

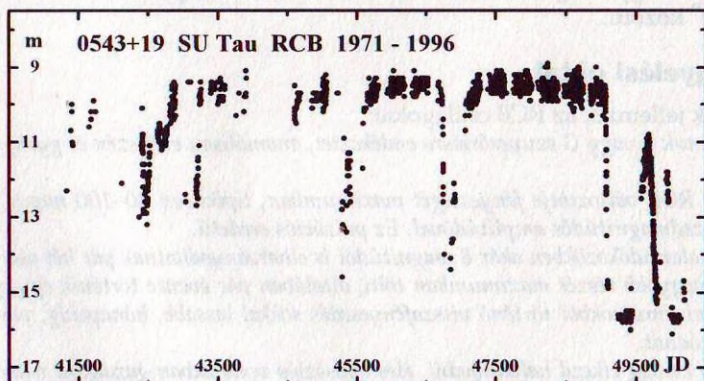


# Változócsillagok

## Az R Coronae Borealis csillagok

Az R Coronae Borealis (RCB) típusú csillagok a változócsillagok között talán a leglátványosabb fényváltozásúak, és nyugodtan állíthatjuk, a legmisztikusabbak. Légkörük rendkívül hidrogénszegény, ill. széndús. Valószínűleg kis tömegű, nagy luminozitású (tehát nagy abszolút fényességű) csillagok, melyek szabálytalan időközönként vastag porfelhőt bocsátanak ki. A porkibocsátás során pár hét alatt akár 8 magnitúdót is halványodhatnak, miközben emissziós vonalakban gazdaggá válik spektrumuk.

Idén éppen 200 éve, hogy Pigott észrevette, hogy a Corona Borealis egyik, korábban 6 magnitúdósnak ismert csillaga „eltűnt”. Már a múlt század 90-es éveiben felfigyeltek a furcsa spektrális jellegzetességekre (emissziós vonalak a halvány szakaszban, a szénmolekulák sávjainak erős változásai), de a ma is elfogadott általános magyarázat a csillag körül (előtt) kialakuló porfelhőkkel csak a 30-as évek második felében született meg. Kétszáz évvel a felfedezés után is megválaszolatlanok olyan kérdések, miszerint milyen mechanizmus felel a porkibocsátásért, milyen az RCB csillagok evolúciós állapota, illetve az emissziós vonalak keletkezési helyének természete is ismeretlen.



Az SU Tauri fénygörbéje az MCSE Változócsillag Szakcsoport adatai alapján

Annak ellenére, hogy fényváltozásuk nagyon jellegzetes és feltűnő, az ismert és spektroszkópiailag is bizonyított RCB csillagok száma igen kicsi. A Változócsillagok Általános Katalógusa (GCVS) 26 RCB csillagot sorol fel. Az alábbi táblázatban a spektroszkópiailag is megerősített RCB csillagok szerepelnek:

Név	GCVS típus	m(max.)	Név	GCVS típus	m(max.)
DY Per	SR	12,6	WX CrA	RCB	11,0
XX Cam	RCB	8,7	V739 Sgr	Is?	14,0
HV 5637	...	15,8	V3795 Sgr	...	11,5
W Men	RCB	13,8	VZ Sgr	Isa?	11,8
HV 12842	...	13,7	RS Tel	RCB	9,3
SU Tau	RCB	9,5	GU Sgr	RCB	11,3
UX Ant	RCB?	12,2	V348 Sgr	...	10,6
UW Cen	RCB	9,6	MV Sgr	RCB	12,0
Y Mus	RCB	10,5	FH Sct	L	13,4
DY Cen	RCB	12,0	V CrA	RCB	9,4
V854 Cen	...	7,0	SV Sge	L?	11,5
Z UMi	M?	11,0	V1157 Sgr	M	12,5
S Aps	RCB	9,6	RY Sgr	RCB	6,5
R CrB	RCB	5,8	V482 Cyg	?	12,1
RT Nor	RCB	11,1	V1405 Cyg	...	15,5
RZ Nor	RCB	11,1	U Aqr	RCB?	10,5
V517 Oph	Lb	12,6	UV Cas	RCB	11,8
V1773 Oph	RCB	16,8	MACHO* 05:33:49,1-70:13:22		16,1
GM Ser	RCB	12,0	MACHO*05:32:13,3-69:55:59		16,3

Ezekén kívül van még néhány olyan objektum, amely RCB-szerű viselkedést mutat(ott). Ezek közül talán legérdekesebb az FG Sge, amelyről azt tételezik fel, hogy RCB típusúvá fejlődött (I. Meteor csillagászati évkönyv 1994, 148. o.). Több, korábban RCB típusúnak gondolt csillagról viszont kiderült, hogy másmilyen változók.

