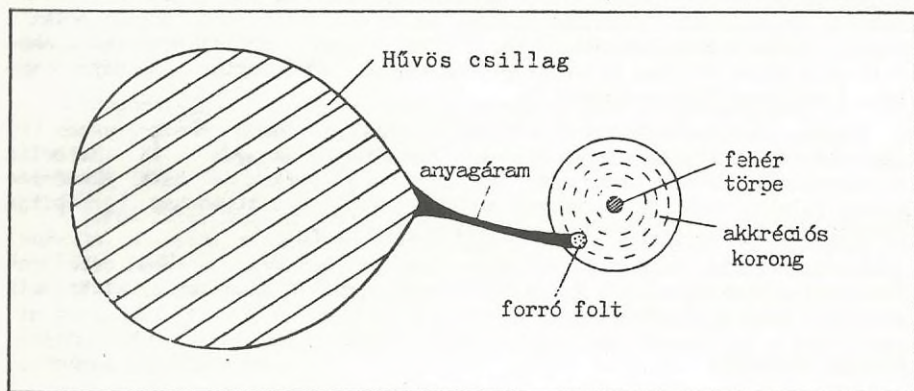


Változócsillagok

A titokzatos SU UMa csillagok

Az explozív csillagok — az ún. kataklizmikus változók — számtalan típusba sorolhatók. Legismertebb képviselőik a nóvák, a visszatérő nóvák és a törpe nóvák. A különféle kataklizmikus változók közötti kapcsolatot csak most kezdjük megérteni. Az egyik típus, az ún. SU UMa típusú törpe nóvák, különösen összetett tulajdonságokat mutatnak.

Mindegyik kataklizmikus változó olyan szoros kettős rendszer, melyben egy viszonylag normális, főági törpe csillag gázt ad át egy fehér törpének. Legtöbbjük keringési periódusa rövidebb egy napnál, ahogy az a kölcsönható rendszerektől elvárható, de azok a legérdekesebbek, melyeknél ez az idő két óránál is rövidebb. Érdekes, hogy egyetlen kataklizmikus változót sem találunk a 2 és 3 óra közötti tartományban — ezt nevezzük "periódushézagnak".



Egy törpe nóva vázlatos képe

A legtöbb kataklizmikus változónál nem maguk a csillagok az energia és a fény legfőbb forrásai, hanem a gravitációs helyzeti energia, mely akkor szabadul fel, amikor a vörös komponensről anyag hullik a fehér törpe felé, gyakran egy akkréciós korong közbeiktatásával. A vörös csillag azért veszít anyagot, mert már kitöltötte ún. Roche-felületét, a legnagyobb ekvipotenciális gravitációs "felületet", mely egyedül körülveszi.

Az első felmerülő kérdés az, hogy mi okozza azt, hogy a vörös csillag ezen a módon adja le "anyagfeleslegét". Azt gondolhatnánk, hogy normális fejlődése következtében kezd túlfőlni Roche-felületén. Ha magányos csillag lenne, vörös óriássá kellene fejlődnie. Azonban kis tömegű csillagok esetén (ilyenekből állnak a törpe nóvák) ez nem okozhat olyan mértékű túlsordulást, ami megmagyarázhatná a luminositásból számítható akkréciót. Másféle mechanizmus szükséges, olyan, ami a Roche-felület összezsugorodását okozhatja.

Bár csak kevéssé értjük a jelenséget, eredete a mágneses fékezés lehet. A kataklizmikus változók vörös komponense — a Naphoz hasonlóan — csillagszelet bocsát ki. Ha a csillag mágneses térrel is rendelkezik, ez a szél mágnesesen kapcsolódik hozzá, és bizonyos távolságig együtt kell forognia vele. (A Nap esetében ez a távolság 100 napsugárnyi, vagyis kb. fél csillagászati egységnyi.) Ahogy a csillagszél távolodik, megtartja szögsebességét és ezáltal lassítja a főági csillag forgását.

Mivel a tengely körüli forgás ideje — az árapály erők miatt — megegyezik a rendszer keringési idejével, ez a fékezés az egész rendszer orbitális szögsebességét csökkenteni fogja. Ennek eredményeként csökken a keringési idő és a két csillag távolsága. Ez a mechanizmus hozza létre az anyagátáramlást azoknál a kataklizmikus változóknál (és rokonaiknál, a kistömegű röntgenkettősöknél), melyek periódusa hosszabb 3 óránál (a periódúshézag fölött vannak).

