



Változócsillagok

Egy fiatal csillag nehéz gyermekora: RR Tauri

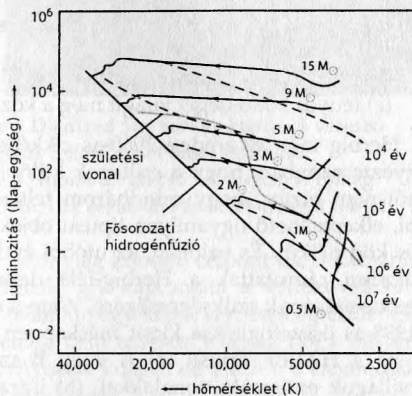
„A csillagok egyformák; nem a születés, hanem a tömeg teszi őket különbözővé.”

Út a fősorozatig

A fiatal csillagszerű objektumok változatos viselkedését különböző jelenségek sora jellemzi, melyek a csillagkeletkezés és fejlődés finom részleteivel kapcsolatosak. Egy csillag élete egy sűrű intersztelláris molekulafelhőben kialakuló csomó összehúzódásával kezdődik, amit valamilyen külső behatás, pl. egy közeli szupernóva robbanása vált ki. Az anyagfelhő egyre gyorsulva húzódik össze, magjában pedig folyamatosan emelkedik a hőmérséklet. Miközben megteremtődnek a feltételek a majdani csillag magjában beinduló termonukleáris reakciókhoz, addig a külső régiókban bonyolult anyagbefogási és kifújási folyamatok játszódnak le, melyek együttes hatása határozza meg a születő csillag össztömegét.

Az összehúzódási fázisban a proto-csillagok magjában uralkodó hőmérséklet sok nagyságrenddel emelkedik. Először a gravitációs potenciális energia alakul át hővé, majd beindulnak a deutérium fúzió reakciói. A protocsillag egy adott hőmérsékleténél leáll a külső anyagbefogás, mivel az égitest sugárnyomása ellensúlyozza a gázanyag beáramlását. Ezt a pontot elhagyva addig folytatódik tovább az összehúzódás, amíg a magbéli hőmérséklet el nem éri a 10 millió fokot. Ekkor beindul a hidrogén-hélium fúzió, ami egyben jelzi, hogy a csillag megérkezett a Hertzsprung–Russell-diagram fősorozatára.

Azokat a fiatal, csillagszerű objektumokat, melyek fejlődésükben a külső anyagbefogás leállása és a magbéli hidrogénégetés kezdete között állnak, fősorozat előtti csillagoknak hívjuk. Mint az asztrofizika anyai más területén, itt is különböző csoportokra osztjuk az égitesteket tömegük szerint. Az 1 naptömeg körüli kis tömegű objektumok a T Tauri típusú csillagok, melyek kialakulását viszonylag tisztán értjük. A 10 naptömegnél nehezebb nagy tömegű csillagok egyedül az óriási molekulafel-



Fősorozat előtti fejlődési útvonalak. Az RR Tau-t is magában foglaló Herbig Ae/Be csillagok 2–8 naptömegű objektumok, melyek százezer–egymillió év alatt jutnak el a fősorozatig

hőkben alakulnak ki, és fősorozati előtti életükről nem sokat tudunk, mivel sűrű csillagkörűli porfelhők szinte teljesen elnyelik a fényüket. A közepes tömegű, fősorozat előtti csillagok, nagyjából a 2 és 10 naptömegnyi határ között, sok szempontból áthidalják a csillagkeletkezés spektrumát a T Tauri és a nagy tömegű protocsillagok között. Összefoglaló nevüket, a Herbig Ae/Be (HAEBE) típust, George H. Herbig amerikai csillagászról kapták, aki először foglalkozott ezzel az osztállyal közel 5 évtizeddel ezelőtt. Cikkünk tárgya, az RR Tauri, az egyik legfényesebb északi HAEBE-csillag rendkívül látványos fényváltozással.

HAEBE itt, HAEBE ott

George Herbig 1960-ban publikált tanulmánya írta le először a ma HAEBE-csillagokként ismert osztályt. Kutatásai során bukkant azokra az Ae és Be színképtípusú csillagokra, melyeket jól látható ködösségek vesznek körül. Az eredetileg 26 csillagból álló csoport tagjait három feltétel fennállása kötötte össze:

(a) A csillag A vagy B színképtípusú, spektrumában emissziós vonalakkal (Ae, Be spektrálosztály), emellett

(b) porfelhőkben gazdag területen található, illetve

(c) fényes ködösséget világít meg a közvetlen közelében.

