	14.4	0.124	11.0	9.43	0.1
HD159354	2003.07.24	M 4 III	17.9	22.2	0.155	16.1	14.1	0.119	11.0	9.49	0.101

Tablica 2.3: Ciąg dalszy tabeli 2.2

gwiazda	data obserwacji	typ widmowy	TiO 5168			TiO 4955			TiO 4762		
			A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}
HD175588	2004.04.15	M 4 II	20.6	24.2	0.173	16.9	0.154	0.128	11.2	9.34	0.102
HD175588	2004.05.14	M 4 II	17.6	21.2	0.152	15.2	14.4	0.122	10.6	9.21	0.102
HD175588	2004.04.25	M 4 II	18.9	22.0	0.158	16.1	14.4	0.125	11.1	9.07	0.101
HD175588	2004.04.26	M 4 II	17.8	20.5	0.15	15.3	13.9	0.12	10.9	8.66	0.0973
HD214665	2002.08.24	M 4.25 III	15.7	—	—	14.8	13.3	0.117	10.4	9.00	0.101
HD214665	2002.10.19	M 4.25 III	15.8	20.2	0.146	13.3	11.6	0.104	9.45	8.2	0.0945
HD132813	2002.04.11	M 4.5 III	—	—	—	15.7	13.8	0.109	11.7	9.85	0.0951
HD132813	2004.04.26	M 4.5 III	19.3	22.5	0.155	16.5	14.7	0.119	11.4	9.54	0.0952
HD204585	2003.07.23	M 4.5 III	19.3	19.0	0.151	15.6	12.7	0.118	9.86	7.52	0.0937
HD204585	2003.08.30	M 4.5 III	18.2	17.9	0.137	15.2	12.9	0.113	10.0	7.79	0.091
HD224062	2003.12.19	M 4.6 III	18.4	22.5	0.152	16.3	14.4	0.116	11.2	9.59	0.0975
HD112264	2002.03.18	M 4.75 III	—	—	—	19.1	15.9	0.118	13.1	10.0	0.0926
HD112264	2002.04.21	M 4.75 III	—	—	—	17.0	15.0	0.117	11.8	9.61	0.0952
HD112264	2004.04.26	M 4.75 III	22.7	20.9	0.144	19.1	15.4	0.118	12.7	9.39	0.09
HD156014J	2004.04.21	M 5 II	25.4	19.8	0.131	21.8	15.7	0.113	13.8	9.34	0.0832
HD172380	2004.04.26	M 5 II	28.0	23.2	0.145	23.2	17.9	0.123	15.1	10.8	0.0876
HD186532	2003.07.23	M 5 III	24.2	23.9	0.152	19.9	16.4	0.118	13.1	10.3	0.0894
HD186532	2004.03.05	M 5 III	29.2	26.2	0.16	23.1	18.7	0.126	14.8	11.4	0.0923
HD186532	2004.05.13	M 5 III	25.3	23.3	0.146	21.1	16.7	0.115	13.8	10.4	0.086
HD94705	2002.03.18	M 5.5 III	—	—	—	16.6	11.7	0.077	10.8	7.30	0.0562
HD94705	2003.02.23	M 5.5 III	19.8	14.3	0.0832	16.5	11.4	0.0722	10.7	7.12	0.0538
HD148783	2002.04.11	M 5.75 III	—	—	—	23.7	16.9	0.107	15.8	10.6	0.0795
HD179820	2002.08.24	M 6 III	—	—	—	17.8	13.2	0.0978	10.2	7.52	0.0695
HD18191	2002.09.02	M 6 III	28.8	22.4	0.135	23.9	17.7	0.115	15.4	10.8	0.0824
HD18191	2002.11.06	M 6 III	30.2	23.1	0.138	24.7	17.7	0.114	15.5	10.6	0.0798
HD24410	2004.01.15	M 6 III	28.8	26.4	0.164	23.5	18.5	0.127	14.8	10.9	0.0917

Tablica 2.4: Wartości strumieni w mierzonych polach A_{λ}^{TiO} oraz E_{λ}^{TiO} powstałych w wyniku absorpcji TiO w pasmach 4585Å oraz 4626Å. Tabela zawiera dane dla wszystkich opracowanych widm szczelinowych CCS z lat 2002-2005. Strumienie są wyrażone w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

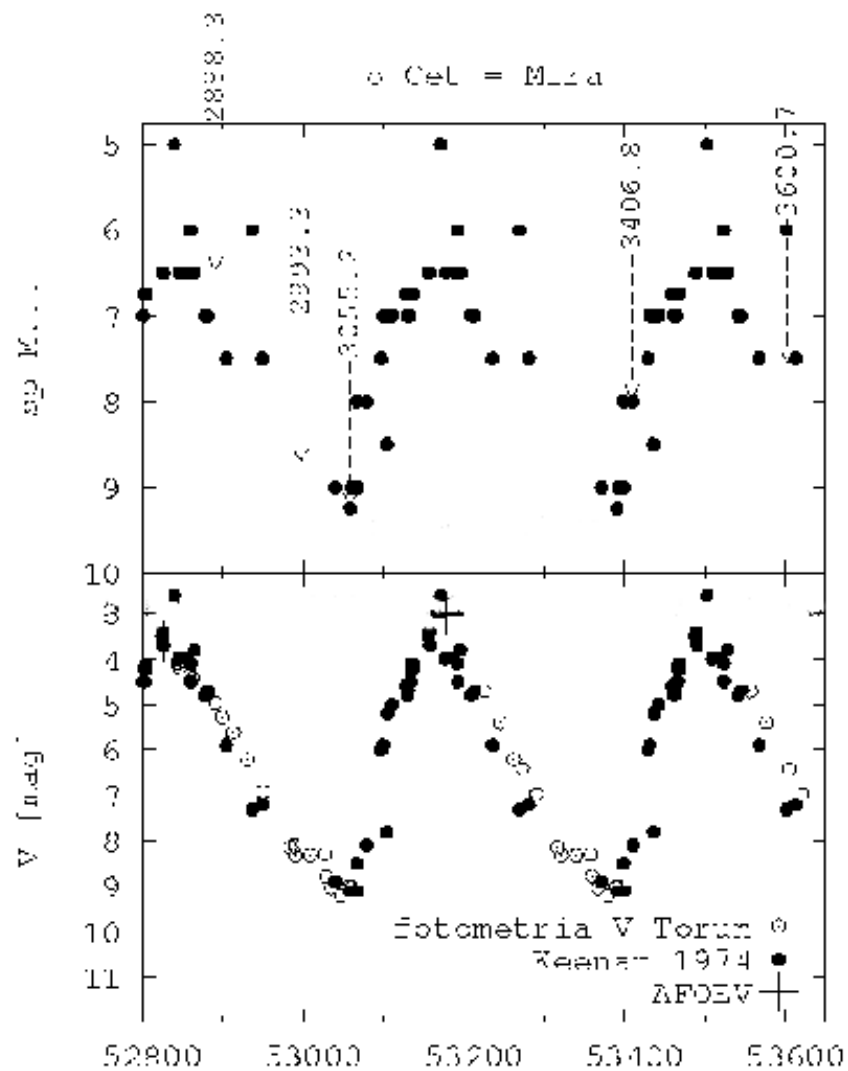
gwiazda	data obserwacji	typ widmowy	TiO 4626		TiO 4585	
			A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}
HD102212	2002.03.18	M 1 III	1.3	2.27	—	—
HD102212	2003.02.23	M 1 III	1.32	1.87	—	—
HD206330	2002.08.21	M 1 III	1.88	2.16	—	—
HD144542	2002.08.28	M 1.25 III	1.75	2.11.0	—	—
HD204724	2002.08.21	M 1.25 III	1.89	2.24	—	—
HD222670	2002.08.24	M 2 III	1.78	2.23	—	2.86
HD202380	2004.04.21	M 2 I	1.90	2.01	—	—
HD23475	2004.04.14	M 2.25 II	2.26	2.56	—	—
HD23475	2004.04.15	M 2.25 II	2.41	2.59	—	—
HD190788	2004.04.26	M 2.5 II	2.48	2.84	—	—
HD42995	2003.02.23	M 2.5 III	2.36	2.79	—	—
HD167006	2002.08.28	M 3 III	2.19	2.87	—	3.70
HD40239	2004.03.17	M 3 II	—	—	—	—
HD40239	2004.04.15	M 3 II	—	—	—	—
HD40239	2004.04.14	M 3 II	—	—	—	—
HD9778	2003.04.25	M 3 II	2.55	2.97	—	3.46
HD9778	2004.03.05	M 3 II	2.60	3.01	—	3.58
HD9778	2004.03.15	M 3 II	2.57	2.95	—	—
HD9778	2004.04.25	M 3 II	2.53	2.90	—	—
HD124681	2004.05.13	M 3 III	—	—	—	—
HD204599	2002.08.21	M 3.25 III	2.68	3.24	—	3.96
HD186776	2002.04.11	M 3.5 III	2.22	3.21	2.74	3.90
HD4408	2002.09.03	M 4 III	3.27	3.67	3.59	4.43
HD4408	2002.09.08	M 4 III	3.26	3.77	3.64	4.48
HD159354	2003.07.23	M 4 III	3.60	4.09	4.60	5.01
HD159354	2003.07.24	M 4 III	3.60	4.02	4.65	4.96
HD175588	2004.04.15	M 4 II	3.73	4.08	4.47	4.97
HD175588	2004.05.14	M 4 II	3.58	3.99	4.17	4.86
HD175588	2004.04.25	M 4 II	3.74	3.93	4.44	4.76
HD175588	2004.04.26	M 4 II	3.62	3.91	4.35	4.79
HD214665	2002.08.24	M 4.25 III	3.46	3.98	4.31	4.90
HD214665	2002.10.19	M 4.25 III	—	—	4.0	5.02
HD132813	2002.04.11	M 4.5 III	3.97	4.48	5.24	5.50
HD132813	2004.04.26	M 4.5 III	—	—	5.21	5.49
HD204585	2003.07.23	M 4.5 III	3.02	3.14	4.20	3.94
HD204585	2003.08.30	M 4.5 III	3.08	3.28	4.26	4.09
HD224062	2003.12.19	M 4.6 III	3.63	4.19	4.79	5.14
HD112264	2002.03.18	M 4.75 III	4.16	4.29	5.79	5.41
HD112264	2002.04.21	M 4.75 III	3.79	4.16	5.02	5.12
HD112264	2004.04.26	M 4.75 III	—	—	5.51	5.06
HD156014J	2004.04.21	M 5 II	3.62	3.99	5.73	4.97

Tablica 2.5: Ciąg dalszy tabeli 2.4

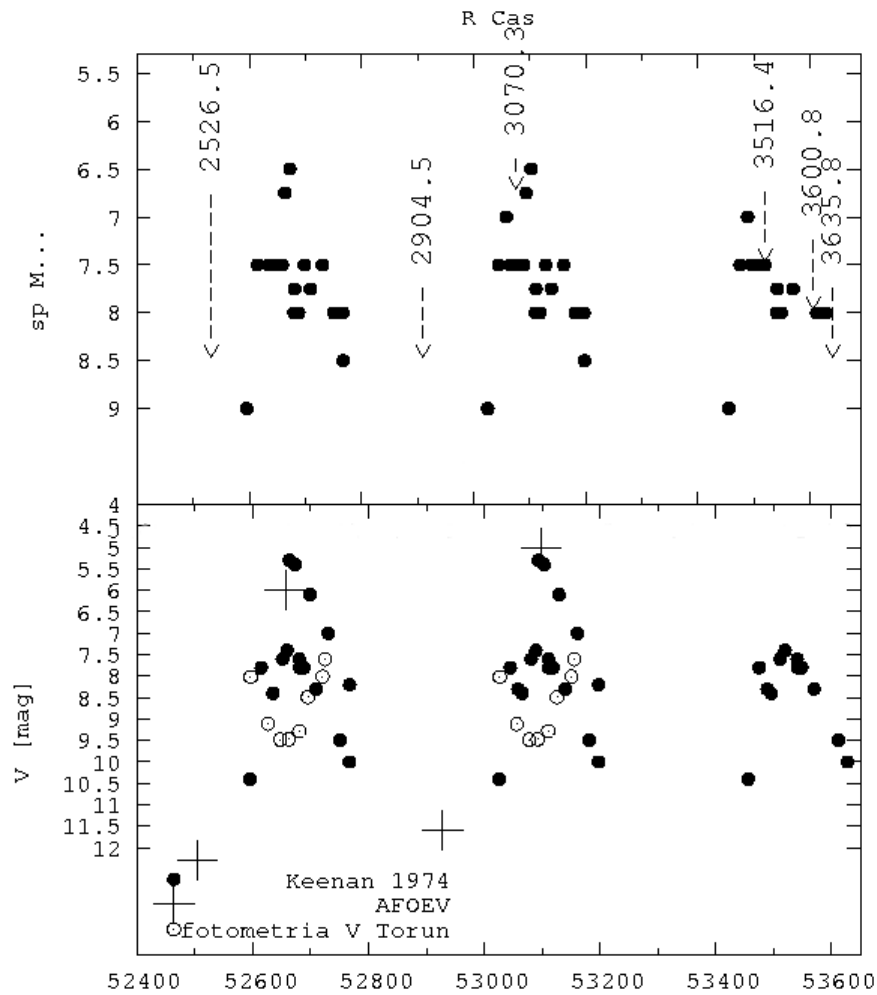
gwiazda	data		TiO 4626		TiO 4585	
	obserwacji	widmowy	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}
HD172380	2004.04.26	M 5 II	4.22	4.63	6.35	5.86
HD186532	2003.07.23	M 5 III	—	—	6.02	5.48
HD186532	2004.03.05	M 5 III	—	—	6.51	6.2
HD186532	2004.05.13	M 5 III	—	—	6.35	5.79
HD94705	2002.03.18	M 5.5 III	2.95	3.20	4.70	3.40
HD94705	2003.02.23	M 5.5 III	2.96	3.22	4.87	4.03
HD148783	2002.04.11	M 5.75 III	4.48	4.66	7.12	5.84
HD179820	2002.08.24	M 6 III	2.41	3.04	3.78	3.74
HD18191	2002.09.02	M 6 III	4.12	4.62	6.62	5.72
HD18191	2002.11.06	M 6 III	4.43	4.73	6.95	5.98
HD24410	2004.01.15	M 6 III	—	—	6.0	5.46

2.4 Oszacowanie typu widmowego oraz pomiary struktur TiO dla zmiennych typu mira

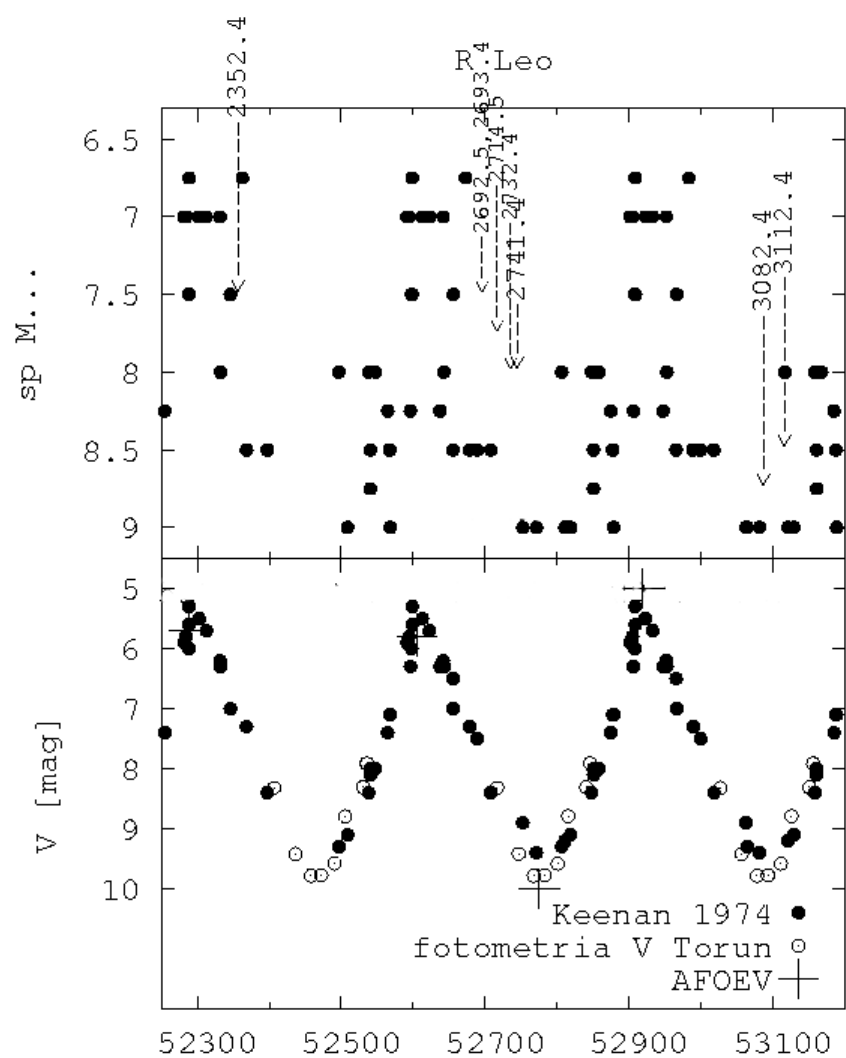
Określenie typu widmowego dla gwiazd zmiennych typu mira zostało dokonane z uwzględnieniem aktualnej fazy zmian blasku dla danej gwiazdy. Typ widmowy dla różnej fazy wraz z wielkością gwiazdową V został zaczerpnięty z pracy Keenana (Keenan et al., 1974). Epoki sfazowano poprzez przesunięcie do toruńskiej fotometrii (jeśli dysponowano takimi danymi) i do współcześnie wyznaczonych przez obserwacje miłośników astronomii AFOEV (*Association Française des Observateurs d'Etoiles Variables*) momentów maksimum i minimum blasku. Sfazowanie nastąpiło o całkowitą wielokrotność okresu zmian blasku (okres według GCVS4.2 2004 (Samus and Durlevich, 2004)) oraz przez dodanie stałego przesunięcia w fazie. Oś rzędnych to data juliańska 2400000+. Strzałki oznaczają momenty obserwacji (końcówki dat juliańskich), natomiast groty strzałek - przyjęty typ widmowy. Oszacowania typu widmowego dokonano dla pięciu mir: o Ceti, R Cas, R Leo, R Tri oraz R Aqr. Dla ostatnich dwóch z wymienionych obok gwiazd nie posiadam aktualnych danych z toruńskiej fotometrii. W tabeli 2.6 przedstawiam wyniki pomiarów pól TiO w pasmach 4762Å, 4955Å oraz 5168Å, natomiast w tabeli 2.7 dla pasm 4585Å i 4626Å dla zmiennych typu mira. Czwarta kolumna to data juliańska momentu obserwacji oraz faza określona ilością dni od ostatniego maksimum blasku. Znak minus oznacza, że faza była wyznaczona względem następnego maksimum blasku. Strumienie zmierzonych pól są wyrażone w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Å}^{-1}$ dla f_{λ}^{TiO} oraz w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dla A_{λ}^{TiO} i E_{λ}^{TiO} .



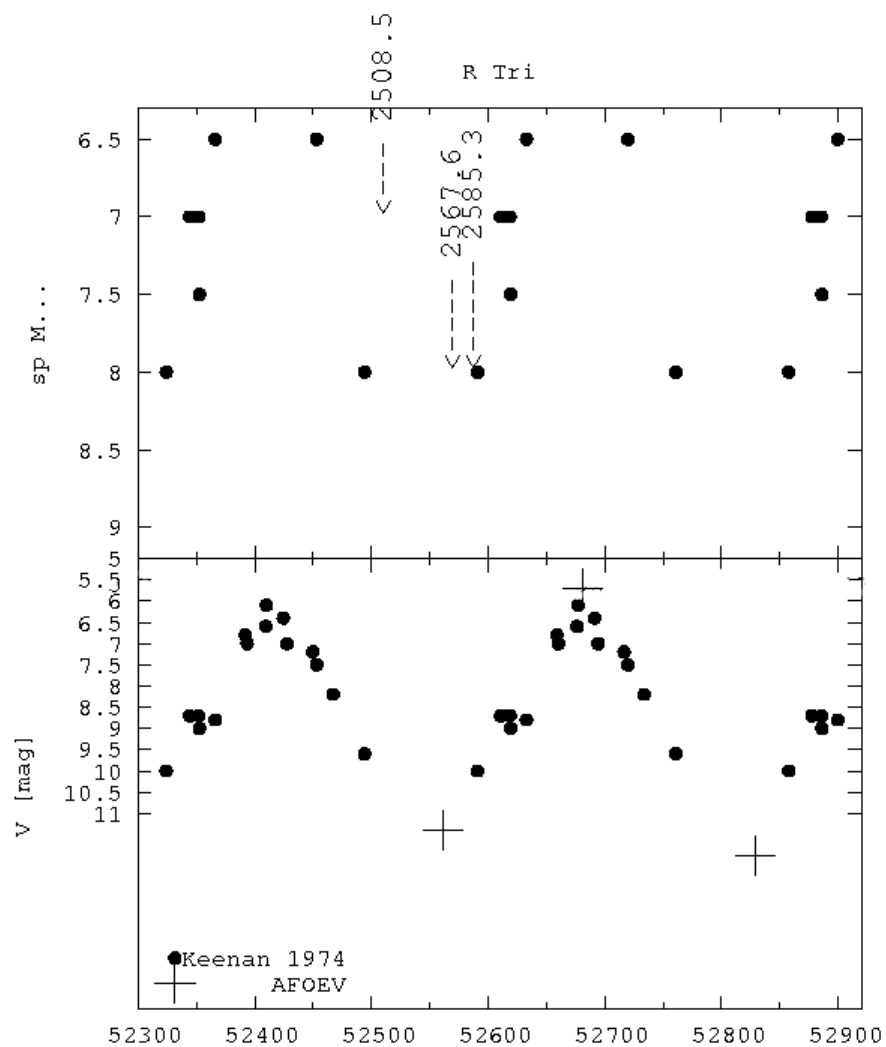
Rysunek 2.3: Oszacowanie typu widmowego dla gwiazdy *omicron* Ceti (Miry) względem aktualnej fazy zmian blasku z uwzględnieniem toruńskiej fotometrii. Strzałki oznaczają momenty obserwacji (końcówki dat juliańskich), a grotzy strzałek przyjęty typ widmowy.



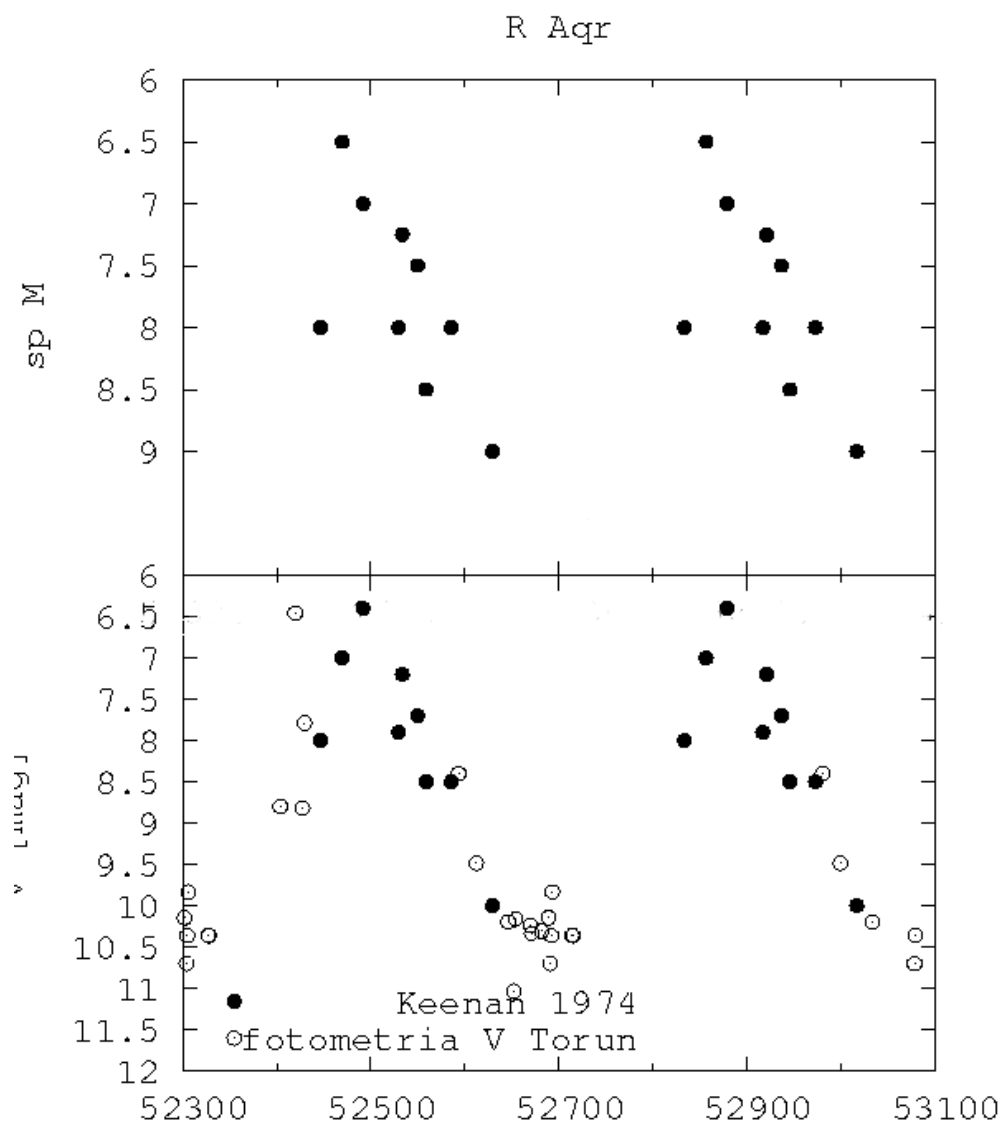
Rysunek 2.4: Oszacowanie typu widmowego dla gwiazdy R Cas względem aktualnej fazy zmian blasku bez uwzględnienia toruńskiej fotometrii. Strzałki oznaczają momenty obserwacji (końcówki dat juliańskich), a grotzy strzałek przyjęty typ widmowy.



Rysunek 2.5: Oszacowanie typu widmowego dla gwiazdy R Leo względem aktualnej fazy zmian blasku z uwzględnieniem toruńskiej fotometrii. Strzałki oznaczają momenty obserwacji (końcówki dat juliańskich), a grotzy strzałek przyjęty typ widmowy.



Rysunek 2.6: Oszacowanie typu widmowego dla gwiazdy R Tri względem aktualnej fazy zmian blasku bez uwzględnienia toruńskiej fotometrii. Strzałki oznaczają momenty obserwacji (końcówki dat juliańskich), a grotły strzałek przyjęty typ widmowy.



Rysunek 2.7: Oszacowanie typu widmowego dla gwiazdy R Aqr względem aktualnej fazy zmian blasku bez uwzględnienia toruńskiej fotometrii.

Tablica 2.6: Pomiaru pól w pasmach 5168Å, 4955Å oraz 4762Å dla zmiennych typu Mira. W 4 kolumnie znajduje się data juliańska momentu obserwacji oraz faza określona ilością dni od ostatniego poprzedzającego maksimum blasku (wg. efemeryd AFOEV) - znak minus oznacza, że faza była wyznaczona względem następnego maksimum blasku. Strumienie zmierzonych pól są wyrażone w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Å}^{-1}$ dla f_{λ}^{TiO} oraz w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dla A_{λ}^{TiO} i E_{λ}^{TiO} .

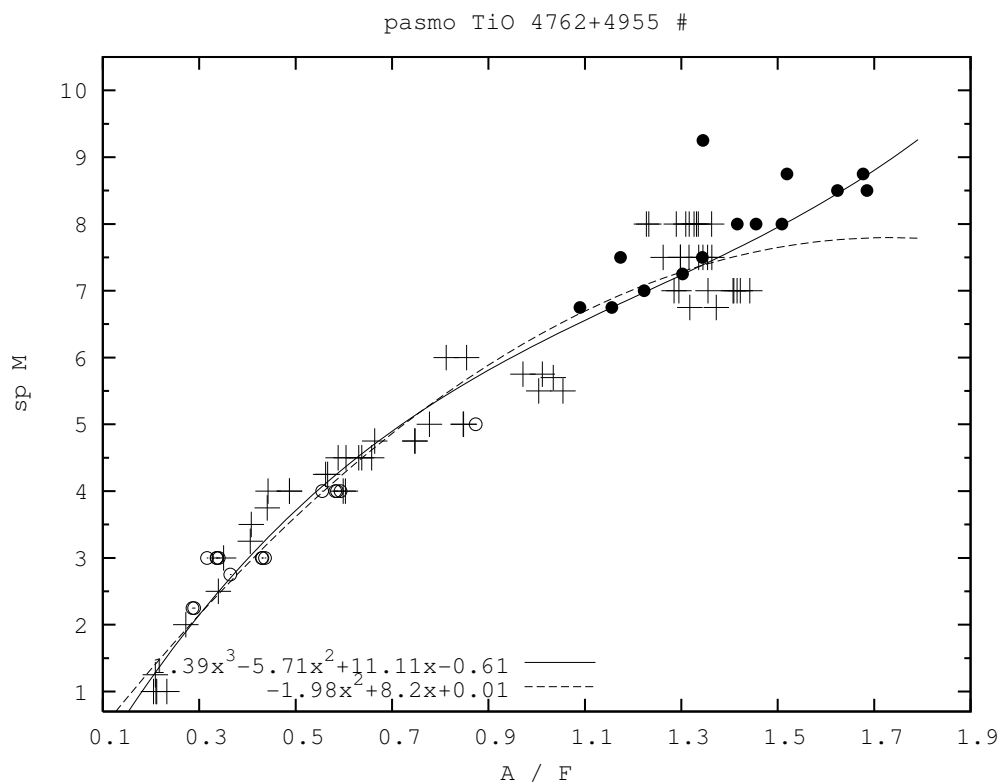
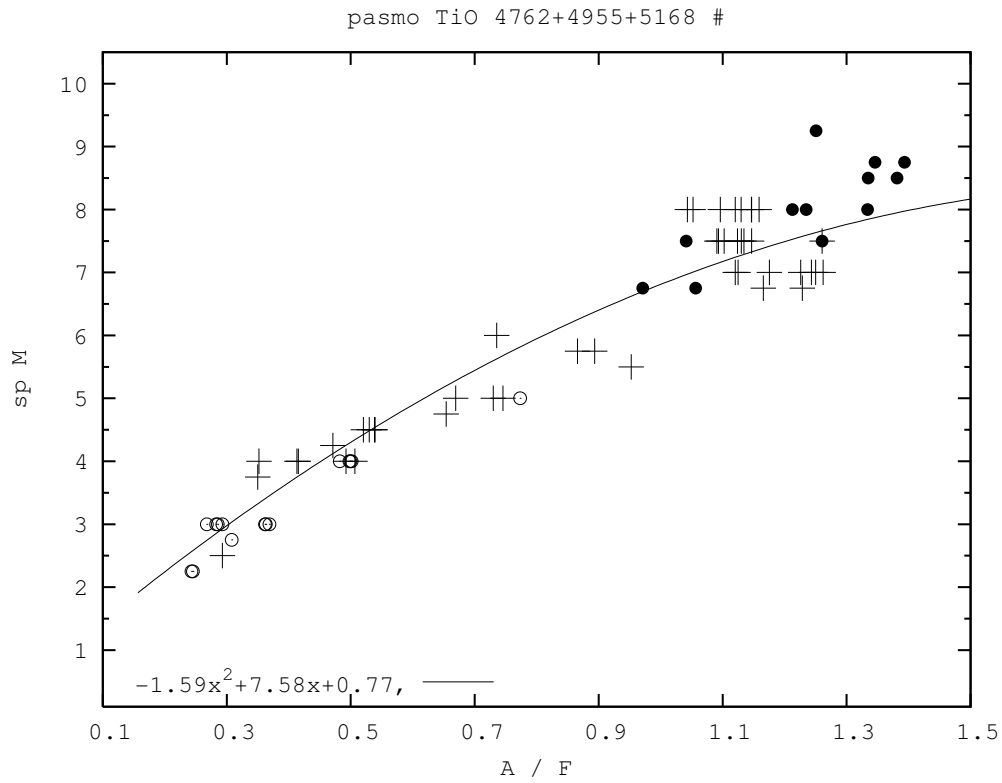
gwiazda	data obserwacji	Typ widmowy	JD +2450000	faza[dni]	TiO 5168			TiO 4955			TiO 4762		
					A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	f_{λ}^{TiO}
RCas	2002.09.08	M 8.75	2526.5	291	75.8	43.4	0.238	49.3	26.7	0.139	25.8	14.5	0.785
RCas	2004.03.05	M 6.75	3070.3	421	31.1	20.7	0.129	25.1	17.9	0.106	15.0	11.4	0.0735
RLeo	2002.03.18	M 7.5	2352.4	69.7	—	—	—	24.7	14.7	0.0834	13.5	8.94	0.0538
RLeo	2003.02.21	M 7.5	2692.5	97.2	36.0	22.5	0.132	25.4	16.3	0.09	13.5	9.78	0.0583
RLeo	2003.02.22	M 7.5	2693.4	98	36.0	22.4	0.13	25.3	16.3	0.0877	13.5	9.82	0.0574
RLeo	2003.03.15	M 7.75	2714.5	119.2	40.2	26.1	0.15	28.2	17.8	0.0951	14.7	10.4	0.0621
RLeo	2003.04.02	M 8	2732.4	137.1	44.2	27.7	0.167	30.3	18.6	0.101	15.1	11.0	0.0656
RLeo	2003.04.11	M 8	2741.4	146.1	36.4	23.6	0.143	24.4	14.8	0.0835	11.7	8.77	0.0571
RLeo	2004.03.17	M 8.5	3082.4	147.5	76.8	44.8	0.241	50.0	26.0	0.133	26.8	15.6	0.0804
RLeo	2004.04.16	M 8.5	3112.4	204.5	79.6	47.8	0.27	50.4	27.5	0.141	26.1	16.0	0.0857
RTri	2002.08.21	M 7.25	2508.5	-182	—	—	—	27.2	19.3	0.105	15.0	10.4	0.0628
RTri	2002.10.19	M 8	2567.6	-113	41.3	25.8	0.139	28.9	18.1	0.0948	15.6	10.1	0.0581
RTri	2002.11.06	M 8	2585.3	-96	41.2	23.7	0.124	31.4	18.1	0.0968	17.0	9.72	0.0593
omi Cet	2003.12.19	M 8.75	2993.3	160	42.9	21.2	0.119	31.9	16.4	0.0934	16.9	9.4	0.0632
omi Cet	2004.02.19	M 9.25	3055.2	215	40.7	18.9	0.124	29.9	13.7	0.962	15.7	7.6	0.0693
R Aqr	2002.08.28	M 7.25	2515	—	—	—	—	28.3	18.4	0.104	17.0	11.0	0.0653

Tablica 2.7: Pomiary pól w pasmach 4626Å oraz 4585Å dla zmiennych typu Mira. W 4 kolumnie znajduje się data juliańska momentu obserwacji oraz faza określona ilością dni od ostatniego poprzedzającego maksimum blasku (wg. efemeryd AFOEV) - znak minus oznacza, że faza była wyznaczona względem następnego maksimum blasku. Strumienie zmierzonych pól są wyrażone w $10^{-9} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dla A_{λ}^{TiO} i E_{λ}^{TiO} .

gwiazda	data obserwacji	typ widmowy	JD +2450000	faza[dni]	TiO 4626		TiO 4585	
					A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}
RCas	2002.09.08	M 8.75	2526.5	4.31	4.96	—	—	—
RCas	2004.03.05	M 6.75	3070.3	3.17	5.48	—	—	—
RLeo	2002.03.18	M 7.5	2352.4	2.3	3.73	5.18	47.0	—
RLeo	2003.02.21	M 7.5	2692.5	—	—	—	—	—
RLeo	2003.02.22	M 7.5	2693.4	—	—	—	—	—
RLeo	2003.03.15	M 7.75	2714.5	—	—	—	—	—
RLeo	2003.04.02	M 8	2732.4	—	—	—	—	—
RLeo	2003.04.11	M 8	2741.4	—	—	—	—	—
RLeo	2004.03.17	M 8.5	3082.4	—	—	—	—	—
RLeo	2004.04.16	M 8.5	3112.4	—	—	—	—	—
RTri	2002.08.21	M 7.25	2508.5	-182	3.12	4.19	—	—
RTri	2002.10.19	M 8	2567.6	-113	3.14	4.16	—	—
RTri	2002.11.06	M 8	2585.3	-96	3.5	3.83	—	—
omi Cet	2003.12.19	M 8.75	2993.3	160	—	—	—	—
omi Cet	2004.02.19	M 9.25	3055.2	215	—	—	—	—
R Aqr	2002.08.28	M 7.25	2515	—	—	—	—	—

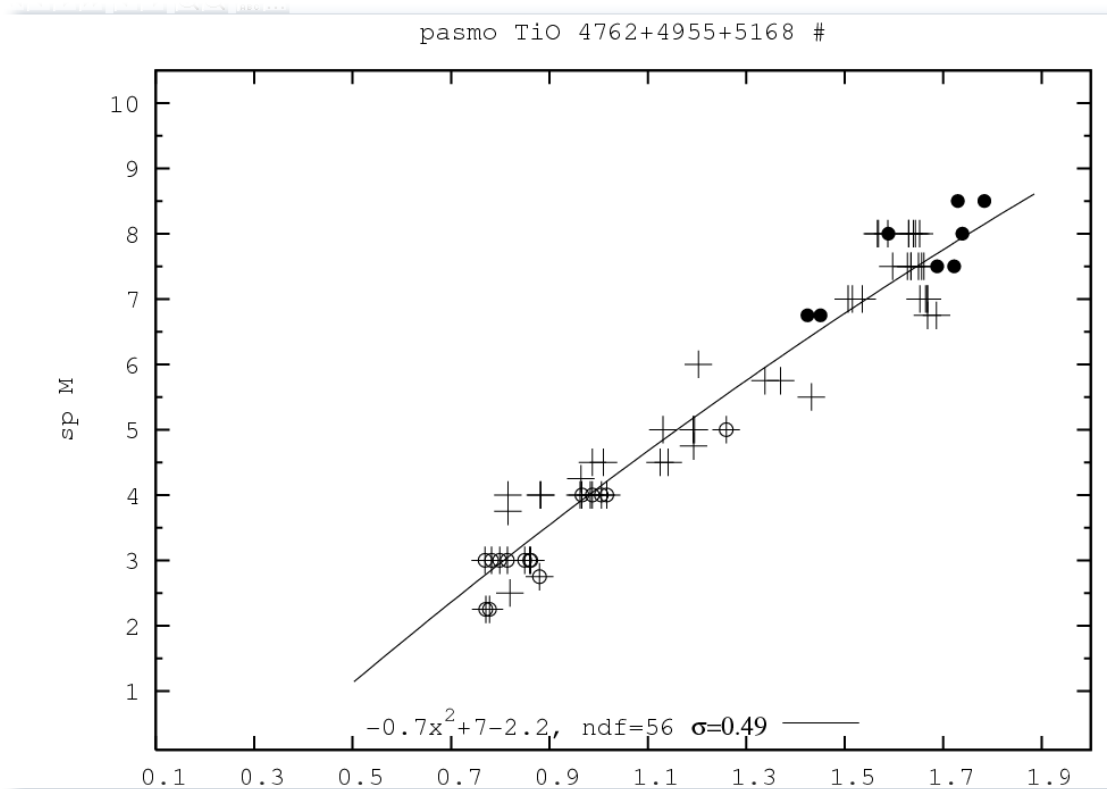
2.5 Typ widmowy w zależności od struktur TiO

Typ widmowy dla standardów typu M oraz mir został określony przez dopasowanie wielomianów do dwóch zależności uwzględniających pseudoabsorbpcję i strumień od poziomu zera w strukturach TiO. Pierwsza z nich ma postać: $spM = f\left(\frac{A_{5168}^{\text{TiO}} + A_{4955}^{\text{TiO}} + A_{4762}^{\text{TiO}}}{F_{5168}^{\text{TiO}} + F_{4955}^{\text{TiO}} + F_{4762}^{\text{TiO}}}\right)$, druga: $spM = f\left(\frac{A_{4955}^{\text{TiO}} + A_{4762}^{\text{TiO}}}{F_{4955}^{\text{TiO}} + F_{4762}^{\text{TiO}}}\right)$, gdzie poszczególne wielkości są strumieniami z pól pseudoabsorbpcji konkretnych pasm TiO oraz całkowitymi strumieniami mierzonymi od zera dla tych struktur. Wykresy zamieszczone na *rysunku 2.8.* ukazują zależność typu widmowego od stosunku $\frac{A_{\lambda}^{\text{TiO}}}{F_{\lambda}^{\text{TiO}}}$ dla sum pasm TiO takich jak w powyższych wyrażeniach na spM. Krzyżami oznaczyłem gwiazdy III klasy jasności, kółkami zamkniętymi gwiazdy typu mira, otwartymi natomiast gwiazdy klasy jasności I i II. Pod wykresami zamieściłem wzory wielomianów dopasowanych do punktów na wykresach.



