



Vincent van Gogh,
Cafe Terrace on the
Place du Forum at
night.

R CrB tüüpi tähed.



R CrB on ebaregulaarne muutlik täht, avastatud esimeste muutlike tähtede seas juba 1795. a Edward Pigotti poolt.

Esimene tõsine avastus, mis kõigutas üldist arusaama kinnistähtedest kui püsivuse kehastustest oli Tycho ja mõni päev varem W.Schuler 1572.a. “stella nova” vaatlemine (supernoova).

Üsna pea leiti ka mõned teised muutlikud, nende seas ka Mira 1596.a. David Fabriciuse poolt. Fabricius oli Tycho õpilane – pastor ja amatöörastronoom Saksamaal. Mira perioodilisuse avastas hollandlane Jan Fokkens Holwarda 1638. Nime andis Johann Hevelius, enne nimetati kõiki “stellae novae”. Fabricius koos poja Johannesega avastas Päikese plekid 1611.a. teleskoobiga, mille poeg tõi Hollandist. Hiljem vaatlesid “camera obscura’ga”.

Teleskoop: 1608, Hans Lippershay Mittelburgist, Jacob Metius, Sacharias Jansen. Suurendus 3- 4 x.





Eduard Ender, Rudolph II ja Tycho (Prahas).

1604.a. vaatles Brukovskilt viite saanud Kepler jällegi supernoovat. **SN 1604** on seni viimane meie Galaktikas vaadeldud supernoova.

Vahepeal avastaski Edward Pigott Esq. 1795. a. **R CrB** muutlikkuse: täht pole näha “with an opera glass”.

Samal aastal ka R Scuti.

Veelgi varem, 1784 oli ta koos John Goodricke'ga avastanud esimese tsefeidi ϵ Aql.

Pigott töötas Inglismaal koos oma astronoomist isaga ja koos John Goodrickega.

Pigott oli ka esimene, kes püüdis seletada R CrB muutlikkust. Tema arvas, et tähe pind on plekiline ja pöörlemine põhjustabki muutlikkuse. Kahjuks pole tänini päris selge R CrB muutlikkuse põhjus.



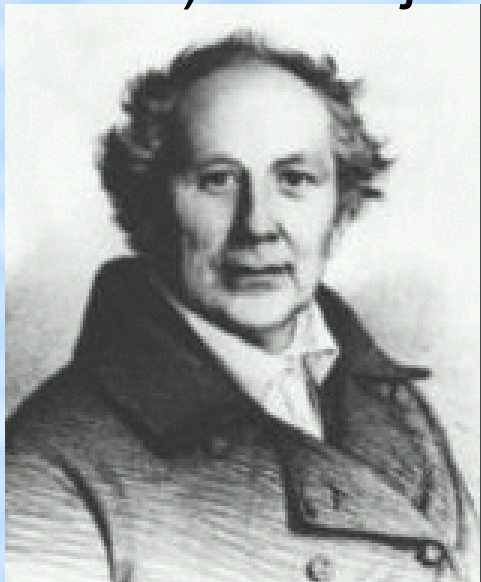
John Goodricke (1764-1786), Astronomer

Kui 1781-82 Charles Messier publitseeris oma taevaobjektide nimekirja oli selles vaid 8 muutlikku tähte ja neist 4 miirat.

Asi muutus tõsiseks 1844. a. kui Friedrich Wilhelm August Argelander publitseeris nimekirja 18 tähest ja kutsus üles muutlikke spetsiaalselt vaatlema.

Argelander sündis 1799 Memelis, oli Besselli õpilane Königsbergi Ülikoolis. Oli Turku, Helsingi ja Bonni observatooriumide direktor. Bonnias ka suri 1875. Oli kuulsas "Bonner Durchmusterung" (1859-62) koostaja. Kaardid avaldati

1863. Kogu tööks kulus 25 aastat.



**Argelanders Fernrohr der
Bonner Durchmusterung**

R CrB tähed käituvad vaatluslikult väga teatraalselt:

Praeguseks on teada, et nad on väga vesinikuvaesed ja süsinikurikkad. On ilmselt väikese massiga kuid suure heledusega.

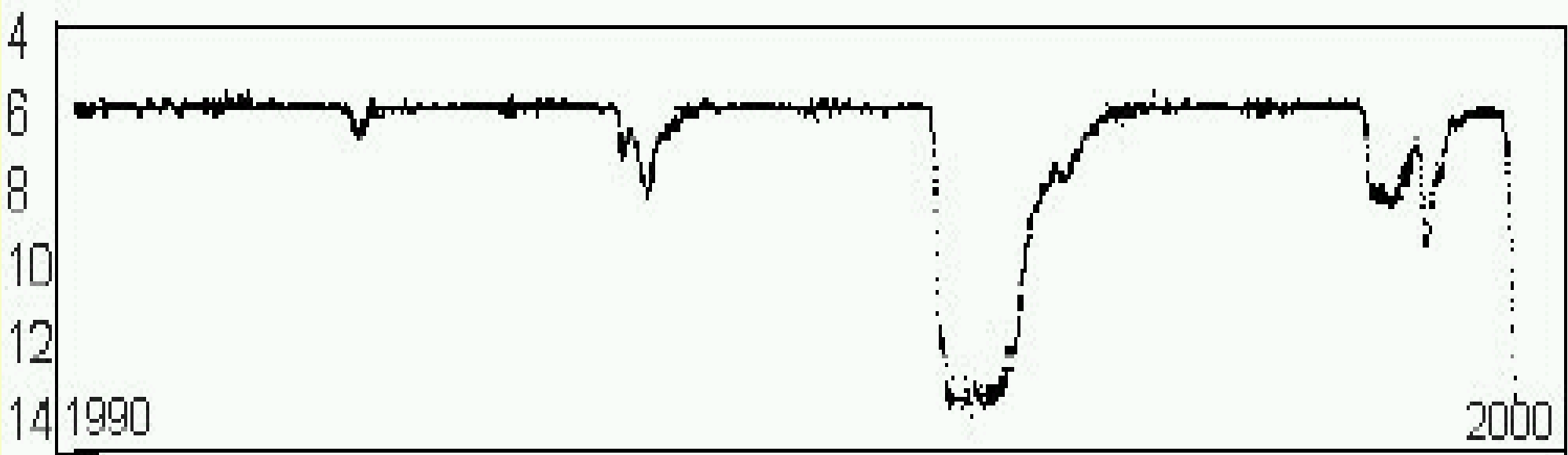
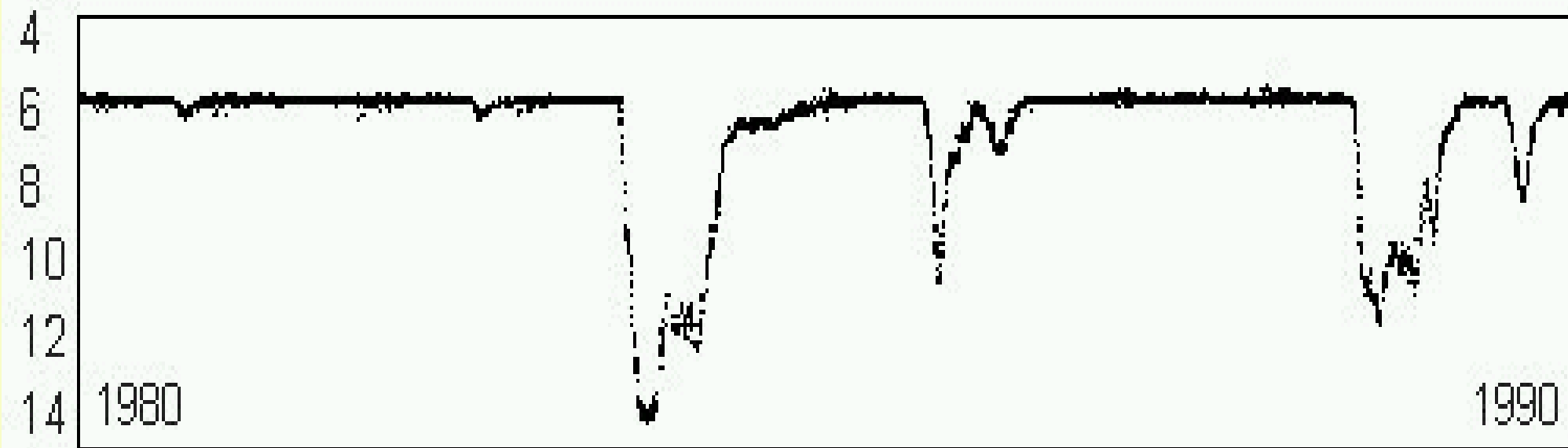
Kõige tähelepanuväärsem on, et irregulaarsete ajavahemike järel paiskavad nad välja tihedaid tolmu (tahma) pilvi, mis täielikult varjutavad fotosfääri. Nende episoodide ajal langeb tähe heledus kuni 8 tähesuurust ja nähtavale ilmub rikas emissioonjoonte spekter. See praeguste seletuste aluseks olev idee pärineb E.Loreta'lt (1934) ja J.A. O'Keefe'lt (1939). O'Keefe'st alates usutakse, et see tolm koosneb peamiselt süsinikust.



John A. O'Keefe
1916-2000

Vesinikuvaeste tähtede hulka kuuluvad ka äärmiselt heeliumirikad (EHe) ja vesinikuvaesed süsiniktähed (HdC).
Praeguseks on Galaktikas teada umbes 40 R CrB tüüpi tähte.