Az RCB csillagok egyesek szerint I. populációs (fiatal) csillagok, bár vannak, akik szerint II. populációsak (azaz öregek). Felszíni hőmérsékletük alapján három osztály különböztethető meg: hideg (5000 K körül), meleg (7000 K) és forró (20 000 K). Pontos távolság egyikre sem ismert, mivel parallaxisuk az elérhető mérési pontosság alatt van. A Nagy Magellán Felhőben ismert 5 RCB alapján abszolút fényességük  $-3^m$  és  $-5^m$  közötti.

## A megfigyelési oldal

Az alábbiak jellemzik az RCB csillagokat:

1. Spektrumuk F vagy G szuperóriásra emlékeztet, anomálishan erős szén és gyenge hidrogénvonalakkal.
2. Minden RCB változtatja fényességét maximumban, tipikusan 40–100 napos periódussal és néhány tizedmagnitúdós amplitúdóval. Ez pulzációs eredetű.
3. Szabálytalan időközökben akár 8 magnitúdót is elhalványodhatnak pár hét alatt. A csillag idejének legnagyobb részét maximumban tölti, általában pár évenként történik egy-egy elhalványodás. A minimumokból történő visszafényesedés sokkal lassabb, hónapokig, vagy akár egy évig is elhúzódhat.
4. Ahogy a csillag elkezd halványodni, éles emissziós vonalakban gazdaggá válik a spektruma (semleges és egyszerűen ionizált fémvonalak), majd néhány hét alatt ezeket néhány széles emissziós vonal váltja fel.
5. Az összes RCB csillag erős infravörös többlettel (excesszussal) rendelkezik, amit a körülöttük levő por okoz.

\* A két MACHO RCB adatai C. Alcock és munkatársai, The MACHO Project LMC Variable Star Inventory: IV. New R Coronae Borealis Stars c. cikkéből (The Astrophysical Journal, 1996. október).

## Az RCB-k maximumban

F és G típusú szuperóriásokra jellemző spektrummal rendelkeznek, a szén vonalai dominálnak. Tengelykörüli forgásuk valószínűleg lassú, bár mérés csak az R CrB-re van ( $v \sin i \sim 18$  km/s). A hidrogén szinte teljesen hiányzik légkörükből (a Naphoz képest  $10^5$ -szer kevesebb a hidrogén és 10-szer több a szén).

Maximumban mindegyik pulzál, habár ez közel sem szabályos. Jellemző periódusuk 40–100 nap körüli. A pulzáció ciklusról ciklusra változó fénygörbét eredményez, habár hosszú távon a periódus és az amplitúdó viszonylag állandó. Néhány csillagnál a nagy felbontású spektrumban megfigyelhető a pulzáció által okozott légköri lökeshullámok hatásaként fellépő vonalfelhasadás.

## A leszálló ág

nagyon gyors, és gyakorlatilag semmi nem jelzi előre. Évtizedes adatsorokból sem mutatható ki semmilyen periodicitás az elhalványodások bekövetkezésében, így elvethető a kapcsolat a csillagok esetleges kettősségével, vagy a forgásukkal (egyéb-ként ismereteink szerint mindegyik RCB magányos csillag). A leszálló ágak kezdetét összevetve a pulzáció aktuális fázisával, néhány esetben (RY Sgr, V854 Cen) erős korrelációt találtak, azaz a halványodások közel azonos pulzációs fázisban kezdődtek.