Rysunek 2.8: Zależności typu widmowego od stosunku $\frac{A_{\lambda}^{TiO}}{F_{\lambda}^{TiO}}$ dla sumy pasm TiO dla gwiazd klasy jasności I i II (kółka otwarte) oraz gwiazd klasy jasności III (tu oznaczonych krzyżykami). Pod wykresami wzory wielomianów dopasowanych do punktów na wykresach. Argument "x" jest stosunkiem A/F odłożonym na osiach odciętych wykresów.

Na *rysunku 2.9* przedstawiam wykres zależności typu widmowego od stosunku $\frac{A_{\lambda}^{TiO}}{E_{\lambda}^{TiO}}$ dla sumy trzech pasm tlenku tytanu (5168Å, 4955Å oraz 4762Å). Na osi zostały odłożone podtypy typu widmowego M zaczerpnięte z pracy Keenana (Keenan and McNeil, 1989). Do uzyskanego rozkładu został dopasowany wielomian drugiego rzędu (wzór pod wykresem). Wielomian ten posłuży w rozdziale 5. do wyznaczenia typu widmowego najczęściej obserwowanych w toruńskim ośrodku gwiazd symbiotycznych. Ze względu na złożoność widma takich układów (a ściślej, ze względu na obecność gorącego składnika) nie można w wyznaczeniu nowych typów stosować zależności uzyskanych przez dopasowanie wielomianu do rozkładów pokazanych na *rysunku 2.8*, gdyż nie wiemy, gdzie znajduje się poziom zera dla strumienia energii chłodnego składnika.



Rysunek 2.9: Zależności typu widmowego od stosunku $\frac{A_{\lambda}^{TiO}}{E_{\lambda}^{TiO}}$ dla gwiazd klasy jasności I i II (kółka otwarte) oraz gwiazd klasy jasności III (tu oznaczonych krzyżykami). Pod wykresem wzór wielomianu dopasowanego do punktów na wykresie. Argument "x" jest stosunkiem A/E odłożonym na osi odciętych wykresu.

Tablica 2.8: Nowe typy widmowe uzyskane za pomocą dopasowanego wielomianu do funkcji
 $spM = f\left(\frac{A_{5168}^{TiO} + A_{4955}^{TiO} + A_{4762}^{TiO}}{F_{5168}^{TiO} + F_{4955}^{TiO} + F_{4762}^{TiO}}\right)$ oznaczonego jako wzór (2.2) i $spM = f\left(\frac{A_{4955}^{TiO} + A_{4762}^{TiO}}{F_{4955}^{TiO} + F_{4762}^{TiO}}\right)$ oznaczonego jako wzór (2.1); (odpowiednio 3 i 4 oraz 7 i 8 kolumna tabeli)

gwiazda	data obserwacji	$M_{wzór(2.1)}$	$M_{wzór(2.2)}$	gwiazda	data obserwacji	$M_{wzór(2.2)}$	$M_{wzór(2.1)}$
— klasa jasności I i II				HD214665	2002.08.24	3.77	4.10
HD23475	2004.04.14	2.52	2.13	HD214665	2002.10.19	3.99	4.08
HD23475	2004.04.15	2.53	2.16	HD4408	2002.09.03	3.64	3.61
HD40239	2004.03.17	3.35	3.27	HD4408	2002.09.08	3.63	3.61
HD40239	2004.04.15	3.30	3.22	HD112264	2002.03.18	—	5.09
HD40239	2004.04.14	3.31	3.23	HD112264	2004.04.26	—	4.66
HD97778	2003.04.25	2.85	2.54	HD112264	2002.04.21	5.05	5.08
HD97778	2004.03.05	2.79	2.53	HD186532	2003.07.23	5.13	5.23
HD97778	2004.03.15	2.69	2.38	HD186532	2004.03.05	5.54	5.55
HD97778	2004.04.14	2.80	2.57	HD186532	2004.05.13	5.46	5.55
HD190788	2004.04.26	2.95	2.75	HD224062	2003.12.19	4.34	4.47
HD175588	2004.04.15	4.15	4.26	HD94705	2002.03.18	—	6.20
HD175588	2004.05.14	4.06	4.04	HD94705	2003.02.22	6.55	6.39
HD175588	2004.04.25	4.17	4.20	HD148783	2002.04.11	—	6.31
HD175588	2004.04.26	4.16	4.22	HD179820	2002.08.24	—	5.39
HD172380	2004.04.26	5.68	5.66	HD18191	2002.09.02	6.14	6.07
— klasa jasności III				HD18191	2002.11.06	6.27	6.23
HD102212	2002.03.18	—	1.49	HD24410	2004.01.15	5.49	5.58
HD102212	2003.02.23	—	1.44	— zmienne typu Mira Ceti —			
HD144542	2002.08.28	—	1.68	RAqr	2002.08.28	—	7.24
HD204724	2002.08.21	—	1.47	RCas	2002.09.08	8.09	8.52
HD206330	2002.08.21	—	1.50	RCas	2004.03.05	6.63	6.51
HD222670	2002.08.24	—	2.02	RCas	2003.09.21	8.03	8.54
HD167006	2002.08.28	—	2.64	RCas	2005.08.18	7.71	7.75
HD204599	2002.08.21	—	3.05	RTri	2002.08.21	—	6.98
HD42995	2003.02.23	2.85	2.56	RTri	2002.10.19	7.62	7.62
HD124681	2004.05.13	3.23	3.30	RTri	2002.11.06	8.05	7.93
HD132813	2002.04.11	—	4.62	oCet	2003.09.05	7.00	6.75
HD132813	2004.04.26	4.39	4.51	RLeo	2002.03.18	—	7.42
HD159354	2003.07.23	4.12	4.29	RLeo	2003.02.21	7.20	7.16
HD159354	2003.07.24	4.20	4.32	RLeo	2003.02.22	7.28	7.25
HD186776	2002.04.11	—	3.07	RLeo	2003.03.15	7.23	7.33
HD204585	2003.07.23	4.28	4.23	RLeo	2003.04.02	7.18	7.33
HD204585	2003.08.30	4.40	4.33	RLeo	2003.04.11	6.96	7.08
				RLeo	2004.03.17	8.09	8.72
				RLeo	2004.04.16	7.74	8.29

W tabeli 2.8 (poprzednia strona) przedstawiam typy widmowe dla gwiazd I, II i III klasy jasności, a także dla mir uzyskane przez mgr Jędrzeja Osiwałę, które zostały otrzymane z zależności:

$$spM = -1.59(x)^2 + 7.58(x) + 0.77 \quad (2.1)$$

dla wartości widniejących w kolumnach 3 i 7 oraz

$$spM = 1.39(x)^3 - 5.71(x)^2 + 11.11(x) - 0.61 \quad (2.2)$$

dla wartości w kolumnach 4 i 8, gdzie $x = \frac{A_{\lambda}^{Tio}}{F_{\lambda}^{Tio}}$.

2.6 Średnie typy widmowe i rozkłady energii w ich widmach

W tabeli 2.9 przedstawiam średnie typy widmowe oraz listę gwiazd, których widma zostały uśrednione. Uśrednianie przeprowadzono dla gwiazd klasy jasności III przy założeniu, że nie są one poczerwienione. Otrzymane typy widmowe są średnią arytmetyczną typów widmowych gwiazd branych do uśredniania, wcześniej uzyskanych przez dopasowanie wielomianu do zależności (2.2). W dalszej kolejności zamieszczam wykresy rozkładów energii takich „sztucznych” gwiazd. Poniższe zależności jak również dołączone wykresy są wynikiem pracy mgr Jędrzeja Osiwałę.

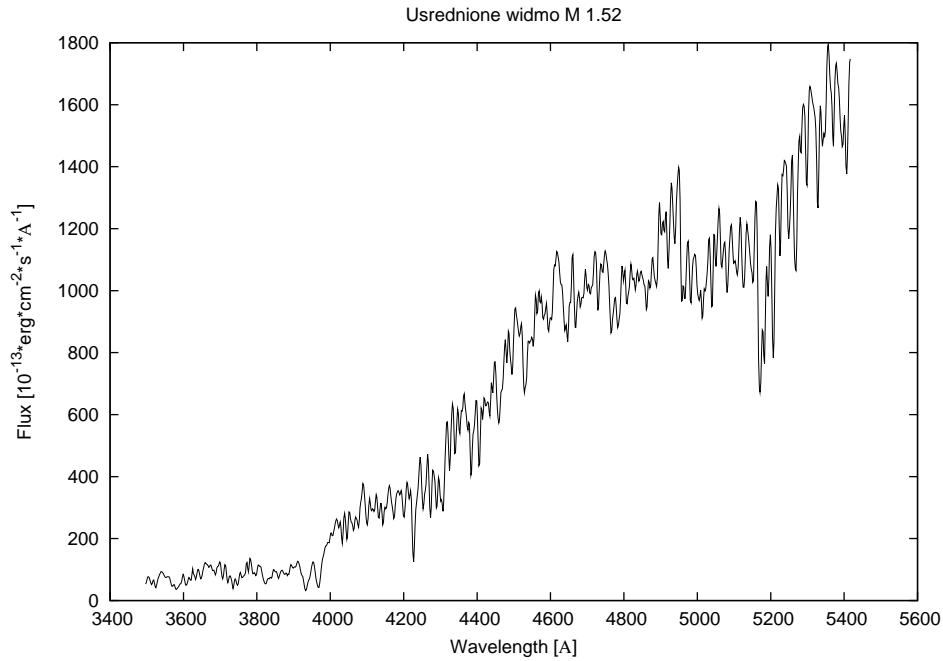
Tablica 2.9: Uśrednione typy widmowe. Opis powyżej.

gwiazda	data obserwacji	typ widmowy przed uśrednieniem	uśredniony typ widmowy
HD102212	2002.03.18	M 1.49	M 1.52±0.03
HD102212	2003.02.23	M 1.44	
HD204724	2002.08.21	M 1.47	
HD206330	2002.08.21	M 1.50	
HD144542	2002.08.28	M 1.68	
HD42995	2003.02.23	M 2.56	M 3.13±1.19
HD167006	2002.08.28	M 2.64	
HD186776	2002.04.11	M 3.07	
HD124681	2004.05.13	M 3.30	
HD4408	2002.09.03	M 3.61	
HD4408	2002.09.08	M 3.61	
HD214665	2002.10.19	M 4.08	
HD214665	2002.08.24	M 4.10	
HD204585	2003.07.23	M 4.23	
HD159354	2003.07.23	M 4.29	

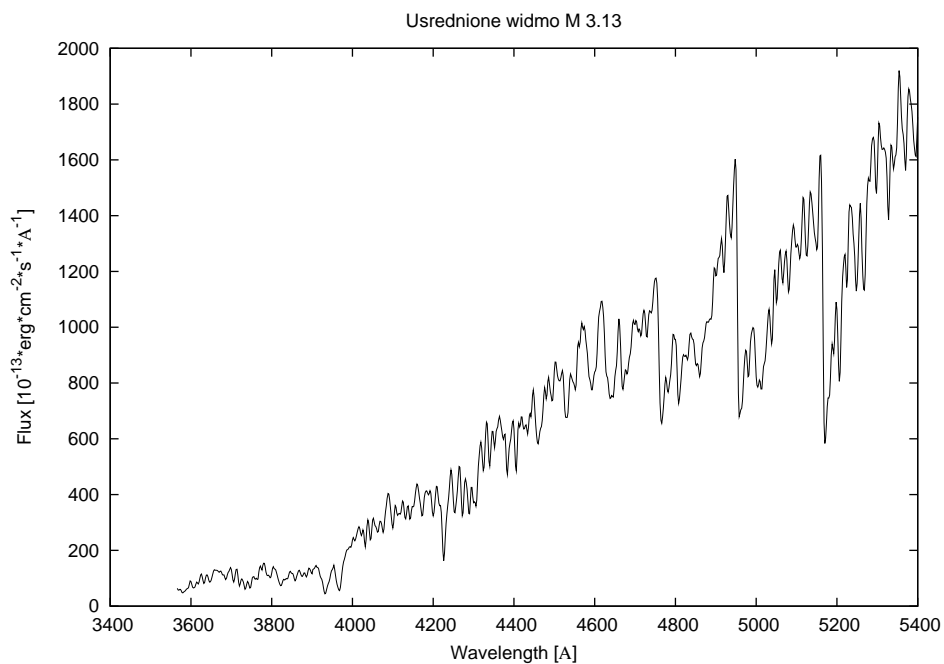
Tablica 2.10: Ciąg dalszy tabeli 9.

gwiazda	data obserwacji	typ widmowy przed uśrednieniem	uśredniony typ widmowy
HD159354	2003.07.24	M 4.32	M 4.35±0.06
HD204585	2003.08.30	M 4.33	
HD224062	2003.12.19	M 4.47	
HD132813	2004.04.26	M 4.51	
HD132813	2002.04.11	M 4.62	
HD112264	2002.04.21	M 4.66	
HD112264	2004.04.26	M 5.08	M 5.35±0.10
HD112264	2002.03.18	M 5.09	
HD186532	2003.07.23	M 5.23	
HD186532	2004.03.05	M 5.55	
HD186532	2004.05.13	M 5.55	
HD24410	2004.01.15	M 5.58	
HD18191	2002.09.02	M 6.07	M 6.24±0.05
HD94705	2002.03.18	M 6.20	
HD18191	2002.11.06	M 6.23	
HD148783	2002.04.11	M 6.31	
HD94705	2003.02.23	M 6.39	

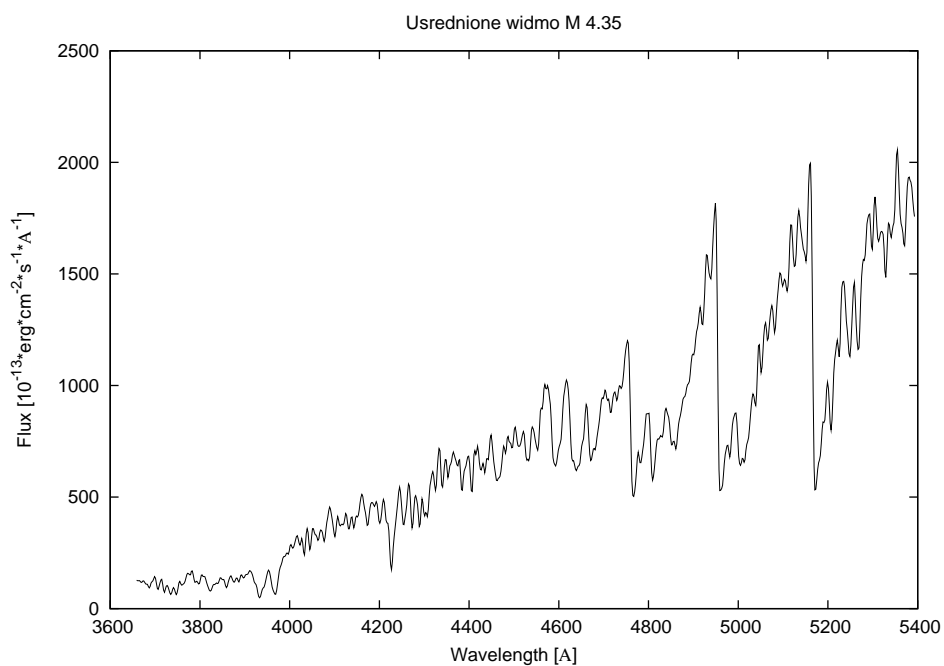
Na rysunkach 2.10–2.14 przedstawiam średnie rozkłady energii dla uśrednionych podtypów widmowych standardów spektrofotometrycznych typu M.



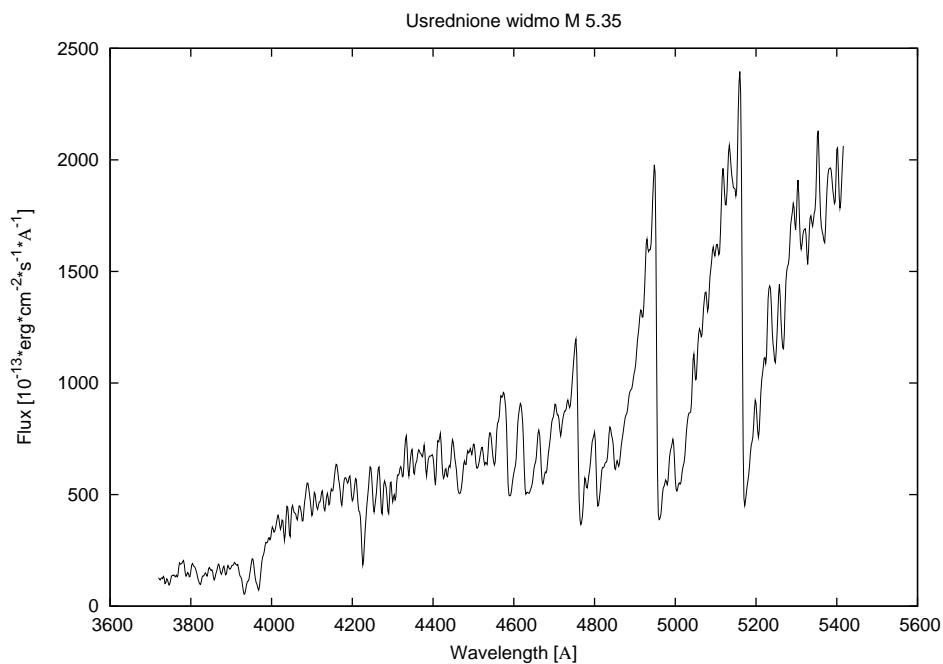
Rysunek 2.10: Rozkład energii uśrednionego typu widmowego M 1.52 (patrz tabela 2.9.).



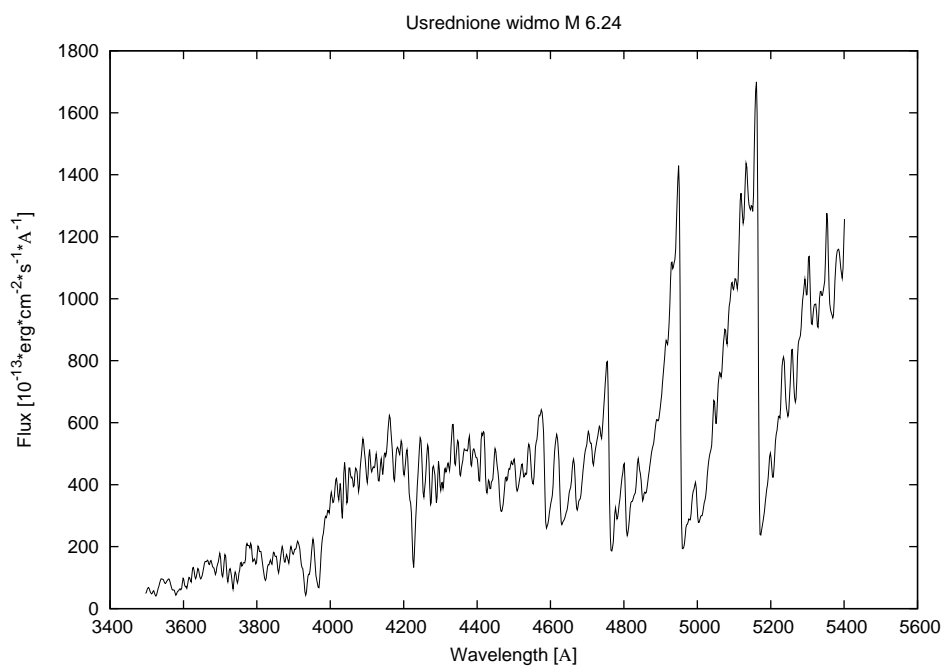
Rysunek 2.11: Rozkład energii uśrednionego typu widmowego M 3.13 (patrz tabela 2.9.)



Rysunek 2.12: Rozkład energii uśrednionego typu widmowego M 4.35 (patrz tabela 2.9 i 2.10).



Rysunek 2.13: Rozkład energii uśrednionego typu widmowego M 5.35 (patrz tabela 2.10).



Rysunek 2.14: Rozkład energii uśrednionego typu widmowego M 6.24 (patrz tabela 2.10).

Rozdział 3

Rozkłady energii w widmach gwiazd symbiotycznych

3.1 Kalibracja danych obserwacyjnych

Ekstrakcji widm pochodzących z *CCS* dokonywałem głównie przy pomocy procedur dostarczanych wraz z jednym z pakietów środowiska IRAF o nazwie KPNOSLIT. Jako widma porównania posłużyły mi widma lampy torowo-argonowej (ThAr–zimna katoda w osłonie argonu). Widma te były osobnymi, kilkusekundowymi ekspozycjami stowarzyszonymi z widmami obserwowanych gwiazd dla każdego położenia teleskopu. Miało to na celu wyeliminowanie ewentualnych przesunięć i ugięć elementów optycznych w wyniku ruchu teleskopu. Po identyfikacji od 20 do około 30 linii w widmie porównania była wyznaczana krzywa dsypersji (przez dopasowanie wielomianu trzeciego stopnia). Aby odtworzyć rzeczywisty rozkład energii należy uwzględnić wiele czynników takich jak czułość spektralna detektora, wybiórczy wpływ elementów optycznych teleskopu i spektrografu na promieniowanie, a także wpływ atmosfery ziemskiej. W tym celu konieczne jest pomnożenie widma $n(\lambda)$ przez krzywą czułości instrumentalnej $S(\lambda)$ oraz usunąć wpływ atmosfery ziemskiej poprzez uwzględnienie ekstynkcji atmosferycznej $E(\lambda)$. Dlatego też widmo $n(\lambda)$ można wyrazić następująco:

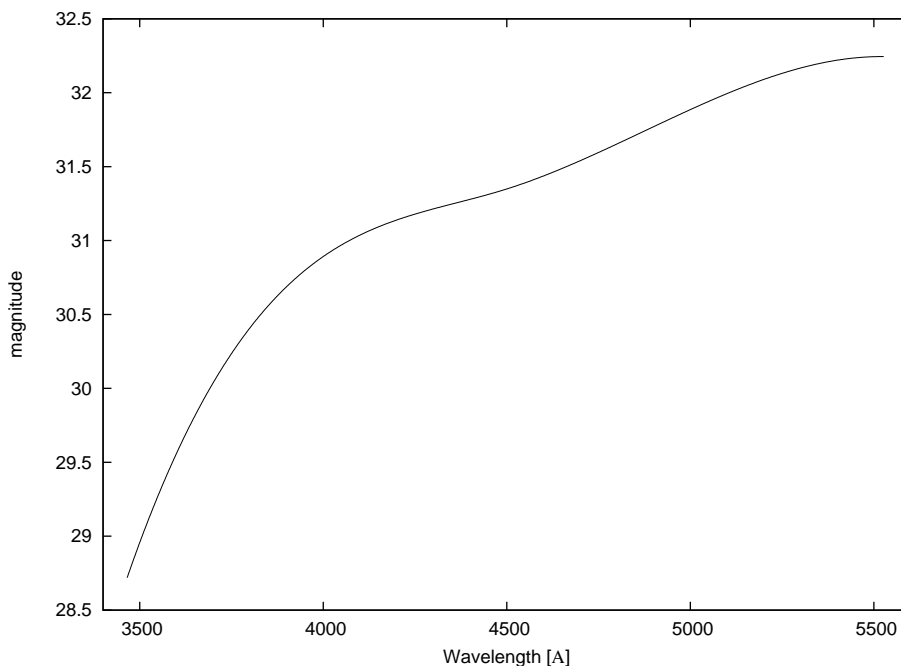
$$n(\lambda) = C(\lambda) \cdot F(\lambda) \tag{3.1}$$

gdzie $F(\lambda)$ jest rzeczywistym rozkładem energii w widmie, a $C(\lambda)$ jest funkcją, która reprezentuje wpływ aparatury i atmosfery ziemskiej na promieniowanie, które rejestrujemy. Funkcję $F(\lambda)$ uzyskujemy rejestrując obok widm gwiazd badanych widma standardów spektrofotometrycznych, czyli stałych gwiazd o znanym rozkładzie energii w widmie. Otrzymana krzywa $C(\lambda)$ odnosi się tylko

do obserwacji na podobnych odległościach zenitalnych, gdyż zawiera w sobie dodatkowo czynnik nieprzezroczystości atmosfery zależny od długości fali światła dla konkretnego słupa powietrza i aktualnego stanu atmosfery ziemskiej. Czynnik ten nosi nazwę ekstynkcji atmosferycznej $E(\lambda)$ i wyrażony jest w magnitudo. Określa on ilość strat światła po przejściu przez atmosferę ziemską w zenicie. Dla różnych odległości zenitalnych z wprowadza się czynnik masy powietrznej A , który w zenicie jest równy 1 i rośnie wraz z z .

$$A \cong \sec z \quad (3.2)$$

Jest to przybliżenie przy założeniu, że atmosfera jest płaskorównoległą warstwą gazu. Masy powietrzne są obliczane przy pomocy procedur środowiska IRAF. Do celów spektroskopowych ekstynkcję atmosferyczną powinno się wyznaczać z obserwacji, gdyż nie da się jej określić teoretycznie z dostateczną dokładnością. By tego dokonać należy zarejestrować widma gwiazd standardowych przy możliwie dużej różnicy nas powietrznych w tych samych warunkach pogodowych. Standardy spektrofotometryczne są gwiazdami stałymi, które mają wyznaczony średni strumień dla masy powietrznej $A = 0$ przypadający na fragment widma (tzw. pasmo). Dane o rozkładach energii w widmach standardów spektrofotometrycznych najczęściej zawierają informacje o obserwowanym w zenicie strumieniu elektromagnetycznym w funkcji długości fali i są zapisane w postaci tabeli składającej się z trzech kolumn. W pierwszej znajdują się długości fali środka pasma, w którym jest wyznaczony średni strumień. W drugiej widnieje wartość tego strumienia, a w trzeciej szerokość pasma. Przy pomocy procedury SENSFUNC uzyskujemy krzywą czułości (rysunek 3.1). Procedura ta umożliwia uwzględnienie ekstynkcji atmosferycznej. Na potrzeby tej pracy stosowałem średnia krzywą czułości dla CCS w używanej konfiguracji. Krzywa czułości jest dostępna na płycie załączonej do tej pracy.



Rysunek 3.1: Krzywa czułości instrumentalnej dla konfiguracji używanej przy zbieraniu danych obserwacyjnych na potrzeby tej pracy.

Kalibracja danych obserwacyjnych przebiegała w sposób opisany powyżej, a sfinalizowana została przy pomocy aplikacji CALIBRATE. Aplikacja ta pozwala na przekalibrowanie widm do jednostek strumieni energii z uwzględnieniem ekstynkcji atmosferycznej i przy użyciu krzywej czułości uzyskanej w procedurze SENSFUNC. Nowe widmo jest funkcją długości fali λ . Zbiór wartości tej funkcji wyrażony jest w $erg \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1} \cdot \text{\AA}^{-1}$ lub $erg \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1} \cdot Hz^{-1}$. Uwzględnione w tej pracy układy symbiotyczne to: AG Peg, AX Per, BX Mon, CI Cyg, MWC560, NQ Gem, RS Oph, T CrB, TX CVn, V934 Her, YY Her, Z And oraz ZZ CMi. Dla układów takich jak: EG And, V627 Cas, V1016 Cyg, a także PU Vul nie udało się uzyskać rozkładów energii mimo, iż ich obserwacje były prowadzone. Powodem tego jest niewystarczająca ilość widm o zadowalającej jakości, jak również niesprzyjająca powtórzeniu obserwacji tych układów pora roku. Dodatkowo gwiazdy AG Dra oraz CH Cyg zostały odrzucone jako obiekty, opracowywane w innym projekcie.

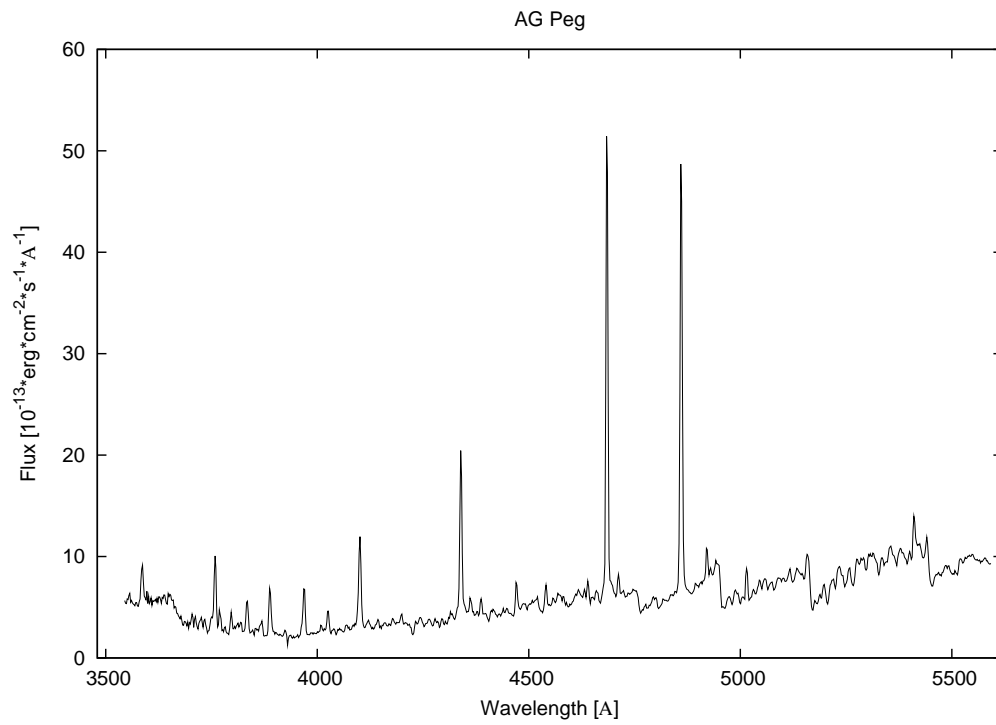
3.2 Rozkłady energii gwiazd symbiotycznych

Na rysunkach 3.2-3.25 przedstawiam uzyskane rozkłady energii dla układów gwiazd symbiotycznych wybranych na podstawie pracy magisterskiej Ariela Majchera (Majcher, 2004). Z jego pracy pochodzą również wszystkie opisy gwiazd zamieszczone w podrozdziałach 3.2.1–3.2.13, z wyjątkiem opisu MWC 560. Dla jedenastu obiektów dołączam obraz widma uzyskany w obserwatorium Asiago. Obserwacje w Asiago zostały wykonane na teleskopie o średnicy 1.5 m z siatką dyfrakcyjną 400 rys/mm. Obrazy widm są skanami pochodzącymi z pracy Munariego (Munari and Zwitter, 2002). Strumienie energii dla załączonych widm wyrażone są w takich samych jednostkach i rzędach wielkości jak widma uzyskane na toruńskim spektrografie, tzn. w $10^{-13} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{\AA}^{-1}$. Pod każdym widmem zamieszczam w nawiasie datę obserwacji obiektu.

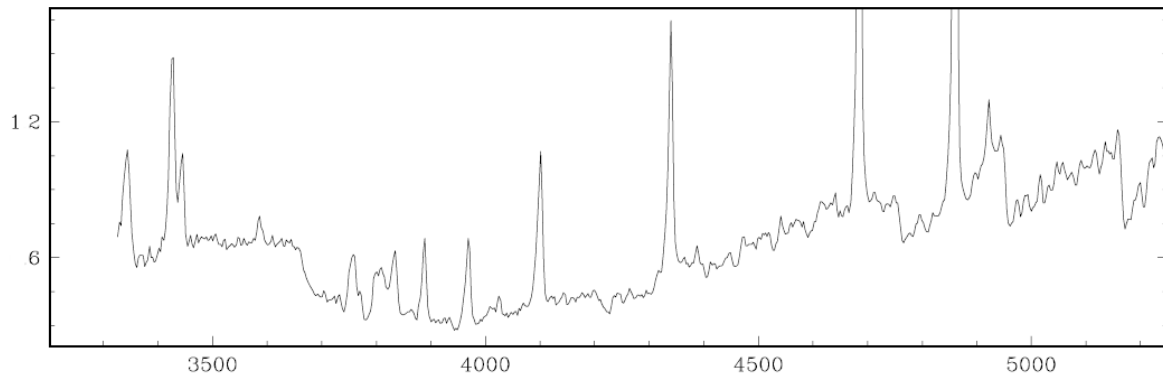
3.2.1 AG Peg

Jest to najstarsza ze znanych obecnie gwiazd symbiotycznych. W latach pięćdziesiątych XIX wieku nastąpił wybuch, który zwiększył jej jasność o 3 magnitudo co pozwoliło sklasyfikować ją jako wybuchową gwiazdę podwójną, obecnie wymienianą jako nowa symbiotyczna (Kenyon, 1986; Kenyon et al., 1993). AG Peg to gwiazda spektroskopowo podwójna, u której nie występują zaćmienia, a zmiany blasku są powodowane odbiciem światła małej, bardzo gorącej gwiazdy ($T = 9000K$), przypominającej gwiazdę Wolfa-Rayeta o typie WN6 z szerokimi liniami emisyjnymi HII i NV (Tomov et al., 1998) od atmosfery chłodnego olbrzyma M3 III (Belyakina, 1970). Olbrzym nie wypełnia powierzchni Roche’a (Chochol et al., 1998). Okres orbitalny układu (wyznaczony na podstawie zmian prędkości radialnych) wynosi około 800 dni. Chłodny składnik układu jest typowym olbrzymem M3, a cały układ jest załóżony w kilku warstwach zjonizowanego gazu (Kenny et al., 1991), stąd AG Peg jest dobrym laboratorium do badania zderzających się wiatrów gwiazdowych. Wiatr z olbrzyma wieje z prędkością 20km/s , a tempo utraty masy przez chłodny składnik wynosi $2 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{rok}$ i nie zmienia się (Muerset et al., 1995). Natomiast w przypadku gorącego towarzysza tempo utraty masy spadło z $1.48 \cdot 10^{-7}$ do $7.98 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{rok}$ w ciągu trzech lat, a prędkość wiatru wynosi 1000km/s (Tomov et al., 1998). Na rysunku 3.2 przedstawiam przykładowy rozkład energii w funkcji długości fali dla układu AG Peg z nocy 06.09.2003.