Magnitude



Year

AAVSO light curve of R Coronae Borealis from 1980 to 1999

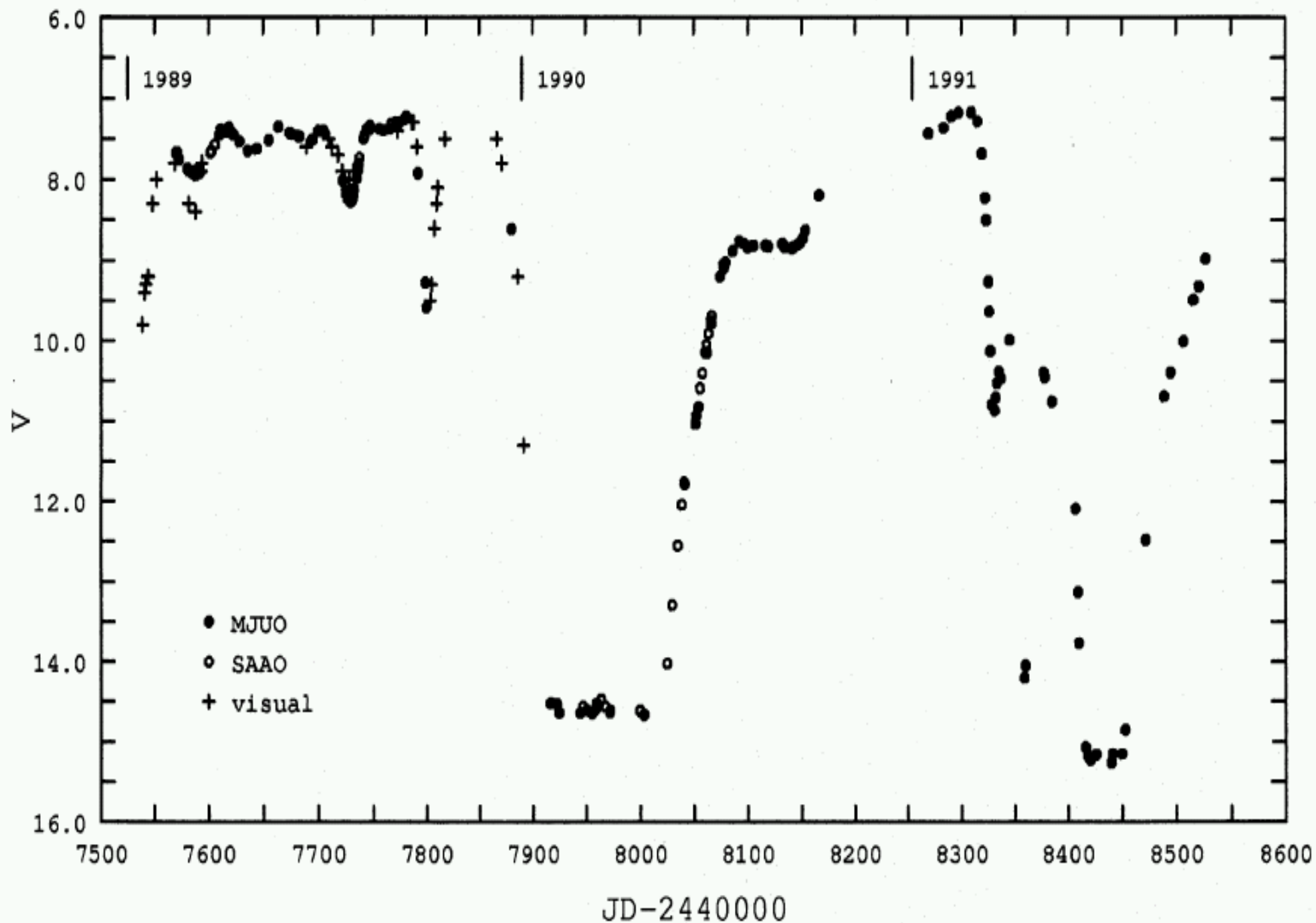
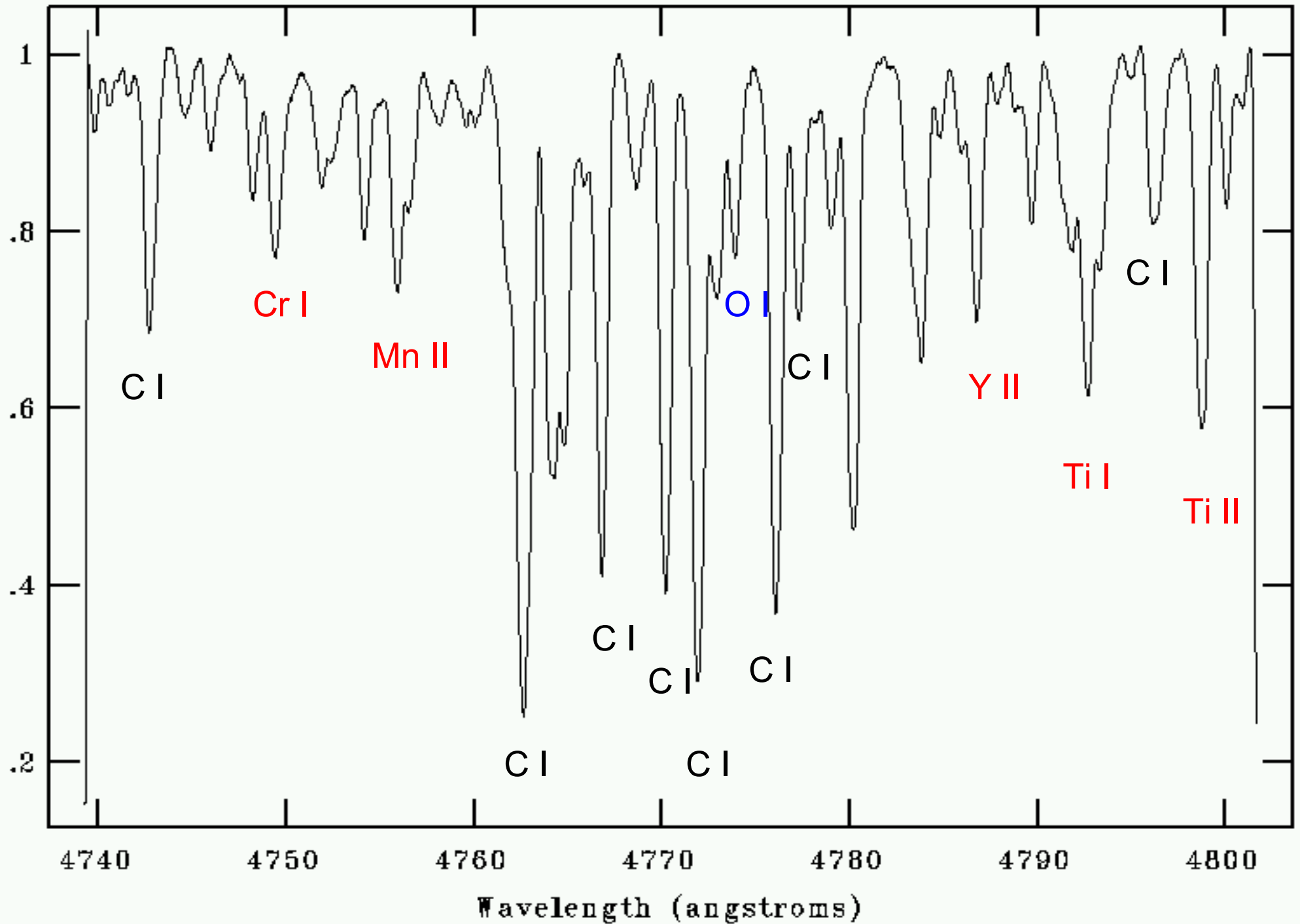
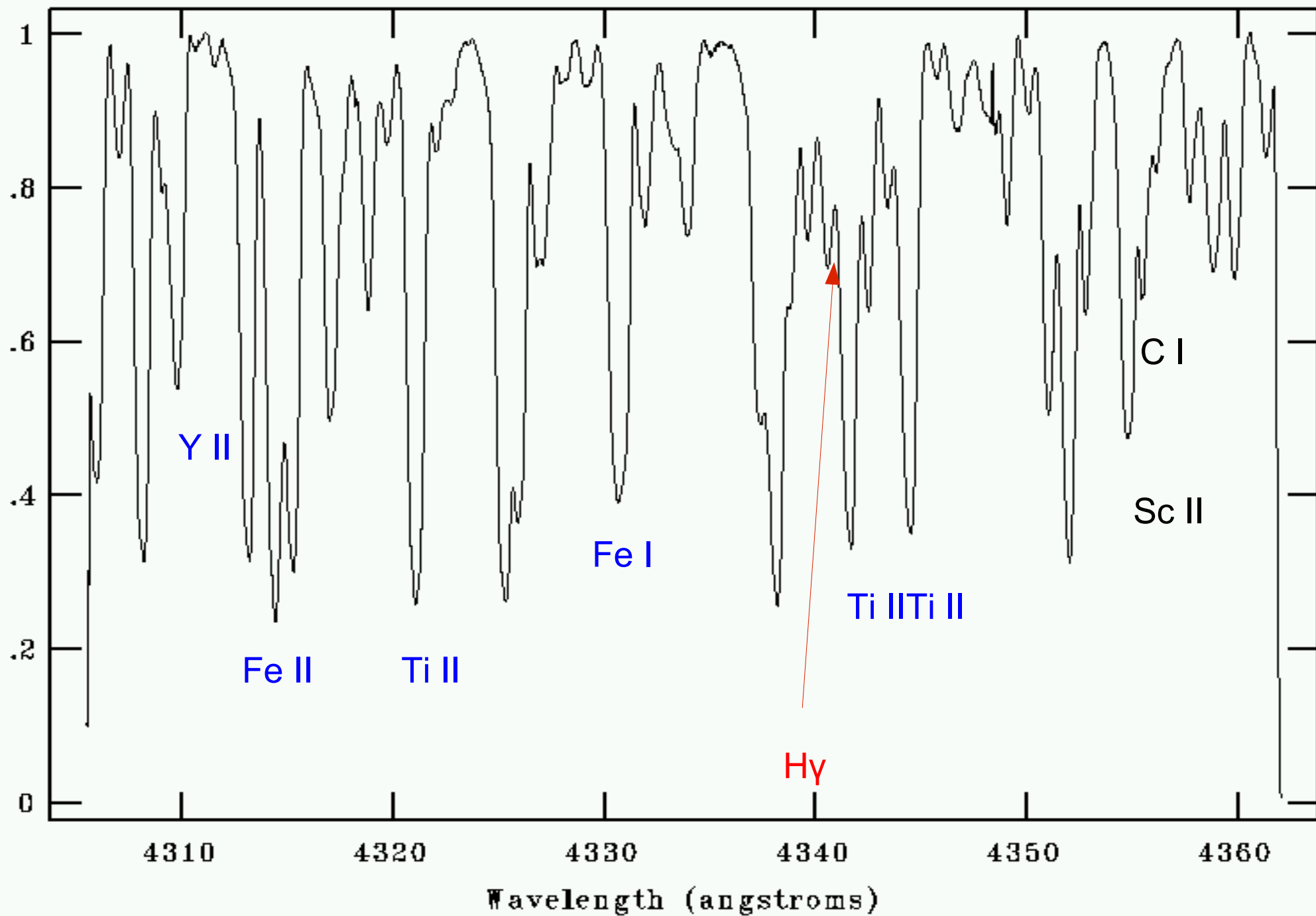


FIG. 2—Light curve of V854 Cen from 1989–1991. Note the frequent occurrence of declines spaced 43 days apart, which are correlated with pulsation phase. (From Lawson et al. 1992; © Royal Astronomical Society, reproduced with permission.)