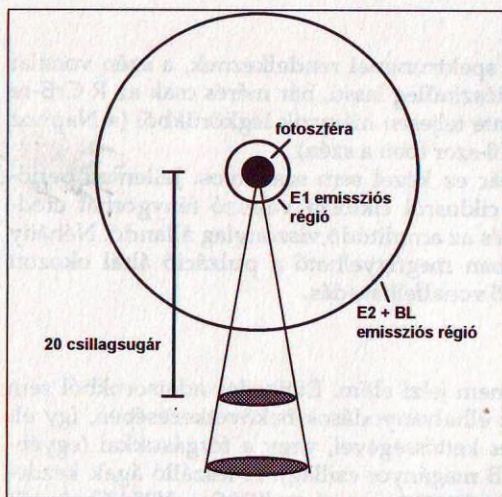
Mivel teljesen előrejelezhetetlen, hogy mikor indul meg egy RCB „lefelé”, ezért nagyon kevés szimultán fotometria és spektroszkópia áll rendelkezésre a porképződés elejéről. Kezdetben éles emissziós vonalak (E1-ként szokásos hivatkozni rájuk) jelennek meg, amelyek egy-két hét alatt átalakulnak széles, szintén emissziós vonalakká (BL). Pár vonal (szkandium és titán) megmarad éles emisszióban, ezeket E2-vel jelölik (a jelölések az eltérő keletkezési helyeket hivatottak megkülönböztetni).

Ultraibolyában hasonló a spektrális fejlődés, míg infravörösben túl kevés adat áll rendelkezésre. A megfigyelések szerint tömegledobódás is lejátszódik, általában a visszafényesedés során, ill. a maximumba való visszakerülés után közvetlenül.

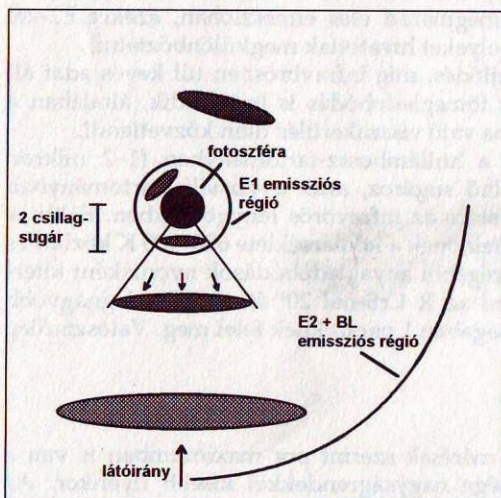
Infravörös fotometria alapján ebben a hullámhossz-tartományban (1–2 mikron között) már csak a csillagkörüli porfelhő sugároz, azaz a vizuális tartományban jelentkező elhalványodásoknak nyoma sincs az infravörös fénygörbékben. Földi és IRAS megfigyelések szerint ennek a porfelhőnek a hőmérséklete 650–900 K közötti és főleg amorf szén alkotja. Pár csillagnál régebbi anyagledobódások nyomaként kiterjedt felhőket sikerült detektálni, például az R CrB-nél 20' átmérőjű a legnagyobb alakzat, ami az R CrB feltételezett távolságában 1 parszeknek felel meg. Valószínűleg néhány tízezer éve dobódhatott le.

## Porképződés

Polarimetriai és infravörös fotometriai mérések szerint por maximumban is van a csillagok körül, habár ennek mennyisége nagyságrendekkel kisebb ilyenkor. Az egyik elméleti modell szerint a csillag anyagot dob le magáról, ami a szénpor kondenzációs hőmérsékletére lehűlve (kb. 1500 K) porrá alakul át. Ez durván 20-szoros csillagsugárnyi ( $R_*$ ) távolságban következik be. A porfelhő elég nagy ahhoz, hogy a Földről nézve elfedje a csillag fotoszféráját, majd a kialakulása után a sugárnyomás hatására egyre távolodik a csillagtól, ritkul és átlátszóvá válik. A por kisebb csomókban keletkezik, amelyek gázt is magukkal visznek a csillagtól. Ez a



A  $20 R^*$  porképződés modellje. Ebben a por a csillagtól kb.  $20 R^*$  távolságban keletkezik, ahol a kifelé haladó gáz eléri a szén kondenzációs hőmérsékletét. Ezután a porfelhő a sugárnyomás hatására tágul kifelé, majd elfedi a csillag fotoszféráját és az emissziós régiók egy részét



A csillagközeleli porképződés modellje. Itt a por közvetlenül a csillag előtt képződik, majd gyorsan távolodik a sugárnyomás hatására. A porfelhő tágulása során elfedi a fotoszférát és az emissziós régiók egy részét. Kisebb porfelhők minden pulzációs ciklusban képződhetnek. Elhalványodások csak akkor játszódnak le, ha látóirányú porképződés következik be

gáz fogja az éles emissziós vonalakat kisugározni (így azok a megfigyelésekkel összhangban a kék felé fognak eltolódní a Doppler-hatás miatt).