Rysunek 3.3 przedstawia rozkład energii zaczerpnięty z katalogu Munariego i Zwittera (2002). Strumienie energii na obydwu rysunkach wyrażone są w $10^{-13} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{\AA}^{-1}$.



Rysunek 3.2: Przykładowy rozkład energii dla układu AG Peg z nocy 06.09.2003.



Rysunek 3.3: Rozkład energii dla układu AG Peg z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 29.05.1996. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.2.

3.2.2 AX Per

Gwiazda symbiotyczna AX Per została odkryta w 1932 roku (Merrill et al., 1932). Dyskusję zmienności fotometrycznej podjęto w tym samym roku po odnotowaniu około 650-dniowych oscylacji, które pojawiły się po wybuchach w 1887 oraz 1924 roku (Kenyon, 1982). Zmienności oscylacji okazały się podobne do tych po wybuchach Z And i CH Cyg (Payne-Gaposchkin, 1946; Mattei et al., 1997) i miały amplitudę zmian rzędu 1–2 mag z gwałtownym wzrostem jasności do maksimum i spadkiem w $(B - V)$. Do tej pory zaobserwowano 5 dużych wybuchów w latach 1893 (Lindsay, 1932), 1924 (Payne-Gaposchkin, 1946), 1949, 1978, 1988 oraz kilka małych erupcji.

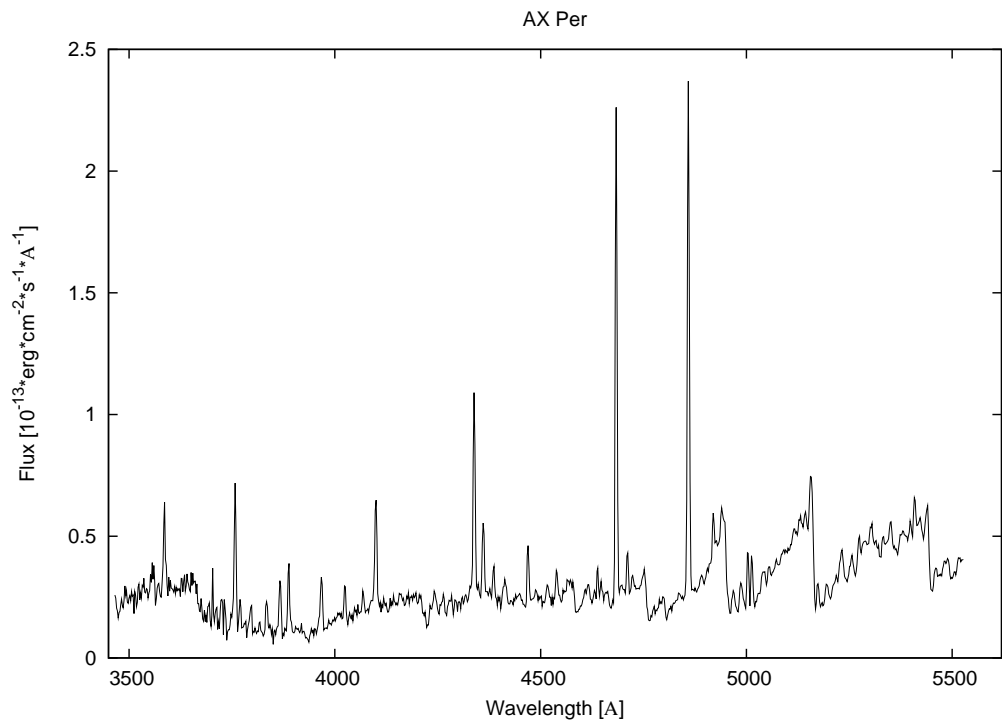
AX Per okazała się układem zaćmieniowym o okresie orbitalnym 680.8 dnia. Analizy osianych minimów pokazują systematyczny spadek okresu w tempie 2dni/100lat, dzięki czemu otrzymano spadek masy $10^{-5}M_{\odot}/rok$ dla chłodnego składnika (o rozmiarach zbliżonych do rozmiarów Słońca) i składnika gorącego o masie około $0.4M_{\odot}$.

Widmo AX Per pokazuje cechy powszechne u większości gwiazd symbiotycznych, tj. intensywne linie H I, He II, O III, Ne III, Fe II nałożone na widmo absorpcyjne olbrzyma późnego typu.

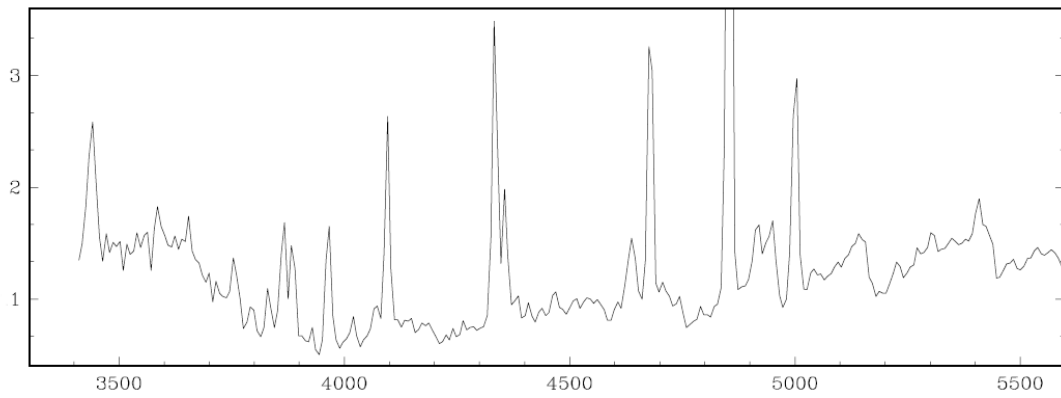
Chłodny składnik jest olbrzymem najprawdopodobniej typu M3 III lub późniejszym (Merrill, 1944; Kenyon and Gallagher, 1983). Kenyon and Fernandez-Castro (1987) wskazują na typ pomiędzy M3.5 a M5.5 i klasę jasności pośrednią między II a III. Olbrzym wypełnia strefę Roche’a i materia przepływa na dysk akrecyjny otaczający małomasyną gwiazdę ciągu głównego. Jasność dysku zmienia się od $L_{dysk} \sim 100L_{\odot}$ w fazie spokojnej do $L_{dysk} \sim 5700L_{\odot}$ w wybuchu, przy założeniu odległości 2.5 kpc (Mikołajewska and Kenyon, 1992).

W wizualnej krzywej blasku obserwuje się szerokie zmienności w ingresie i egresie. Dla ich wyjaśnienia postuluje się przesłanianie gorącego składnika przez pyłową otoczkę otaczającą olbrzyma późnego typu, w której także zanurzony jest gorący składnik.

Rysunek 3.4 przedstawia przykładowy rozkład energii układu AX Per z nocy 17.08.2005. Na rysunku 3.5 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.4: Przykładowy rozkład energii dla układu AX Per z nocy 17.08.2005.



Rysunek 3.5: Rozkład energii dla układu AX Per z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 15.10.1995. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.4.

3.2.3 BX Mon

Osobliwa natura widma BX Mon została zauważona po raz pierwszy przez Mayall w 1940 roku. Merrill and Burwell (1950) obserwowali bardzo silną emisję H_α i później gwiazda została sklasyfikowana przez Bidelmana (Bidelman, 1954) jako symbiotyczna. Charakterystyczne dla gwiazd linie jonizacyjne HeII i OIII zaobserwował Iijima (1984).

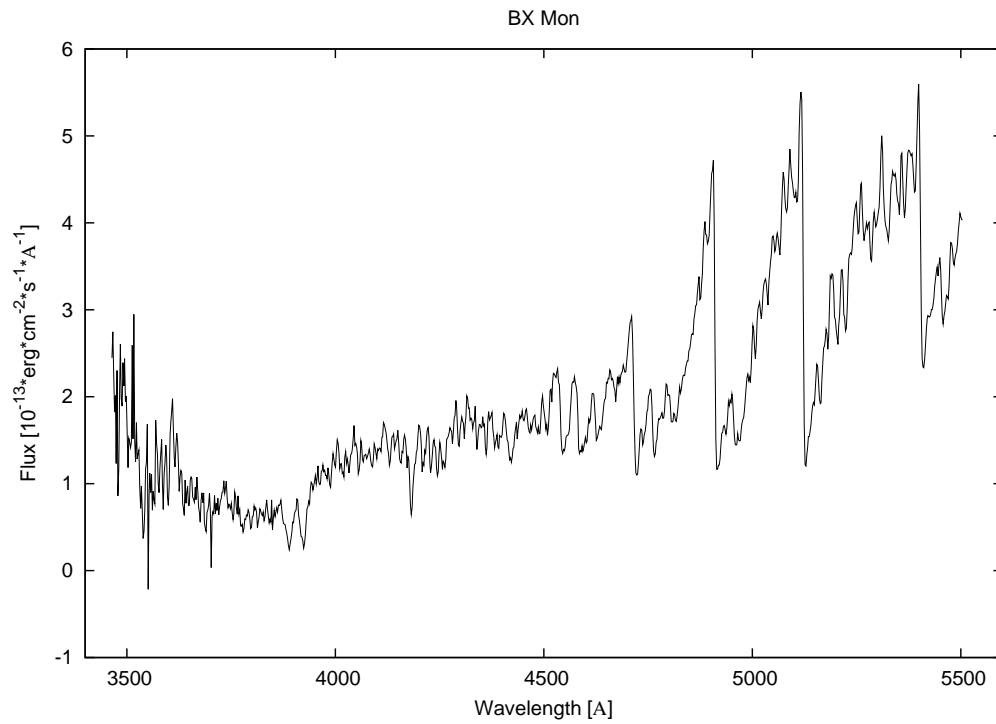
BX Mon to układ podwójny zaćmieniowy o długim okresie wynoszącym 1401 dni i prawdopodobnie eliptycznej orbicie o mimośrodku $e = 0.49$ (Dumm et al., 1998). Natomiast Fekel et al. (2000) z 28 prędkości radialnych otrzymali inny, znacznie krótszy okres wynoszący 1259 dni, który jest porównywalny z wartością otrzymaną wcześniej przez innych badaczy tego układu. Chłodny składnik to olbrzym typu M5 (Mürset and Schmid, 1999). Optyczne widmo zdominowane jest przez czerwone kontinuum z silnymi pasmami TiO (rysunek 3.6) charakterystycznymi dla późnych gwiazd typu M. Masa tej gwiazdy szacowana jest na $3.7M_\odot$, a dystans do niej (wyliczony z absorpcyjnych linii międzygwiazdowych) to około 3 kpc (Dumm et al., 1998). W blasku olbrzyma występują małe nieregularności podobne do tych w gwiazdach symbiotycznych typu S. Obserwacje w podczerwieni dają niemal stałe kolory $J - H$ i $H - K$. Najprawdopodobniej chłodny składnik nie jest więc zmienną typu mira, co jest w zgodności z przynależnością do gwiazd symbiotycznych typu S.

Widma IUE (od ang. *International Ultraviolet Explorer*) uwidaczniają cechy absorpcji i kontinuum charakterystyczne dla gorącego składnika typu późnego A lub wczesnego F (Michalitsianos et al., 1982). Dumm et al. (1998) zauważyli w widmach w przedziale od zakresu niebieskiego do 6000\AA dowody na obecność gorącego składnika. Określili stosunek mas $M_{cool}/M_{hot} = 6.7 \pm 1.3M_\odot$ i sugerują, że gorący składnik to biały karzeł o masie $0.55M_\odot$. O niezwykłości BX Mon jako układu symbiotycznego decyduje fakt, że gorący składnik jest stosunkowo chłodny i obserwowany w niebieskim zakresie widma. Widmo jest stabilne w podczerwieni, podczas gdy silnie zmienia się w barwach $U - V$. Zmienności te przypisuje się wahaniom blasku białego karła i geometrycznym efektom orbitalnym, jak okresowe zaćmienia (Iijima, 1985). Stąd wniosek, że zmiany jasności powodowane są przez periodyczne wahania tempa akrecji wynikłe z eliptyczności orbity, zaś zmiany blasku około fotometrycznego minimum pochodzą od przesłaniania gorącego składnika przez olbrzyma.

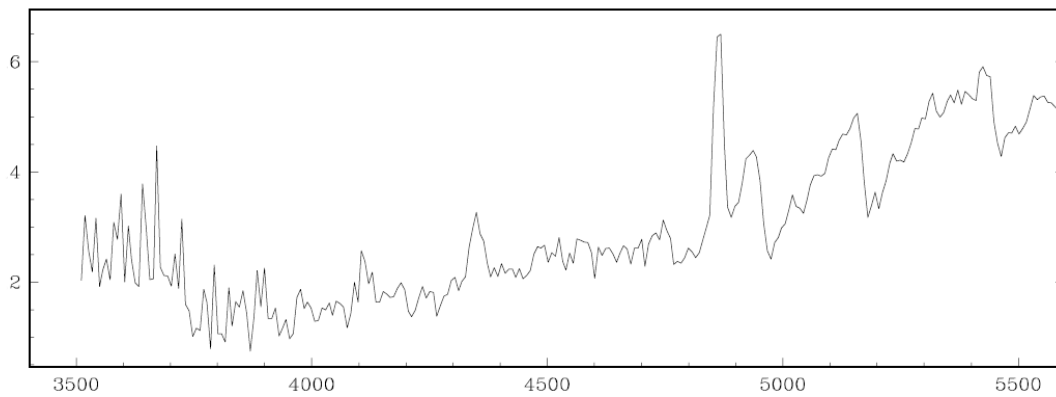
Rysunek 3.6 przedstawia przykładowy rozkład energii układu BX Mon

44ROZDZIAŁ 3. ROZKŁADY ENERGII W WIDMACH GWIAZD SYMBIOTYCZNYCH

z nocy 09.01.2006. Na rysunku 3.7 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.6: Przykładowy rozkład energii dla układu BX Mon z nocy 09.01.2006.



Rysunek 3.7: Rozkład energii dla układu BX Mon z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 10.03.1995. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.6.

3.2.4 CI Cyg

CI Cyg to symbiotyczny układ podwójny zawierający olbrzyma typu M5 o klasie jasności II i masie $\sim 1.5M_{\odot}$ jako składnik główny i być może gwiazdę ciągu głównego o masie $\sim 0.5M_{\odot}$ otoczoną przez duży dysk akrecyjny (Kenyon et al., 1991).

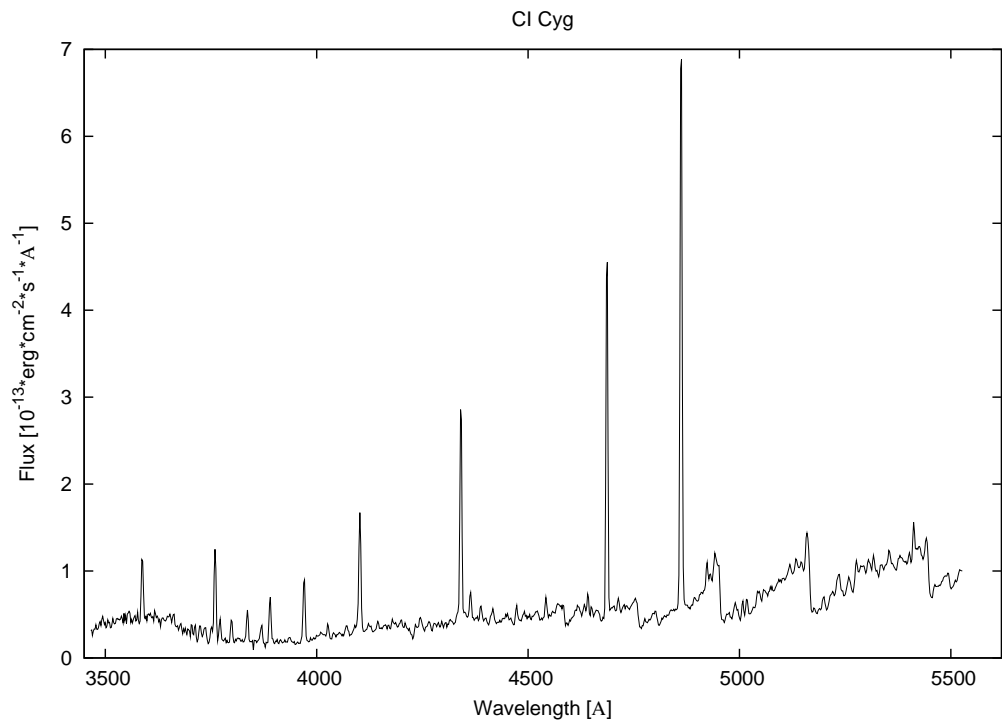
Zmienność fotometryczna została odkryta w 1937 roku (Greenstein, 1937). Obserwacje wizualne i fotograficzne pozwoliły wyliczyć okres o wartości 855.25 dnia (Aller, 1954). Długość okresu oraz występowanie zaćmień zostało potwierdzone kilkanaście lat później (Belyakina, 1979, 1984). Zachowanie się wskaźników barwy $B - V$ oraz $U - B$ wskazuje na to, że minimum główne jest wynikiem zakrycia składnika wtórnego przez olbrzyma. Nachylenie orbity i wynosi $73^{\circ} \pm 6^{\circ}$.

W układzie występują powtarzające się cykliczne wybuchy. Cykl otwierany jest przez silniejszy wybuch ($\Delta V \sim 3^m$), po którym następują mniejsze ($\Delta V \sim 2^m$).

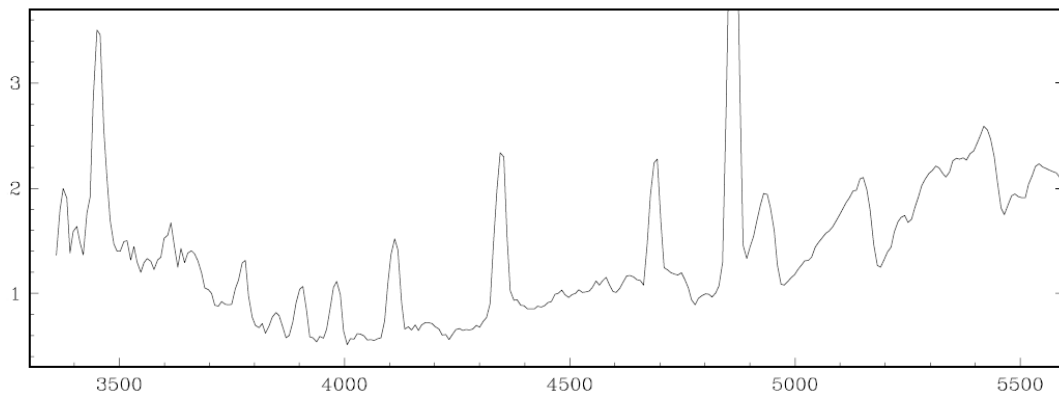
Chłodny składnik wypełnia swoją powierzchnię Roche'a. Nadwyżka promieniowania na 12 mikrometrach sugeruje obecność pyłowej otoczki wokół gwiazdowej (Kenyon et al., 1991).

Obserwacje kontinuum UV dostarczają silnych dowodów na to, że gorący składnik jest dyskiem akrecyjnym a nie zwartym źródłem gwiazdowym. Silne linie emisyjne UV i optyczne wskazują na istnienie rozległej zjonizowanej mgławicy otaczającej go. Niektóre cechy widmowe znikają podczas zaćmienia głównego (H I, He II, N V), podczas gdy inne (O III, Ne V, Fe VII) pozostają niezmienione (Kenyon et al., 1991).

Rysunek 3.8 przedstawia przykładowy rozkład energii układu CI Cyg z nocy 17.08.2005. Na rysunku 3.9 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.8: Przykładowy rozkład energii dla układu CI Cyg z nocy 17.08.2005.



Rysunek 3.9: Rozkład energii dla układu CI Cyg z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 11.03.1995. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.8.

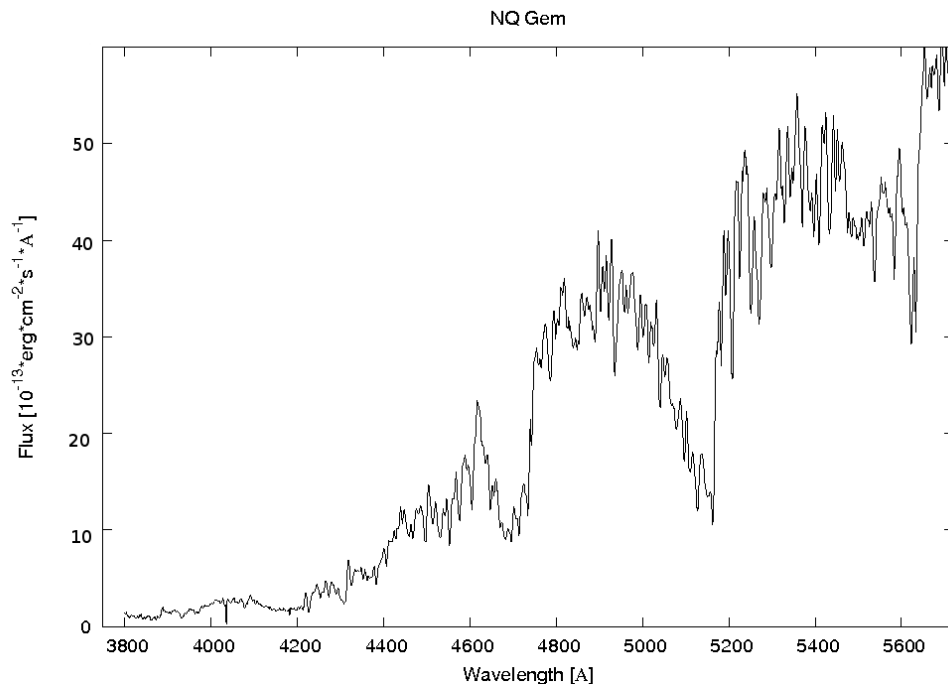
3.2.5 NQ Gem

Gwiazda NQ Gem należy do grupy obiektów węglowych typu widmowego R8–9 (Keenan and Morgan, 1941) lub zgodnie z obowiązującą nomenklaturą C 6.2, która pokazuje niezwykle aktywność spektroskopową. Złożone widmo wykonane w satelitarnym ultrafiolecie posiada cechy gwiazd symbiotycznych. Także wysoka zmienność kontinuum UV z silną emisją C IV i stosunek Si III do C III pozwala zaliczyć NQ Gem do tej grupy gwiazd (Keenan and Morgan, 1941). Obiekt został umieszczony w katalogu gwiazd podejrzanych o symbiotyczność Belczyńskiego (2000).

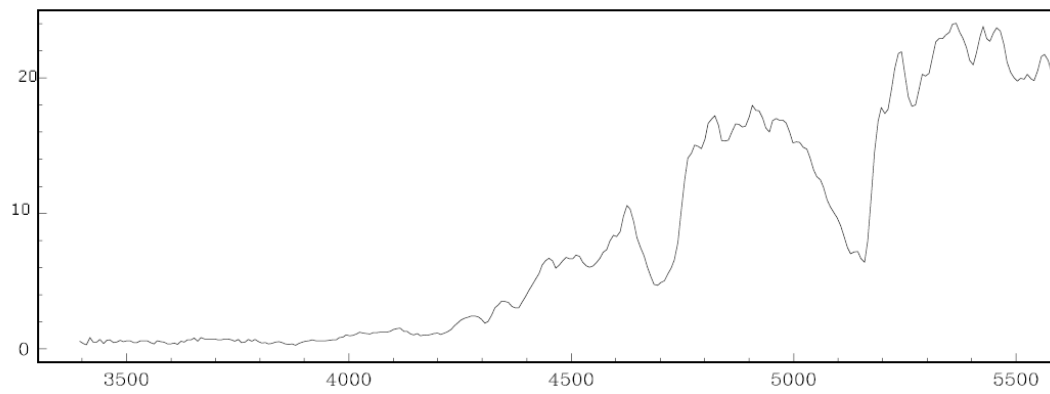
NQ Gem jest układem podwójnym z dyskiem akrecyjnym wokół składnika wtórnego (Johnson et al., 1988). Dysk jest karmiony przez zewnętrzną atmosferę i wiatr gwiazdy węglowej i może być odpowiedzialny za niebieskie kontinuum w widmie. Zakładając, że dysk świeci jak ciało doskonale czarne o temperaturze $T = 20000K$ jego rozmiary przy minimum emisji powinny wynosić $\leq 0.03R_{\odot}$.

Wcześniej wyjaśniano ultrafioletowe widmo hipotezą, według której NQ Gem miała być młodą, szybko ewoluującą mgławicą planetarną (Querci et al., 1986).

Rysunek 3.10 przedstawia przykładowy rozkład energii układu NQ Gem z nocy 10.03.2007. Na rysunku 3.11 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.10: Przykładowy rozkład energii dla układu NQ Gem z nocy 10.03.2007.



Rysunek 3.11: Rozkład energii dla układu NQ Gem z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 07.02.1996. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.10.

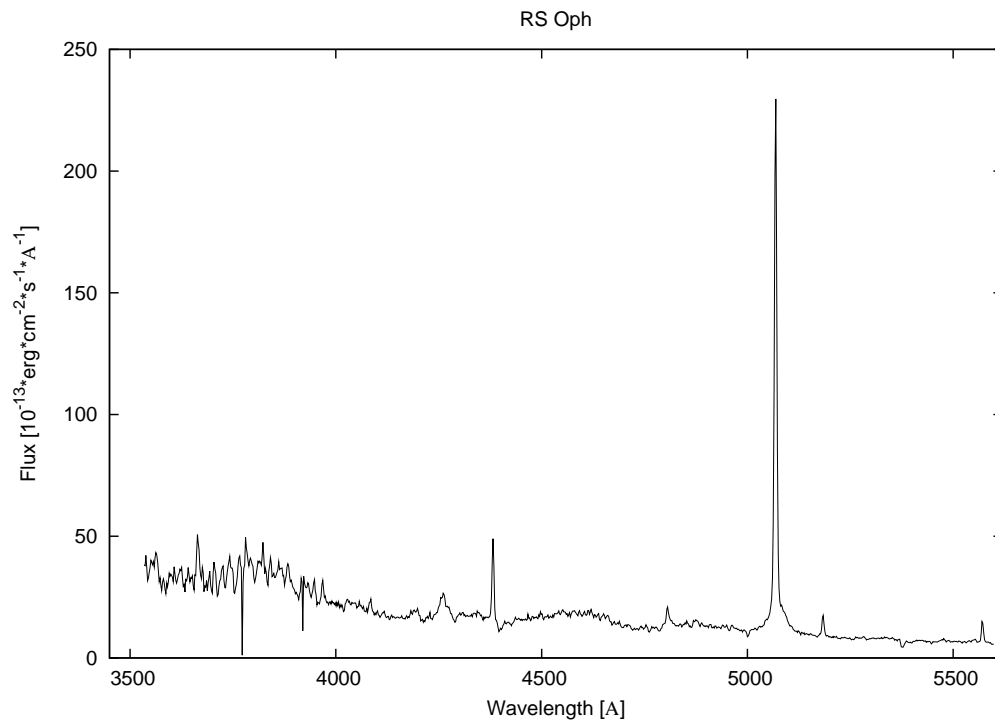
3.2.6 RS Oph

Jest to symbiotyczna nowa powrotna, u której zaobserwowano dotychczas sześć wybuchów: 1898, 12.08.1933, 14.07.1958, 27.10.1967, 28.01.1985 (Rosino and Iijima, 1987) oraz 12/13.02.2006. Odstępy między wybuchami są względnie krótkie $\sim 10 - 20$ lat. Chłodnym składnikiem jest czerwony olbrzym typu K7 (Mürset and Schmid, 1999) niewypełniający swojej strefy Roche'a i tracący masę przez intensywny wiatr gwiazdowy (Dobrzycka et al., 1996a). Gorącym składnikiem jest biały karzeł z dyskiem akrecyjnym, którego moc promieniowania oszacowana z obserwacji w ultrafiolecie wynosi $\sim 100L_{\odot}$ (Snijders, 1987).

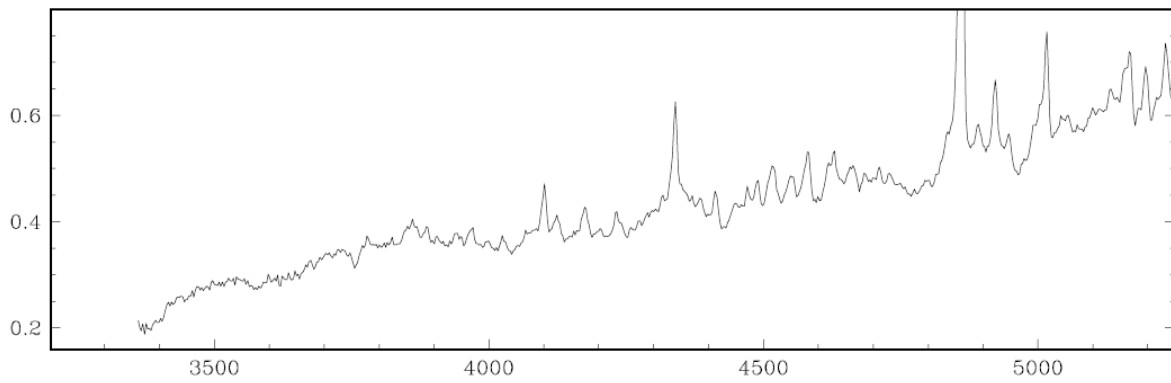
Gwałtowny spadek blasku po wybuchu wskazuje na bardzo masywnego białego karła, bliskiego limitu masy Chandrasekhara, według Hachisu and Kato (2000) $-1.36M_{\odot}$. Szacowany przez nich szybki przyrost masy białego karła (ok. $1.2 \cdot 10^{-8}M_{\odot}/\text{rok}$) czyni z RS Oph kandydata na supernową typu Ia.

Dystans do układu jest raczej niewielki i wynosi około 0.6 kpc. Za to dosyć długi jest okres ruchu orbitalnego wynoszący 455.7 dnia (Fekel et al., 2000).

Rysunek 3.12 przedstawia przykładowy rozkład energii układu RS Oph z nocy 15.09.2006 (kila miesięcy po wybuchu). Na rysunku 3.13 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.12: Przykładowy rozkład energii dla układu RS Oph z nocy 15.09.2006 (kilka miesięcy po wybuchu).



Rysunek 3.13: Rozkład energii dla układu RS Oph z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 29.05.1996. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.12.

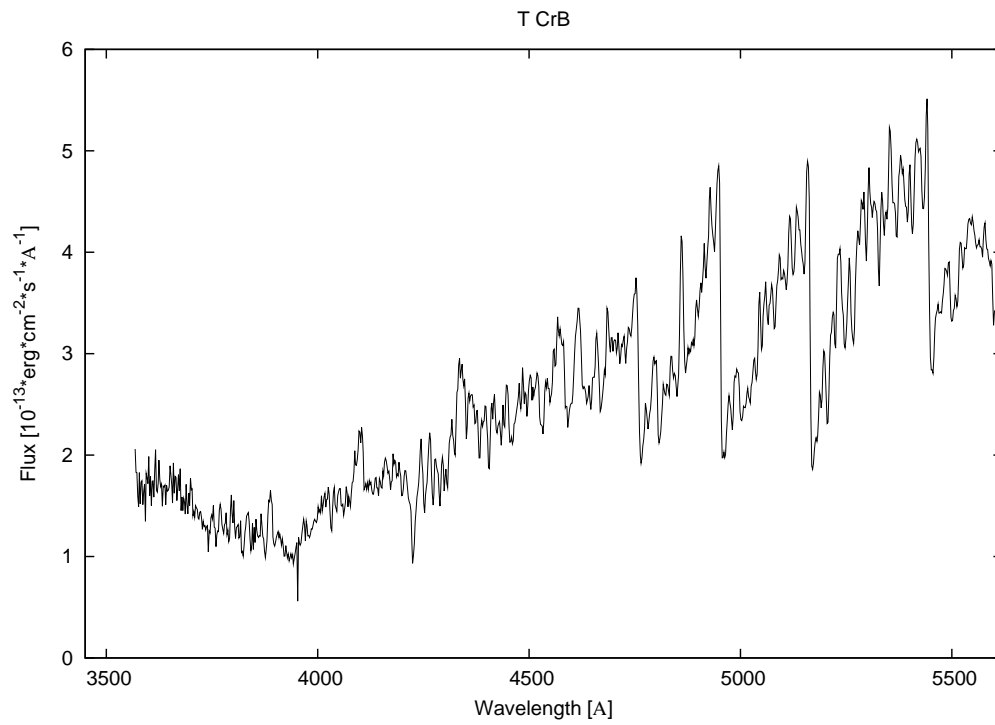
3.2.7 T CrB

Gwiazda ta należy do grupy gwiazd nowych powrotnych, zaliczana jest również do gwiazd symbiotycznych. Układ łączy olbrzymą typu widmowego M4.5 (Belczyński et al., 2000) z białym karłem o masie w przedziale $1.2 - 1.4M_{\odot}$ (Belczynski and Mikolajewska, 1998). W połowie XX wieku zagadnienie masy białego karła budziło dużo kontrowersji, gdyż wiele wskazywało na to, że przekracza ona granicę Chandrasekhara (Kraft, 1958; Kenyon and Garcia, 1986). Jednak nowe obliczenia wykazały, że tak nie jest (Belczynski and Mikolajewska, 1998).

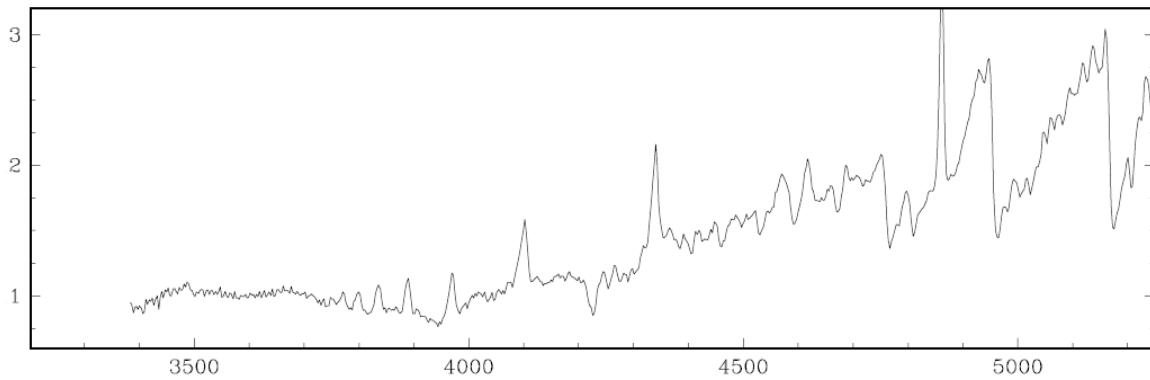
Czerwony olbrzym wypełnia swoją strefę Roche'a, a zatem ma niesferyczną powierzchnię i jasność powierzchniowa jest niejednorodna. Z tego powodu w krzywej blasku obserwuje się składową sinusoidalną o okresie równym okresowi orbitalnemu (227.6 dnia)—tzw. zmienność elipsoidalną.