Vaatlustest:

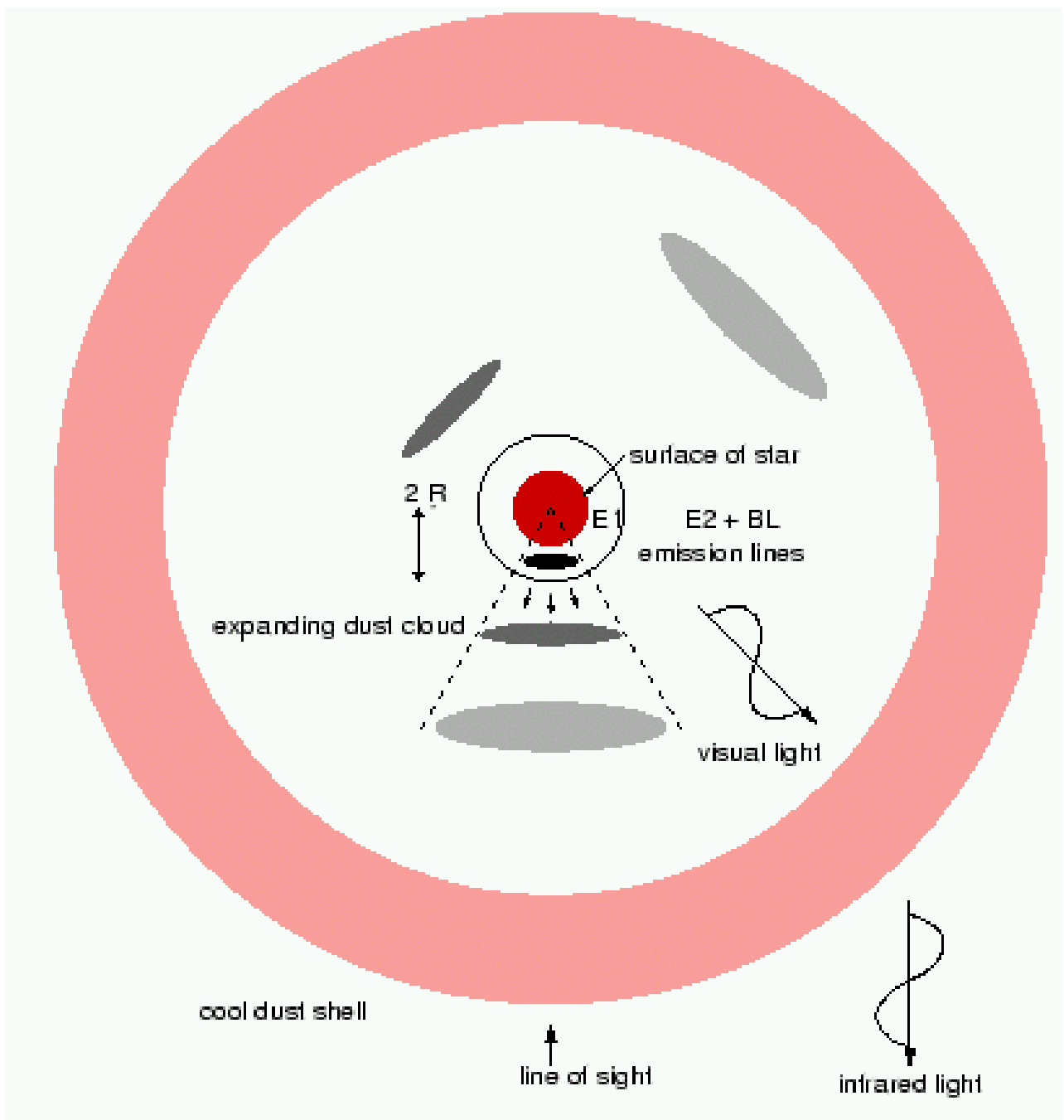
1. Spekter sarnane F või G Ib ülihiiale anomaalselt tugevate C ja nõrkade või puuduvate H joontega. $T_{eff} = 5000-7000$ K.
 $M_V = -4 \dots -5$.
Kõige kuumemate R CrB tähtede spekter on B tüüpi.
2. H tugevalt defitsiidis, C ja N suurenenud sisaldustega.
3. Kõik R CrB tähed on üksiktähed.
4. Kõik R CrB tähed on maksimumis muutlikud perioodidega ~40-100 päeva. Enamikel juhtudel tegemist pulsatsioonidega.
5. Irregulaarsed heleduse langused kuni 8 mag V-s. Langus on järsk: paar tähesuurust mõne nädalaga. Taastumine – paar kuud kuni aasta või uus langus enne taastumist.
6. Pole mingeid spektroskoopilisi muutusi enne nõrgenemise algust.





Vaatlustest (jätk):

7. RY Sgr ja V854 Cen korral on korrelatsioon pulsatsioonifaasi ja nõrgenemise alguse aja vahel. R CrB- I mitte.
8. Nõrgenemise alul tekib rikkalik emissioonjoonte spekter peamiselt neuraalsetelt ja ioniseeritud metallidelt. Jooned suht. teravad. Mõne nädala pärast asendub see laiade emissioonjoontega CaII H ja K, NaI D, MgII h ja K (FWHM = 200 km/s). Suure kiirusega abs. komponendid neil joontel kuni 400 km/s. Teravatel joontel 10 km/s.
9. Emissioonijooned on olemas ka maksimumi ajal (nõrgad).
10. Kõigi R CrB tähtedel on lähedase IR ekstsess, mis põhjustatud tähelähedasest tolmust. Paljud on IRAS allikad. IR ekstsess on muutlik ajaskaalas aastad, kuid ei muutu heleduse languste ajal.



R CrB tähtede
nõrgenemise
skeem.

R CrB ja HdC tähtede atmosfäärimudelitest:

Pikka aega olid kasutusel Schönberneri (1975) mudelid, milles joontes neeldumist polnud arvestatud.

Alates 1996 on arendatud nn. Uppsala mudeleid (Gustafsson & Asplund), mis on koostatud MARCS programmi modifitseerides kasutades uusimaid CI bf neeldumiskoeffitsiente ja metallijooni ODF lähenduses. Oluline on C/He suhe, mis on võetud ~1% EHe tähtede alusel. R CrB tähtedel määrata ei saa. Mina olen kasutanud ka MARCS-i edasiarendust, kuid OS lähenduses.

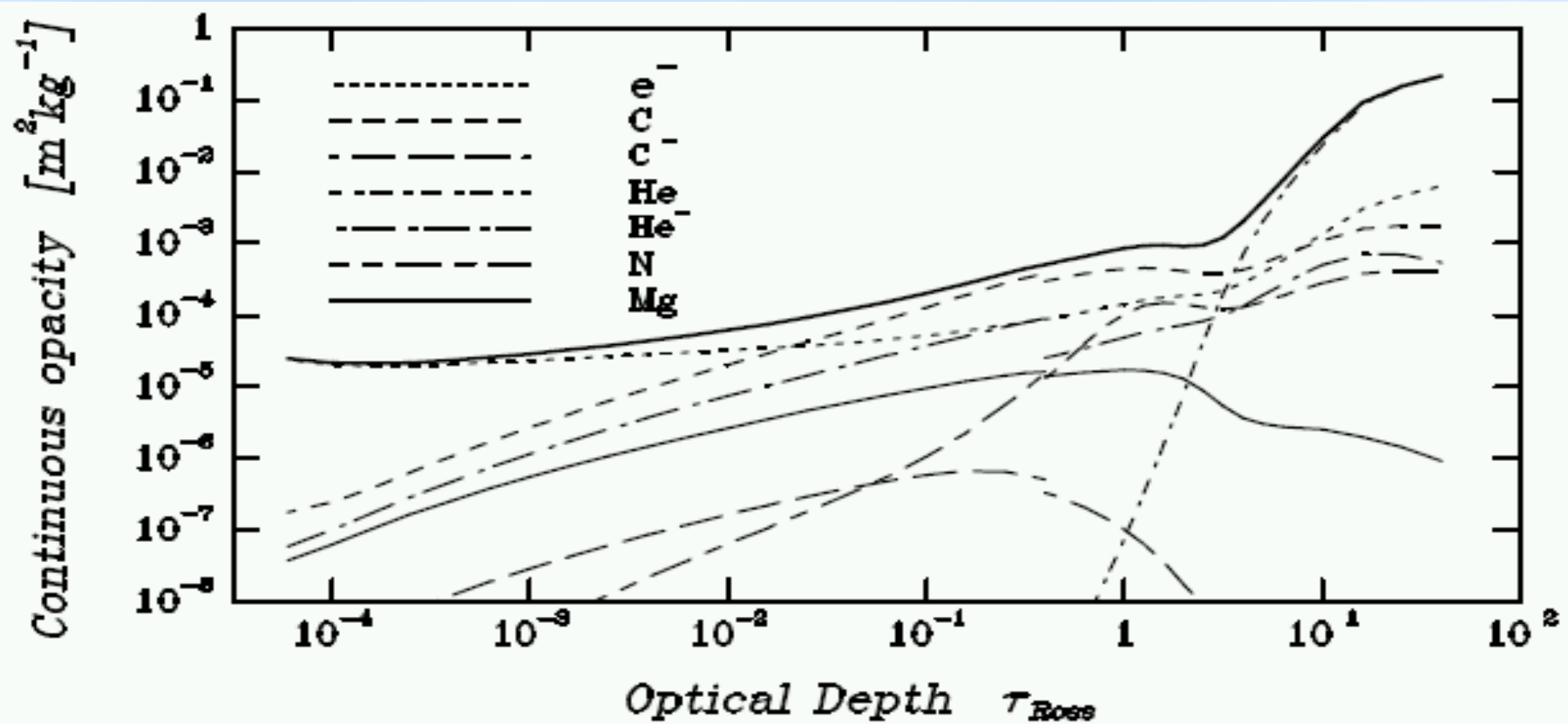


Fig. 2. The most important continuous opacity contributions as a function of depth for the reference model: $T_{\text{eff}} = 7000 \text{ K}$, $\log g = 0.5$ [cgs], $\xi_{\text{turb}} = 5 \text{ km s}^{-1}$ and $C/He=1\%$. The thick solid line represents the Rosseland mean opacity. The individual opacity sources are Rosseland weighted means for $\tau_{\text{Ross}} > 0.5$ and Planck weighted means for $\tau_{\text{Ross}} < 0.5$. Notice the large discontinuity for He^- , reflecting that the opacity is mainly located in the IR