A fentebb vázolt szép modellnek az az egyik fő gondja, hogy mi viszi el az anyagot a csillagtól a kondenzációs pontig ( $20 R^*$ ). Másrészt ez a modell nem tudja megmagyarázni a gyors visszafényesedéseket, mivel a porfelhő feloszlása lassú folyamat. Márpedig a megfigyelések szerint nem csak lassú, hanem gyors visszafényesedések is felléphetnek.

A problémákat meg tudjuk oldani, ha azt tételezzük fel, hogy a por a fotoszférához közel (kb.  $2 R^*$ ) alakul ki, majd onnan fújja ki a csillag sugárnyomás. Mivel közelebb is van a csillaghoz, nagyobb sebességre gyorsulhatnak a sugárirányban távolodó porszemek, azaz, gyorsabban el is oszolhat a felhő.

Egyik modell sem tárgyalja a porképződés okát. Az újabb vizsgálatok szerint ha lökeshullámok lépnek fel az RCB-k légkörében, akkor ezek okozhatnak olyan sűrűség és hőmérsékletváltozásokat, hogy lokálisan a szén kondenzációja megindulhasson. Az egész mechanizmus rendkívül bonyolult és természetesen nagyon bizonytalan.

## Csillagfejlődés

Az RCB csillagok evolúciós állapota lényegében ismeretlen. Kis számuk arra utal, hogy vagy nagyon ritkán alakulnak ki, vagy a csillagfejlődés egy nagyon rövid állomását jelentik. Statisztikai megfontolások alapján az RCB csillagok élettartama (amíg RCB-ként élnek)  $3 \cdot 10^4$  év. Eredetükkel kapcsolatban a két leggyakrabban vizsgált elmélet az összeolvadó két fehér törpén alapuló, illetve a végső héliumvillanás eredményeként kialakuló RCB-t jósoló. Sajnos a két (sok)

modell közül a jelenlegi megfigyelési anyagra támaszkodva nem lehet választani.

## Kérdések

A szokásos „további megfigyelések szükségesek” kijelentés halmozottan érvényes az RCB csillagokra. Néhány a megválaszolatlan kérdések közül:

- *Hogyan képződik por a csillaghoz közel?*
- *Az elhalványodások mutatnak-e korrelációt a pulzációs fázissal? Ha igen, akkor minden egyes ciklusban keletkezik por valahol a csillag felszínéhez közel?*
- *Valóban pulzál az összes RCB?*
- *Az RCB-k HR-diagramon való fejlődése okoz-e a pulzáció periódusában valamilyen szisztematikus változást?*
- *Az összes porképződést leíró modell kondenzálódó csillag körüli gázból indul ki, amit viszont spektroszkópiailag nem sikerült eddig kimutatni. Akkor hol van?*
- *Hol helyezkednek el az RCB csillagok a csillagfejlődési elméletekben?*

Láthatóan érdekes, ismeretlen és a tudomány számára nagy kihívást jelentő csillagokról van szó. Megfigyelésüket bárki számára csakis ajánlani lehet, hiszen látványos fényváltozásuk nagyon egyedi és igen feltűnő.