Herbig már az eredeti 1960-as cikkében is megjegyezte azonban, hogy a csillagok különleges jellemzői nem biztos, hogy mindhárom feltételt igénylik, pl. elképzelhető ugyanilyen típusú objektum reflexiós köd nélkül. És valóban, az utóbbi évtizedek felfedezései rámutattak a Herbig-féle definíció enyhe módosításának szükségességére. Waters és Waelkens 1998-as összefoglalása kicsit másképpen fogalmazza meg a HAEBE típust: (a) A vagy B színképtípusú csillagok emissziós vonalakkal, (b) infravörös többsugárzás a csillagkörűli porfelhőből, valamint (c) III–V luminozitás-osztály (óriástól törpe csillagokig).

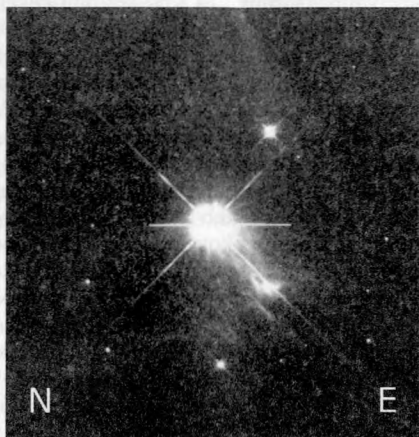
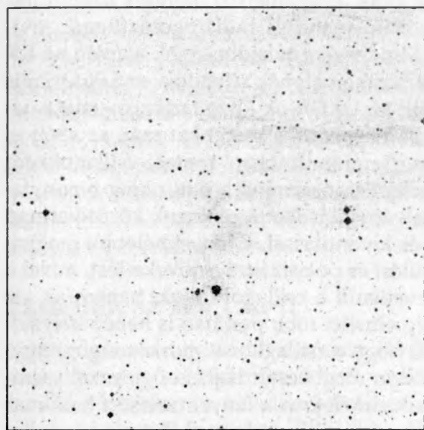
A legutóbbi néhány évben a HAEBE-csillagok komoly szakmai érdeklődést váltottak ki, mint a β Pictoris és Vega típusú csillagok szülőcsillagai (progenitorai). Ezeket a közepes tömegű fősorozati égitesteket csillagkörűli törmelékkorongok övezik, és bizonyos megfigyeléseket a törmelékkorongokban keringő bolygószerű testekkel lehet megmagyarázni. Amennyiben ez igaz, akkor a HAEBE-csillagok körül éppen aktív bolygókeletkezés zajlik, aminek kutatásával betekintést nyerhetünk a naprendszer kialakulásának feltételeibe.

Az RR Tau, mint Herbig 1960-as listájának egyik csillaga, az eredeti definíció minden pontját kielégíti. Égi helyzete egybeesik egy kicsiny, sötét felhővel, amit még Cuno Hoffmeister vett észre 1949-ben. A csillagot övező reflexiós ködöt George Herbig fedezte fel az 1950-es évek elején; ennek legfényesebb része egy kis ködcsozó 14"-cel keletre a változótól, amiből halvány ívek nyúlnak ki több ívperc távolságig.



George H. Herbig, a University of Hawaii nyugalmazott (emeritusz) professzora

Míndezek a struktúrák jól láthatók a mellékelt DSS-fotón, melyen további halvány ködösségek követhetők északnyugat felé, egészen a 15x15 ívperces látómező széléig.



Balra: Az RR Tau 15x15 ívperces környezete a Digitized Sky Survey képén. A változó pontosan a kép közepén található. Észak felfelé, kelet balra található.

Jobbra: Az RR Tau 1x1 ívperces látómezeje a Hubble Űrtávcső felvételén. A csillag diffrakciós keresztje gyakorlatilag pontosan kítűzi az észak–dél és kelet–nyugat irányt