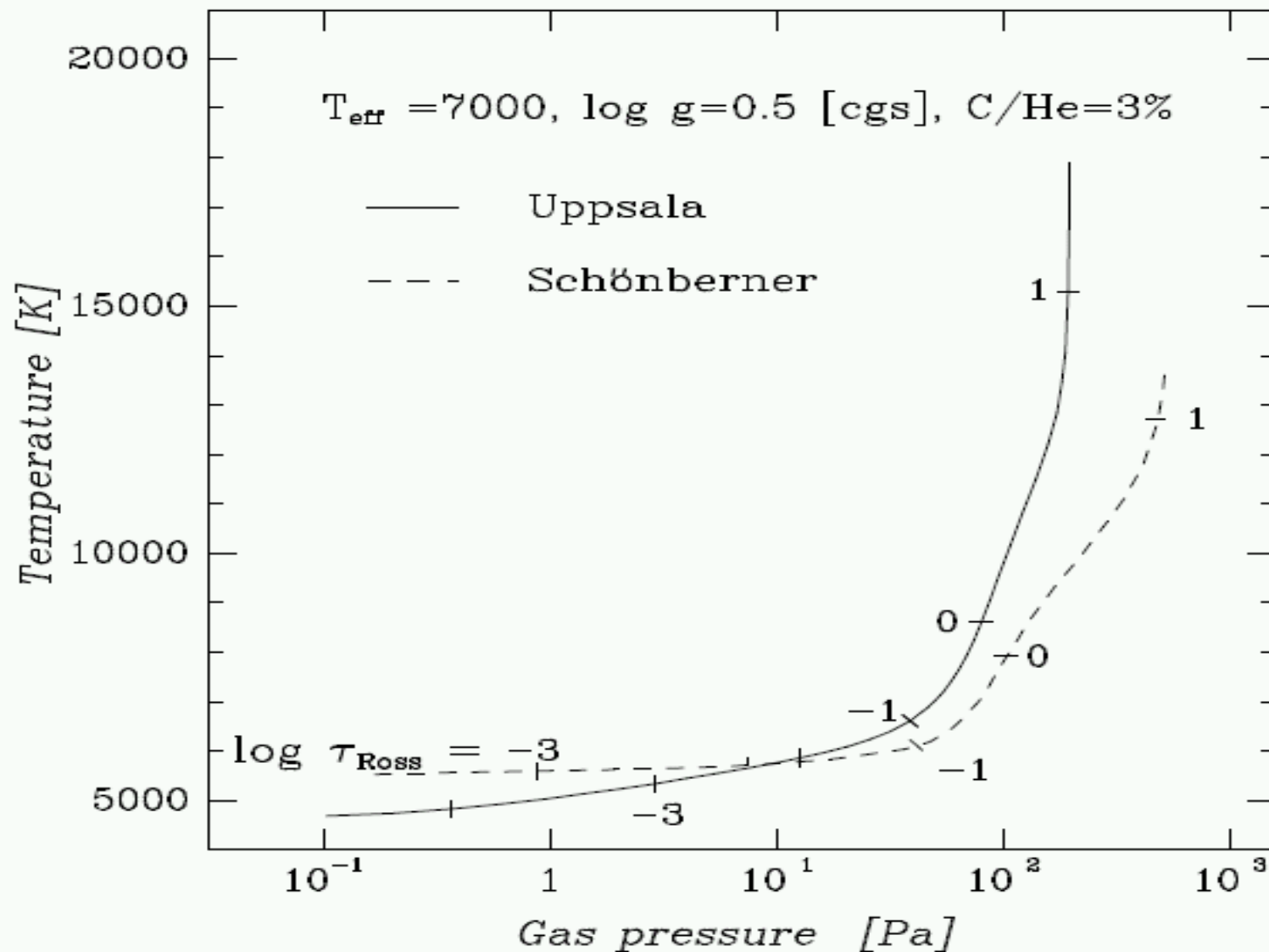


Fig. 6. Comparison of a line-blanketed model atmosphere (solid) with a Schönberner model (dashed) with the same parameters ($T_{\text{eff}} = 7000$, $\log g = 0.5$ [cgs] and C/He=3%). Rosseland optical depths are marked along the curves

Gustafsson & Asplund (1996).

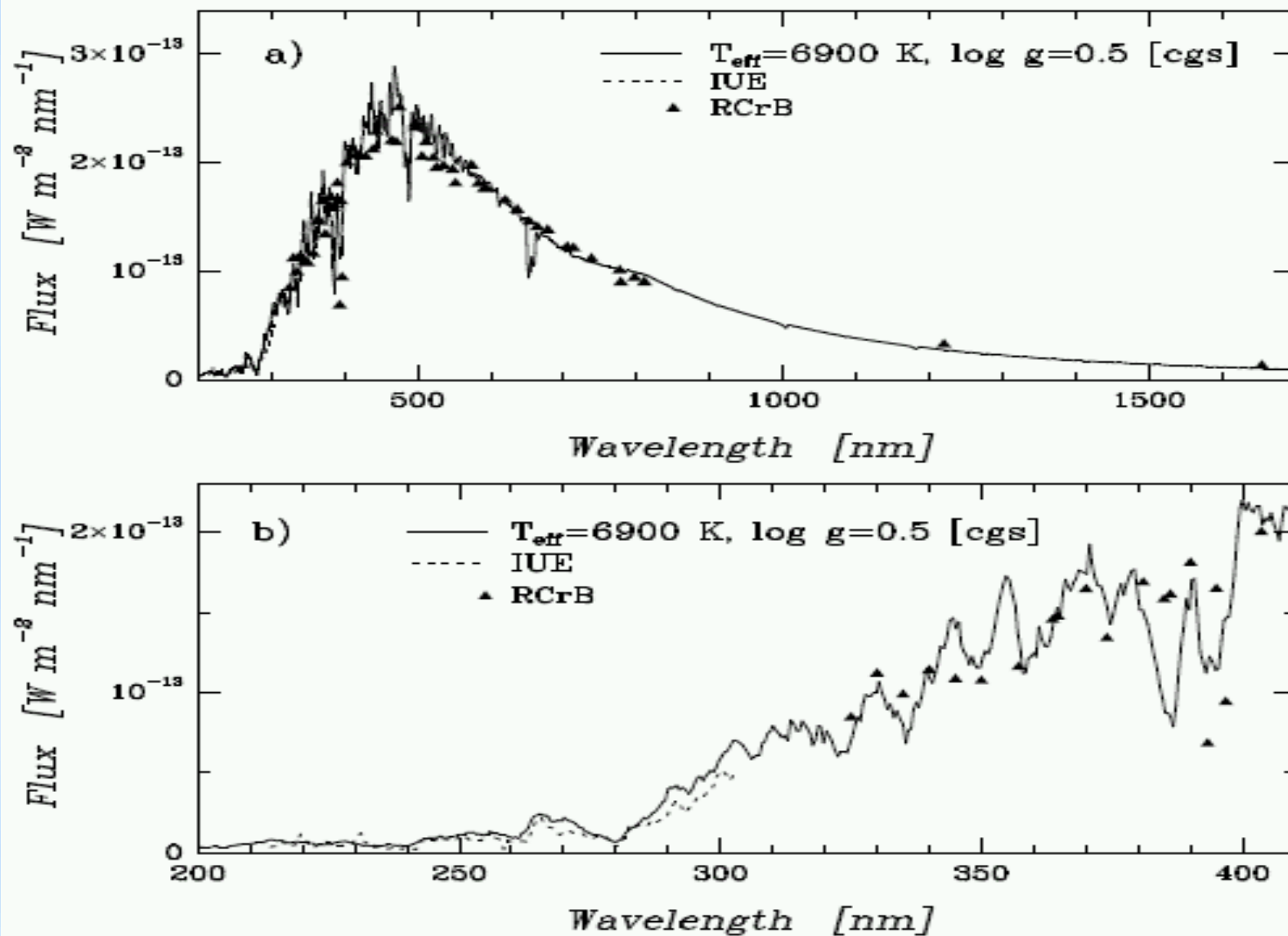
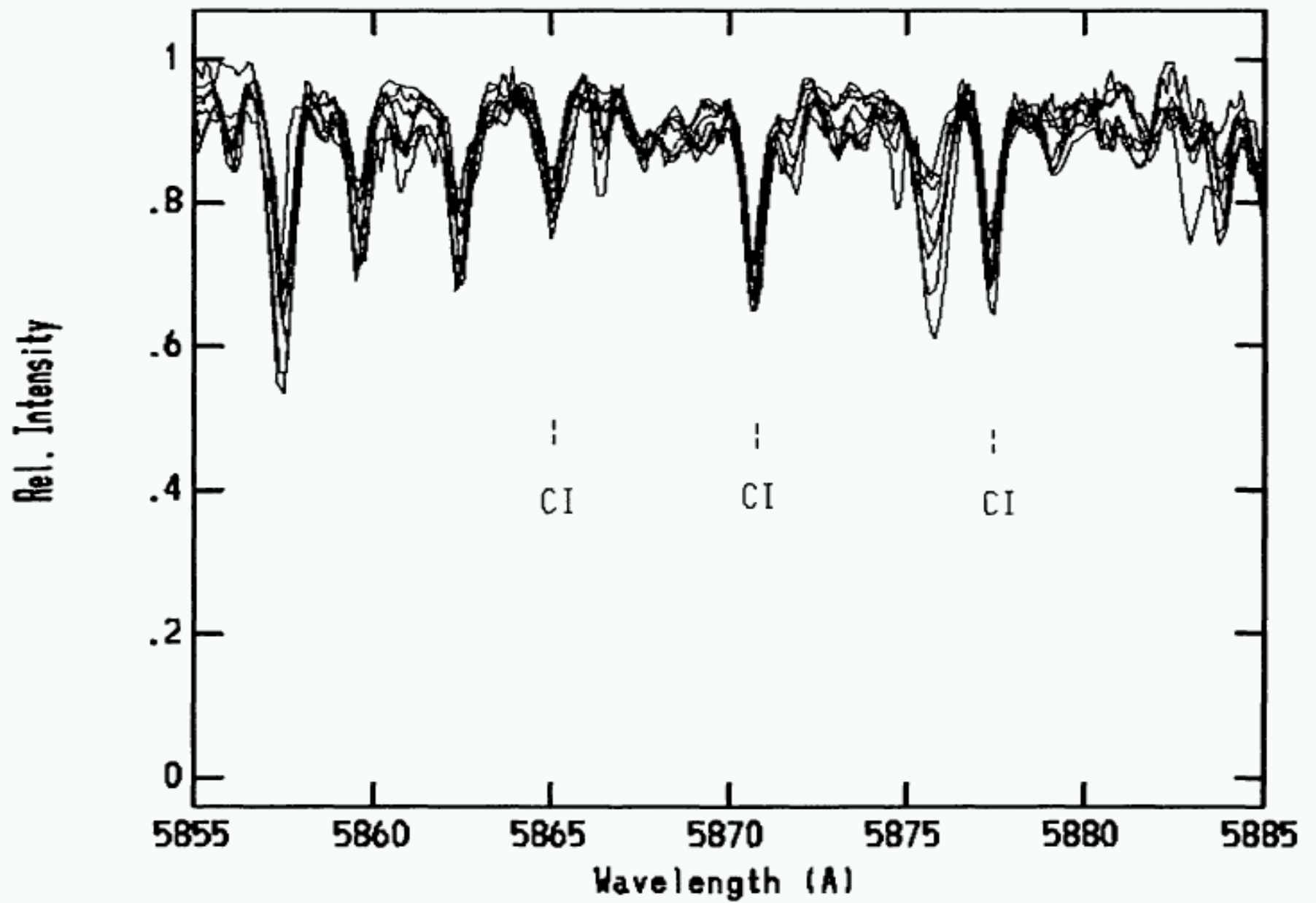


Fig. 8. **a** Comparing the narrow-band fluxes (triangles) of R CrB with our best fit with $T_{\text{eff}} = 6900$ K and $\log g = 0.5$ [cgs] (solid line). Infrared magnitudes were taken from Glass (1978), while ultraviolet fluxes (dashed) were obtained from the *IUE* Ultraviolet Low Dispersion Archive. **b** An enlargement of the ultraviolet region

Gustafsson & Asplund (1996).



Rao & Lambert (1996).

CI dilemma:

Mudelitest arvatud CI jooned on oluliselt tugevamad kui vaadeldud. Sisaldustesse ümberarvutatult 0.3-0.7 dex.
 $\epsilon(i) \sim 9$ eV ja $\xi(\text{tur})$ tundlikud tugevad CI jooned.