W latach 1866 i 1946 obserwowano wybuchy, podczas których gwiazda pojaśniała o 9^m . Wybuchy miały podobny przebieg (Kraft, 1958). Poza tym w układzie obserwuje się stany wysokiej i niskiej aktywności (Zamanov et al., 2004), z którymi związany jest flikering (Stanishev et al., 2004), występujący przede wszystkim w fazie aktywnej, osiągając największą amplitudę w barwie U: około 0.1–0.5 magnitudo. Obecność flikeringu nie ma związku z ruchem orbitalnym układu. Ponieważ obserwuje się go w bardziej energetycznym przedziale widma—flikering łączy się z aktywnością białego karła (Sokoloski et al., 2001; Bruch, 1980; Zamanov et al., 2004; Ianna, 1964; Lawrence et al., 1967; Bianchini and Middleditch, 1976). W barwach B i V amplituda flikeringu jest znacznie słabsza, a w okresach niskiej aktywności zdarza się, że flickering nie jest obserwowany (Bianchini and Middleditch, 1976; Dobrzycka et al., 1996b; Mikolajewski et al., 1997; Oskanian, 1983).

Rysunek 3.14 przedstawia przykładowy rozkład energii układu T CrB z nocy 31.03.2005. Na rysunku 3.15 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.14: Przykładowy rozkład energii dla układu T CrB z nocy 31.03.2005.



Rysunek 3.15: Rozkład energii dla układu T CrB z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 30.05.1996. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.14.

3.2.8 TX CVn

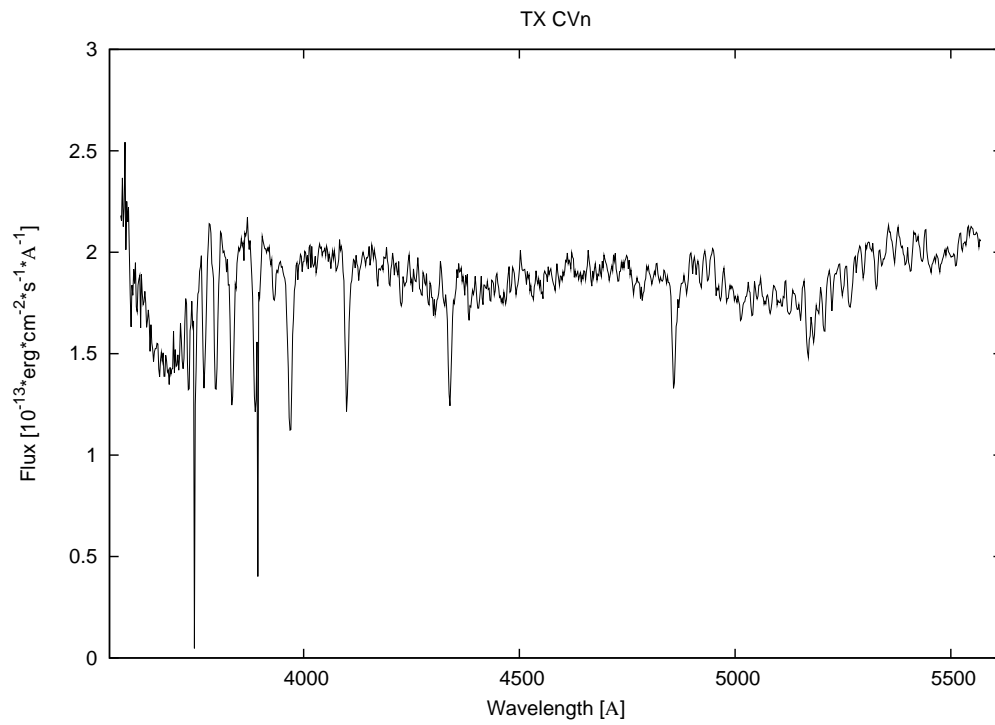
TX CVn jest gwiazdą zmienną symbiotyczną, u której zaobserwowano dotychczas cztery wybuchy o amplitudach 2–3 magnitudo i czasie trwania od kilku lat do kilku dziesięcioleci (Mumford, 1956; Mammano and Taffara, 1978). Widmo ewoluuje od typu K do wczesnego A lub późnego B w maksimum (Cowley, 1956; Chkhikvadze, 1970).

Dane z pomiarów prędkości radialnych w połączeniu z danymi spektroskopowymi sugerują, że wokół wspólnego środka masy krąży olbrzym K5 III (Kenyon and Fernandez-Castro, 1987) z gwiazdą ciągu głównego B9–A0 lub biały karzeł akreujący materię z olbrzymem (Kenyon and Webbink, 1984).

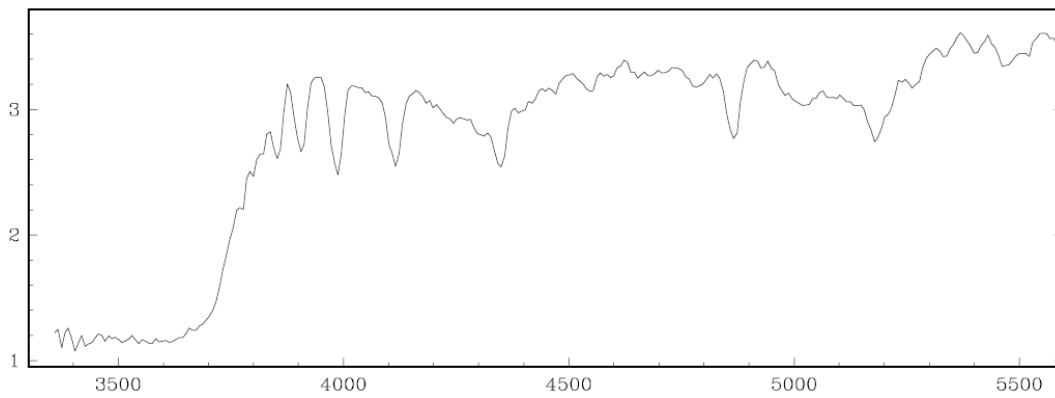
W scenariuszu z białym karłem układ mógł powstać z gwiazdy typu Algola o okresie krótszym niż obecny. TX CVn to układ olbrzym K5 III z karłem typu B9 z otoczką pyłową o okresie orbitalnym 199 dni (Kenyon and Garcia, 1989).

Obserwacje dostarczają dowodów na ekscentryczność i nachylenie orbity, które wynoszą odpowiednio $e = 0.16 \pm 0.06$ oraz $20^\circ \leq i \leq 70^\circ$, a także masę białego karła $0.3M_\odot \leq M_{WD} \leq 0.55M_\odot$ (Kenyon and Garcia, 1989).

Rysunek 3.16 przedstawia przykładowy rozkład energii układu TX CVn z nocy 09.01.2006. Na rysunku 3.17 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.16: Przykładowy rozkład energii dla układu TX CVn z nocy 09.01.2006.



Rysunek 3.17: Rozkład energii dla układu TX CVn z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 10.03.1995. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.16.

3.2.9 YY Her

YY Her jest systemem symbiotycznym, którego historia obserwacji sięga 1890 roku. W poprzednim stuleciu zarejestrowano cztery wybuchy w latach: 1914–1919, 1930–1931, 1981–1982 i 1993–1996, gdy gwiazda jaśniała o 2–3 magnitudo oraz kilka epizodów ze słabymi pojaśnieniami (Munari et al., 1997). Układ jest położony w odległości 3.2 kpc i prawdopodobnie należy do populacji zgrubienie centralne / cienki dysk. W fazie spokojnej obserwowane są zmienności elipsoidalne o małej amplitudzie ($\Delta V = 0.3mag$) wskazujące na okres orbitalny 590 dni.

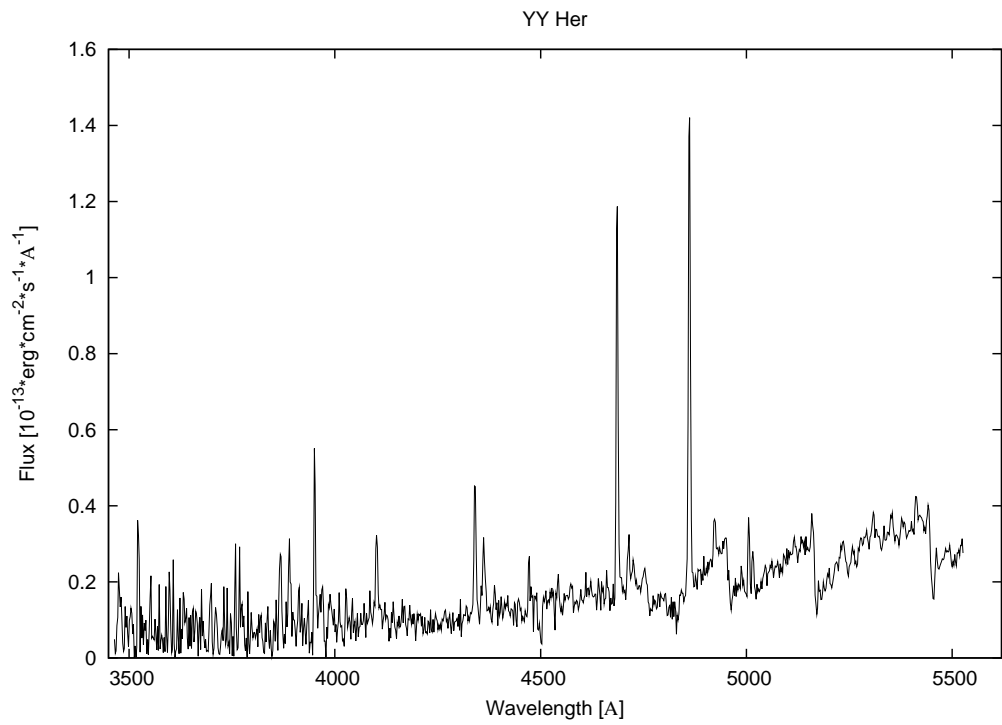
Herbig (1950) opisał szczegółowo po raz pierwszy widmo układu, który zaliczył do obiektów symbiotycznych. Obserwacje wykonano w fazie spokojnej i uwidoczniły one silne linie emisyjne nałożone na absorpcyjne kontinuum olbrzymia M2. Linie H I, He I, He II i O III z He II 4686Åtak jasną jak H_β sugerują, że składnik wtórny był bardzo gorący i jasny w czasie obserwacji Herbiga. Podobne cechy widma potwierdzili Blair et al. (1983).

Warunki bardzo wysokiej jonizacji w YY Her zostały potwierdzone przez widma dostarczone przez IUE (Michalitsianos et al., 1982), zdominowane przez ekstremalnie silne linie emisyjne N V 1240Åi HeII 1640Å.

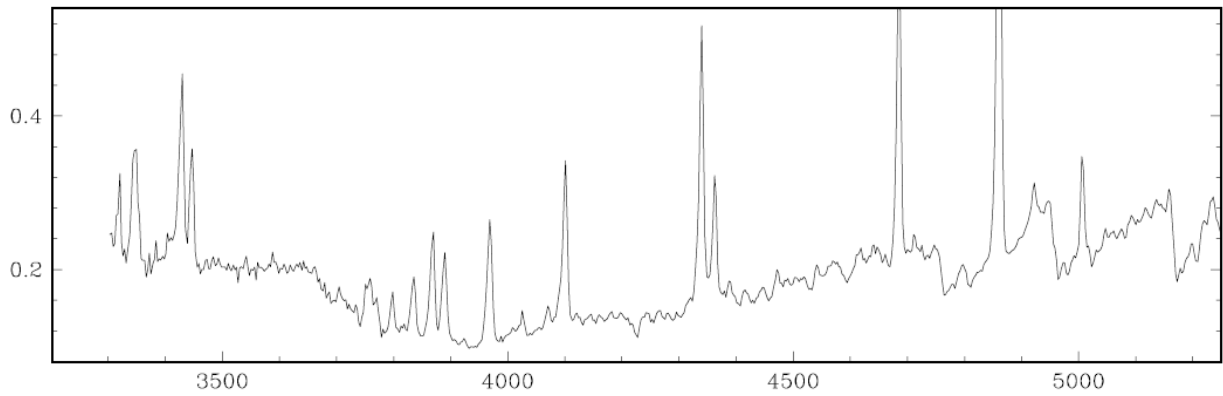
Modelowanie kontinuum UV daje różne odpowiedzi na pytanie o naturę gorącego składnika. Używając tych samych danych otrzymano gwiazdę ciągu głównego akreującą z olbrzymia M2 (Kenyon and Webbink, 1984) oraz białego karła bez widocznego dysku akrecyjnego (Muerset et al., 1991a).

Obserwacje VLA (od ang. *Very Large Array*), brak detekcji przez IRASa (od ang. *Infrared Astronomical Satellite*) i rezultaty fotometrii JHK z Ziemi wskazują na brak znaczących ilości materii wokółgwiazdowej (Seaquist et al., 1984; Swings and Allen, 1972; Taranova and Yudin, 1982; Munari et al., 1992).

Rysunek 3.18 przedstawia przykładowy rozkład energii układu YY Her z nocy 24.08.2005. Na rysunku 3.19 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.18: Przykładowy rozkład energii dla układu YY Her z nocy 24.08.2005.



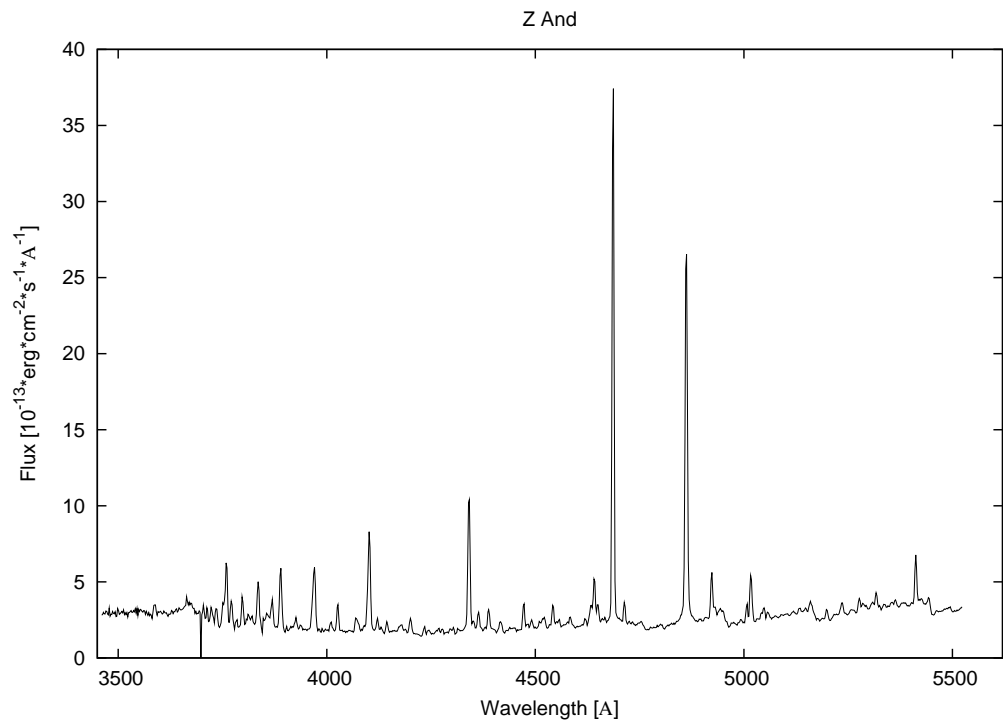
Rysunek 3.19: Rozkład energii dla układu YY Her z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 01.06.1996. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.18.

3.2.10 Z And

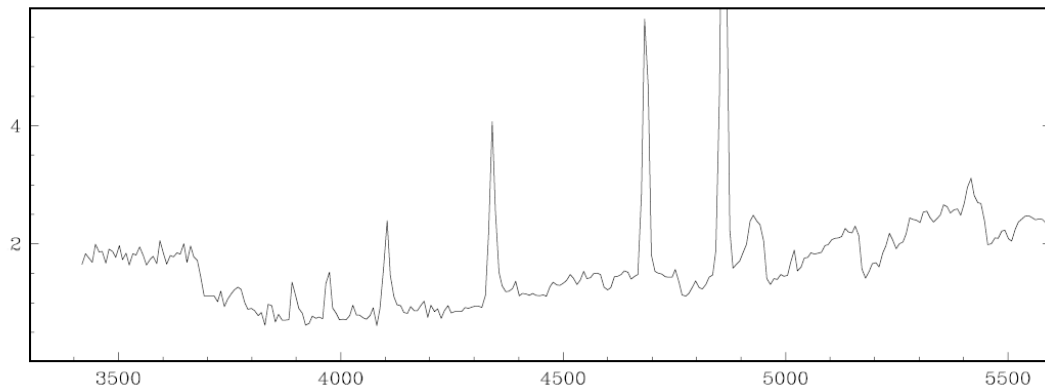
Gwiazda ta jest protoplastą układów symbiotycznych. Przejawia zmiany jasności w zakresie optycznym na poziomie 0.2–0.5 magnitudo w fazie spokojnej i jaśnieje o 2–3 mag w czasie wybuchów (Formiggini and Leibowitz, 1994; Kenyon, 1986). Widmo w fazie spokojnej zawiera pasma absorpcyjne TiO i widoczne linie emisyjne H I, He II, Ne V, Fe VII (Merrill, 1944, 1948; Hogg, 1932); w wybuchu natomiast widać cechy absorpcyjne gwiazd typu A razem z emisyjnymi liniami mgławicowymi i pasmami absorpcyjnymi gwiazd M (Plaskett, 1923, 1927; Fernandez-Castro et al., 1988). W fazie spokojnej dają się zauważyć zmiany w kontinuum i liniach emisyjnych korelujące się z ruchem orbitalnym czerwonego olbrzyma (Garcia et al., 1983), którego okres wynosi 758.8 dnia (Mikolajewska and Kenyon, 1996).

Chłodnym składnikiem jest czerwony olbrzym typu M4.5 (Belczyński et al., 2000) o masie $2M_{\odot}$ (Mikolajewska and Kenyon, 1996), zaś gorącym–biały karzeł o masie $0.65 \pm 0.28M_{\odot}$ określonej na podstawie inklinacji $i = 45^{\circ} \pm 12^{\circ}$ otrzymanej z pomiarów polarymetrycznych (Schmid and Schild, 1997). Karzeł otoczony jest przez gęstą zjonizowaną mgławicę, a niewielkie zmiany tempa akrecji powodują sporadyczne wybuchy o amplitudzie 2–3 mag (Mikolajewska and Kenyon, 1992). Sokoloski and Bildsten (1999) zgłosili odkrycie oscylacji w trakcie wybuchu o okresie 28 min. i amplitudzie 0.002 do 0.005 mag skorelowanej z optyczną jasnością układu. Okres ten utożsamiają z okresem rotacji białego karła.

Rysunek 3.20 przedstawia przykładowy rozkład energii układu Z And z nocy 06.11.2002. Na rysunku 3.21 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.20: Przykładowy rozkład energii dla układu Z And z nocy 06.11.2002.



Rysunek 3.21: Rozkład energii dla układu Z And z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 15.10.1995. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.20.

3.2.11 ZZ CMi

ZZ CMi to gwiazda podejrzana o symbiotyczność (Belczyński et al., 2000). Pierwsze szczegółowe obserwacje spektroskopowe wykonał Sanford (1947) obserwując pasma absorpcyjne TiO, silne absorpcje Ca I i linie emisyjne H_α , H_β , O III 6300Å i Fe II. Z uwagi na brak wysoko wzbudzonych linii emisyjnych Sanford nie zaliczył tej gwiazdy do symbiotycznych.

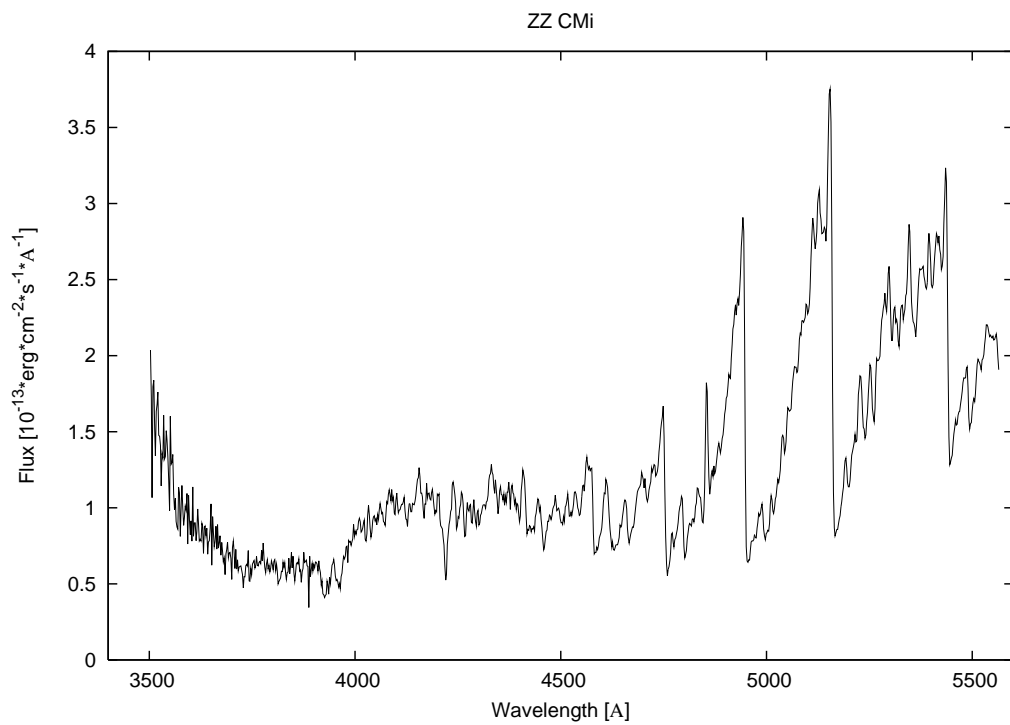
Iijima (1984) zaobserwował w widmach ślad linii O III i Ne III i uznał, że ZZ CMi może być – zgodnie z kryteriami Boyarchuka (Boyarchuk, 1975) – sklasyfikowana jako symbiotyczna. Także Bopp (1984) klasyfikował ten układ jako symbiotyczny.

Belczyński et al. (2000) nie zgadzają się z taką klasyfikacją ze względu na:

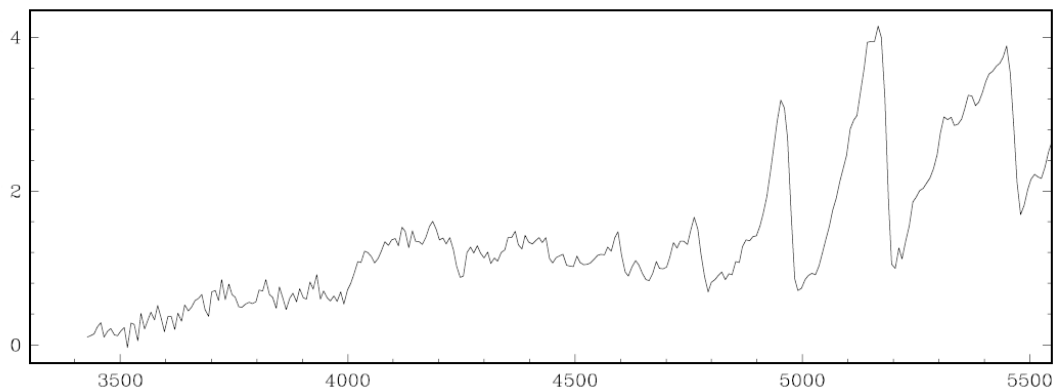
- zbyt niebieskie kolory w minimum (Zamanov and Tomov, 1992) i krzywą blasku bardziej podobną do gwiazd pulsujących,
- uważają, że widmo prezentowane przez Iijimę (1984) nie jest widmem gwiazdy symbiotycznej ($H_\gamma \leq H_\beta$) i jest zaszumione (Ne III może nie być obecna).

Z uwagi na połączenie widma gwiazdy późnego typu z widmem zawierającym linie emisyjne z profilem H_α podobnym do występujących u gwiazd symbiotycznych, układ został zaliczony do grupy podejrzewanych o symbiotyczność.

Rysunek 3.22 przedstawia przykładowy rozkład energii układu ZZ CMi z nocy 21.09.2005. Na rysunku 3.23 widnieje rozkład energii pochodzący z katalogu Munariego i Zwittera (2002).



Rysunek 3.22: Przykładowy rozkład energii dla układu ZZ CMi z nocy 21.09.2005.



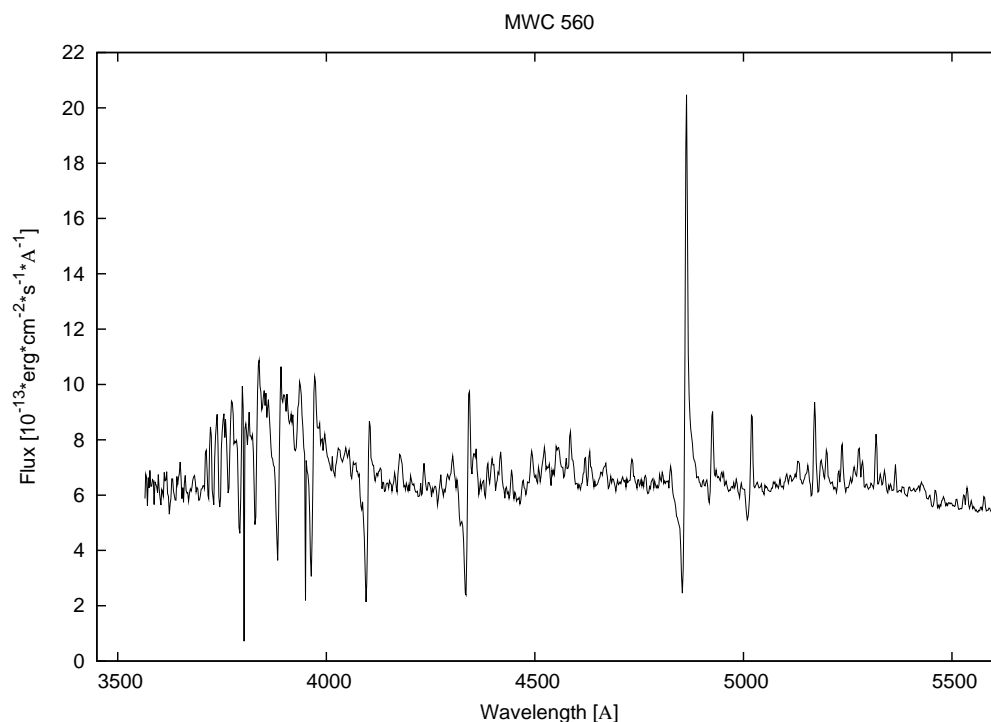
Rysunek 3.23: Rozkład energii dla układu ZZ CMi z katalogu Munariego i Zwittera (2002) z nocy 10.03.1995. Jednostka strumienia energii taka jak na rysunku 3.22.

3.2.12 MWC 560

MWC 560 oraz inny osobliwy układ symbiotyczny, CH Cyg, zostały zakwalifikowane do nowej klasy gwiazd symbiotycznych charakteryzujących się akrecją magnetycznego białego akrla będącego źródłem aktywności (Frackowiak et al., 2002). Towarzysz gorącego składnika powinien ujawniać obecność wiatru gwiazdowego ze względnie dużą utratą masy. Oczekuje się raczej gwiazdy w późnym stadium AGB (od ang. *Asymptotic Giant Branch*), Miry bądź półregularnej zmiennej (SR) niż zwykłego czerwonego olbrzyma. Badania przeprowadzone w pasmie I pokazują, że olbrzym typu M należy do któregoś z powyższych rodzajów gwiazd ewolucyjnie zaawansowanych i wykazują pulsację o okresie pięciu miesięcy.

Widma absorpcyjnych linii wodorowych Balmera wskazują na prędkości radialne rzędu -6000 km/s. Spekuluje się, że układ MWC 560 może posiadać kompaktowy składnik wyrzucający materię w postaci jetów wzdłuż linii obserwacji (Tomov et al., 1990).

Rysunek 3.24 przedstawia przykładowy rozkład energii układu MWC 560 z nocy 31.03.2005.



Rysunek 3.24: Przykładowy rozkład energii dla układu MWC 560 z nocy 31.03.2005.

3.2.13 V934 Her

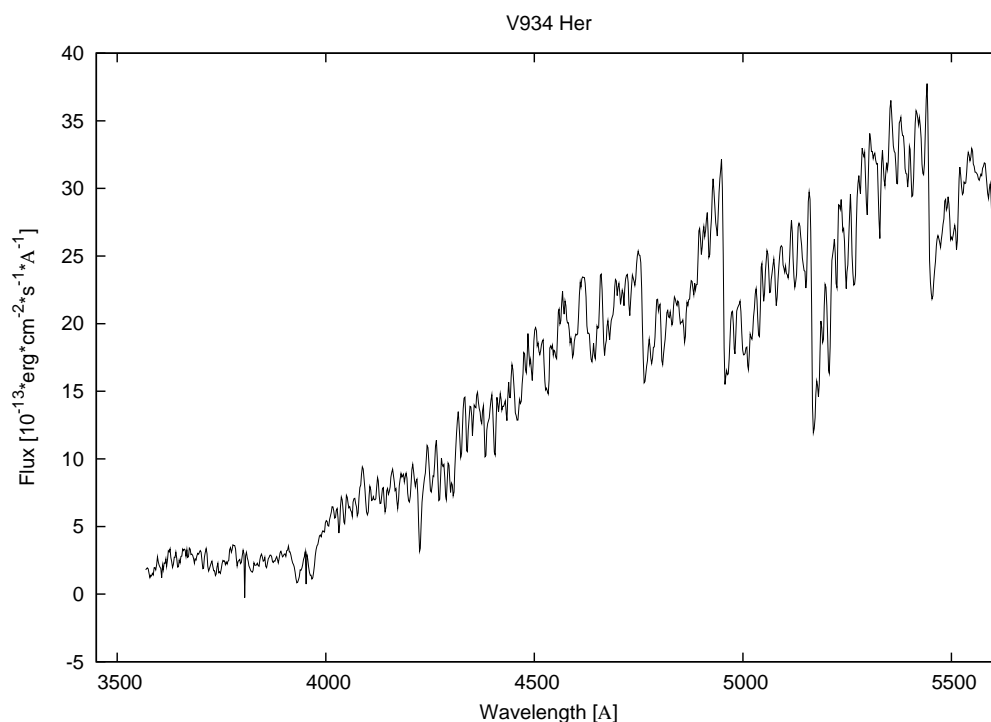
Gwiazda V934 Her została zidentyfikowana ze źródłem rentgenowskim 2A 1704+241 obserwowanym przez satelitę Ariel V w 1983 roku (Garcia et al., 1983). Podejrzewa się ją o symbiotyczność (Belczyński et al., 2000).

Układ zawiera olbrzyma typu M. W widmie optycznym brakuje linii emisyjnych od gorącego składnika. W widmach uzyskanych przez IUE SWP brak też wykrywalnego kontinuum. W zakresie X występują znaczne zmienności w skalach czasowych—od minut do lat. W fotometrii optycznej i podczerwonej zmienność jest nieznaczna (Garcia et al., 1983).

Obserwowane cechy wykluczają obecność białego karła jako towarzysza dla olbrzyma, chociaż gwiazda neutronowa jest wciąż możliwa.

W roku 1997 nastąpił wybuch rentgenowski. Podczas pierwszych dwóch tygodni listopada 1997 strumień przy 2–10 eV osiągnął maksimum o jasności ok. 35 razy większej od pulsara w Krabie.

Rysunek 3.25 przedstawia przykładowy rozkład energii układu V934 Her z nocy 30.03.2005.



Rysunek 3.25: Przykładowy rozkład energii dla układu V934 Her z nocy 30.03.2005.

Rozdział 4

Typy widmowe gwiazd symbiotycznych

W tabeli 5.1 przedstawiam wyniki pomiarów strumieni w pasmach tlenu tytanu dla wybranych na potrzeby tej pracy dziewięciu układów symbiotycznych. Wszystkie wartości strumieni energii wyrażone są w $10^{-11} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Kolumna szósta zawiera literaturowy podtyp widmowy typu M zaczerpnięty z pracy Belczyńskiego (Belczyński et al., 2000). Wartości widniejące w kolumnie siódmej zostały uzyskane przez skorzystanie z zależności podtypu widmowego od stosunku absorpcji do emisji w danym pasmie TiO (rysunek 2.9), tj.:

$$spM = -0.7(x)^2 + 7(x) - 2.2 \quad (4.1)$$

gdzie $x = \frac{A_{\lambda}^{TiO}}{E_{\lambda}^{TiO}}$

Wzór (5.1) powstał przez dopasowanie wielomianu drugiego rzędu do rozkładu standardów spektrofotometrycznych klas jasności I, II i III oraz zmienionych typu mira w zależności od temperatury powierzchniowej gwiazdy. Argument $\frac{A_{\lambda}^{TiO}}{E_{\lambda}^{TiO}}$ oznacza sumę wartości strumieni energii z „absorpcyjnych” zakresów pasm TiO 5168Å, TiO 4955Å oraz TiO 4762Å, podzieloną przez sumę wartości strumieni z „emisyjnych” zakresów tych pasm (patrz rysunek 2.1).