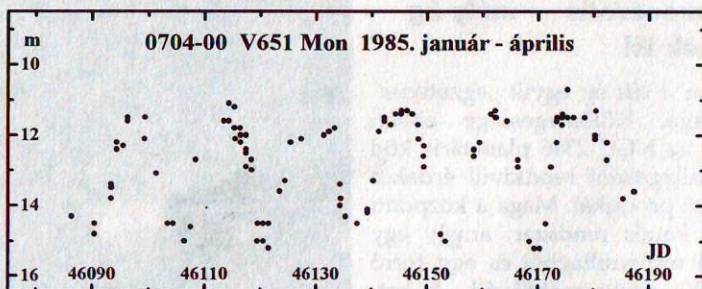
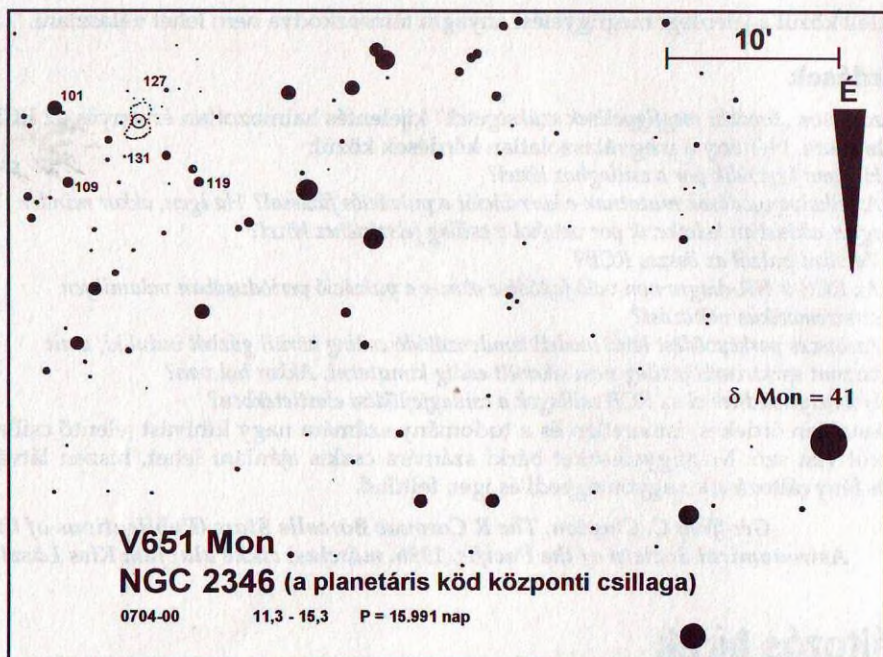
*Geoffrey C. Clayton, The R Coronae Borealis Stars (Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 1996. március) cikke alapján: Kiss László*

## Változós hírek

### V651 Monocerotis — mély-ég észlelőknek is!

A V651 Mon a téli ég egyik „egzotikus” változócsillaga. Különlegessége abban rejlik, hogy az NGC 2346 planetáris köd központi csillagaként rendkívül érdekes fényváltozást produkál. Maga a központi csillag egy kettős rendszer, amely egy A5V típusú törpecsillagból és egy forró ( $T_{\text{eff}} \approx 10^5$  K) szubtörpéből áll. A kettőscsillag pályaperódusa 15,991 nap. Az érdeklődés homlokterébe 1981-ben került a csillag, amikor a keringési periódussal megegyező ismétlődésű elhalványodások (fedések) játszódtak le. A folyamatos megfigyelések arra a következtetésre vezettek, hogy egy anyagfelhő került a rendszer elé, és az elhalványodások akkor játszódtak le, amikor az A5V csillag a pályamenti mozgás miatt a felhő mögé került. Az IRAS megfigyelései alapján a számítások azt mutatták, hogy az ilyen részleges fedések nagyon ritkák. A korai fotólemezeket átvizsgálva 1899 és 1981 között semmilyen hasonló jelenséget nem találtak.





Idén augusztus második felében független vizuális észlelők ismét fedési jelenségek bekövetkeztéről számoltak be. A megfigyelt fényváltozás  $11^m,0$  és  $15^m,0$  közötti. A most kezdődött újabb aktív szakasz ritka lehetőséget jelent a planetáris ködökben kialakuló kondenzációk (vagy bolygócsírák) tanulmányozására (l. üstököscomók a Helix-ködben, Meteor, 1996/7-8., 9. o.). A decemberi fedések dec. 14-én és 30-án várhatók. A fényváltozás elegendően lassú, így éjszakánként egy, esetleg kettő megfigyelés elég. Illusztrációként bemutatjuk a legutóbbi aktív szakasz legvégéről származó fénygörbét, amely a francia AFOEV adatai alapján készült. 1985 és 1996 között a csillag lényegében állandó fényességű volt,  $11^m,0$ -nál. (Ksl)