1. log gf valed? Üldiselt ei usuta seda, kuna joonte tugevused samade andmete baasil kui bf neelduminegi.
2. C/He < 1%. Vaevalt, muutused eri tähtedel liig väikesed.
3. On arvestamata mingi pideva neeldumise allikas. Agent peaks muutuma sünkroonis C-ga (punkt 2). Peaks ulatuma üle vaadeldava spektri kuna SED üldiselt OK. Neeldumiseintensiivsus samas suurusjärgus CI bf -ga. Sellist ei teata.
4. Non-LTE ? Gustafsson & Asplund uurinud, CI jaoks < 0.1 dex.
5. PP mudel ? Katsed sfääriliste mudelitega – ei .
6. Konvektsioon sügavamates kihtides ? T gradienti oleks lokaalselt vaja vähendada ~ 2 korda.
7. Sügavusest sõltuv $\xi(\text{tur})$? Proovitud, ei õnnestu.

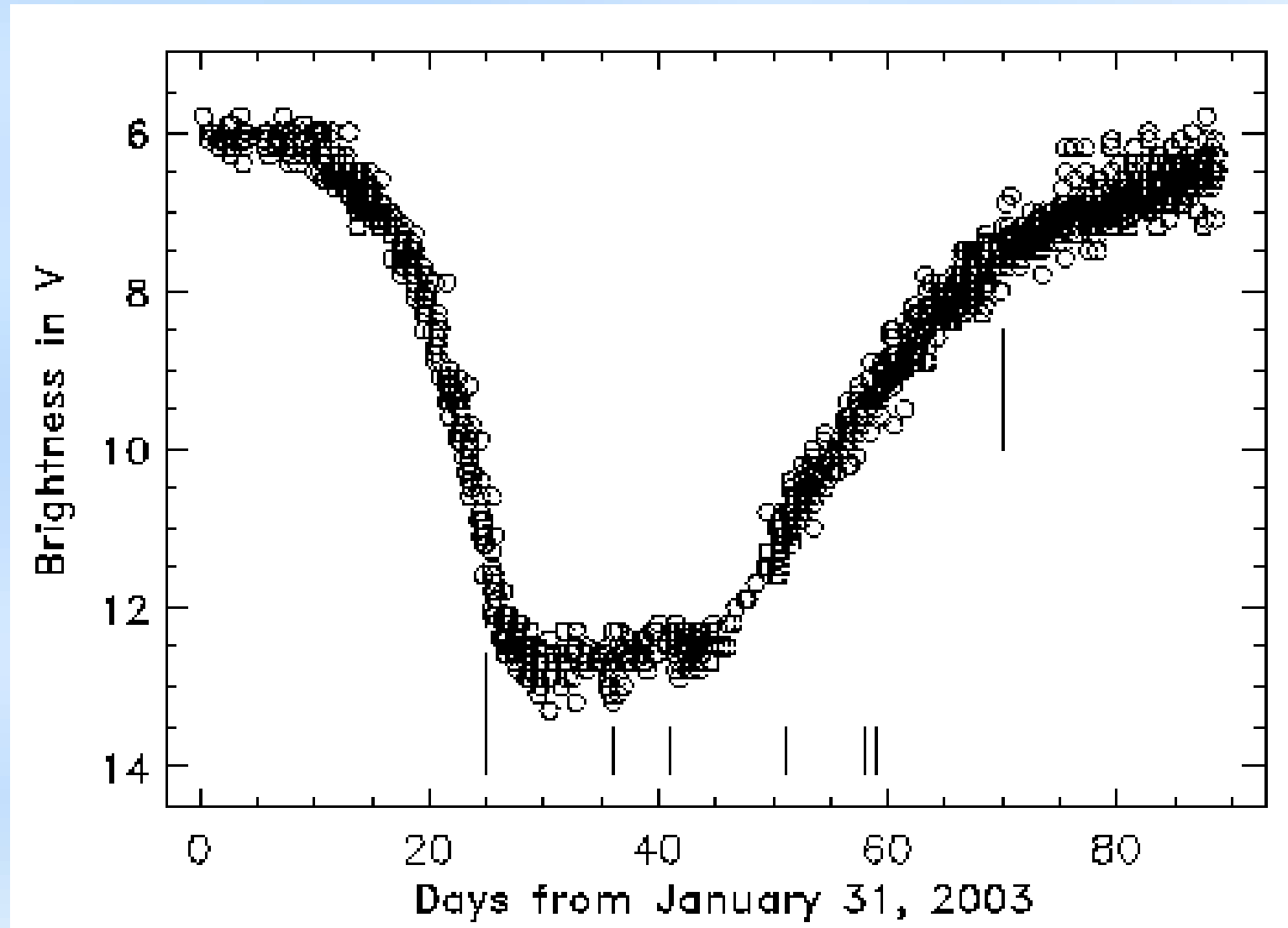
Table 1. Chemical composition of R CrB stars

Ele.	<i>Sun</i> ^a	log ϵ						
		Majority		Minority				RV <i>Tauris</i> ^b
				V854 Cen	V CrA	V3795 Sgr	VZ Sgr	
H	12.00			10.7	8.0	< 4.1	6.2	
Li	3.31			<	<	<	<	
C	8.55	8.91	± 0.15	9.5	8.6	8.8	8.8	
N	7.97	8.64	± 0.21	7.5	8.6	8.0	7.6	
O	8.87	8.20	± 0.46	8.5	8.7	7.5	8.7	
Na	6.32	6.12	± 0.19	5.7	5.9	5.9	5.8	5.87
Al	6.48	6.01	± 0.33	5.1	5.3	5.6	5.4	6.01
Si	7.55	7.15	± 0.18	6.5	7.6	7.5	7.3	6.82
S	7.23	6.88	± 0.28	6.0	7.6	7.4	6.7	
Ca	6.34	5.37	± 0.24	4.5	5.1	5.3	5.0	5.34
Fe	7.51	6.55	± 0.22	5.3	5.4	5.6	5.8	6.51
Ni	6.25	5.86	± 0.25		5.2	5.8	5.2	5.33
Zn	4.60	4.32			4.0	4.1	3.8	3.91
Y	2.24	2.09	± 0.54	1.3	0.6	1.5	2.8	
Ba	2.21	1.59	± 0.52	0.4	0.7	0.9	1.3	0.83

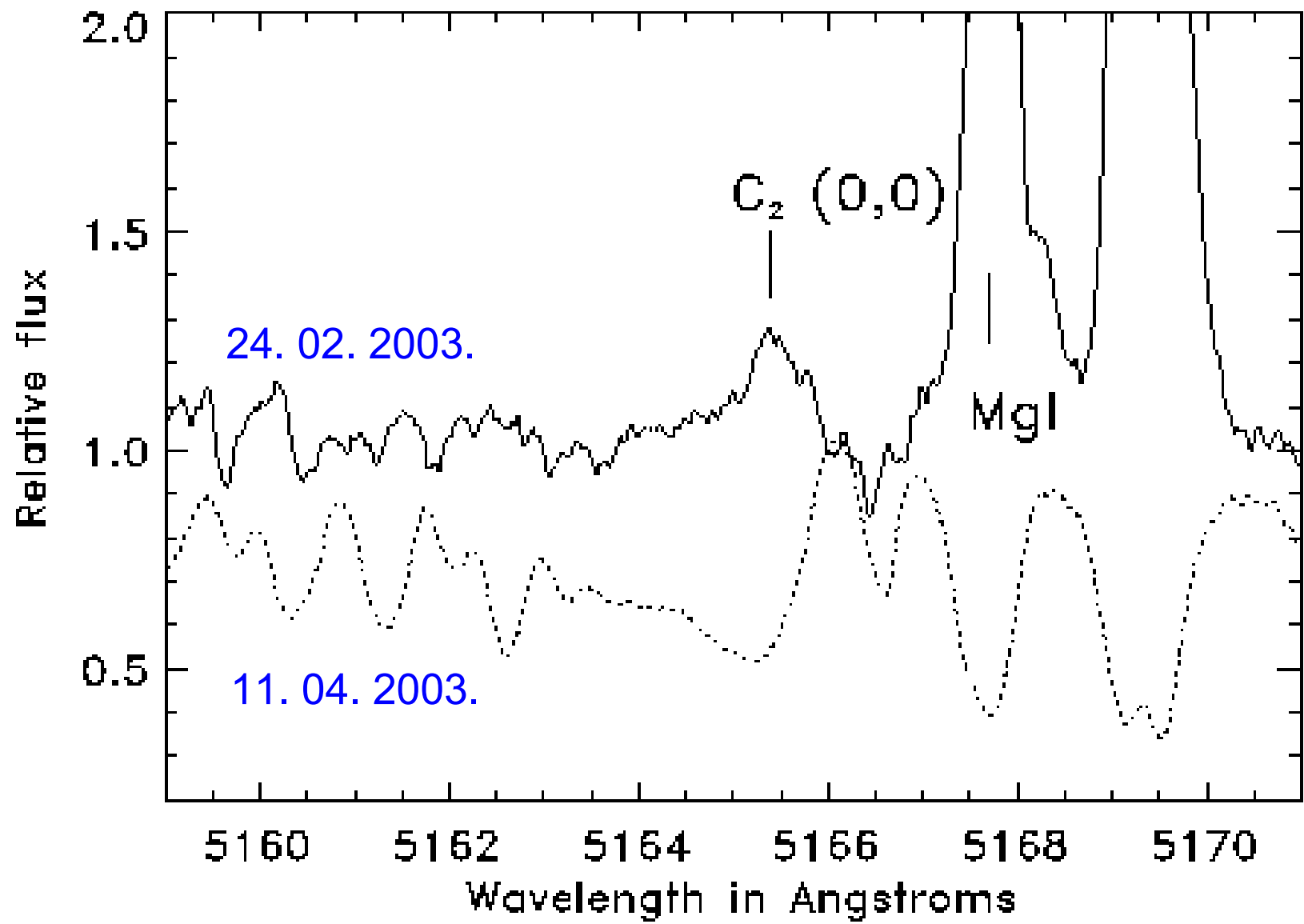
a: Meteoritic/Solar abundances from Grevesse & Noels(1993) for C,N,O and Fe, and Anders & Grevesse (1989) for other elements. Based on He/H =0.1 from Grevesse & Noels(1993) and hence, $\log(\sum \mu_i \epsilon_i) = 12.15$.