Tablica 4.1: Wartości strumieni w mierzonych polach A_{λ}^{TiO} , E_{λ}^{TiO} powstałych w wyniku absorpcji TiO.
Tabela zawiera dane dla opracowanych przeze mnie widm gwiazd symbiotycznych. Strumienie są wyrażone w $10^{-11} \cdot \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

gwiazda	data obserwacji	TiO 5168		TiO 4955		TiO 4762		Typ widmowy (Belczyński et al., 2000)	Typ widmowy uzyskany w tej pracy
		A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}		
AG Peg	2003.09.06	5.85	8.37	5.67	4.73	2.48	3.97	M 3.0	M 3.07
AG Peg	2004.01.05	4.70	7.78	4.78	4.30	2.52	3.49	M 3.0	M 2.80
AX Per	2005.08.17	0.81	0.62	0.73	0.46	0.45	0.33	M 6.0	M 6.23
AX Per	2005.10.19	2.46	2.16	2.03	1.45	1.27	1.01	M 6.0	M 5.50
BX Mon	2005.10.23	3.14	2.48	5.17	4.01	6.78	6.11	M 5.0	M 4.75
BX Mon	2006.01.09	2.94	2.39	4.57	3.79	5.49	5.13	M 5.0	M 4.93
CI Cyg	2005.08.17	1.15	1.07	1.12	0.68	0.65	0.56	M 5.5	M 5.51
CI Cyg	2005.08.19	1.24	1.10	1.13	0.69	0.57	0.46	M 5.5	M 5.71
T CrB	2002.02.14	0.82	0.63	1.12	0.93	1.20	1.51	M 4.5	M 4.14
T CrB	2002.04.21	0.37	0.35	0.53	0.49	0.45	0.31	M 4.5	M 4.54
T CrB	2003.02.23	0.49	0.41	0.68	0.60	0.78	0.98	M 4.5	M 4.01
T CrB	2003.04.23	0.11	0.10	0.16	0.14	0.21	0.23	M 4.5	M 4.10
T CrB	2004.04.28	0.29	0.27	0.46	0.41	0.54	0.66	M 4.5	M 4.04
T CrB	2004.05.14	0.45	0.36	0.62	0.54	0.65	0.86	M 4.5	M 4.01
T CrB	2005.02.06	1.64	1.37	2.42	2.03	2.64	3.02	M 4.5	M 4.32
T CrB	2005.03.31	3.62	4.66	3.46	2.78	2.51	2.18	M 4.5	M 4.10
T CrB	2005.04.19	3.30	4.15	3.24	2.56	2.34	1.95	M 4.5	M 4.30
T CrB	2005.08.20	2.12	1.56	2.93	2.45	3.24	4.16	M 4.5	M 4.15

Tablica 4.2: Ciąg dalszy tabeli 5.1.

gwiazda	data obserwacji	TiO 5168		TiO 4955		TiO 4762		Typ widmowy (Belczyński et al., 2000)	Typ widmowy uzyskany w tej pracy
		A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}	A_{λ}^{TiO}	E_{λ}^{TiO}		
V934 Her	2005.02.06	7.91	8.05	12.4	11.0	11.3	22.0	M 3.0	M 2.84
V934 Her	2005.03.22	5.75	6.30	8.84	8.24	7.88	14.3	M 3.0	M 2.97
V934 Her	2005.03.30	14.9	31.9	18.1	17.3	12.7	13.3	M 3.0	M 2.60
V934 Her	2005.04.26	4.52	4.70	6.69	6.59	6.26	12.7	M 3.0	M 2.60
YY Her	2005.08.18	0.27	0.41	0.28	0.24	0.19	0.18	M 4.0	M 3.61
YY Her	2005.08.24	0.21	0.31	0.21	0.19	0.17	0.15	M 4.0	M 3.63
ZZ CMi	2001.01.22	2.19	1.51	3.77	2.44	4.65	3.49	M 6.0	M 6.32
ZZ CMi	2001.02.27	4.05	2.73	6.48	4.16	7.06	5.24	M 6.0	M 6.47
ZZ CMi	2003.02.23	0.91	0.62	1.55	1.07	2.04	1.32	M 6.0	M 6.60
ZZ CMi	2003.09.21	1.89	1.30	3.08	2.15	3.68	2.61	M 6.0	M 5.60
ZZ CMi	2004.03.15	0.53	0.37	0.92	0.66	1.16	0.86	M 6.0	M 6.12
ZZ CMi	2005.02.08	1.96	1.38	3.36	2.23	4.06	2.80	M 6.0	M 6.52
ZZ CMi	2005.08.02	17.2	12.8	14.0	9.65	8.72	6.11	M 6.0	M 6.17
ZZ CMi	2005.09.21	18.3	13.7	14.7	9.73	9.01	6.17	M 6.0	M 6.27
ZZ CMi	2006.01.10	0.64	0.51	1.12	0.76	1.37	0.97	M 6.0	M 6.23
ZZ CMi	2006.01.11	0.88	0.61	1.43	0.99	1.73	1.37	M 6.0	M 6.03
Z And	2002.11.06	1.95	2.10	1.68	1.23	0.91	1.07	M 4.5	M 4.16
Z And	2006.01.10	1.35	1.89	1.56	1.52	0.93	1.54	M 4.5	M 4.32

Rozdział 5

Ekstrakcja widma gorącego składnika

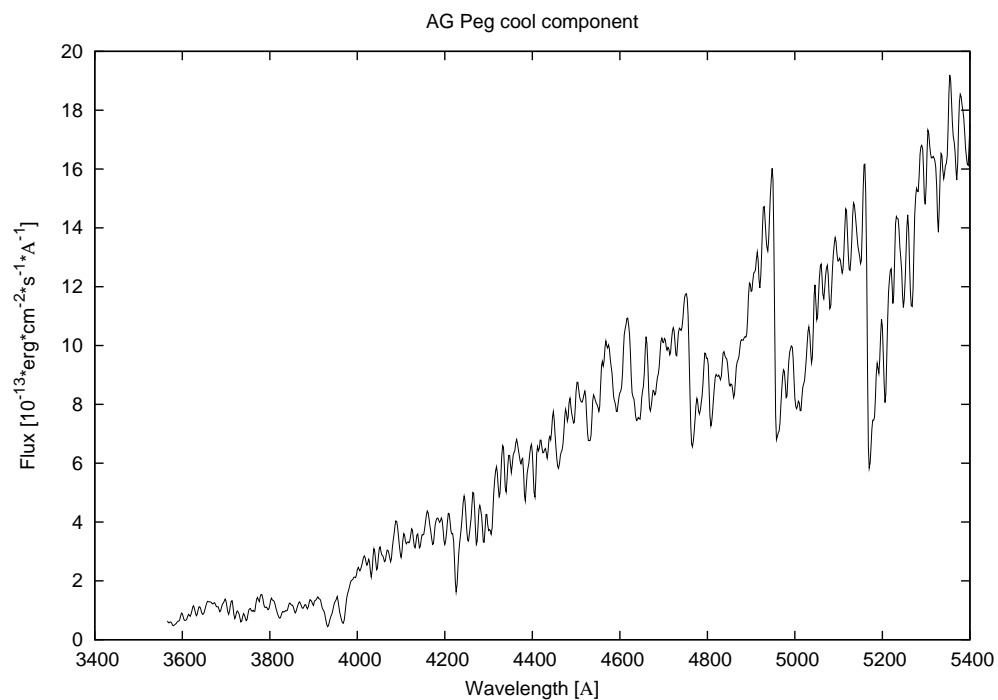
5.1 Widma olbrzymów typu M

Widmo gwiazd symbiotycznych jest widmem złożonym, składającym się z widma gorącego składnika, widma chłodnego olbrzyma oraz linii świadczących o obecności mgławicy. Widmo samego olbrzyma można uzyskać stosując widma uśrednionych standardów odpowiedniego typu i odpowiednio poczerwienionych. Dysponując widmem gwiazdy standardowej można otrzymać widmo samego olbrzyma dzięki zależności:

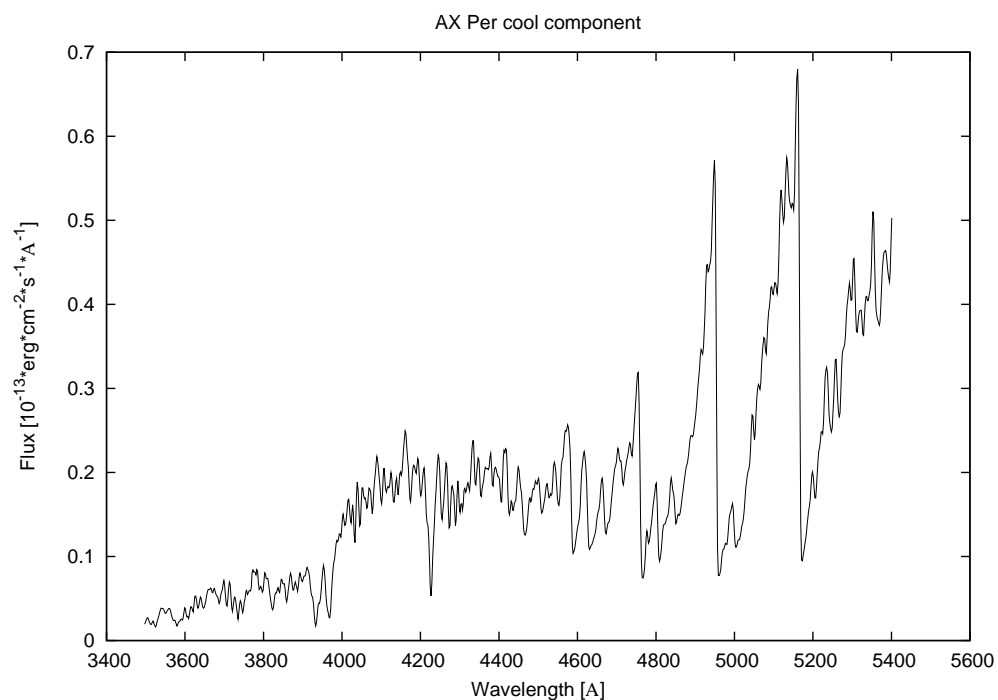
$$spM_{cool} = C \cdot spM_{std} \quad (5.1)$$

gdzie czynnik $C = \frac{(A_{\lambda}^{TiO} + E_{\lambda}^{TiO})_{symb}}{(A_{\lambda}^{TiO} + E_{\lambda}^{TiO})_{std}}$

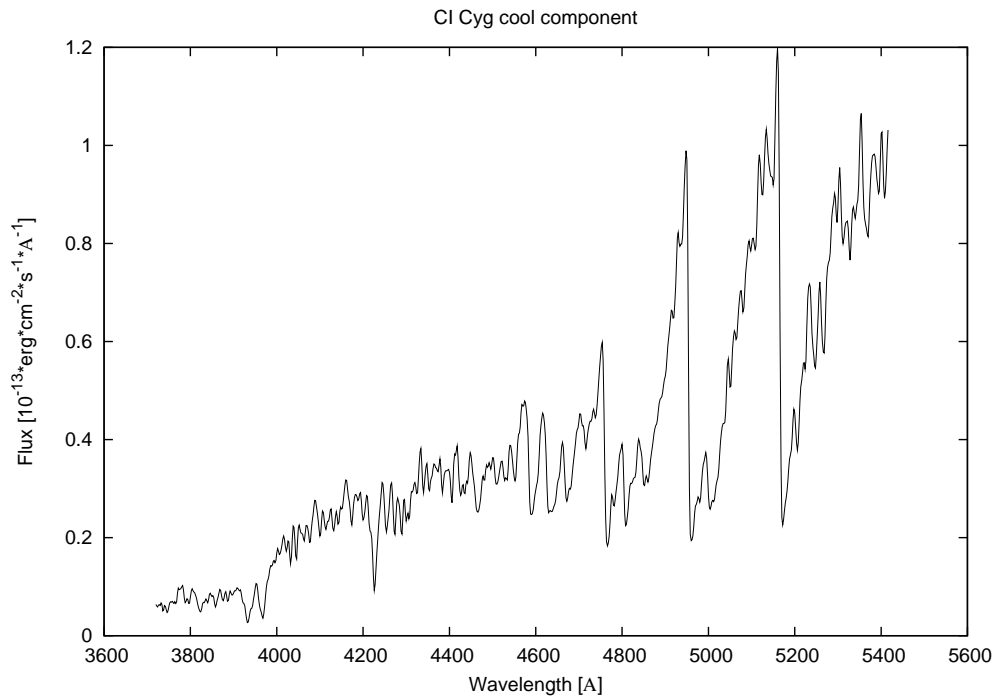
W miejsce A_{λ}^{TiO} oraz E_{λ}^{TiO} podstawiłem zsumowane wartości strumieni energii z pasm TiO 4762Å oraz TiO 4955Å. Na rysunkach 6.1–6.8 przedstawiam widma chłodnych składników układów symbiotycznych zawartych w *tabeli 5.1* i *tabeli 5.2* uzyskane po zastosowaniu zależności (6.1). Rozkłady energii olbrzymów były uzyskiwane dla $E(B - V) = 0$ lub $E(B - V) = 0.3$ i rozkładu energii uśrednionych standardów spektrofotometrycznych o średnim typie najbliższym rozpatrywanemu olbrzymowi z układu symbiotycznego (tabela 2.9 i 2.10, czwarta kolumna).



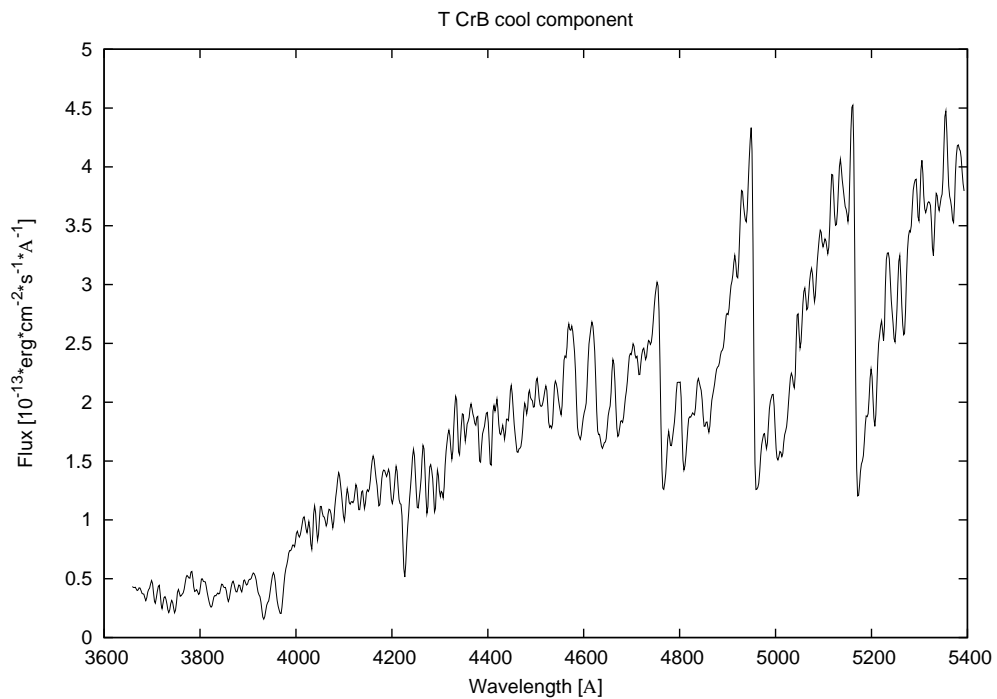
Rysunek 5.1: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu AG Peg, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 3.13 przez czynnik $C=0.008$ przy $E(B - V) = 0$.



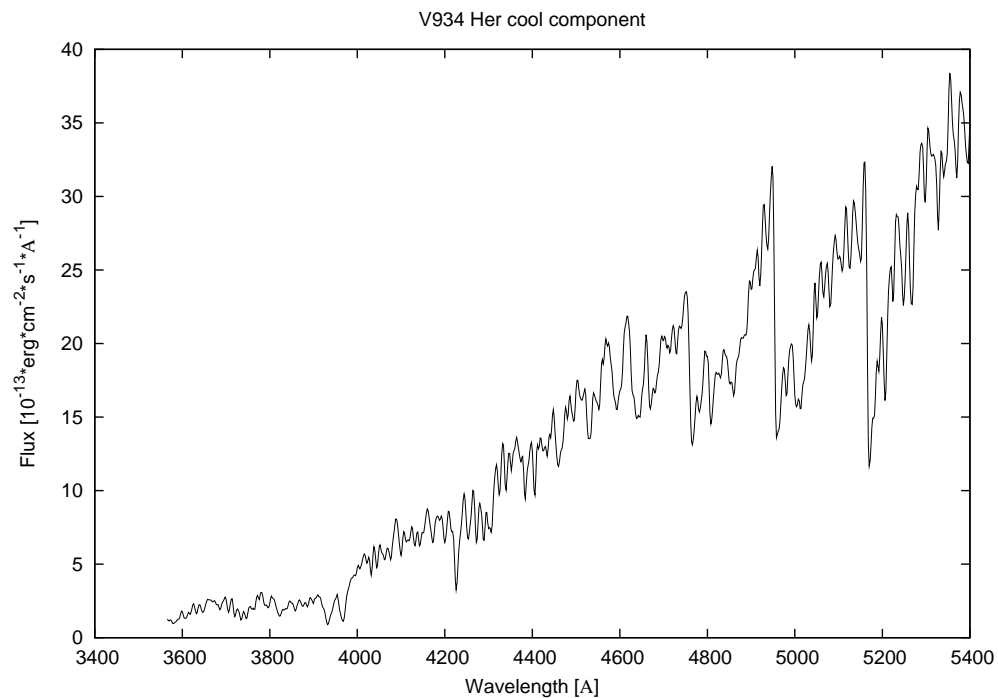
Rysunek 5.2: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu AX Per, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 6.24 przez czynnik $C=0.0004$ przy $E(B - V) = 0$.



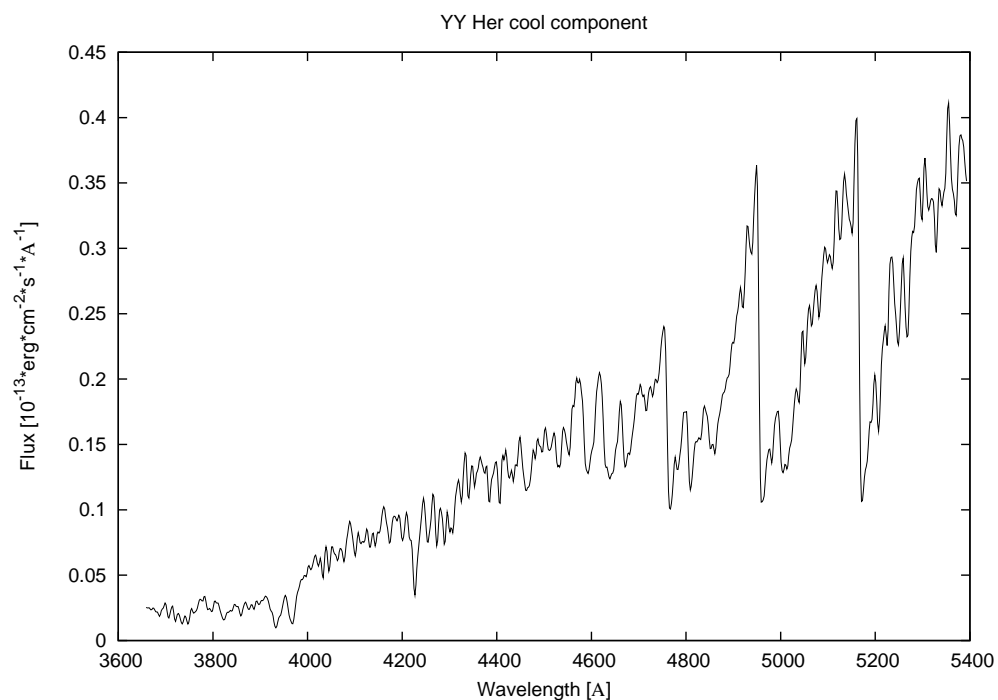
Rysunek 5.3: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu CI Cyg, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 5.35 przez czynnik $C=0.0005$ przy $E(B - V) = 0$.



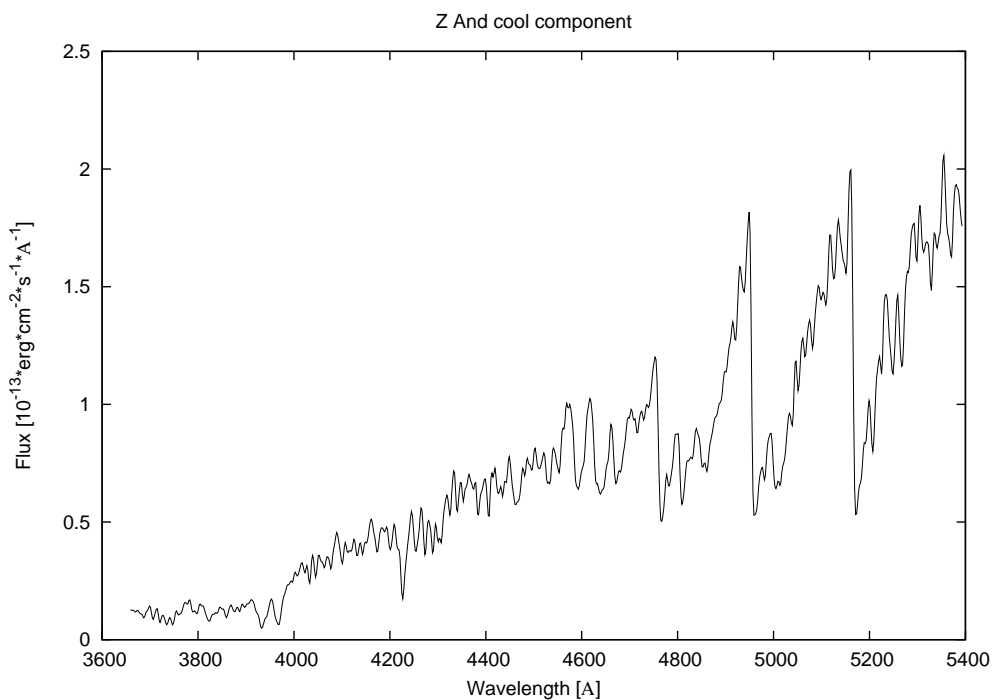
Rysunek 5.4: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu T CrB, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 4.35 przez czynnik $C=0.0009$ przy $E(B - V) = 0.3$



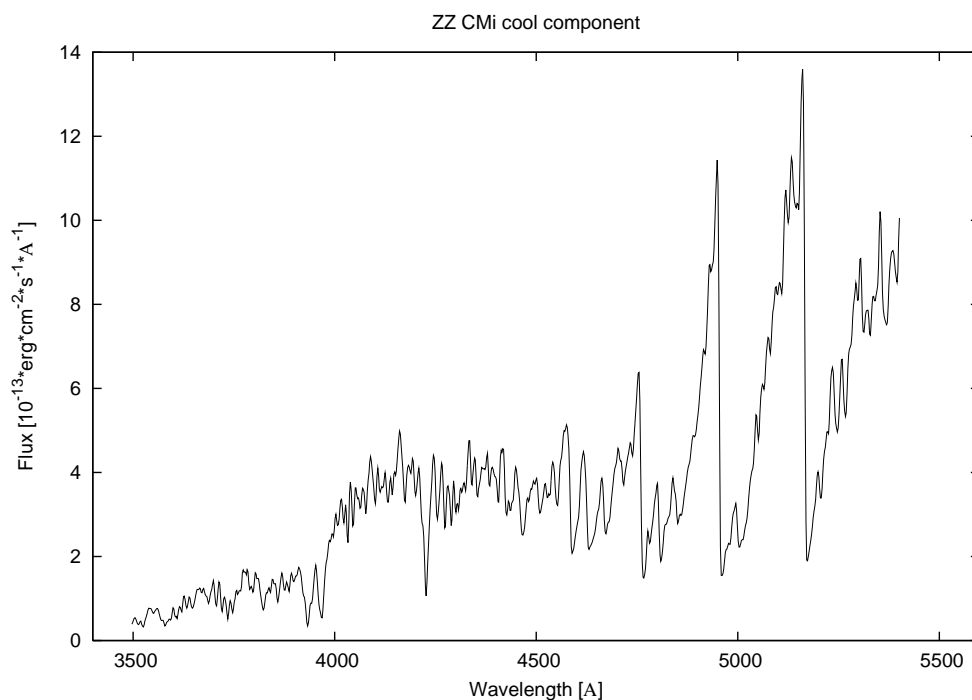
Rysunek 5.5: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu V934 Her, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 3.13 przez czynnik $C=0.02$ przy $E(B - V) = 0$.



Rysunek 5.6: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu YY Her, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 4.35 przez czynnik $C=0.0002$ przy $E(B - V) = 0$.



Rysunek 5.7: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu Z And, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 4.35 przez czynnik $C=0.001$ przy $E(B - V) = 0$



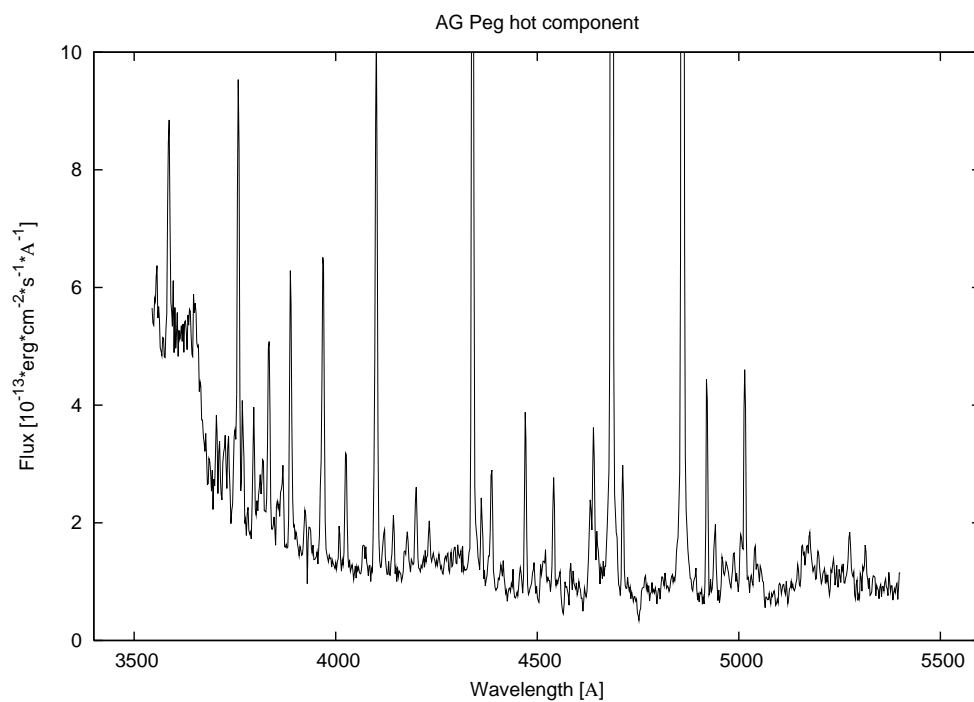
Rysunek 5.8: Rozkład energii dla chłodnego składnika układu ZZ CMi, uzyskany przez przemnożenie uśrednionego standardu typu M 6.24 przez czynnik $C=0.004$ przy $E(B - V) = 0.3$

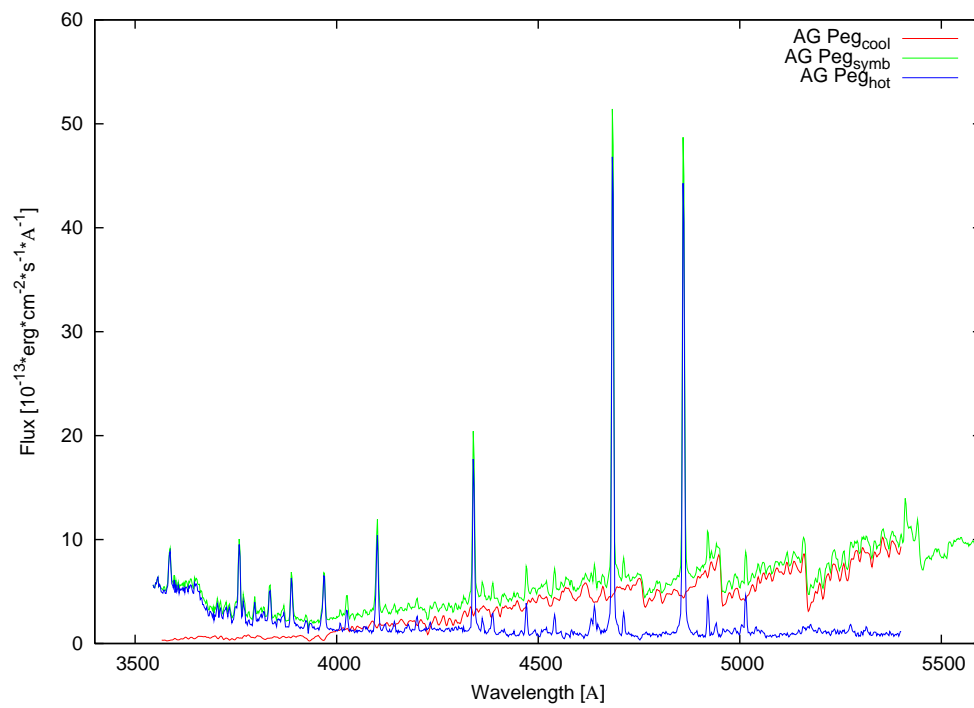
5.2 Widmo gorącego składnika

Uzyskując obraz widma chłodnego składnika układ symbiotycznego ze wzoru (6.1) można dokonać próby ekstrakcji widma jego gorącego komponentu korzystając z zależności:

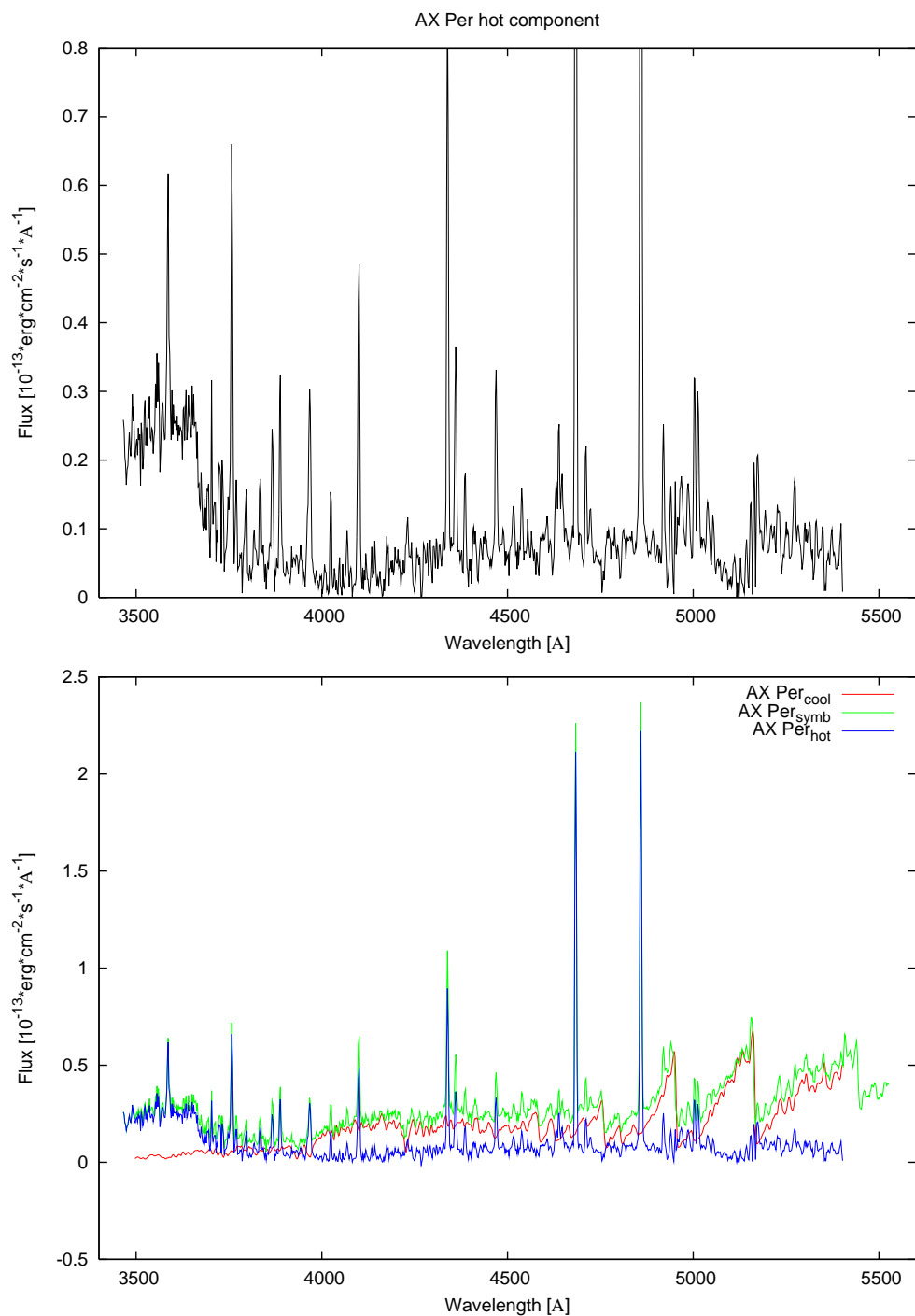
$$sp_{hot} = sp_{symb} - spM_{cool} \quad (5.2)$$

Na rysunkach 6.9–6.16 przedstawiam widma wyekstrahowanego gorącego komponentu dla układów symbiotycznych z *tabeli 5.1* i *tabeli 5.2* wraz z wykresem porównawczym, zawierającym rozkłady energii widma symbiotycznego, chłodnego i gorącego składnika razem.

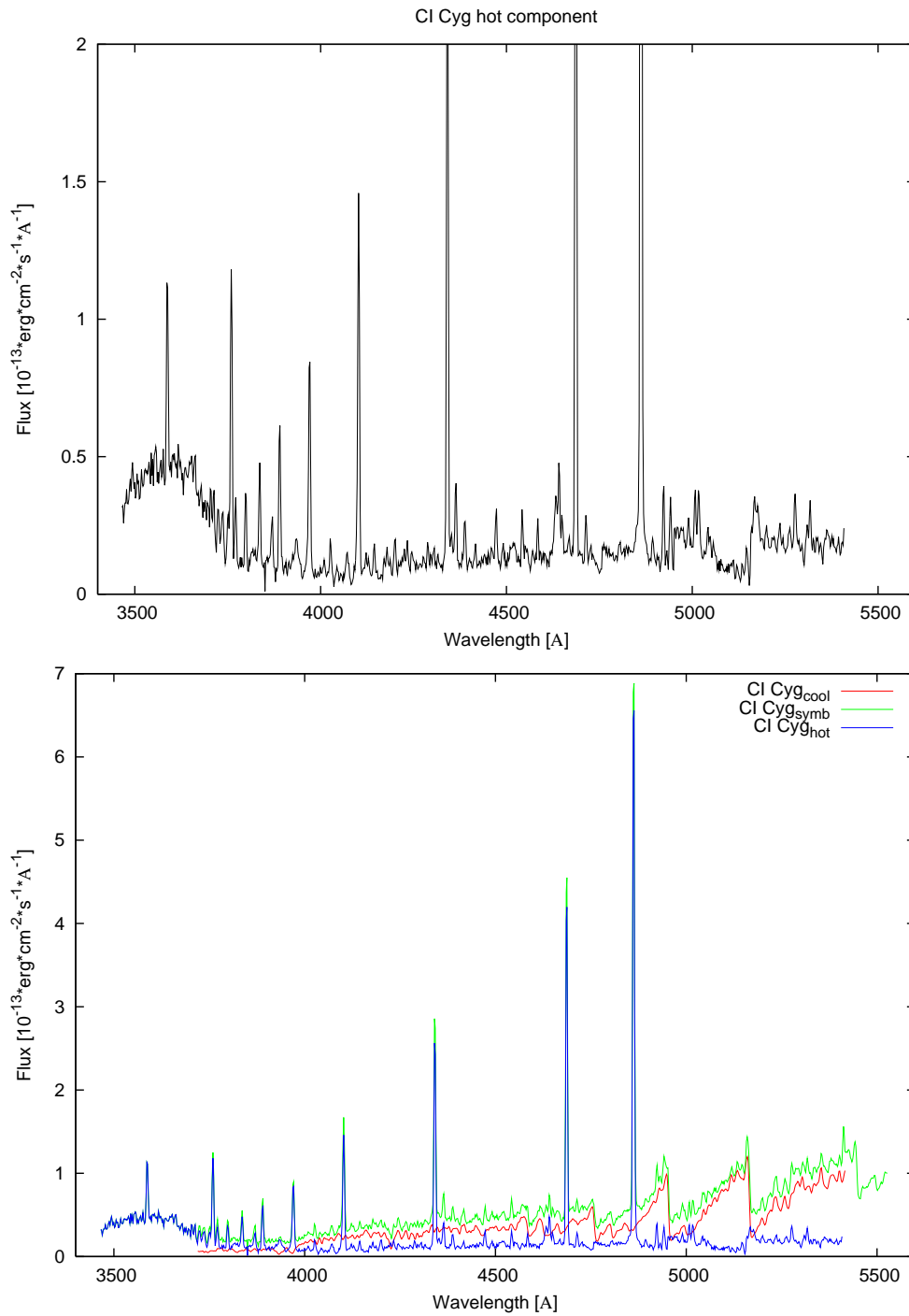




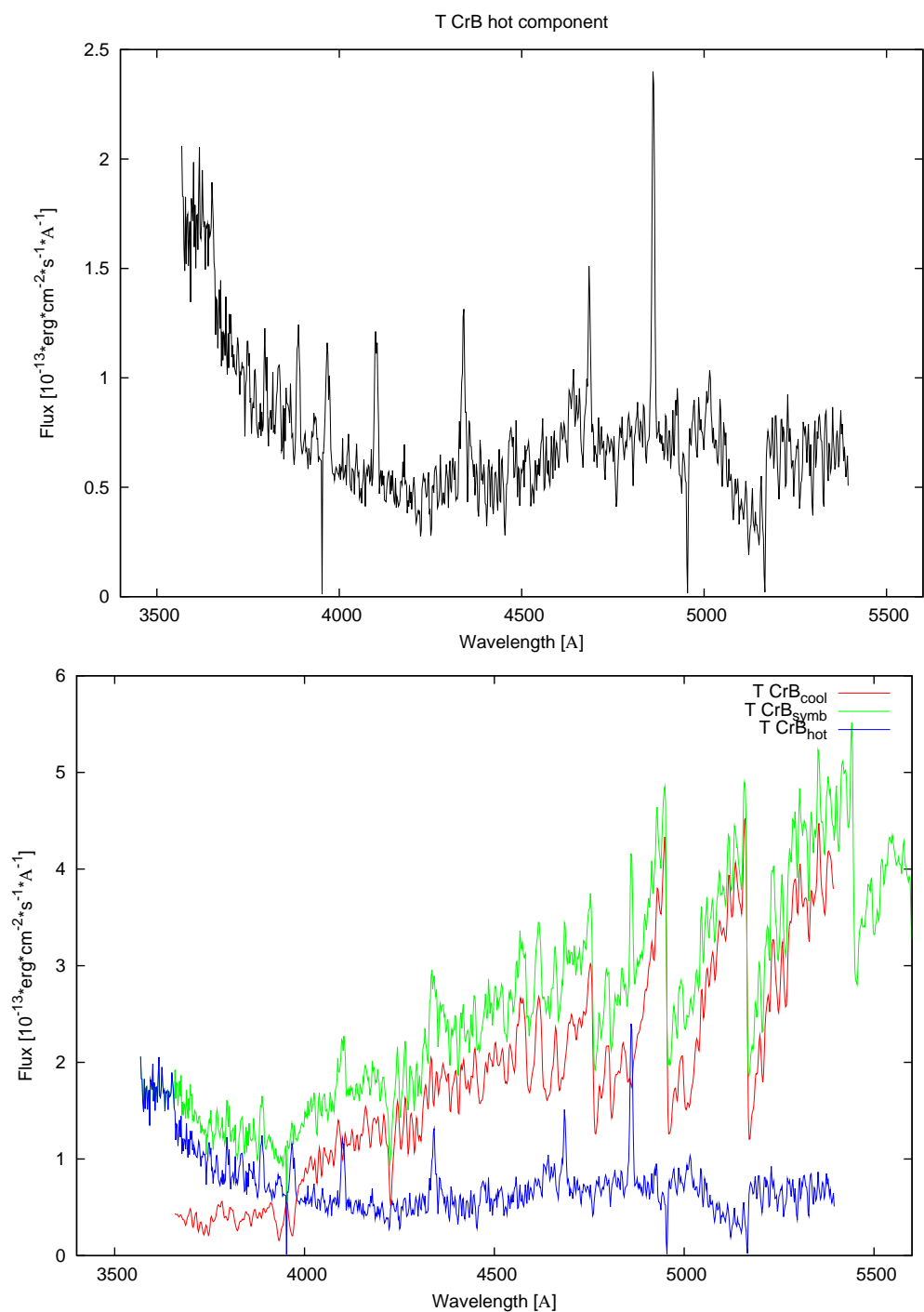
Rysunek 5.9: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu AG Peg (wykres na poprzedniej stronie), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (powyżej). Widma układu pochodzą z nocy 06.09.2003. $E(B - V) = 0$ dla wszystkich wykresów.