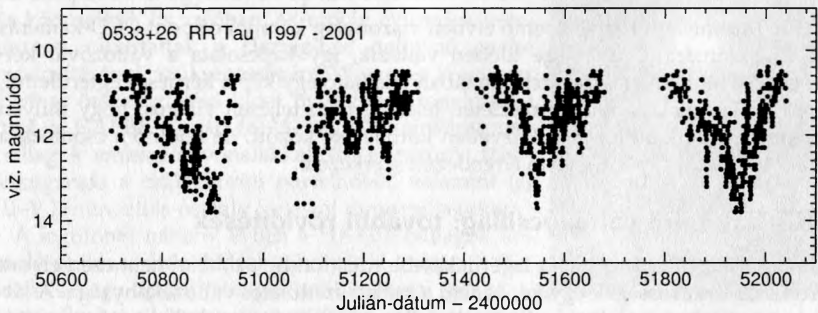
Az RR Tau melletti fényes csomó elvben viszonylag könnyű célpont CCD-kamerás amatőrök számára. Fényessége időben változik, így kapcsolata a változóval kétségtelen. A Hubble Űrtávcső archívumában található egy kép a kérdéses égiterről, melyen jól látszik a csomó és részletei. Jelenleg nem teljesen világos, hogy milyen kölcsönhatás zajlik a csillag és közvetlen környezete között, de feltűnő a csomócska szálás, a csillagtól sugárirányban elrendezett szerkezete.

Az RR Tau mint változócsillag: további rövidítések

Az amatőr csillagászok számára legérdekesebb tulajdonság azonban nem ezen elvont asztrofizikai érdekességek egyike, hanem a csillag szédületes változékonysága. A látható tartományban észlelhető változások teljes amplitúdója meghaladja a 3 magnitúdót, mivel a csillag maximumban $10^m,6$, minimumban pedig 13^m-14^m körüli fényességű. Ráadásul a változások időskálája rendkívül rövid: akár egyik napról a másikra is több magnitúdó változhat a fényesség! Mindezt jól illusztrálja az RR Tau fénygörbéje, melyet a Meteor olvasói rendszeresen tanulmányozhatnak a változós észlelési összefoglalókban. Mellékelt fénygörbénken ezúttal az AAVSO archívumából kinyert észlelések láthatók az 1997 és 2001 közötti négy láthatóság adataival. A görbe látszólagos „vastagsága” félrevezető: nem a becslések pontatlansága, hanem a gyors változások miatt szórnak a pontok.

Az RR Tau változásait nagyon sokan tanulmányozták. Az évtizedek alatt összegyűlt megfigyelési eredmények a következő képet rajzolják ki. A csillag fényességét hirtelen elhalványodások jellemzik, melyek során jól meghatározott összefüggések

érvényesek a fényesség, szín és a polarizáció változásai között. Miközben a rendszer összfényessége csökken, a szín először vörösebb lesz, azonban $13^m,0$ alatt megfordul a színváltozás iránya és a csillag újra kékebbé válik. Polarimetriai mérések szerint minimumokban megnő a fény polarizáltsága, ami ráadásul hullámhosszfüggő: rövidebb hullámhosszak polarizációja erősebb. Mindezek a tulajdonságok alapján az RR Tau a HAEBE-csillagok UXOR altípusába tartozik, melynek névadója az UX Orionis változó. Nagyjából minden negyedik HAEBE az UXOR-ok közé tartozik – mit is jelent ez pontosan? Noha az ebbe a csoportba tartozó objektumokat már az 1960-as években azonosították (akkoriban „Algol-szerű minimumokat” mutató csillagokként hivatkoztak rájuk), a változások pontos mechanizmusa mind a mai napig bizonytalan. A legnépszerűbb modell szerint az elhalványodásokat a csillagok körül keringő sűrű porcsomók okozzák a látóirányba be- és kivonulással. Ez az elmélet jól magyarázza a minimumokban tapasztalható elkékülést és polarizáltság-növekedést, mivel a változó modell minimumában már nem közvetlenül a csillagot látjuk, hanem az azt övező porfelhőn szóródó fényt. Sajnos a szép elmélet több pontban is nehéz helyzetben van: a változó elhalványodásokhoz az kell, hogy a csillag körüli porkorongot nagyjából éléről lássuk, míg a korongok más módon megbecsült hajlásszöge ezzel szemben széles tartományban szóródik. Egy másik elméletben a fényelnyelésért hatalmas üstököszerű porcsomók felelnek, hasonlóak, mint amilyeneket a β Pictoris anyagkorongjában is feltételeznek. Ezt sem könnyű azonban egyeztetni a megfigyelésekkel: az észlelt mély minimumokhoz a „hiperüstökösöknek” a csillaggal összemérhető méretűnek kell lenniük. Ennek a modellnek egy újabb változata a csillag körüli porkorong instabilitásaival próbálja magyarázni a változó fényelnyelést.