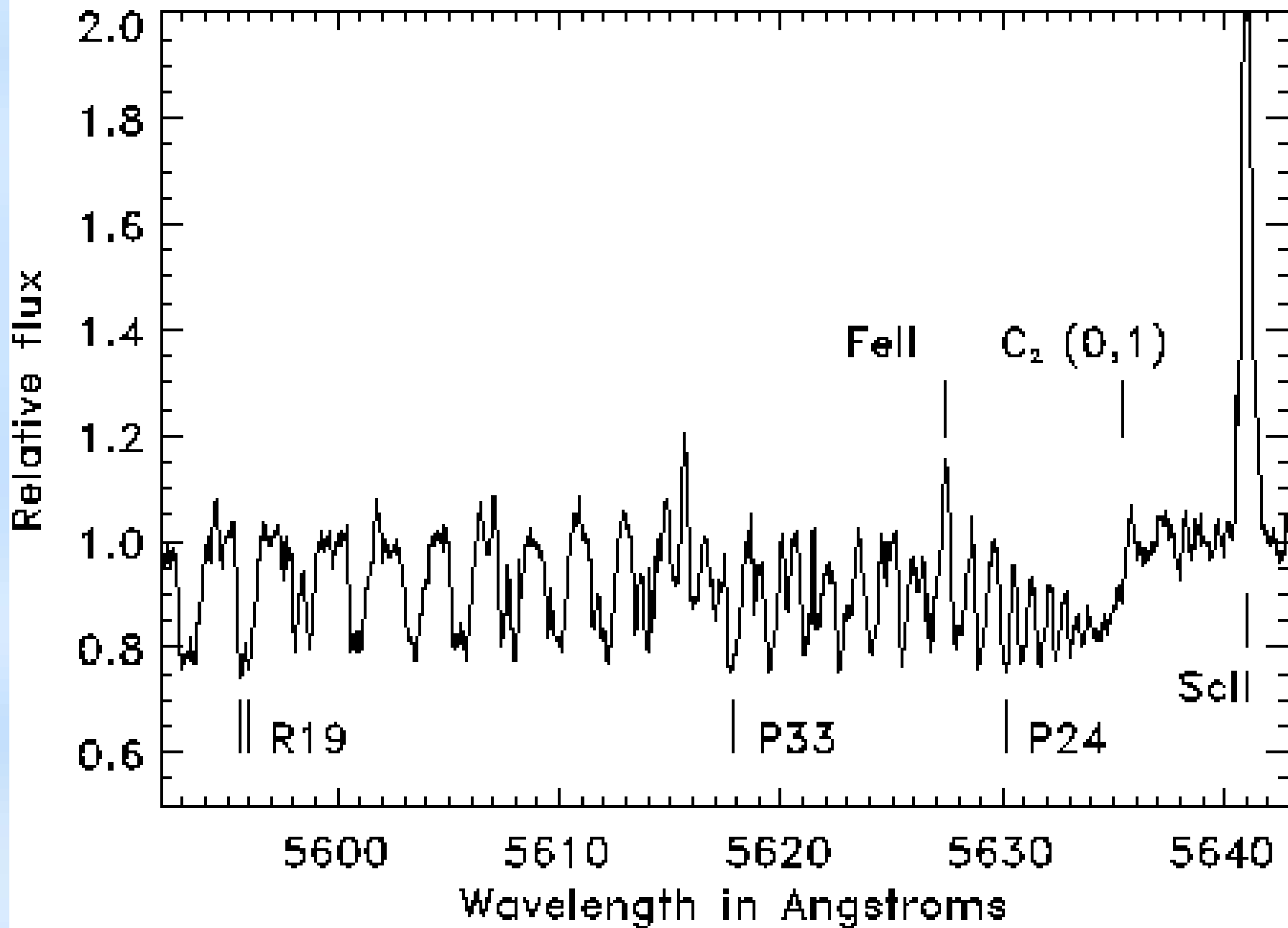
b: Mean of five RV Tauri stars corresponding to [Fe/H] = -1.0 from Luck & Bond (1989).

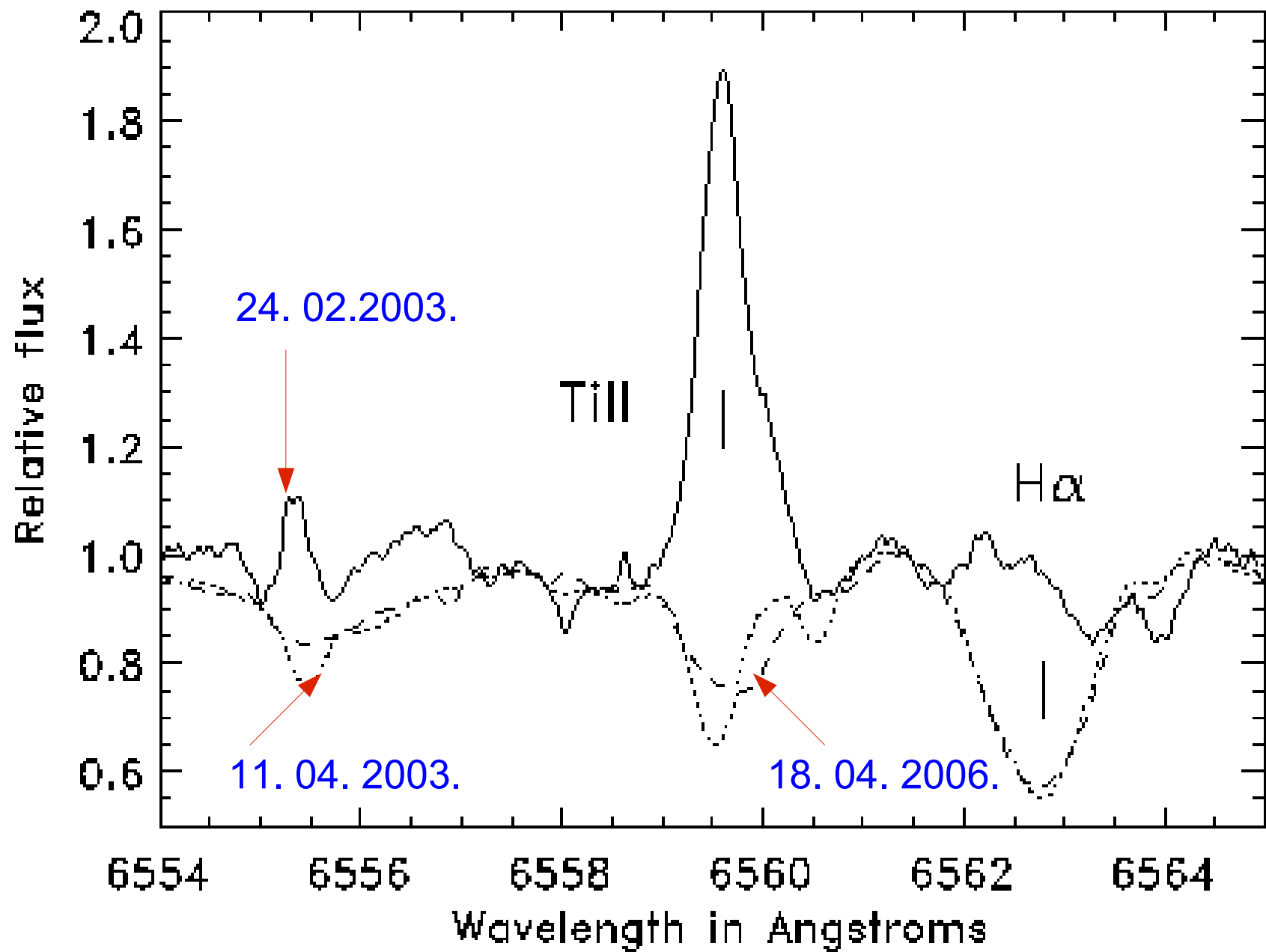
Veidi R CrB spektrist 2003. a. miinimumi ajal:

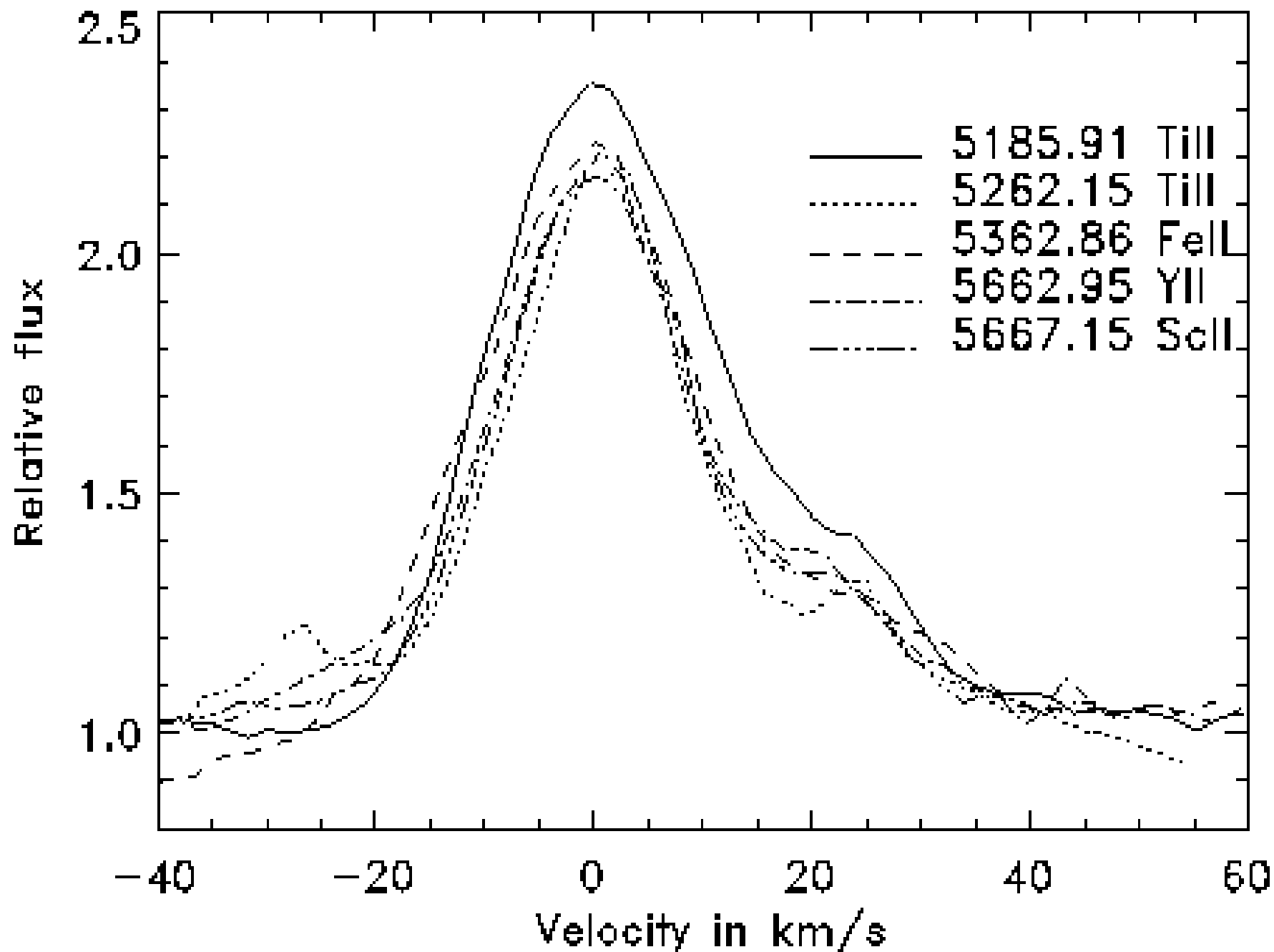


R CrB heleduskõver 2003. a. miinimumi ajal. Pikad jooned – meie spektrid, lühikesed Rao et al. (2006) spektrite vaatlemise momendid.