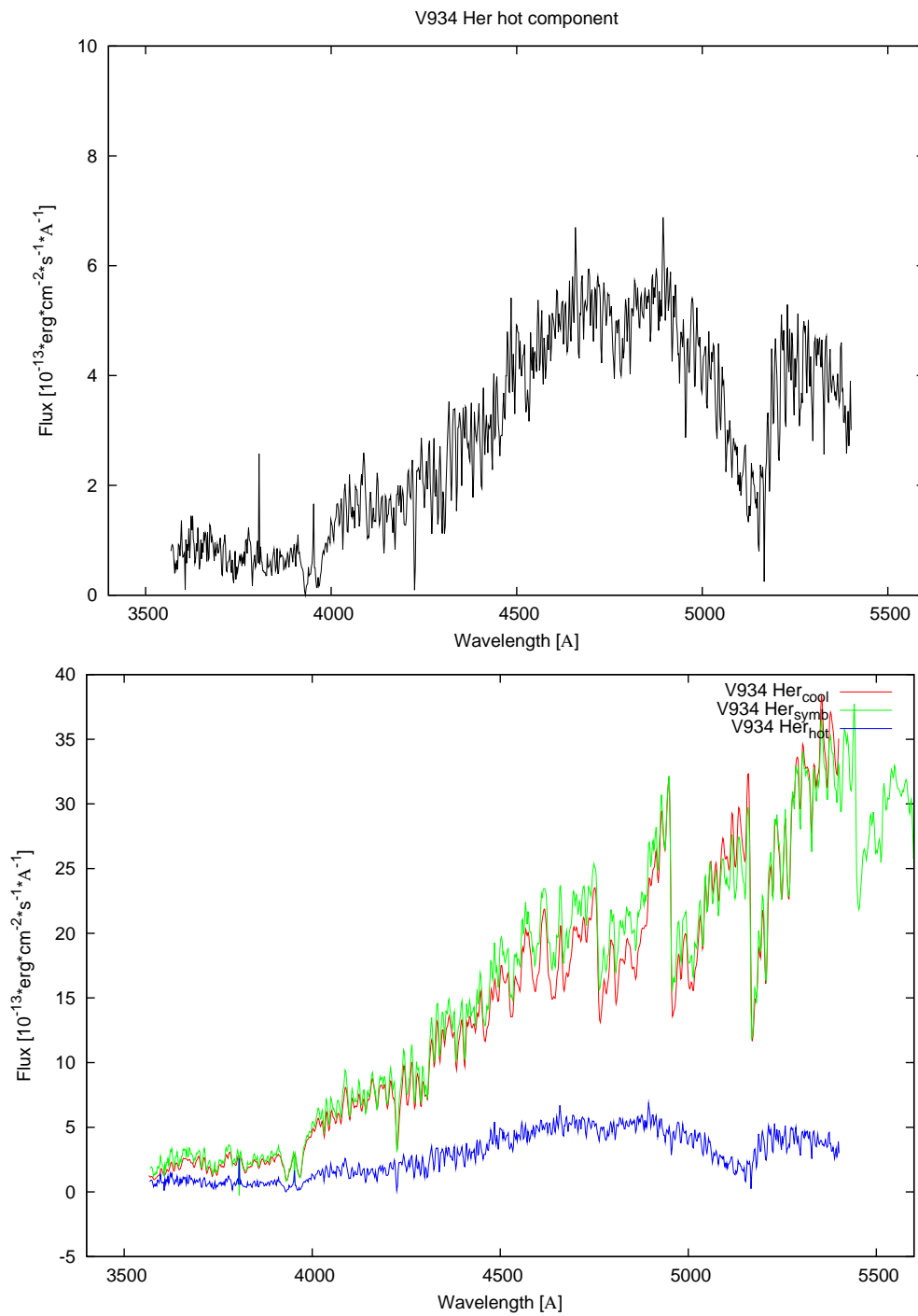
Rysunek 5.10: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu AX Per (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 17.08.2005. $E(B - V) = 0$ dla wszystkich wykresów.



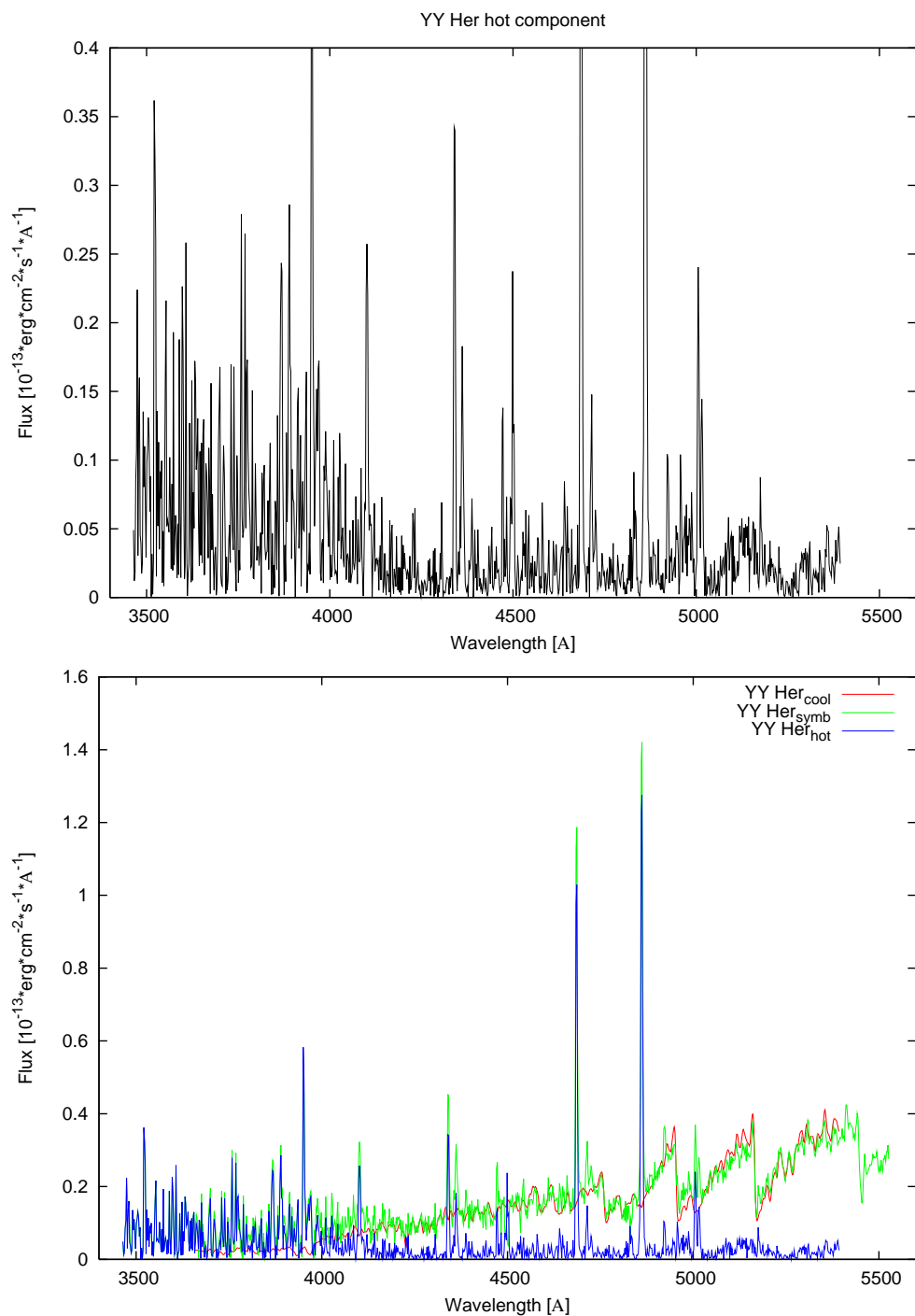
Rysunek 5.11: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu CI Cyg (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 17.08.2005. $E(B - V) = 0$ dla wszystkich wykresów.



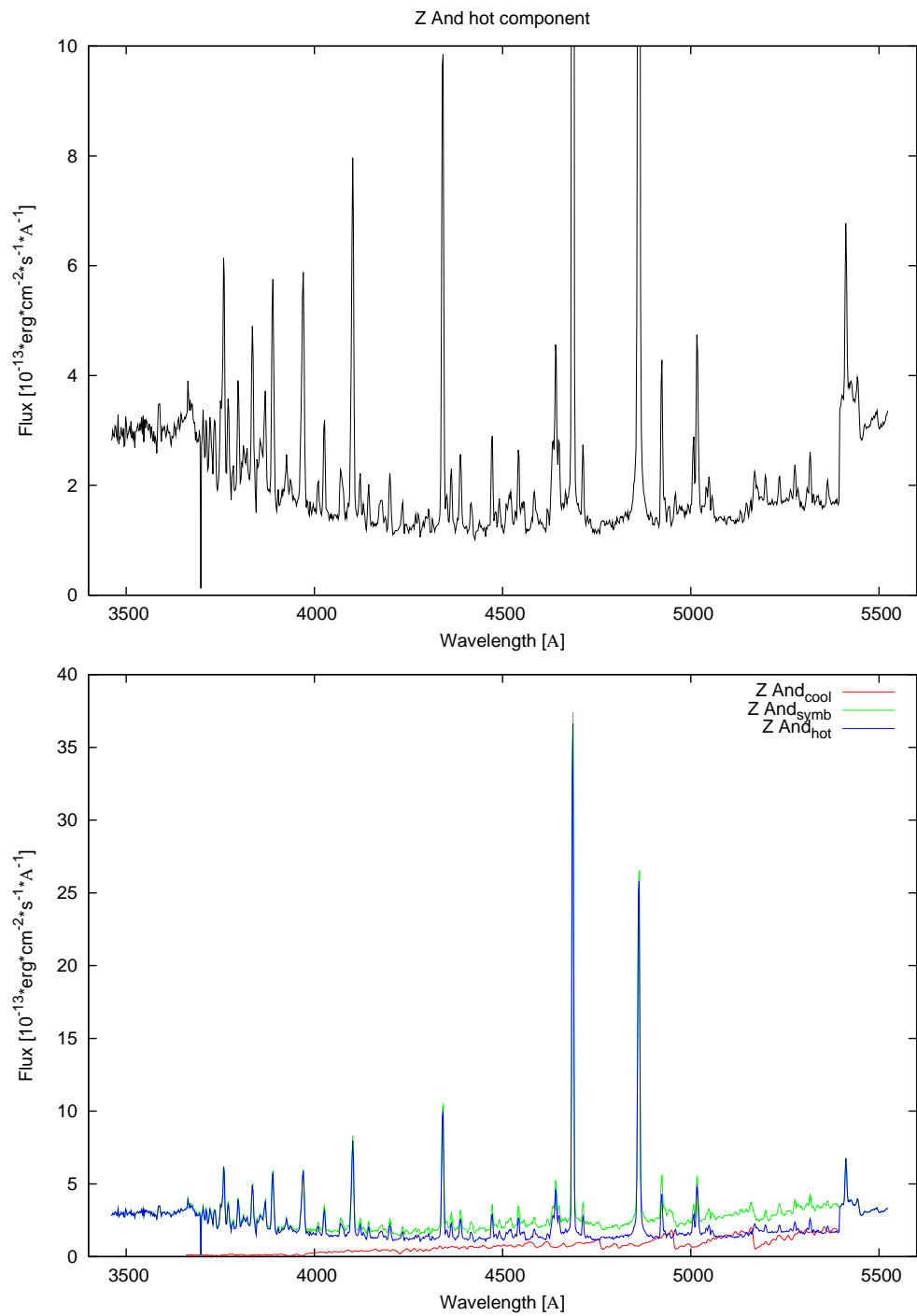
Rysunek 5.12: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu T CrB (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 31.03.2005. $E(B - V) = 0.3$ dla wszystkich wykresów.



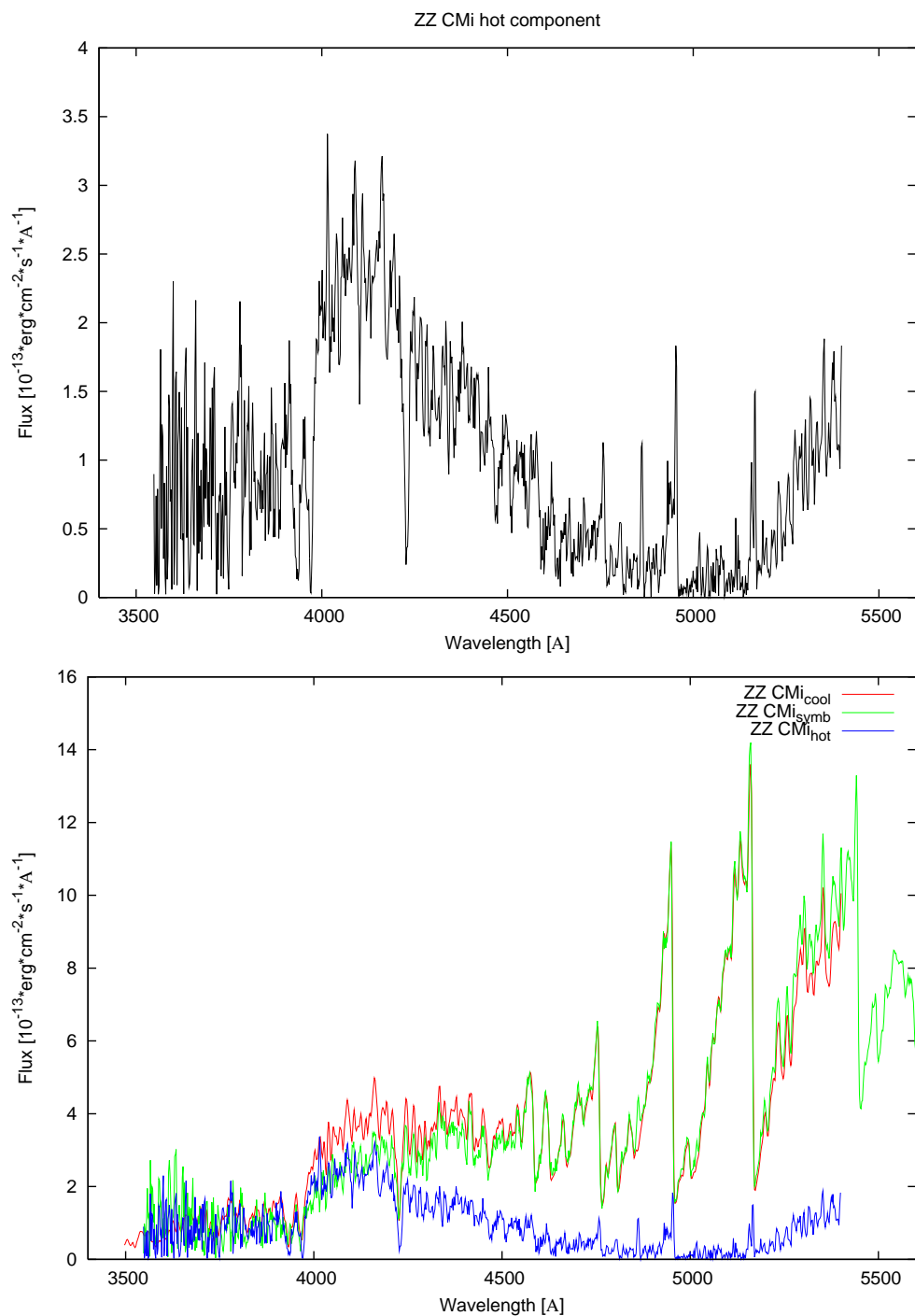
Rysunek 5.13: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu V934 Her (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 30.03.2005. $E(B - V) = 0$ dla wszystkich wykresów.



Rysunek 5.14: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu YY Her (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 24.08.2005. $E(B - V) = 0$ dla wszystkich wykresów.



Rysunek 5.15: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu Z And (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 06.11.2002. $E(B - V) = 0$ dla wszystkich wykresów.



Rysunek 5.16: Rozkład energii dla samego gorącego składnika układu ZZ CMi (wykres górny), jak i wykres zawierający rozkłady energii widma symbiotycznego oraz chłodnego i gorącego składnika razem (wykres dolny). Widma układu pochodzą z nocy 21.09.2005. $E(B - V) = 0.3$ dla wszystkich wykresów.

Widma gorących składników większości układów symbiotycznych rozpatrywanych w tej pracy (tj. AG Peg, AX Per, CI Cyg, YY Her oraz Z And) ukazują dominację gazu mgławicowego. Gorący składnik, będący często białym karłem, jonizuje materię z wiatru od czerwonego olbrzyma. Widmo zjonizowanej mgławicy zawiera silne linie emisyjne, co widać na przykładach układów wymienionych powyżej. W przypadku wielu gwiazd symbiotycznych, wysoce wzbudzona materia mgławicowa zawiera silne linie kilkukrotnie zjonizowanych pierwiastków, takich jak O VI, O V, N V, [Ne V], [Mg V], a także [Fe VII]. Szacowana temperatura gorącego składnika w takich układach (przy założeniu, że wysyła promieniowanie jak ciało doskonale czarne) wynosi około $T = 100000K$ (Mueret et al., 1991b). Podane linie widać na niektórych widmach, które przedstawiłem w tym rozdziale.

Widmo gorących składników układów T CrB, V934 Her oraz ZZ CMi nie ukazuje dominacji gazu mgławicowego (choć w przypadku T CrB, gdzie olbrzym wypełnia swoją strefę Roche'a, widoczne są linie emisyjne, które mogą o tym świadczyć). W układzie V934 Her wykluczono obecność białego karła jako towarzysza chłodnego składnika. Podejrzewa się obecność gwiazdy neutronowej. W widmie tego układu brakuje linii emisyjnych od gorącego składnika. W przypadku ZZ CMi brak linii emisyjnych w widmie gorącego składnika może być wynikiem błędu popełnionego przy jego ekstrahowaniu. Z drugiej jednak strony operacja taka jest pionierską dla toruńskiego ośrodka i uzyskanie jednoznacznych konkluzji może być niemożliwe. W związku z powyższymi wątpliwościami w Suplemencie 1. przedstawiam rozkłady energii wyekstrahowanych gorących składników układów T CrB, V934 Her oraz ZZ CMi z wszystkich nocy, kiedy były obserwowane w zakresie 3500–5500Å przy użyciu siatki dyfrakcyjnej 600 rys/mm.

5.3 Podsumowanie

Celem tej pracy było sprawdzenie działania metody wyznaczania podtypu widmowego gwiazd typu M poprzez badanie stosunków strumieni energii w pasmach tlenku tytanu (patrz rysunek 2.2, rozdział 2.). Za materiał badawczy posłużyły układy zawarte w tabelach 5.1 i 5.2. Dzięki dopasowaniu wielomianu do standardów spektrofotometrycznych typu M udało się znaleźć zależność (5.1) umożliwiającą precyzyjne określenie podtypu widmowego, a w dalszej kolejności ściśle związanej z nim temperatury powierzchniowej. Metoda oka-

zała się bardzo czuła na zmienności olbrzymów w wybranych na potrzeby tej pracy układach symbiotycznych i w porównaniu z danymi literaturowymi wartości otrzymane przeze mnie nie różnią się więcej niż 10% od danych katalogu gwiazd symbiotycznych Belczyńskiego (2000).

Drugim zasadniczym celem mojej pracy była próba wyekstrahowania widma gorącego składnika wybranych przeze mnie układów symbiotycznych. Zadanie to było pionierskim dla ośrodka w Piwnicach, trudno zatem oceniać jego wartość naukową. Widać jednak doskonale różnice w widmach każdego ze składników układu symbiotycznego jak również zmienność na przestrzeni lat gorących komponentów trzech wybranych układów: T CrB, V934 Her oraz ZZ CMi. Dzięki temu niniejsza praca może posłużyć w kolejnych latach jako wzorzec do porównywania i weryfikowania wyników otrzymanych przez innych badaczy.

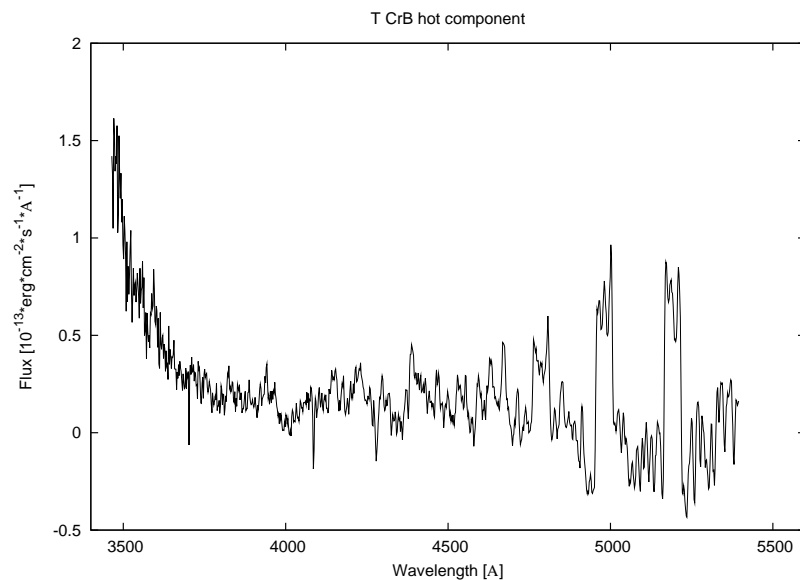
Rozdział 6

Suplement 1

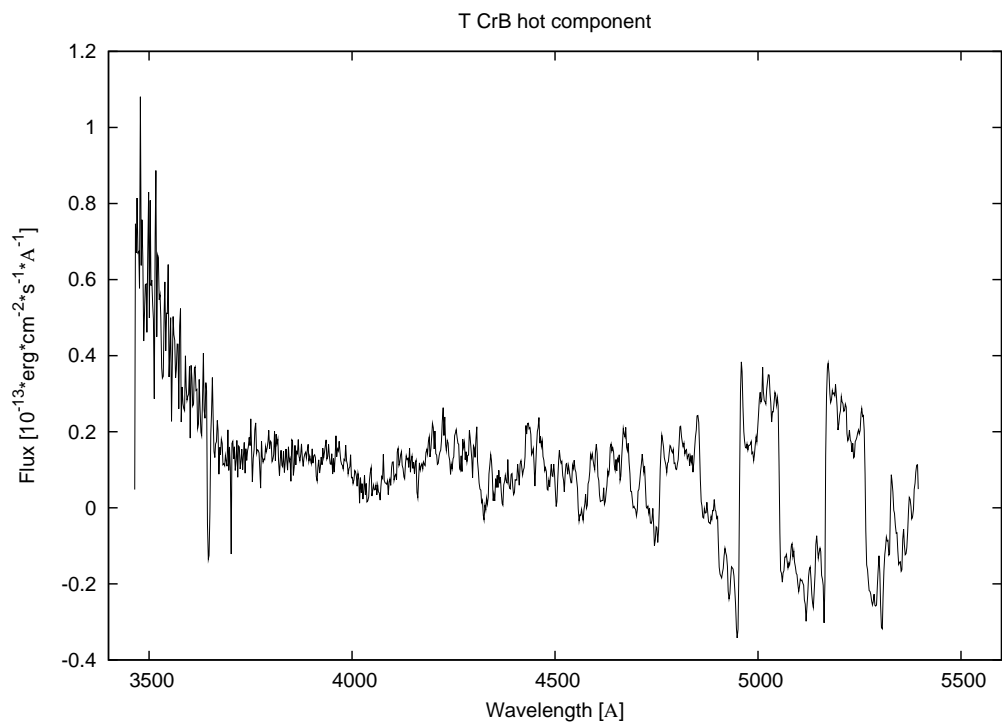
Zestawienie widm gorących składników dla T CrB, V934 Her oraz ZZ CMi z obserwacji w latach 2001–2006.

6.1 T CrB

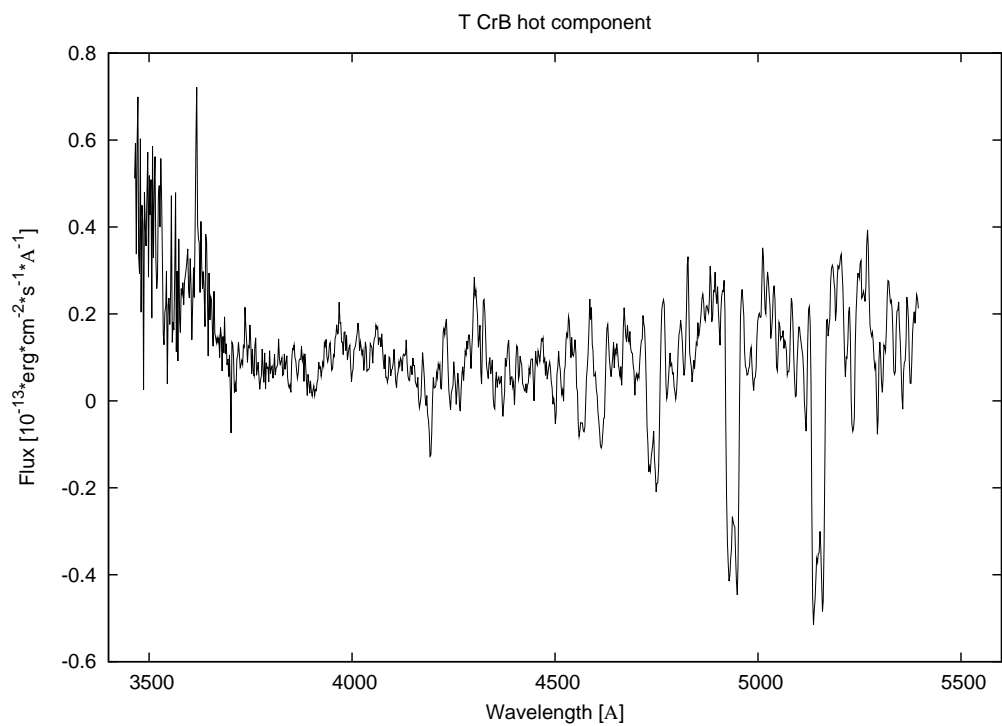
Na rysunkach 6.17–6.25 przedstawiam wyekstrahowane widma gorącego składnika układu symbiotycznego T CrB z obserwacji w latach 2001–2006.



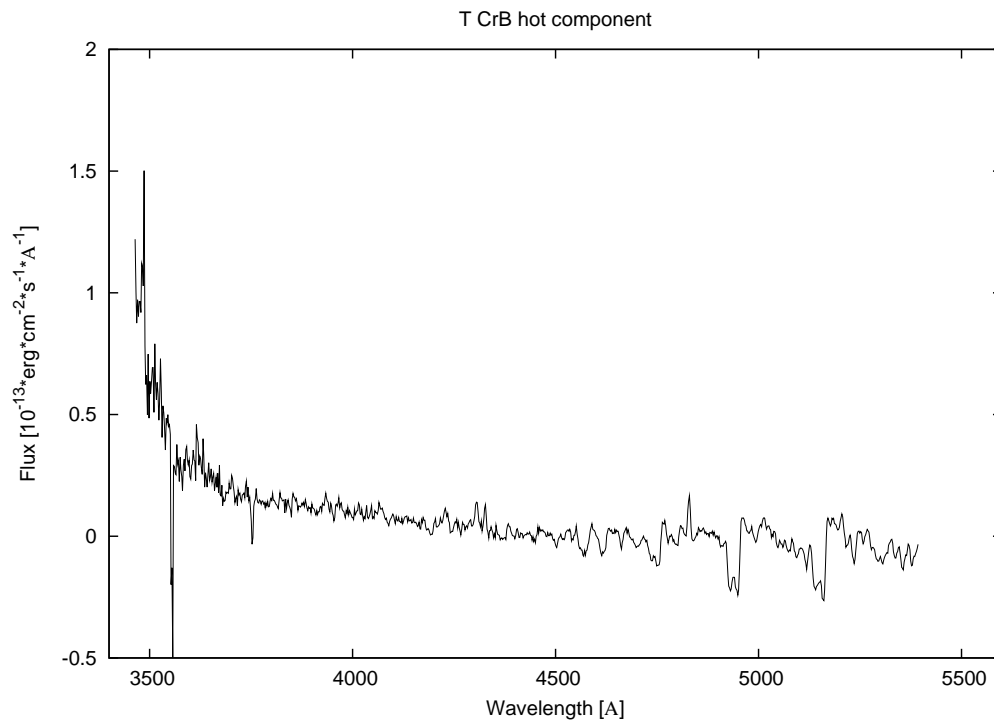
Rysunek 6.1: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 14.02.2002.



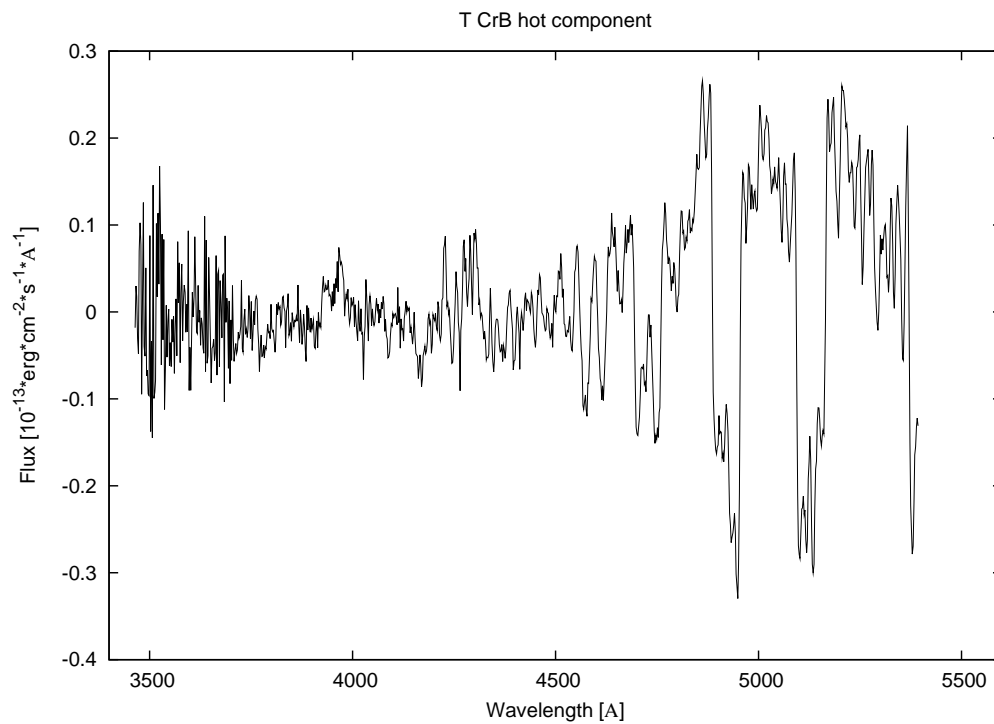
Rysunek 6.2: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 21.04.2002.



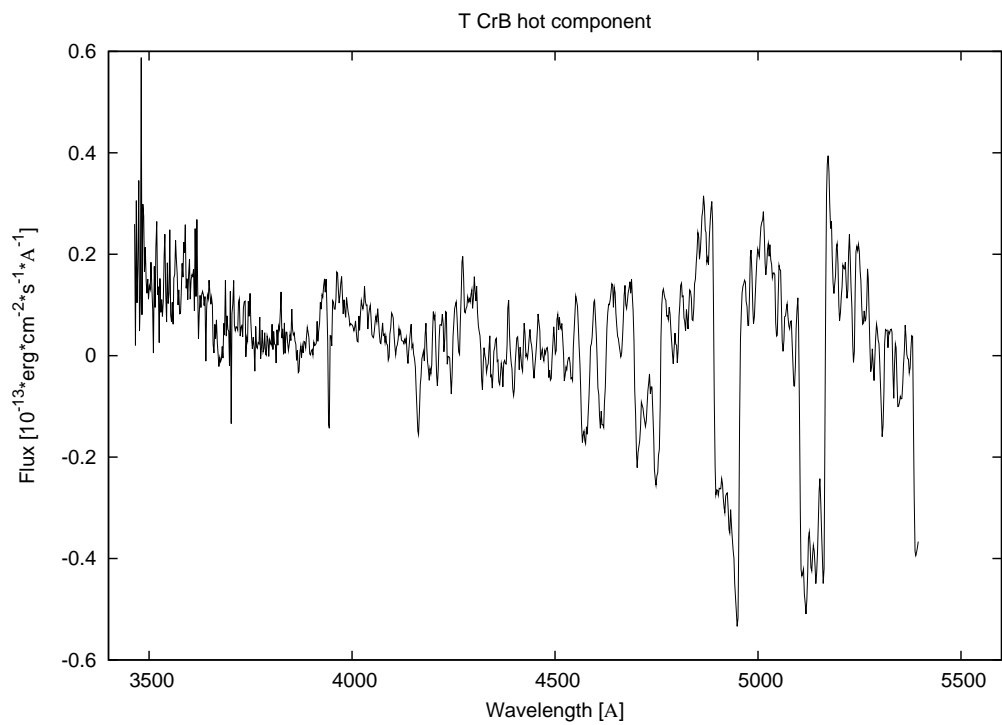
Rysunek 6.3: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 23.02.2003.



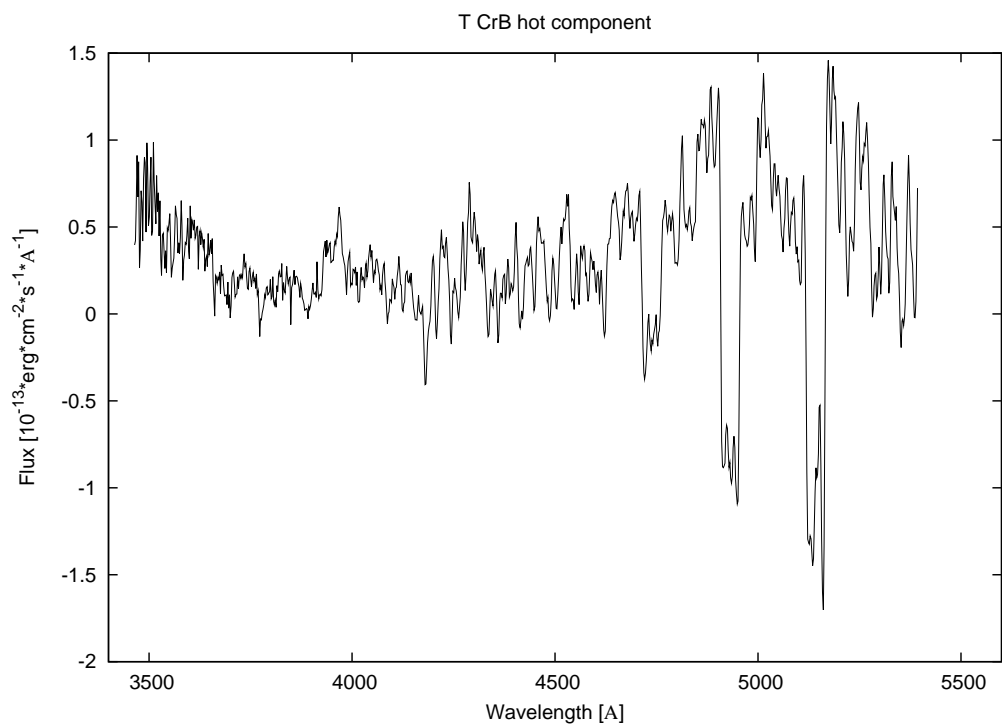
Rysunek 6.4: Widmo gorącego skłladnika T CrB pochodzące z nocy 23.04.2003.