Az RR Tau vizuális fénygörbéje az AAVSO által összegyűjtött észlelések alapján

Egy másik, alapvetően különböző elméleti irányban azt tételezik fel, hogy nem a csillag halványodik el valamilyen fénycsökkentő hatás miatt, hanem éppen ellenkezőleg, minimumban látjuk magát a csillagot, maximumban pedig a kívülről behulló gázanyag tömegbefogási (akkréciós) luminozitását észlelhetjük – hasonlóan a FUOR-csillagok évekig tartó kitöréseihez, csak éppen időben erősen változó módon. Amíg a csillag fényes, addig valójában a behullás által felfűtött anyagbefogási korong dominál a látható tartományban, míg minimumban az akkréciós korong átlátszóvá válik, és feltűnik a közepén levő csillag a maga halványságában.

2002-ben Rodgers és munkatársai részletes spektroszkópiai méréseket végeztek az RR Tau-ról, és az AAVSO fénygörbéjével való összevetés a fényelnyeléses modelleket részesítette előnyben. A spektrum változásai (illetve bizonyos változások hiánya) arra utaltak, hogy mindenféle spektrumvonal nélküli fénycsökkentő „ernyő” látóirányba bekerülése okozza az elhalványodásokat, majd kivonulása a visszafényesedést. Ezek a sötétítő objektumok természetes koronagráfként kitakarják a központi csillagot, viszont szinte semmit nem gyengítenek a kicsit távolabbi csillagkörüli felhő fényén. A kutatók következtetései szerint az elhalványodásokat nagyjából a csillag méretével megegyező porcsomók okozzák. Mindazonáltal továbbra sem ismerjük a porfelhők forrását, illetve hogy mi történik velük a csillag körüli keringés során. Ennek megfelelően az RR Tau és testvérei sok szempontból továbbra is rejtélyes objektumok sok-sok nyitott kérdéssel.

Észleljük az RR Tau-t!

Csillagunk minden derült éjszakán tökéletes célpont a közepes méretű távcsövekkel használó amatőrök számára. Mivel a változások teljesen szabálytalanok és előrejelezhetetlenek, érdemes minden lehetséges alkalommal megbecsülni fényességét (térképét a Jelenségnaptárban közöljük). CCD-s észlelők megkísérelhetik rögzíteni a csillag kódosságát, sőt, a kitartóbb digitális észlelők a kód változásait is nyomon követhetik. Minthogy a legbelső 15 ívmásodpercet kell jó felbontással leképezni, minél jobb légköri nyugodtság mellett érdemes kísérletezni a kód lefotózásával. Az északi féltéken nagyjából augusztustól májusig lehet észlelni a csillagot – az idei láthatóságából hátralevő három hónaphoz minél több derült eget kívánunk!

KISS LÁSZLÓ

Kedves változóm, az RR Tauri

Persze nem az egyetlen, de azok közé tartozik, amelyekkel kapcsolatban nem volt kudarcélményem. 1983. november 14-én észleltem először, az észlelőnapló bejegyzése szerint 11^m,6-snak. Aznap este ismerkedtem meg pl. a VZ Cas-sal (11^m,5), a T Taurival pedig már második alkalommal próbálkoztam.

Az RR Tau (VA VII., 7. o.) könnyű célpont. A γ Aur-tól 3°-kal DK-re, a 125 Tau-t magában foglaló kis rombusz minden csillaga jól azonosítható még a 3 cm-es keresőtávcsővel is. Távcsőbe pillantva egy közeli, nagyon feltűnő, egyenlő, kb. 35"-es tág kettős egy pillanat alatt elárulja, merre van az RR Tau. A fényesség becsléséhez legalább 50x-es nagyítás szükséges. A közepes, 15–20 cm-es távcsövekkel szinte mindig elérhető. Saját 244/1195-ös Newtonommal és a kisebb 150/590-es RFT-vel is rendszeresen észleltem az eltelt több mint két évtized alatt. Valóban érdemes minden észlelésre szánt este megbecsülni a fényességét. Ennél a változónál nincs „előrevárás”, hiszen teljesen kiszámíthatatlan, hogy pár napos stagnálás után hirtelen melyik irányba indul el. Csak a legutóbbi másfél év alatt többször volt maximumban, majd pár nap, esetleg egy-két hét alatt minimumban: 2005 október végén pl. meglepetést okozott 13^m,8–13^m,9-s fényességével. De ilyen halvány minimum csak igen ritkán fordul elő. Szerencsére az RR Tau-t könnyű megszeretni, fejből megtanulni az összehasonlítóit. Ha mindezzel sikerült kedvet csinálni észleléséhez, már megérte ezeket a sorokat leírni!

PPS