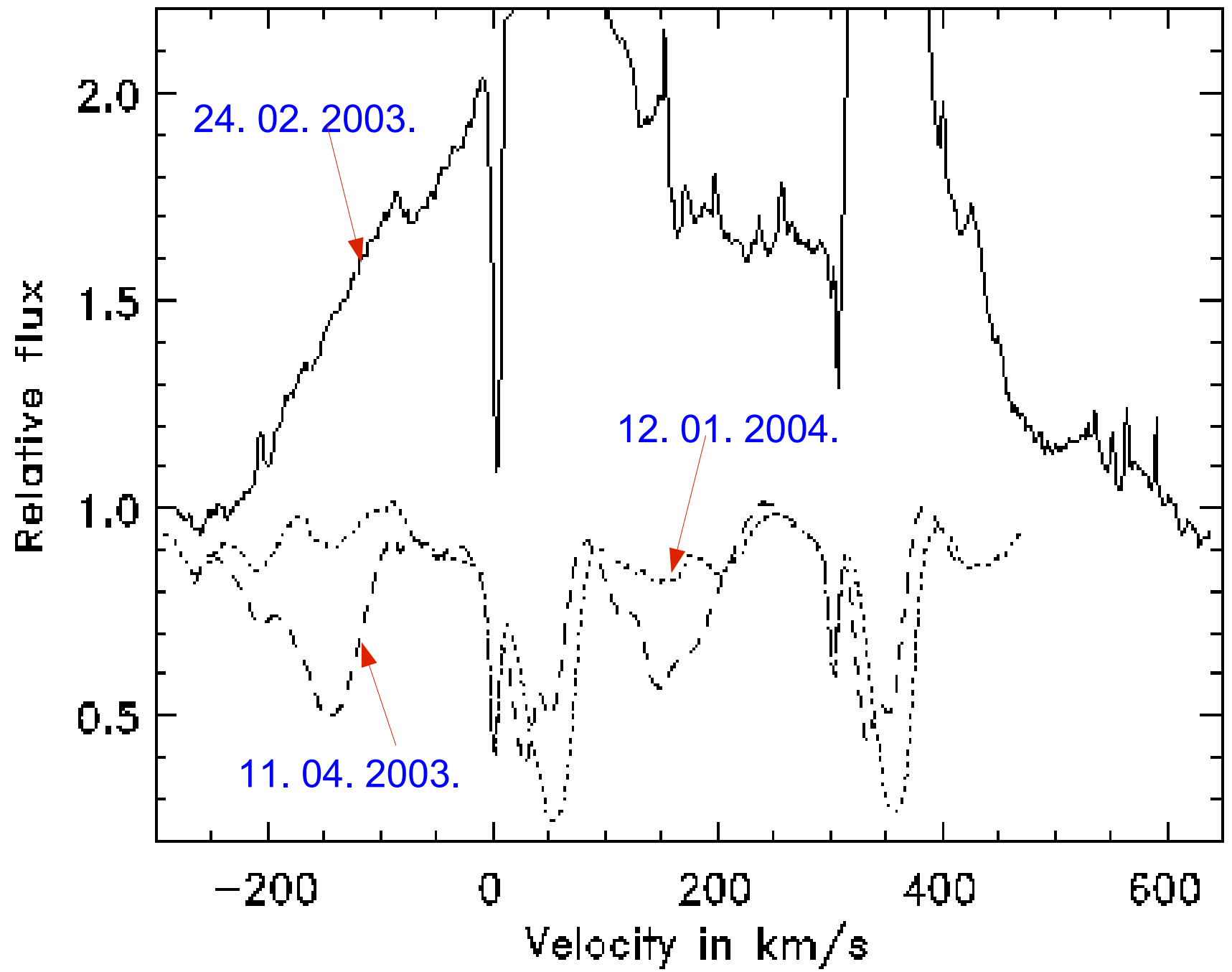


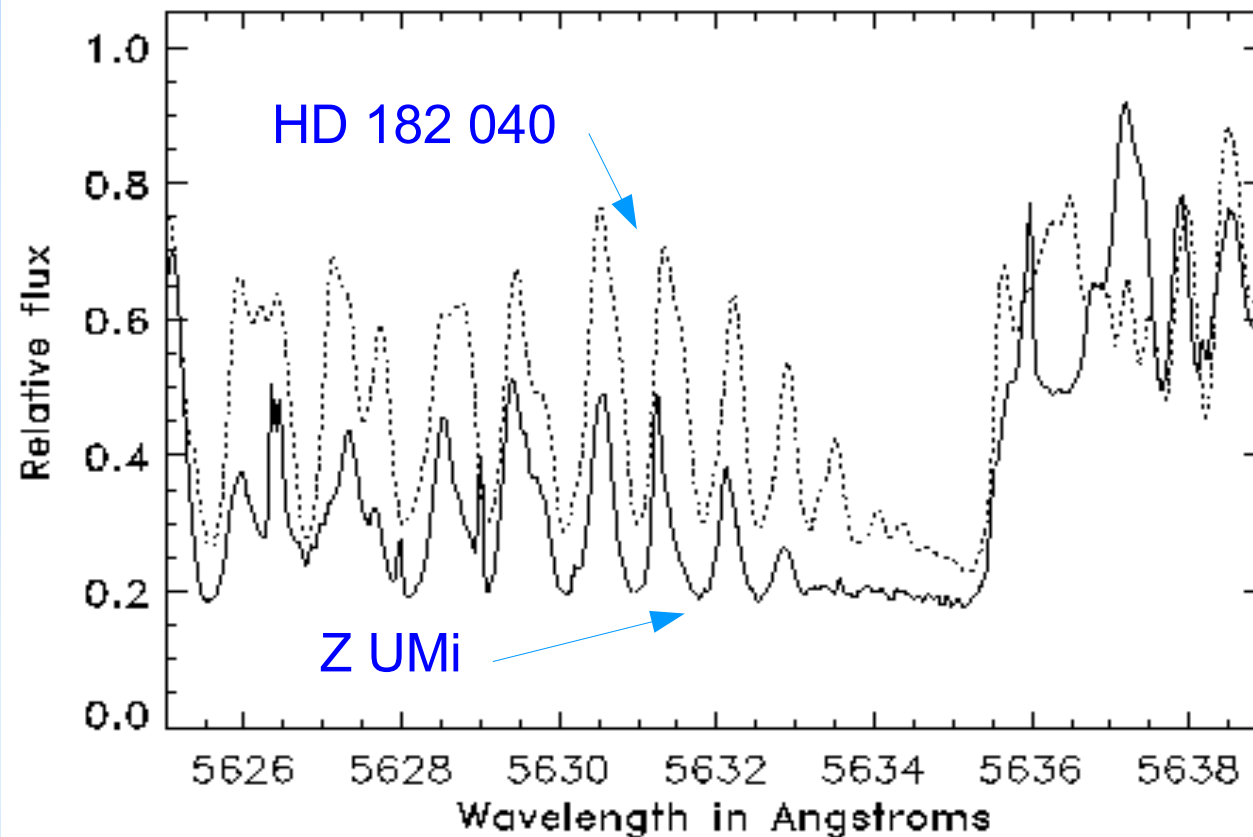
Table 1. Heliocentric radial velocities of various spectral lines in the spectrum of R CrB during the 2003 light decline and in maximum (January, 12 2004).

Line	Feb. 24	April 11	Jan. 12, 2004.
Na I D IS:			
D ₂	-23.2	-23.6	-21.9
D ₁	-21.2	-21.0	-21.9
Na I D sharp emission:			
D ₂	+19.1		
D ₁	+19.6		
Na I D broad emission:			
Blue limit of D ₂	-266		
Abs. on blue wing	-99		
Na I photosph. absorption:			
D ₂		+4.4	+30.5
		+31.9	
D ₁		+6.5	+33.0
		+29.9	
Na I D blue absorption:			
D ₂		-230	
		-172	
D ₁		-218	
		-178	
		-145	
Sharp emissions:			
Main component	+21.0		
Red component	+43		
C I emission	+16.3		
[O I] emission	+21.0		
C ₂ rot. lines absorption	+15.7		
CN rot.lines absorption	+15.0		
Fe I absorption	+14		

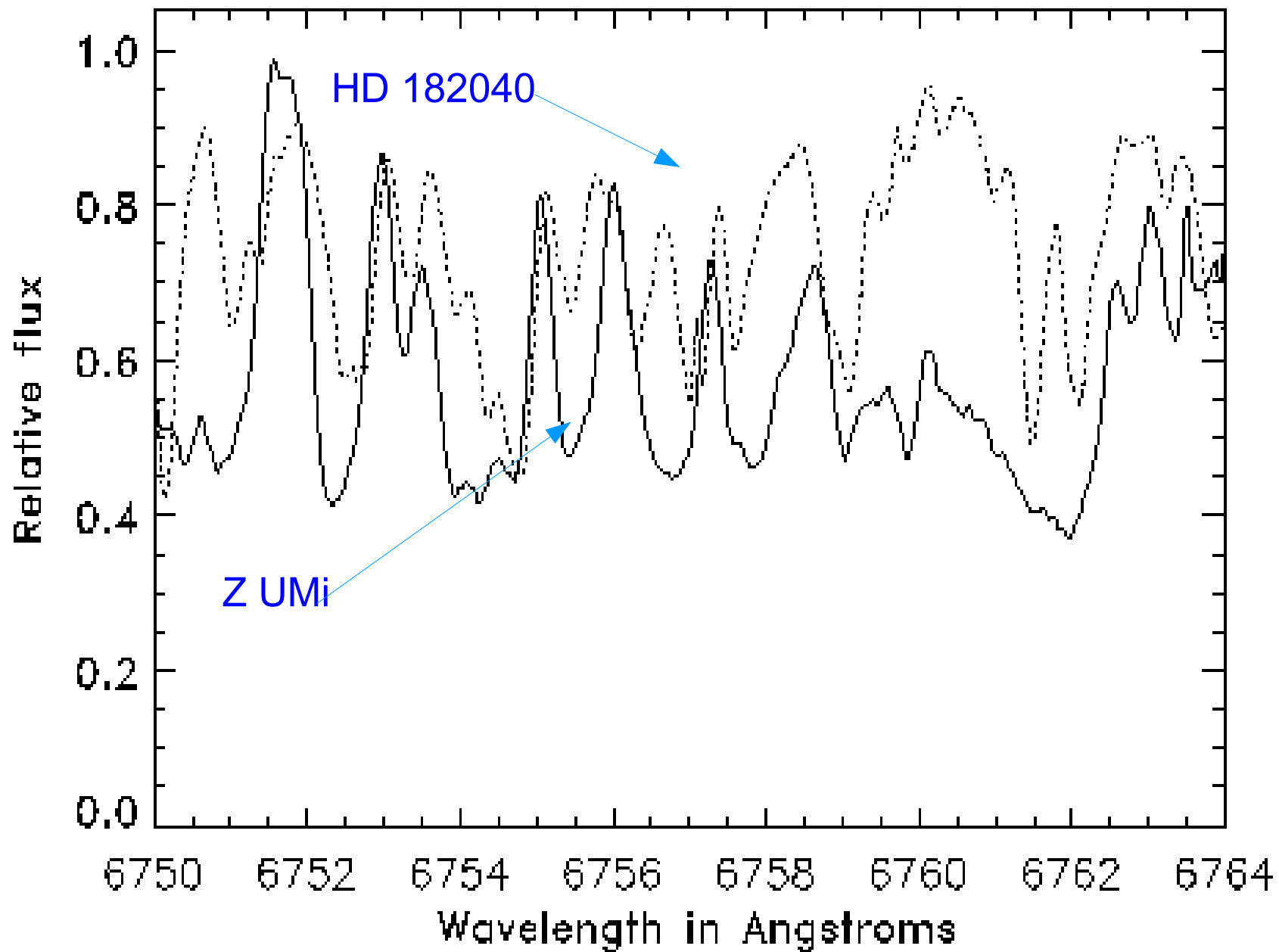
Z Umi:

Jahe R CrB tüüpi täht $T_{\text{eff}} = 5250 \pm 250$ K, $\log g = 0.5 \pm 0.3$.