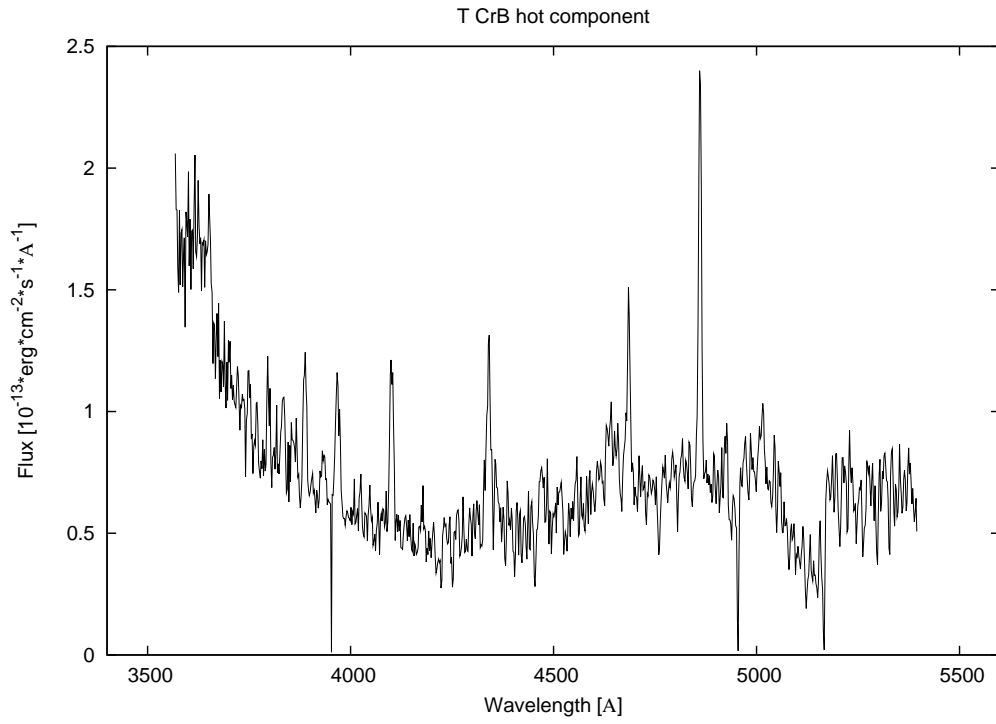
Rysunek 6.5: Widmo gorącego skłladnika T CrB pochodzące z nocy 28.04.2004.



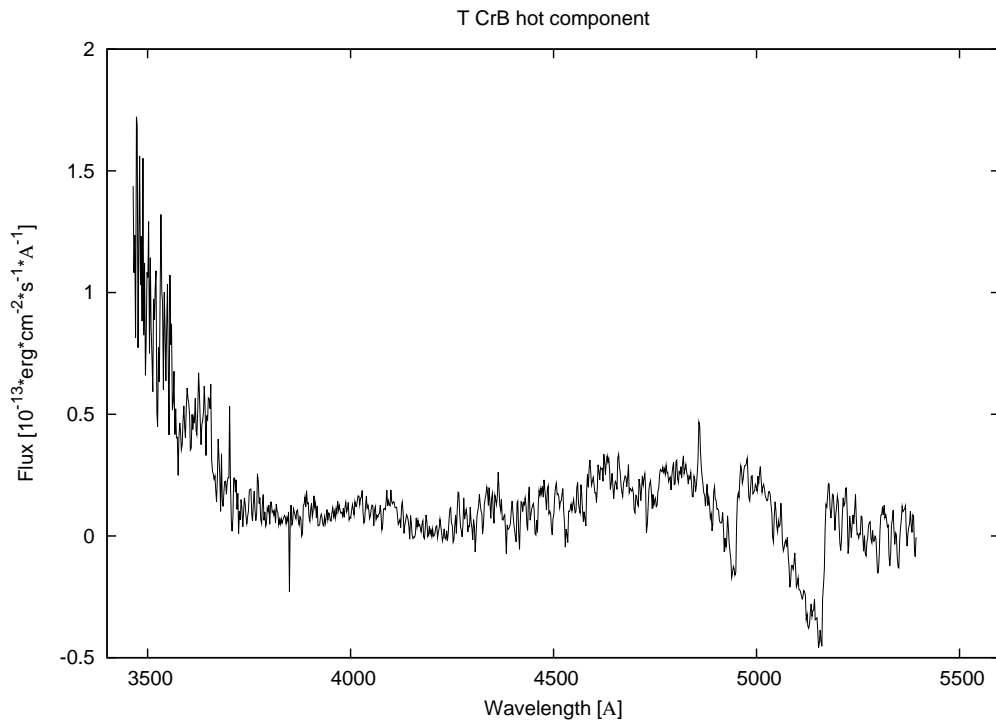
Rysunek 6.6: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 14.05.2004.



Rysunek 6.7: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 06.02.2005.



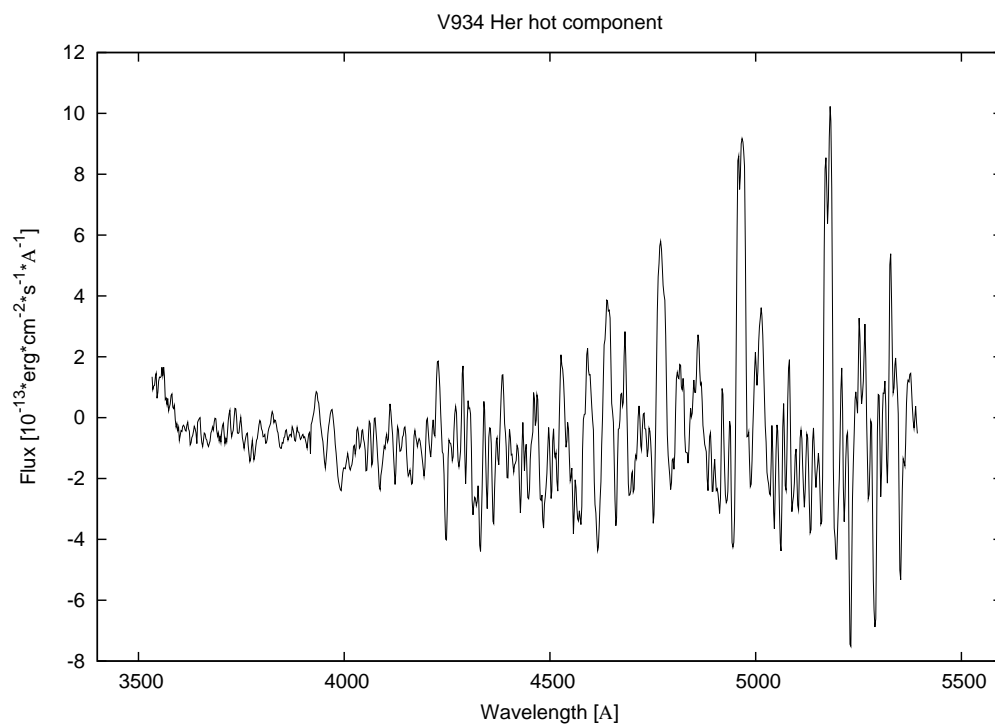
Rysunek 6.8: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 31.03.2005.



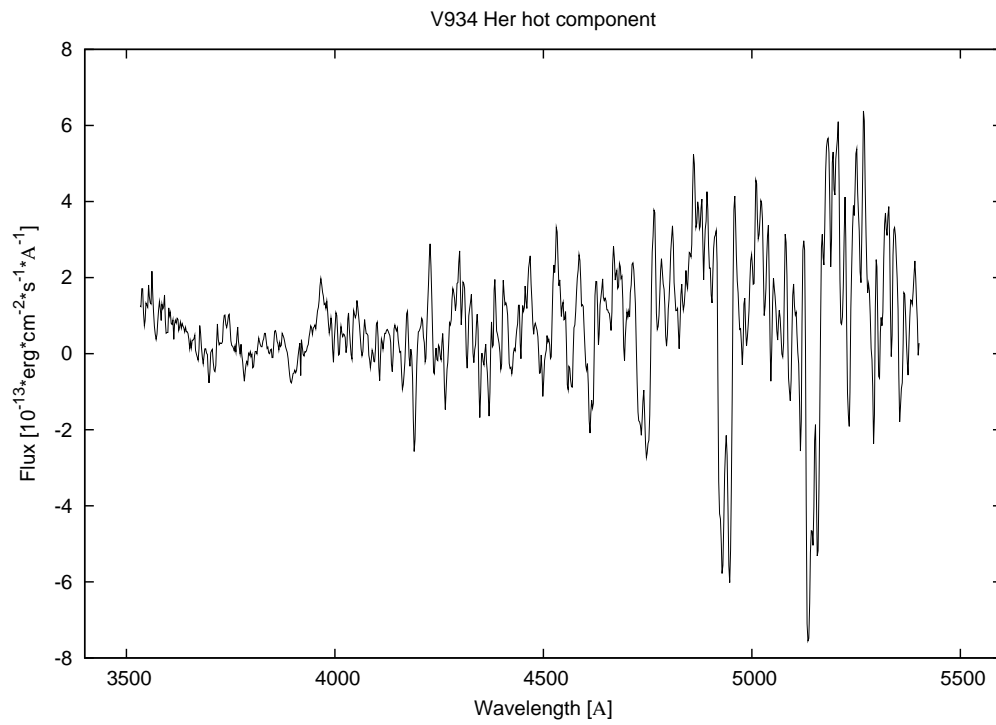
Rysunek 6.9: Widmo gorącego składnika T CrB pochodzące z nocy 20.08.2005.

6.2 V934 Her

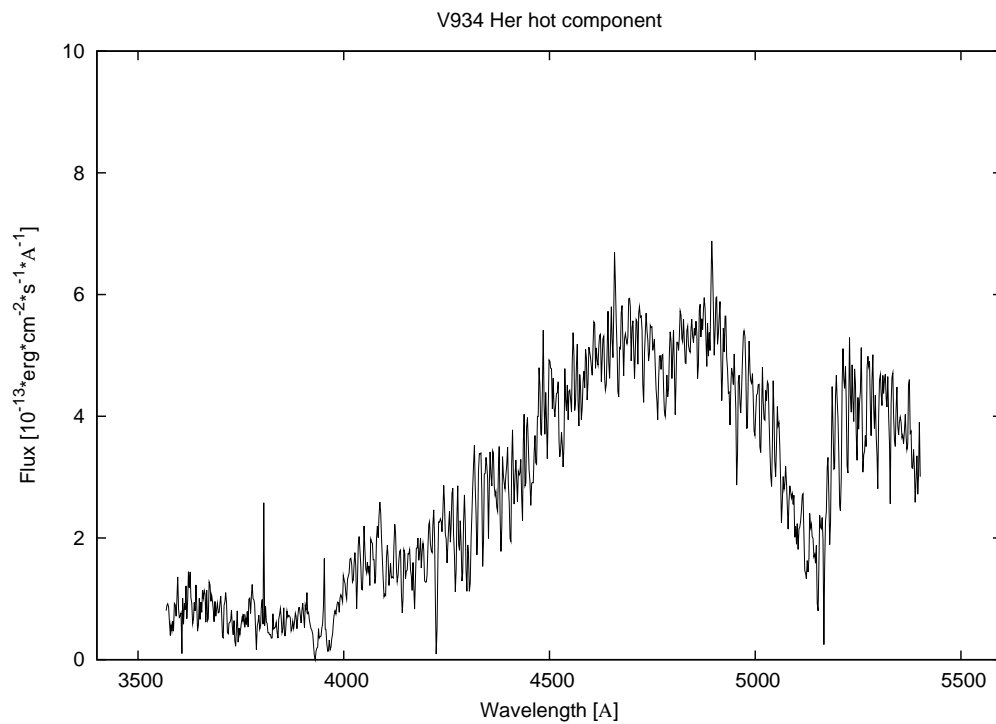
Na rysunkach 6.26–6.29 przedstawiam wyekstrahowane widma gorącego składnika układu symbiotycznego V934 Her z obserwacji w latach 2001–2006 (obserwacje w zakresie $3500 - 5500\text{\AA}$ wykonywano jedynie w roku 2005).



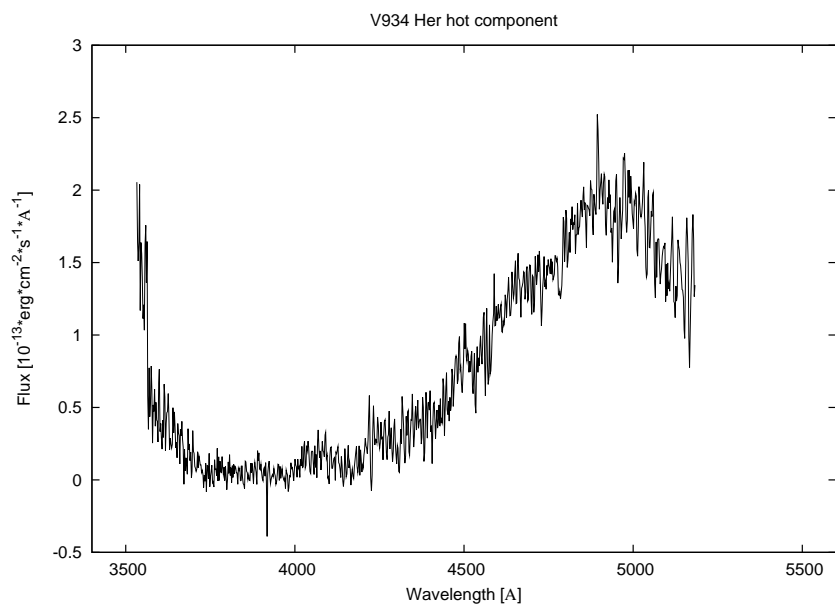
Rysunek 6.10: Widmo gorącego składnika V934 Her pochodzące z nocy 06.02.2005.



Rysunek 6.11: Widmo gorącego składnika V934 Her pochodzące z nocy 22.03.2005.



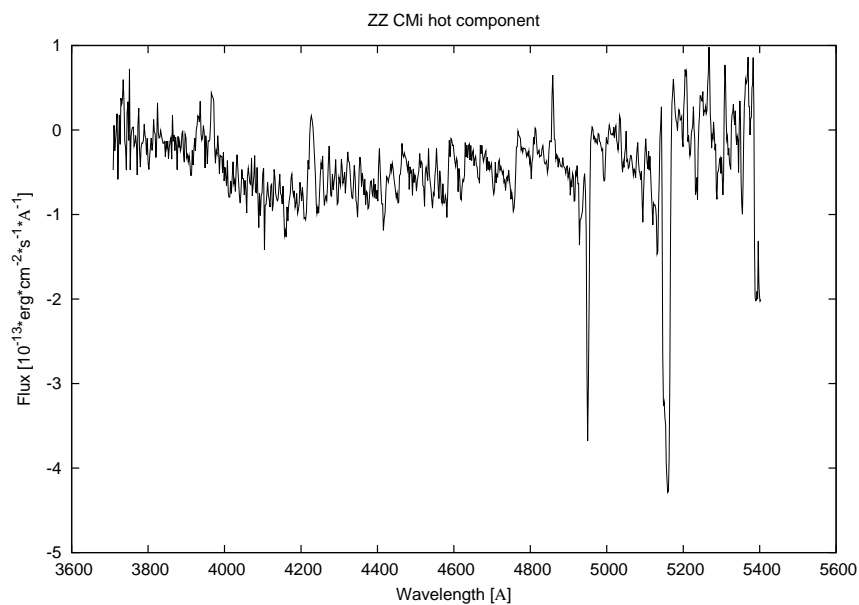
Rysunek 6.12: Widmo gorącego składnika V934 Her pochodzące z nocy 30.03.2005.



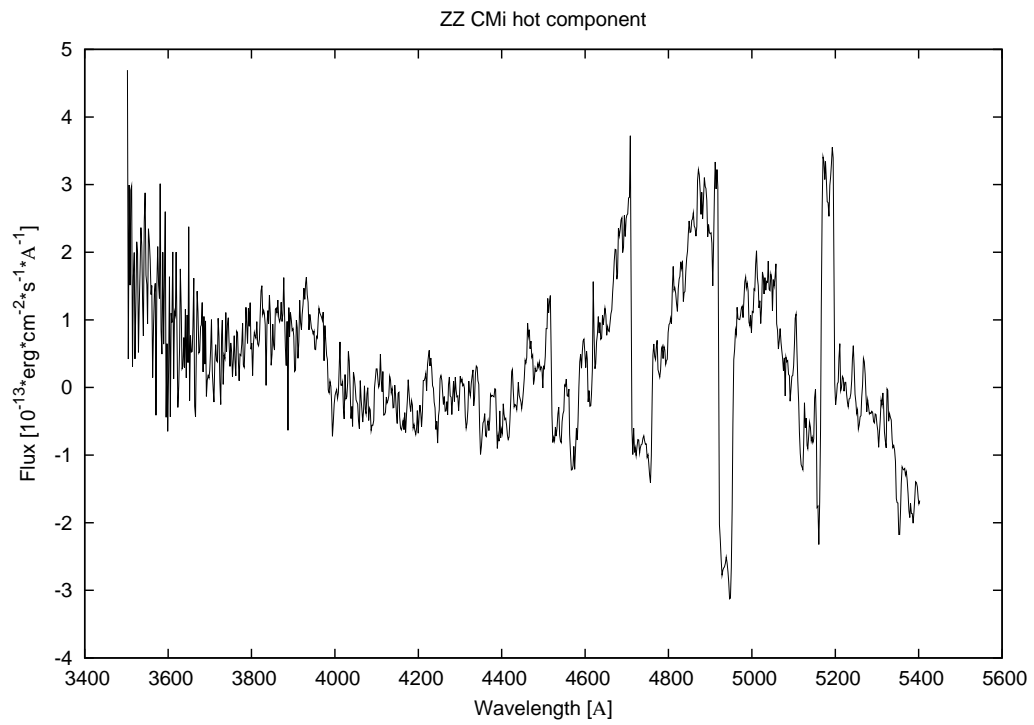
Rysunek 6.13: Widmo gorącego składnika V934 Her pochodzące z nocy 26.04.2005.

6.3 ZZ CMi

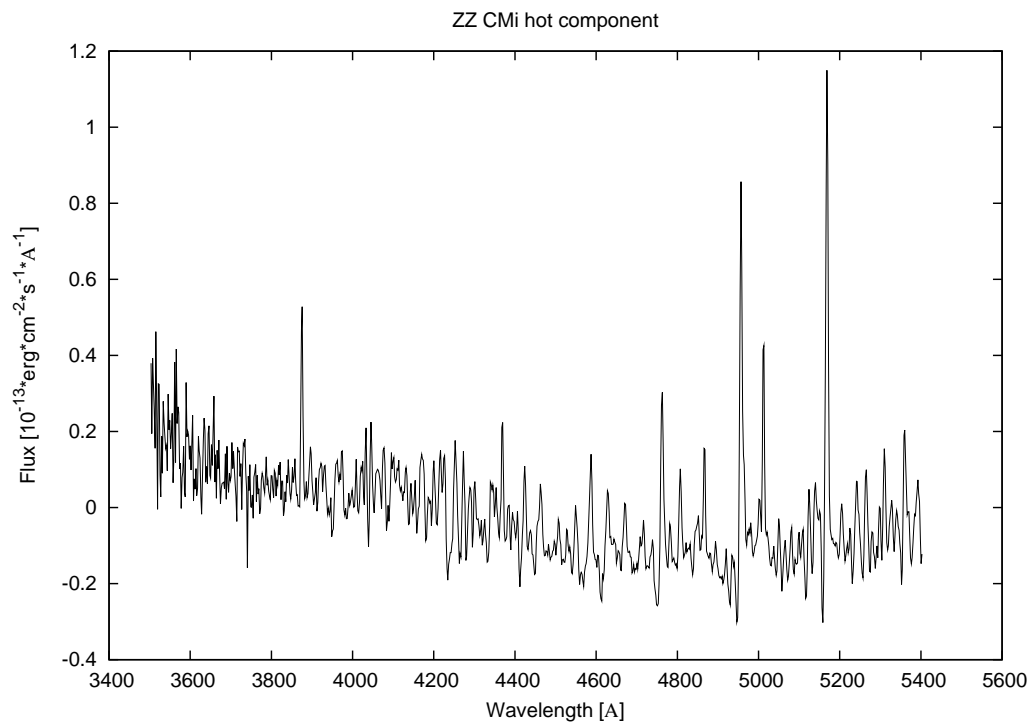
Na rysunkach 6.30–6.39 przedstawiam wyekstrahowane widma gorącego składnika układu symbiotycznego ZZ CMi z obserwacji w latach 2001–2006.



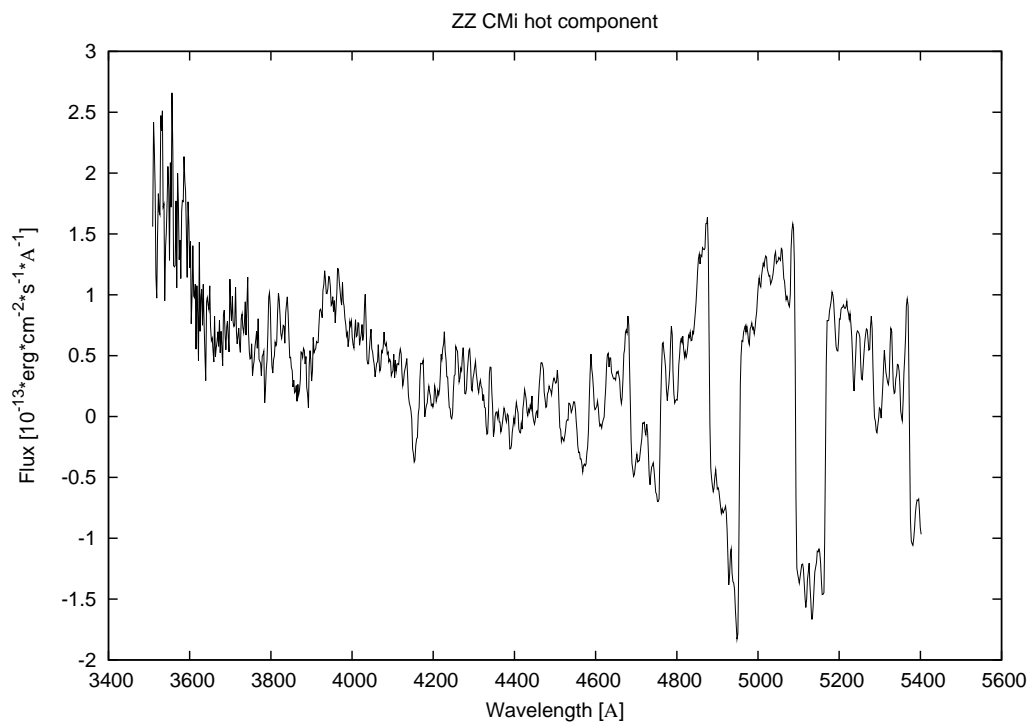
Rysunek 6.14: Widmo gorącego składnika ZZ CMi pochodzące z nocy 22.01.2001.



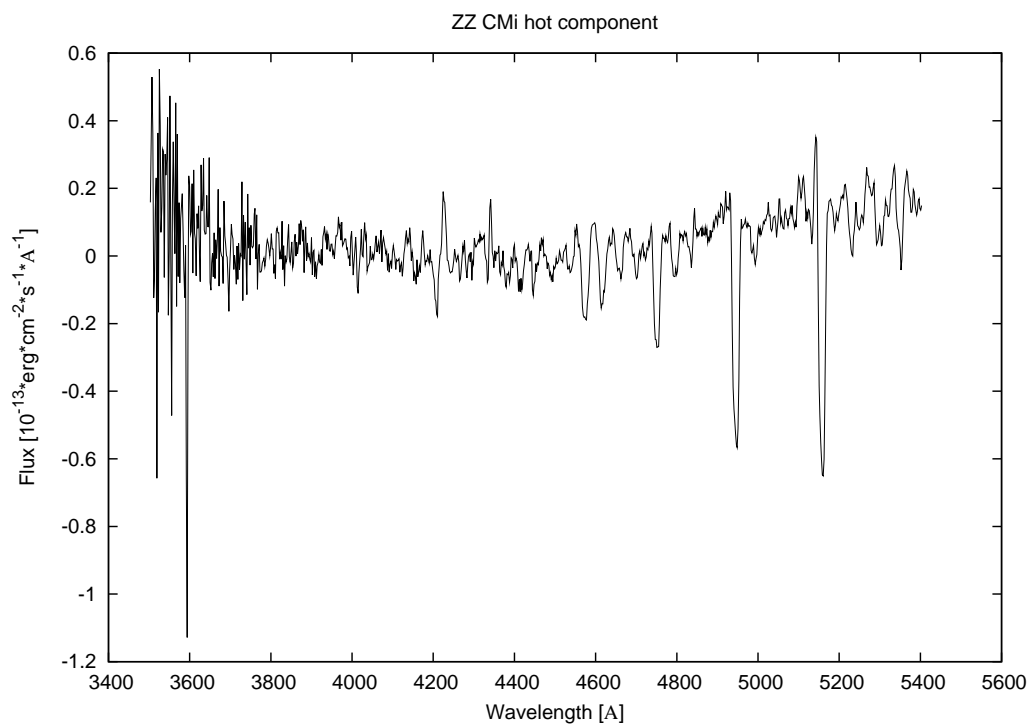
Rysunek 6.15: Widmo gorącego składnika ZZ CMI pochodzące z nocy 27.02.2001.



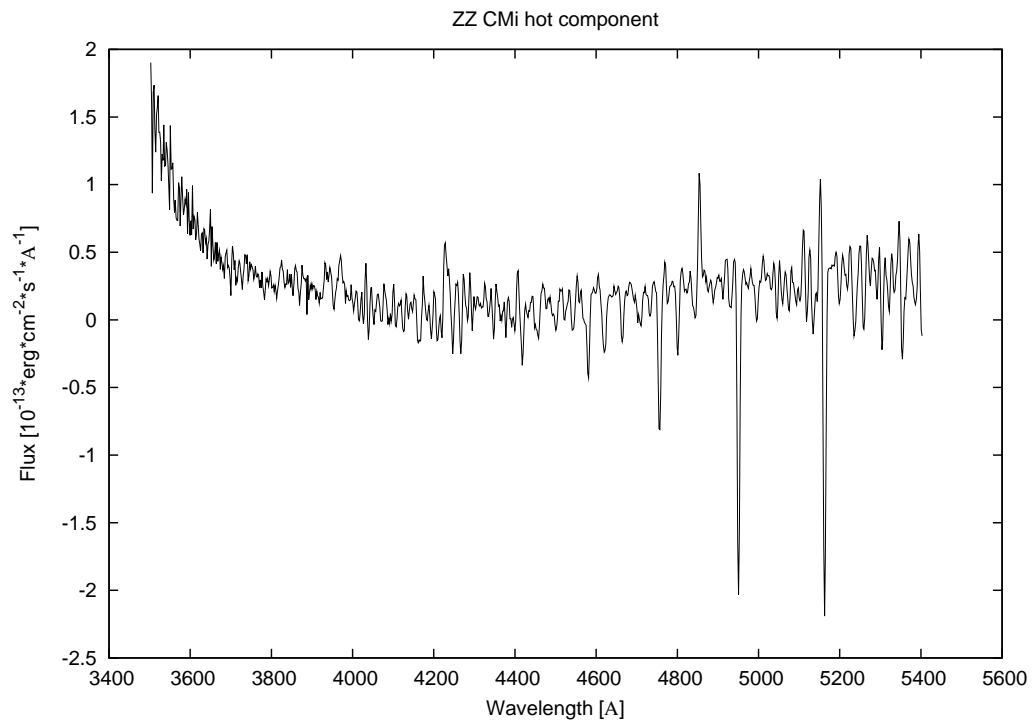
Rysunek 6.16: Widmo gorącego składnika ZZ CMI pochodzące z nocy 23.02.2003.



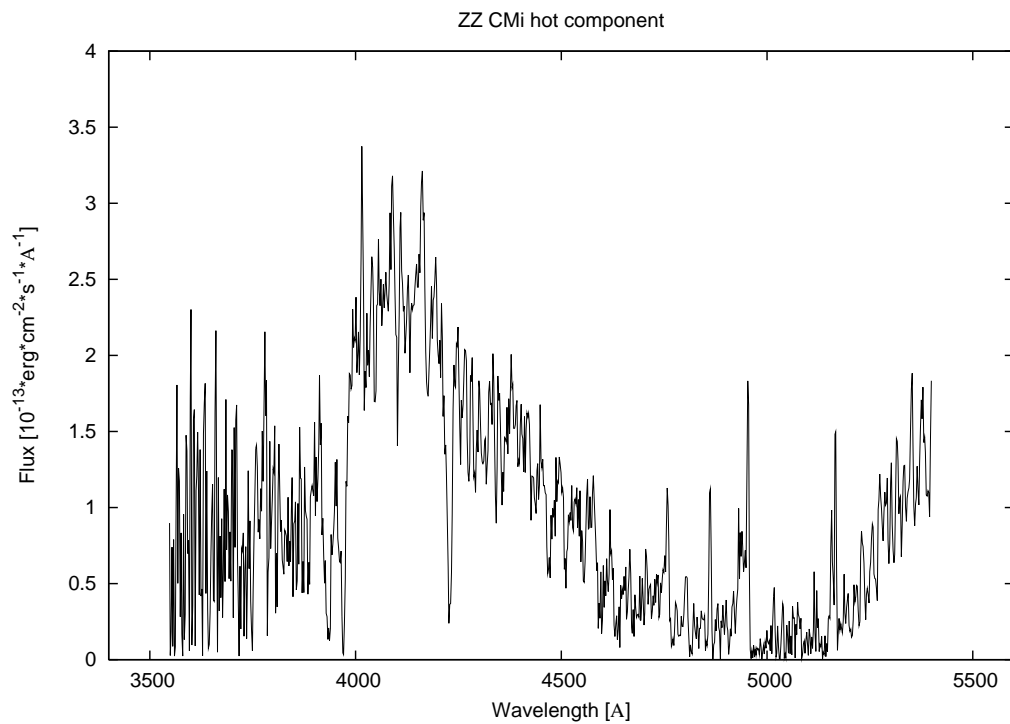
Rysunek 6.17: Widmo gorącego składnika ZZ CMi pochodzące z nocy 21.09.2003.



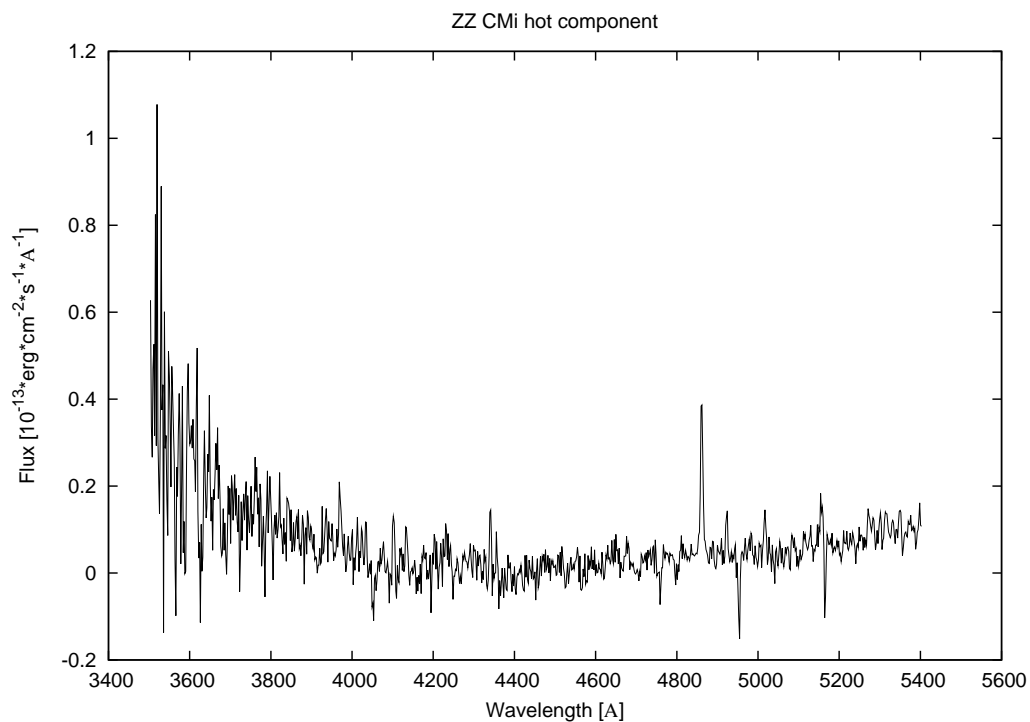
Rysunek 6.18: Widmo gorącego składnika ZZ CMi pochodzące z nocy 15.03.2004.



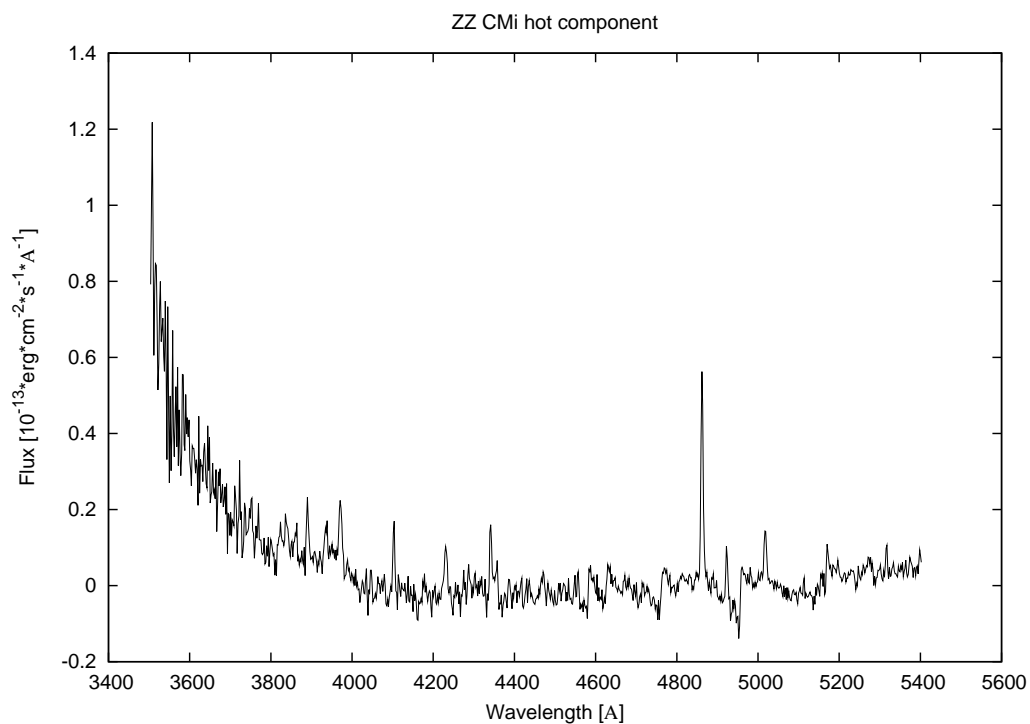
Rysunek 6.19: Widmo gorącego skłádnika ZZ CMI pochodzące z nocy 08.02.2005.



Rysunek 6.20: Widmo gorącego skłádnika ZZ CMI pochodzące z nocy 21.09.2005.



Rysunek 6.21: Widmo gorącego składnika ZZ CMi pochodzące z nocy 10.01.2006.



Rysunek 6.22: Widmo gorącego składnika ZZ CMi pochodzące z nocy 11.01.2006.

Rozdział 7

Suplement 2

**Spis obserwacji gwiazd symbiotycznych
z lat 2000–2006**

7.1 AG Dra

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.24	284,285,286	287	Vega-289,290	288
2001.10.24	1601,1602,1603	1604	η UMa – 1605, 1606	1607
2002.10.02	4328,4329,4330, 4331,4333,4334	4332		
2002.10.10	4381,4382	4383		
2002.10.11	4398,4399	4400		
2002.10.19	4408,4409,4410	4411,4412		
2002.10.29	4527,4528,4530	4529		
2003.06.27	7884,7886,7887	7885,7888	HR6025-7889, 7890,7891	7892
2003.06.28	7902,7903	7904	7905,7906 7907,7908	7909
2003.07.03	7910,7911,7912	7913	7914,7915, 7916,7917	
2003.07.24	8134,8135,8136	8137	8138,8139,8140	8141
2003.07.30	8418,8419,8426	8420,8427	15 Dra-8421, 8422,8423,8424	8425
2003.09.04	8447,8448	8449		
2003.09.05	8454,8455,8456	8457	8458,8459,8460	8461
2003.09.17	8676,8677	8678	8679,8680, 8681,8682	8683
2003.10.03	9006,9007,9008	9009		
2003.10.05	9010,9011	9012		
2003.10.08	9013,9014	9015		
2003.10.09	9016,9017 9018,9019	9020	9021,9022 9023,9024	9025
2003.10.10	9032,9033,9039 9040,9042	9034,9041,9043	9035,9037,9038	9036
2003.10.11	9069,9070,9071	9072		
2003.10.12	9082,9083,9084 9097,9098,9106 9107	9085,9108	9086,9087,9088 9099,9100,9101 9103,9104	9089,9102,9105
2003.10.24	9596,9597 9605,9606	9598,9607	9599,9600 9602,9603	9601,9602
2003.10.31	9733,9735,9736, 9737,9738,9739, 9740,9741	9734,9742,9743	9744,9745,9746 9747,9748	9749,9750
2003.11.03	9813,9814,9815	9816		
2003.11.18	10014,10015,10023, 10025,10026	10016,10024,10027		
2003.11.19	10032	10033		
2003.11.21	10034,10035,10036, 10037,10038	10039	10040,10041,10042, 10043,10044	10045
2004.01.05	10343,10344,10345, 10346	10347	10348,10349,10350, 10351,10352	10353

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2004.02.28	10676,10678,10679, 10680	10677,10681	10682,10683,10684	10685
2003.11.23	10056,10057, 10058,10060	10059,10061	10062,10063,10064	
2004.03.04	10686,10687,10688	10689	10690,10691,10692	10693
2004.03.05	10731,10732,10733	10734	10735,10736,10737	10738
2004.03.31	11978,11979,11984, 11985	11980,11986	11981,11982	11983
2004.04.01	11987,11988,11989	11990	11991,11992	11993
2004.04.15	12124,12125	12126	12127,12128,12129	12130
2004.04.25	12181,12182	12183	12184,12185,12186	12187
2005.01.31	12485,12486,12499, 12500	12501	12487,12488,12489	12490
2005.02.08	12632,12633,12634	12635	12636,12637,12638 12639	12640
2005.03.19	12727,12728,12729	12726,12730	12732,12733,12734	12735
2005.03.31	12961,12962,12963	12964	12965,12966,12967	12968
2005.05.24	13396,13397	13398	13399,13400,13401	13402
2005.05.29	13614,13615,13616	13617	13618,13619,13620	
2005.07.25	14001,14002,14003, 14004	14005	14006,14007,14008	14009
2005.07.27	14014,14015,14016, 14017,14018,14019	14020,14021	14022,14023,14024 14025,14026	14027
2005.09.18	14051,14052,14053, 14054	14055	14056,14057,14058	14059
2005.09.22	14116,14117,14118, 14127,14128,14129, 14130	14119,14131	14120,14121,14122, 14124,14125,14126	14123
2005.10.11	14221,14222,14223		14224,14225,14226, 14227	14228
2005.11.17	14380,14382,14387		14381,14383,14384, 14385,14386,14388, 14389	
2005.12.12	14397,14399,14400, 14401	14398,14402		
2006.01.09	14597,14598,14599	14600	14601,14602,14603	14604
2006.06.05	16478,16479,16480, 16481	16477	16473,16474,16475	16476
2006.06.07	16497,16498,16499, 16500	16505	16501,16502,16503	16504
2006.06.08	16509,16510			
????.??.??	16677,16678,16679	16680,16681	16682,16683,16684	
2006.07.29	17042	17043	17039,17041	17040
2006.07.30	17047	17048	17044,17045	17046
2006.07.31	17049,17051,17052,	17050	17054,17055	17056
2006.08.06	17057,17058,17060, 17064,17065,17067, 17068,17069,17070	17059,17066,17071	17061,17062,17072, 17073	17063,17074
2006.09.15	17392,17398	17391,17397	17394,17396	17393,17395
2006.09.16	17436,17437,17438, 17448,17475,17476	17439,17447,17474, 17477	17434,17478	17435,17449,17479
2006.09.17	17558,17559,17565, 17566	17557,17564	17561,17563	17560,17562
2006.10.16	17754,17755,17756	17753,17757		

7.2 AG Peg

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2003.09.06	8493,8494,8500	8495,8501	zet Peg-8496, 8497,8498,8499	
2004.01.05	10373,10374		15 Dra-10375 10376,10377	10378

7.3 ZZ CMi

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.11	159,160			
2001.02.22	872,873	874	$\gamma Gem - 875,$ 876,877	878
2001.02.27	934,935,936, 973	938		
2002.02.04	1989,1990	1991		
2002.04.22	2743,2744	2745,2746	$\eta Hya - 2747,$ 2748,2750,2751, 2752	2749,2753
2003.02.23	5484,5485,5491	5486,5492	$\beta CMi - 5487,$ 5488,5489, $\eta Hya - 5493,$ 5494,5495,5496	5490,5497
2003.09.21	8730			
2004.03.15	10868,10869	10870		
2004.03.31	11965,11966,11967	11968	$\beta CMi - 11969,$ 11970,11971	11972
2004.04.11	12019,12020	12021	HD58383-12022, 12023	12024
2005.02.08	12626,12627	12628		
2005.09.21	14106,1407,14108	14109		
2006.01.10	14624,14625	14626		
2006.01.11	14642	14643		

7.4 o Ceti

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.11	152,153,154	155		
2001.09.13	1670,1671,1672, 1673,1679,1680	1674,1675,1681	$\delta Ceti$ – 1676, 1677,1678	
2001.09.25	1823,1824,1825, 1827,1834,1834	1826,1836	HR718–1828, 1829,1830	1831
2003.09.05	8470,8471,8472	8473	HR779–8474, 8475,8476,8477	8478
2003.11.28	10085,10090	10086,10091	$\delta Ceti$ – 10087, 10088,10092	10089
2003.12.15	10144,10149,10150	10145,10151	10146,10147,10152, 10153	10148,10154
2004.01.15	10422	10423	10424,10425	
2004.02.19	10664,10666,10667	10665	$\gamma Ceti$ – 10669, 10670,10671	10672
2005.02.05	12547,12548,12549	12550	12551,12552,12553, 12554,12555	12556
2005.02.08	12602,12603,12604, 12605	12606	12607,12608,12609, 12610	12611
2005.08.18	13890,13891,13892	13893	$\delta Ceti$ – 13894, 13895,13896,13897	13898
2005.09.18	14064,14065,14066, 14067	14068	14069,14070	14071
2006.01.09	14565,14566,14567	14568	14569,14570,14571	
2006.01.10	14605,14606	14607	14608,14609	14610

7.5 AX Per

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2002.04.03	2528,2529,2530	2531,2532	HD217086–2533	2534
2002.09.02	4021,4022,4023, 4024	4025	θCas – 4026, 4027,4028	4029
2003.03.12	6009,6010,6011, 6028,6029	6012		
2003.09.05	8479,8480	8481	HD590–8482, 8483,8484	8485
2003.09.17	8684,8685,8686	8687	HD217086–8688, 8689,8690	8691
2003.10.31	9776,9777,9778, 9789,9790	9779,9780,9791, 9792	9781,9782,9783, 9784,9785,9786	9787,9788
2003.11.03	9846,9847	9848		
2003.12.16	10155,10156,10162	10157	HD590–10158, 10159,10160	10161
2003.12.19	10227,10228,10229, 10231	10230,10232	10233,10234,10235, 10236	
2004.01.05	10365,10366,10367	10368	10369,10370,10371	10385
2004.01.08	10379,10380,10381	10382	10383,10384	10385
2004.01.15	10420	10421		
2004.02.19	10673,10674	10675		
2004.04.19	12996,12997,12998	12999	4 Per–13000, 13001,13002	13003
2005.08.01	13853,13854	13855		
2005.08.16	13865	13866		
2005.08.17	13867,13868,13869, 13870	13871	13872,13873,13874	13875
2005.08.19	13924,13925,13926, 13927	13928	13929,13930	13931
2005.08.20	13948,13949,13950	13951	13952,13953,13954	13955
2005.10.19	14360,14361,14362, 14363,14364	14365	HD1056–14366, 14367,14368,14369	14370
2006.01.09	14574,14575,14576	14572,14573	4 Per–14577, 14578,14579	14580

7.6 BX Mon

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.12.01	774,775,776			
2003.02.22	5429,5430,5431, 5437	5432,5438	HD71155-5433, 5434,5435,5439 5440,5441	5436,5442
2003.04.05	6674,6676,6677, 6678	6675,6679	6680,6681,6682	6683
2003.12.16	10165,10166	10167	10168,10169	10170
2003.12.19	10337	10338		
2004.01.05	10358,10359,10360	10361	10354,10355,10356, 10362,10363	10357,10364
2004.03.05	10707,10708,10709	10710	HR2845-10711, 10712,10713	10714
2004.04.02	12012,12013,12014	12015	12016,12017	12018
2005.09.21	14110,14111,14112, 14113,14114	14115		
2005.10.11	14241,14242	14234		
2005.10.23	14371,14372,14373, 14374	14375	14376,14377,14378	14379
2006.01.09	14581,14582,14583	14584	HD551185-14586, 14587,14588	14585

7.7 CH Cyg

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.08.01	007,008,009, 010	011,012,013, 014	69 Cyg-020, 021,022	023
2000.09.06	032,033,034, 035	031,036		
2000.09.21	208,209	210	HD166205-212,213	214
2000.09.23	249,250,266, 267	251,269	HD192281-253, 254,271,272	252,273
2000.09.25	315,316	317		
2001.02.24	898,899,900, 901,902			
2001.02.27	945,946,947, 948	949		
2001.04.10	1028,1029,1030, 1032,1040	1031	<i>ι</i> Cyg - 1033, 1034,1035,1037, 1039	1036,1038
2001.04.19	1067	1068		
2001.04.25	1089,1090,1095, 1096		HD212710-1097, 1098,1099	1100
2001.05.02	1146,1147,1148	1149	<i>ι</i> Cyg - 1150, 1151,1152	1153
2001.05.12	1287,1288,1289, 1290	1286	1292,1293,1294	1291
2001.05.21	1302,1303,1306, 1307,1308	1301,1304,1305, 1309	1311,1312	1310
2001.05.23	1333,1334,1335		1339,1340	1341
2001.10.20	1549,1550,1551, 1552,1553	1548		
2001.10.23	1564,1565,1566, 1567	1568	1569,1570,1571	1572
2001.11.13	1682,1683,1684	1685	1686,1687,1688	1689
2002.04.11	2657,2658	2659		
2002.07.16	3405,3406,3407, 3408	3404,3409	HD192281-3410, 3411	3412(FeAr)
2002.07.23	3423,3424,3425	3426		
2002.09.08	4096,4097	4098	<i>ι</i> Cyg - 4099, 4100,4101	4102
2002.11.05	4532,4534	4533,4535		
2003.10.09	9026,9027, 9028		9029,9030, 9031	
2003.10.10	9045,9046,9047, 9048	9049	<i>ι</i> Cyg - 9050, 9051,9053,9054	9052
2003.10.12	9090,9091	9092	9093,9094,9095	9096
2003.10.28	9662,9663,9664	9665	HD182691-9666, 9667,9668	9669
2003.10.31	9730,9731	9732		

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2003.11.01	9793	9794		
2003.11.25	10072,10073	10074	10075,10076,1077, 10078	10079
2005.02.06	12596,12597	12598	<i>ιCyg</i> – 12599, 12600	
2005.03.30	12934,12935	12936		
2005.04.19	13004,13005,13006	13007	13008,13009,13010, 13012,13013	13011
2005.04.26	13181,13182	13183		
2005.05.24	13403,13404	13405	<i>θCyg</i> – 13406, 13407,13408	13409
2005.06.30	13653,13654,13655, 13665	13656,13666	<i>ιCyg</i> – 13657, 13658,13659,13661, 13662,13663	
2005.07.15	13667,13668,13669	13670	13671,13672,13673	13674
2005.07.29	13750,13751,13752, 13760,13761	13753,13762	13754,13755,13756, 13763,13764	13757,13767
2005.07.30	13776,13777,13778			
2005.08.01	13837,13838,13839	13840	13841,13842,13843	13844
2005.08.16	13856,13857,13858	13859	13860,13861,13862, 13863	13864
2005.08.19	13916,13917,13918	13919	13920,13921,13922	13923
2005.11.19	14351,14352,14353, 14354	14355	14356,14357,14358	14359
2005.12.17	14421,14422,14430, 14431,14437	14423,14429	14424,14425,14426, 14427,14433,14434, 14435	14432
2006.01.09	14557,14559	14558,14560		
2006.07.11	16789,16790,16791	16792		

7.8 CI Cyg

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.24	291,292	293	HD192281–298, 299	
2001.10.24	1629,1630,1631	1632		
2002.07.23	3420,3421	3422		
2002.09.03	4046,4047,4052, 4053,4058	4048,4054,4059	HR7647–4049, 4050,4055,4056, 4060	4051,4057
2003.11.03	9803,9804,9805, 9806	9807	HR7708–9808, 9809,9810,9811	9812
2003.12.19	10341	10342		
2005.04.26	13173,13174,13175	13176	29 Cyg–13177, 13178,13179	13180
2005.08.17	13876,13877,13878	13879	ι Cyg – 13880, 13881,13882	13883
2005.08.19	13910,13911,13912, 13913,13914	13915		
2005.08.25	14010,14011,14012	14013		
2005.08.27	14028,14029,14030			
2005.09.18	14060,14061,14062	14063		
2005.10.11	14229,14230,14231	14232		
2005.12.17	14412,14413,14414, 14415	14416	HR7708–14417, 14418,14419	1420
2006.01.09	14561,14562,14563	14564		

7.9 EG And

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.12.01	759,760,761	762	HD224687-764, 765	763
2002.07.25	3919,3920	3921	<i>νAnd</i> – 3922	3933
2002.09.02	4014,4015,4016	4017	HR269-4018, 4019	4020
2003.09.19	8701,8702,8703, 8704	8705		

7.10 MWC 560

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2001.02.24	883,884,886	885		
2001.02.27	924,925,926, 927,928	929	η Hya – 930, 931,932	933
2001.10.23	1573,1574,1575, 1576,1577			
2001.10.24	1611,1612,1613, 1614	1615		
2001.11.14	1711,1712,1713, 1722,1723,1724	1714,1725,1726, 1727,1728,1729	1717,1718,1719, 1720	1721
2001.11.16	1780,1781,1783, 1784	1785	1777,1778,1789, 1790,1791	1779,1792
2001.11.25	1841,1842,1843, 1852,1853,1854, 1855,1856	1844,1851,1857	30 Mon–1846, 1847	1845
2002.02.04	1977,1978,1983, 1984	1979,1985	η Hya – 1980, 1981	1982
2003.10.28	9715,9716,9717	9718,9719	π^2 Ori–9720, 9721,9722,9723	9724,9725
2005.01.31	12494,12495,12497	12496,12498		
2005.02.05	12509,12510,12511	12512	HD93521–12513, 12514,12515	12516
2005.02.06	12567,12568,12569, 12570,12572	12571,12573	HD71155–12574, 12575,12576,12577, 12578	12579
2005.03.20	12745,12746,12747, 12748	12749		
2005.03.30	12878,12879,12880	12881	HD62832–12882, 12883,12884	12885
2005.03.31	12937,12938,12939	12940	12941,12942,12943	12579
2005.04.18	12979	12980		
2005.04.19	12984	12985		
2005.04.20	13025,13026	13027	HD55484–13029, 13030,13031	13032
2006.01.10	14616,14617,14618	14619	HD71155–14620, 14621,14622	14623

7.11 NQ Gem

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.11	156,157	158	γ Gem – 161, 162	163
2001.02.24	890,891,892, 893	894	895,896,897	
2001.02.27	939,940,941, 942	944		
2001.05.02	1126,1127,1128, 1129			
2003.02.22	5443,5444	5445	64 Gem–5446, 5447,5448	5449
2003.04.05	6684,6685,6686	6687	6688,6689,6690	6691
2003.11.22	10049,10050,10051	10052		
2004.04.11	12025,12026	12027	HR2857–12028, 12029	12030
2005.04.18	12981,12982	12983		
2005.04.26	13163	13164		

7.12 PU Vul

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2001.10.24	1588,1589,1590	1591		
2002.07.23	3416,3417,3418	3419		
2002.07.26	3446,3447,3452, 3453	3445,3448,3454	58 Aql-3449, 3450, HD192281-3455, 3456	3451,3457
2002.08.19	3752,3753,3754, 3755	3756	29 Vul-3757, 3758,3759	3760
2003.09.06	8502,8503	8504		
2006.08.11	16783,16784,16785	16786	17 Vul-16780, 16781,16782	16783

7.13 R Aqr

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2002.08.28	3961,33962,3963, 3964	3965	ω^2 Aqr-3966, 3967,3968	

7.14 RS Oph

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2002.04.21	2723,2724	2725		
2002.04.22	2780,2781,2782	2783,2784	58 Aql-2785, 2786	2787
2002.06.24	3069,3070,3072, 3073	3071,3074		
2002.07.26	3435,3437,3438, 3439,3440	3436,3441	HD192281-3442, 3443	3444
2002.07.27	3466,3467,3468, 3470,3471,3471, 3472,3474,3475, 3476,3477	3469,3473,3478		
2002.07.28	3479,3480,3481	3482	HD177765-3483, 3484,3485	3486
2005.07.29	13742,13743,13744	13745	γ Oph - 13746, 13747,13748	13749
2005.07.30	13768,13769,13770	13771	13772,13773,13774	13775
2006.03.21	14731	14732		
2006.07.02	16696,16697,16698, 16704,16705,16706	16699,16707	τ Oph - 16701, 16702,16703,16709, 16710,16711	16700.16708
2006.09.15	17344,17345,17347	17346,17348		
2006.09.16	17440,17441,17444	17442,17443	17445	17446
2006.09.17	17549,17550	17548,17551	17546,17547	17545

7.15 T CrB

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2001.05.02	1130,1131,1132, 1133	1134	γCrB – 1135, 1136,1137	1138
2002.02.14	2096,2097,2101	2098,2102	BD +26 2606–2099	2100
2002.03.20	2491,2492,2493	2494	108 Vir–2495, 2496,2497	2498
2002.04.21	2714,2715,2716	2717		
2003.02.23	5537,5538,5539	5540		
2003.04.23	6833,6834,6835, 6836	6837	HR5849–6838, 6839,6840	6841
2004.03.04	10694,10695	10696		
2004.04.02	12037,12038	12039	108 Vir–12040, 12041	12042
2004.04.28	12244,12245	12246	12247,12248	12249
2004.04.30	12293,12294,12295	12296	12297,12298	12299
2004.05.14	12411,12412,12413, 12415	12414,12416		
2005.02.06	12591,12592	12593		
2005.03.31	12969,12970,12971	12972		
2005.04.19	13017,13018	13019		
2005.04.20	13049,13050,13051	13052	δCrB – 13053, 13054,13055	13056
2005.08.20	13932,13933,13934	13935	ιSer – 13936, 13937,13938	13939

7.16 TX CV_n

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.12.01	777,778,779	780	β Leo – 782, 783	781
2001.05.03	1160,1161,1162, 1163,1167,1167	1159,1169	HD108382–1164, 1165, δ UMa – 1170, 1171	1166,1172
2002.03.20	2484,2485,2486	2487	η UMa – 2488, 2489,2490	
2002.04.21	2693,2694,2695, 2696	2697	2698,2699,2700	2701
2003.04.02	6652,6653,6654, 6655	6656	6657,6658,6659	6660
2004.03.05	10715,10716	10717	HD93521–10718, 10719,10720	10721
2004.03.31	11973,11974,11975		11976	
2004.04.01	11994,11995	11996	11997,11998	11999
2004.04.02	12031,12032	12033	12034,12035	12036
2004.04.15	12100,12101,12102	12103	12104,12105,12106	12107
2004.04.28	12238,12239	12240	12241,12242	12243
2004.04.29	12256,12257	12258	12259,12260,12261	12262
2004.04.30	12273,12274,12275	12276	12277,12278	12279
2005.02.06	12582,12583,12584	12585	HD113797–12586, 12587,12588,12589	12590
2005.03.19	12736,12737,12738	12739	12740,12741,12742	12743
2005.04.19	13014,13015	13016		
2005.04.20	13041,13042,13043	13044	HD108225–13045, 13046,13047	13048
2006.01.09	14589,14590,14591	14592	HR4943–14593, 14594,14595	14596

7.17 V627 Cas

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.22	234,235,238, 239	236,237	HD217086-240, 241,246,247	243,248
2003.09.06	8505,8506,8507, 8508	8509		
2005.10.11	14238,14239,14240			

7.18 V1016 Cyg

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.24	295,296	294	HD192281-298,299	297
2001.02.27	955,956			

7.19 YY Her

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2005.05.29	13612	13613		
2005.08.18	13888(zły!)			
2005.08.25	13991,13992,13993, 13994,13995	13996	101 Her-13997, 13998,13999	14000

7.20 V934 Her

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.21	201,202	203		
2000.09.22	217,218,228, 229	219,230		
2005.02.06	12594,12595			
2005.03.19	12744			
2005.03.20	12757,12758,12759	12760		
2005.03.22	12862,12863,12864	12865	<i>ε</i> Her – 12866, 12867,12868,12869	12870
2005.03.30	12926,12927,12928	12929	12930,12931,12932	12933
2005.04.26	13165,13166,13167	13168	70 Her–13169, 13170,13171	13172

7.21 Z And

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2000.09.06	050,051,052, 075,076	049,053,074	HD217086-055, 056,077,078 079	057
2000.09.07	096,097,098, 100,111,112	099	101,102,113, 114	103,115
2000.09.11	139,140,141, 142,148,149, 151	150	144,145	143,146
2000.09.14	177,178	179	181	180
2000.09.20	184,185,186, 193,194,195	187	189,190	188,191
2000.09.23	255,256,257, 273,274,275	258,276	260,261,278, 279	259,277
2000.09.24	300,301	302	304,305	303
2000.10.20	581,582,583, 584,590,591, 601,602,603, 604,605,606	589,600,607	586,587,592, 593,597,598	585,588,594, 599
2000.12.01	751,752,753	754	756,757	755
2001.02.27	915,916,917, 918	919	920,921,922	923
2001.10.23	1559,1560,1561, 1562	1563		
2001.10.24	1592,1593,1598, 1599	1600	1596,1597	
2001.11.13	1694,1695,1696, 1701,1702	1697	18 And-1698, 1699,1703,1704, 1705	1700,1706
2002.08.24	3884,3885	3886	λ And - 3887, 3888	3889
2002.08.25	3924,3925	3926	3927,3928	3929
2002.10.19	4413,4415,4416, 4432,4433,4438, 4439	4414,4417,4434, 4440	18 And-4418, 4419,4435,4436, 4441,4442	4420,4437,4443
2002.10.24	4476,4477,4479	4478,4480		
2002.10.27	4525	4526		
2002.11.06	4537,4538,4540	4539,4541	4542,4543	4544
2003.09.19	8692,8693,8694	8695	8696,8697,8698, 8699	8700
2006.01.10	14611,14612,14613, 14614	14615		
2006.01.11	14626,14627,14628	14629	HR8967-14631, 14632,14633	14630
2006.08.11	16793,16794,16795	16796		
2006.09.15	17361,17367,17368, 17385,17387,17389, 17390,17400	17360,17366,17369, 17384,17386,17388, 17399	17362,17365	17363,17364

Data obserwacji	Numer widma	Numer widma porównania	Standard	Numer widma porównania standardu
2006.09.16	17457,17458,17469, 17470,17481,17482	17456,17459,17468, 17471,17480	17461,17473,17484	17460,17472,17483
2006.09.17	17584,17585,17603, 17604,17610,17611, 17612	17583,17602,17609	18 And-17587, 17606,17608	17586,17605,17607
2006.10.11	17664,17665,17666, 17668	17663,17667	17670	17669
2006.10.16	17744,17745,17746, 17774,17775,17776, 17795,17796,17797	17747,17773,17777, 17794,17798	17749,17750,17751, 17778,17779,17780, 17800,17801,17802	17748,17752,17781, 17799,17803
2006.11.10	18044,18047	18041,18042,18043, 18044,18045,18046, 18048,18049		

Bibliografia

- Aller, L. H. (1954). *Astrophysics. Nuclear transformations, stellar interiors, and nebulae*. New York: Ronald Press, 1954.
- Belczynski, K. and Mikolajewska, J. (1998). New binary parameters for the symbiotic recurrent nova T Coronae Borealis. , 296:77–84.
- Belczyński, K., Mikołajewska, J., Munari, U., Ivison, R. J., and Friedjung, M. (2000). A catalogue of symbiotic stars. *A&A*, 146:407–435.
- Belyakina, T. S. (1970). Light variations of AG Peg between 1962 and 1967. *Astrophysics*, 6:22–29.
- Belyakina, T. S. (1979). Observations of CI Cyg in 1977-78. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 1602:1–+.
- Belyakina, T. S. (1984). The Eclipse of the Symbiotic Eclipsing Binary System CI Cygni in 1982. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 2485:1–+.
- Bianchini, A. and Middleditch, J. (1976). On the Decrease of the Ultraviolet Flickering of T Coronae Borealis. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 1151:1–+.
- Bidelman, W. P. (1954). Catalogue and Bibliography of Emission-Line Stars of Types Later than B. , 1:175–+.
- Blair, W. P., Feibelman, W. A., Michalitsianos, A. G., and Stencel, R. E. (1983). Spectrophotometric observations of symbiotic stars and related objects. , 53:573–590.
- Bopp, B. W. (1984). ZZ Canis Minoris as a symbiotic star. , 96:894–896.
- Boyarchuk, A. A. (1975). Principal requirement to modern astronomical spectrographs. *Novaya tekhn. v astron., Vyp. (No.) 5, p. 5 - 7*, 5:5–7.

- Bruch, A. (1980). UVB-Observations of Some Cataclysmic Variables. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 1805:1–+.
- Chkhikvadze, Y. N. (1970). Spectral observations of TX CVn in 1966 - 1970. *Astronomicheskij Tsirkulyar*, 595:1–3.
- Chochol, D., Pribulla, T., and Tamura, S. (1998). Pulsating AGB star in the symbiotic nova PU Vulpeculae. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 4571:1–+.
- Cowley, C. R. (1956). A Star with an Unusual Variable Spectrum. , 68:537–+.
- Dobrzycka, D., Kenyon, S. J., and Milone, A. A. E. (1996a). Rapid Light Variations in Symbiotic Binary Stars. , 111:414–+.
- Dobrzycka, D., Kenyon, S. J., Proga, D., Mikolajewska, J., and Wade, R. A. (1996b). The Hot Component of RS Ophiuchi. , 111:2090–+.
- Dumm, T., Muerset, U., Nussbaumer, H., Schild, H., Schmid, H. M., Schmutz, W., and Shore, S. N. (1998). High resolution spectroscopy of symbiotic stars. IV. BX Monocerotis: orbital and stellar parameters. , 336:637–647.
- Fekel, F. C., Hinkle, K. H., Joyce, R. R., and Skrutskie, M. F. (2000). Infrared Spectroscopy of Symbiotic Stars. II. Orbits for Five S-Type Systems with Two-Year Periods. , 120:3255–3264.
- Fernandez-Castro, T., Cassatella, A., Gimenez, A., and Viotti, R. (1988). IUE observations of Z Andromedae - Spectral variations during quiescence and a physical model. , 324:1016–1025.
- Formigini, L. and Leibowitz, E. M. (1994). Three periodicities in a 98-year light curve of the symbiotic star Z Andromedae. , 292:534–542.
- Frackowiak, S. M., Mikolajewski, M., and Tomov, T. (2002). Possible pulsations of the M giant in MWC560. *ArXiv Astrophysics e-prints*.
- Garcia, M., Baliunas, S. L., Elvis, M., Fabbiano, G., Patterson, J., Schwartz, D., Doxsey, R., Koenigsberger, G., Swank, J., and Watson, M. G. (1983). Identification and properties of the M giant/X-ray system HD 154791 = 2A 1704+241. , 267:291–300.
- Glushneva, I. N., Doroshenko, V. T., Fetisova, T. S., Khruzina, T. S., Kolotilov, E. A., Mossakovskaya, L. V., Ovchinnikov, S. L., and Voloshina, I. B.

- (1998). Sternberg Spectrophotometric Catalog (Glushneva+ 1998). *VizieR Online Data Catalog*, 3208:0–+.
- Glushneva, I. N., Kharitonov, A. V., Kniazeva, L. N., and Shenavrin, V. I. (1992). Secondary spectrophotometric standards. , 92:1–29.
- Greenstein, N. K. (1937). Light Curves for Three Variables with Peculiar Spectra. *Harvard College Observatory Bulletin*, 906:3–6.
- Hachisu, I. and Kato, M. (2000). A Theoretical Light-Curve Model for the 1985 Outburst of RS Ophiuchi. , 536:L93–L96.
- Herbig, G. H. (1950). The Spectra of Five Irregular Variable Stars. , 62:211–+.
- Hogg, F. S. (1932). On the Presence of Titanium Oxide Bands in the Spectrum of Z Andromedae. , 44:328–+.
- Ianna, P. A. (1964). A Flare of T Coronae Borealis. , 139:780–+.
- Iijima, T. (1984). Highly Excited Emission Lines in BX Mon and ZZ CMi. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 2491:1–+.
- Iijima, T. (1985). BX MON as a long-period eclipsing binary system. , 153:35–43.
- Johnson, H. R., Eaton, J. A., Querci, F. R., Querci, M., and Baumert, J. H. (1988). The unusual carbon star HD 59643 - Alternative models. , 204:149–158.
- Keenan, P. C., Garrison, R. F., and Deutsch, A. J. (1974). Revised Catalog of Spectra of Mira Variables of Types ME and Se. , 28:271–+.
- Keenan, P. C. and McNeil, R. C. (1989). The Perkins catalog of revised MK types for the cooler stars. , 71:245–266.
- Keenan, P. C. and Morgan, W. W. (1941). The Classification of the Red Carbon Stars. , 94:501–+.
- Kenny, H. T., Taylor, A. R., and Seaquist, E. R. (1991). AG Pegasi - A multishell radio source. , 366:549–559.
- Kenyon, S. J. (1982). The orbital period of the symbiotic star AX Persei. , 94:165–168.

- Kenyon, S. J. (1986). *The symbiotic stars*. Cambridge and New York, Cambridge University Press, 1986, 295 p.
- Kenyon, S. J. and Fernandez-Castro, T. (1987). The cool components of symbiotic stars. I - Optical spectral types. , 93:938–949.
- Kenyon, S. J. and Gallagher, J. S. (1983). Infrared spectroscopy of symbiotic stars and the nature of their cool components. , 88:666–673.
- Kenyon, S. J. and Garcia, M. R. (1986). Spectroscopic orbits for symbiotic stars. I - The recurrent nova T Coronae Borealis. , 91:125–131.
- Kenyon, S. J. and Garcia, M. R. (1989). Spectroscopic orbits for symbiotic stars. II - TX Canum Venaticorum. , 97:194–201.
- Kenyon, S. J., Mikolajewska, J., Mikolajewski, M., Polidan, R. S., and Slovak, M. H. (1993). Evolution of the symbiotic binary system AG Pegasi - The slowest classical nova eruption ever recorded. , 106:1573–1598.
- Kenyon, S. J., Oliverson, N. A., Mikolajewska, J., Mikolajewski, M., Stencel, R. E., Garcia, M. R., and Anderson, C. M. (1991). On the nature of the symbiotic binary CI Cygni. , 101:637–654.
- Kenyon, S. J. and Webbink, R. F. (1984). The nature of symbiotic stars. , 279:252–283.
- Kraft, R. P. (1958). The Binary System Nova T Coronae Borealis. , 127:625–+.
- Lawrence, G. M., Ostriker, J. P., and Hesser, J. E. (1967). Ultrashort-Period Stellar Oscillations. I. Results from White Dwarfs, Old Novae, Central Stars of Planetary Nebulae, 3c 273, and Scorpius XR-1. , 148:L161+.
- Majcher, A. (2004). Wielobarwna fotometria gwiazd zmiennych uzyskana fotometrem diafragmowym w Obserwatorium W Piwnicach w latach 1991-2004. .
- Mammano, A. and Taffara, S. (1978). Evolution of TX CVn from cataclysmic to stationary P Cyg stage. , 34:211–228.
- Mattei, J. A., Hanson, G., Poyner, G., Modic, R., Schmeer, P., and Bortle, J. (1997). Z Andromedae. , 6679:3–+.
- Merrill, P. W. (1944). Spectroscopic Observations of AX Persei, RW Hydrae, CI Cygni, and Z Andromedae. , 99:15–+.

- Merrill, P. W. (1948). The Spectrum of Z Andromedae in 1946 and 1947. , 107:317–+.
- Merrill, P. W. and Burwell, C. G. (1950). Additional Stars whose Spectra have a Bright H α Line. , 112:72–+.
- Merrill, P. W., Humason, M. L., and Burwell, C. G. (1932). Discovery and Observations of Stars of Class Be: Second Paper. , 76:156–+.
- Michalitsianos, A. G., Feibelman, W. A., Hobbs, R. W., and Kafatos, M. (1982). Ultraviolet observations of four symbiotic stars. , 253:735–744.
- Mikolajewska, J. and Kenyon, S. J. (1992). On the nova-like eruptions of symbiotic binaries. , 256:177–185.
- Mikolajewska, J. and Kenyon, S. J. (1996). The Inscrutable Hot Component in the Symbiotic Binary Z Andromedae. , 112:1659–+.
- Mikolajewski, M., Tomov, T., and Kolev, D. (1997). Activity of T Coronae Borealis in 1996. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 4428:1–+.
- Muerset, U., Jordan, S., and Walder, R. (1995). The ROSAT spectrum of the symbiotic nova AG Pegasi: evidence for colliding winds. , 297:L87+.
- Muerset, U., Nussbaumer, H., Schmid, H. M., and Vogel, M. (1991a). Temperature and luminosity of hot components in symbiotic stars. , 248:458–474.
- Muerset, U., Nussbaumer, H., Schmid, H. M., and Vogel, M. (1991b). Temperature and luminosity of hot components in symbiotic stars. , 248:458–474.
- Mumford, III, G. S. (1956). A New Variable of the Z Andromedae Type. , 68:538–+.
- Munari, U., Rejkuba, M., Hazen, M., Mattei, J., Schweitzer, E., Luthardt, R., Shugarov, S., Yudin, B. F., Popova, A. A., Chugainov, P. V., Sostero, G., and Lepardo, A. (1997). The symbiotic star YY Herculis. I. Photometric history over 1890-1996. , 323:113–120.
- Munari, U., Yudin, B. F., Taranova, O. G., Massone, G., Marang, F., Roberts, G., Winkler, H., and Whitelock, P. A. (1992). UBVRI-JHKL photometric catalogue of symbiotic stars. , 93:383–390.
- Munari, U. and Zwitter, T. (2002). A multi-epoch spectrophotometric atlas of symbiotic stars. , 383:188–196.

- Mürset, U. and Schmid, H. M. (1999). Spectral classification of the cool giants in symbiotic systems. , 137:473–493.
- Oskanian, Jr., A. V. (1983). Unusual Behaviour of the Recurrent Nova T CrB. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 2349:1–+.
- Payne-Gaposchkin, C. (1946). The Light-Curves of Z Andromedae and AX Persei. , 104:362–+.
- Plaskett, H. H. (1923). A possible origin of the nebular lines (abstract). *Popular Astronomy*, 31:658–+.
- Plaskett, J. S. (1927). The orbit of the B-type spectroscopic binary. , 39:258–258.
- Querci, M., Querci, F., Johnson, H. R., and Baumert, J. H. (1986). A rapid planetary phase observed on the IUE spectral region of the carbon star, HD 59643. *Advances in Space Research*, 6:215–218.
- Richardson, E. H. and Brealey, G. A. (1973). A Small Off-Axis Spectrograph. , 67:165–+.
- Rosino, L. and Iijima, T. (1987). The 1985 Outburst of RS Ophiuchi. In Bode, M. F., editor, *RS Ophiuchi (1985) and the Recurrent Nova Phenomenon*, pages 27–+.
- Samus, N. N. and Durlevich, O. V. (2004). Combined General Catalogue of Variable Stars. *VizieR Online Data Catalog*, 2250:0–+.
- Sanford, R. F. (1947). The Spectrum of BD+9deg 1633. , 59 : 136 – – + .
- Schmid, H. M. and Schild, H. (1997). The polarimetric orbit of Z Andromedae. , 327:219–223.
- Seaquist, E. R., Taylor, A. R., and Button, S. (1984). A radio survey of symbiotic stars. , 284:202–210.
- Snijders, M. A. J. (1987). Multi-frequency observations of the 1985 outburst of RS Ophiuchi. , 130:243–254.
- Sokoloski, J. L. and Bildsten, L. (1999). Discovery of a Magnetic White Dwarf in the Symbiotic Binary Z Andromedae. , 517:919–924.

- Sokoloski, J. L., Eracleous, M., Steeghs, D., and Bildsten, L. (2001). Spectral Properties of the Flickering Optical Light in Symbiotic Recurrent Novae. In *Bulletin of the American Astronomical Society*, volume 33 of *Bulletin of the American Astronomical Society*, pages 803–+.
- Stanishev, V., Zamanov, R., Tomov, N., and Marziani, P. (2004). H α variability of the recurrent nova T Coronae Borealis. , 415:609–616.
- Swings, J. P. and Allen, D. A. (1972). Photometry of Symbiotic and VV Cephei Stars in the Near Infrared (With a Note on MWC 56). , 84:523–+.
- Taranova, O. G. and Yudin, B. F. (1982). Photometry of symbiotic stars in the UBVRJHKLMN system. III - AX Per, AG Dra, BF Cyg, V 443 Her, and YY HER. , 59:92–98.
- Tomov, N. A., Tomova, M. T., and Raikova, D. V. (1998). The visual line spectrum of AG Pegasi in 1995. , 129:479–488.
- Tomov, T., Kolev, D., Zamanov, R., Georgiev, L., and Antov, A. (1990). MWC560 - A unique astrophysical object. , 346:637–+.
- Zamanov, R., Bode, M. F., Stanishev, V., and Martí, J. (2004). Flickering variability of T Coronae Borealis. , 350:1477–1484.
- Zamanov, R. and Tomov, T. (1992). UVB Observations of ZZ CMi. *Informational Bulletin on Variable Stars*, 3705:1–+.