Sisaldused sarnased vähemusgrupi R CrB tähtedega,
[Fe/H]= -- 1.85, [Li/Fe]= +1.9.

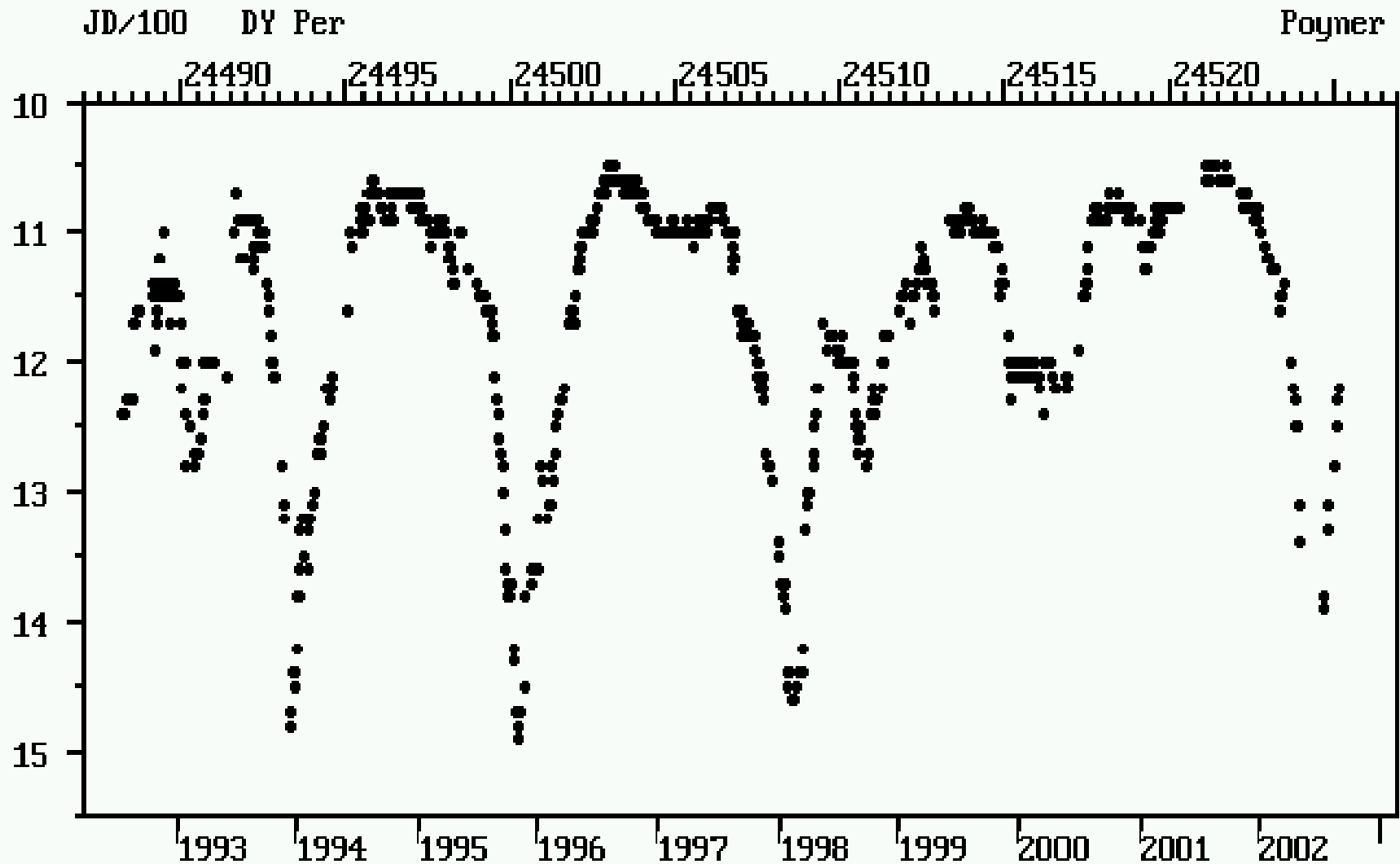


$C_2(0,1)$



$C_2(1,4)$, pole vaadeldav R tüüpi süsiniktähtedes.

DY Per



$T_{\text{eff}} = 3500 - 4700 \text{ K.}$

DY Per tähed tõenäoliselt nõrgemad, LMC-s leitute järgi $M_V = > -2.5$, samas R CrB tähtedel -2 kuni -5.



Kuidas said daami juuksed punaseks, ehk kuidas on tekkinud R CrB tähed?

R CrB tähtede päritolu on senini selgusetu:

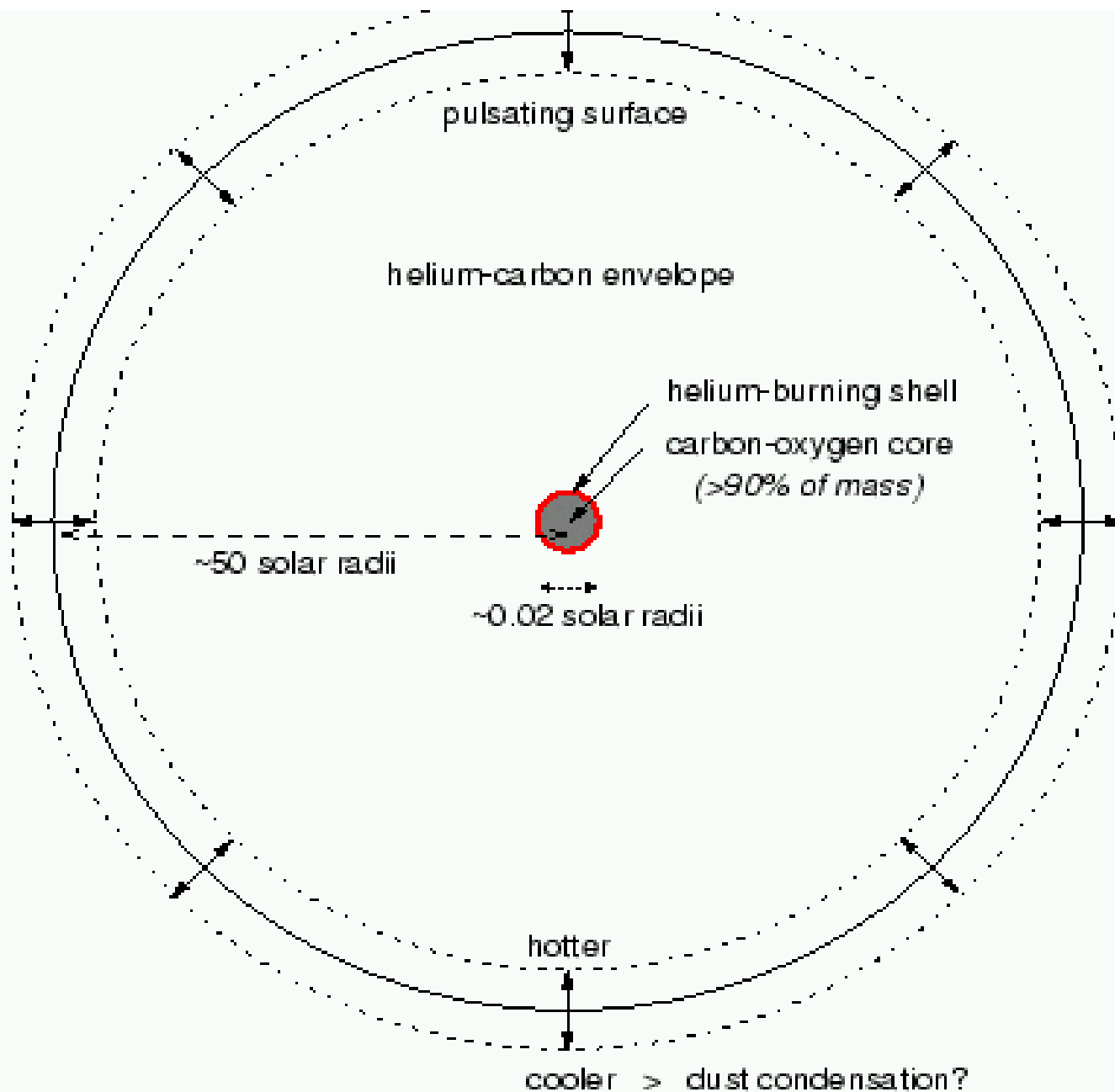
R CrB tähed on harvad (vaadeldud ~40, Galaktikas ~3000) .
Shönberner (1981) hindab elueaks ~30000 aastat.
Massid umbes 0.8 Mo.

2 evolutsioonilist mudelit: DD (double degenerate)
FF (final He shell flash).

Mõlemate korral paisub WD ülihiiu mõõtmeteni ja mõlemad vajavad, et R CrB on vanast populatsioonist.

DD:

Webbink (1984), Iben & Tutukov (1984), Saio & Jeffery (2002).
He + CO WD lähiskaksik sulab kokku momendi kaotamise tõttu. Eellased peaksid tekkima keskmise massiga tähtedest kahe massivahetuse episoodiga. Ühtesulamise käigus He-WD laguneb. Osa He akretseeritakse CO-WD-le ja hakkab põlema, ülejäänu jääb ulatuslikku ümbrisesse. Tekkib struktuur, kus He-t põletav kiht asub 100 R_o -ses H vaeses kestas. See olekski R CrB tüüpi täht. Põhiprobleem on, kas on küllalt CO+He WD lähiskaksikuid, mis võiksid ühineda.



FF:

~10% post-AGB tähti läbib FF. Tulemus on sarnane R CrB tähtedele.
Kuid:

FF saaduste heleduste langused on sügavamad (> 10 mag) kui R CrB tähtedel (< 8 mag). Sisaldused peale FF klapivad üsna hästi R CrB tähtede omaga v.a. ^{13}C küllus näiteks Sakurai objektis, mitte aga R CrB tähtedes.

FF saaduste eluead on väga lühikesed (kõige enam paarkümmend aastat), R CrB aga palju pikemad. R CrB enesel > 200 aastat.

Ka kestab sisalduste sarnasus nähtavasti lühikest aega.

Abundances (%) By Mass

Star	H	He	C	O
RCB ^a star	0	98	1	0.2
[WC] ^a star	0	50	40	10
Sakurai's Object ^b	0	90	7	3
V605 Aql	0	54	40	5

References. — (Asplund et al. 2000; Leuenhagen et al. 1996; Asplund et al. 1999; Lawlor & MacDonald 2003; Crowther et al. 2006; De Marco 2003; Crowther et al. 2003)

^aTypical abundances for typical RCB stars and [WC] central stars of PNe.

^bAbundances on 1996 October 7.



Vincent van Gogh, Starry night over the Rhone.