Azonban ha a periódus 3 óra alá esik, valami történik — talán a mágneses mező drasztikusan lecsökken — és megszűnik a fékező mechanizmus. A vörös csillag valamivel Roche-felülete "alá" zsugorodik, és megszűnik a tömegátadás. Mínt hogy a fő energiaforrás már nem működik, a csillag többé nem számít kataklizmikus változónak. Többé nem létezik a forró akkréciós korong sem, amely létrehozza a kataklizmikus változókra jellemző tulajdonságokat (fénygörbe, kék szín, emissziós vonalak).

Egy ilyen tetszhalott rendszer azonban gravitációs sugárzás útján fokozatosan elveszti keringési momentumát, amint azt Einstein általános relativitáselmélete előrejelzi. Végül kb. 2 órás keringési periódusnál a Roche-felület a vörös csillag felszíne alá kerül, és ismét megindul az anyagáramlás. A rendszer "újjaszületett"!

A hézag alatt — két óránál rövidebb keringési idejű rendszereknél — csak kétféle kataklizmikus típust ismerünk. Az ún. AM Herculis rendszereknél a fehér törpe erős mágneses tere megakadályozza akkréciós korong keletkezését, és az érkező anyagot akkréciós oszlopokban továbbítja közvetlenül a csillag mágneses pólusaira.

A másik rövid periódusú kataklizmikus típust az SU UMa csillagok alkotják, melyek akkréciós koronggal rendelkeznek. Rendszeres kitöréseik jellemzik őket a legjobban.

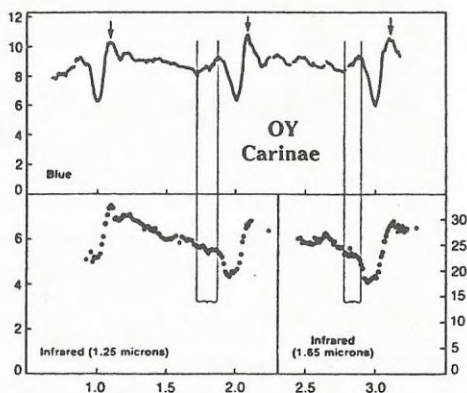
Szuper aktivitás

A kitörések azonban nem egyformák. Kétféle típus figyelhető meg, melyek rövidebb és hosszabb időtartamuk, valamint eltérő fényességük alapján jól elkülönülnek. Az SU UMa csillagok hosszú kitörései több mint egy hétig is tarthatnak (kb. 100 keringési periódus tartama). Ezeket hívjuk szuperkitöréseknek.

Az SU UMa csillagok különleges tulajdonságait elsőként Brian Warner írta le. Egy szuperkitörés során a fénygörbe szuperpúpot mutat, melyek 3–7%-kal hosszabb időközönként követik egymást, mint a csillag keringési periódusa. A szuperpúpok nem közöséges jelenségek, mivel a rendszer teljes fénykibocsátásának 30%-át is elérhetik. A "szuper" jelző különbözteti meg őket a fedési jelenség következtében mutatkozó "orbitális púptól", melyek a törpe nívók nyugalmi állapotában észlelhetők. Egy orbitális púp pontosan a keringési periódusnak megfelelően jelentkezik. A fényes, forró folttól származik, mely az akkréciós korong azon pontján keletkezik, ahová a vörös csillagtól áramló anyag beérkezik.

A rejtélyes szuperpúpok erőssége nem függ a kettős rendszerre való rálátás szögétől. Szuperpúpokat egyformán jól észlelhetünk a Z Chameleontis és az OY Carinae esetében, melyekre majdnem éléről látunk rá, mint a VW és a WX Hydri esetében, melyeknél közel "felülről" látunk rá.

Az OY Car három hullámhosszon készült fénygörbéi az 1985 májusi szupermaximum idején. A szuperpúpokat nyilak mutatják. A szuperpúpok a fedési minimum környékén jelennek meg. A minimum előtt az infravörös intenzitás csökken, míg a szuperpúp kék fénye nő. A függőleges tengelyen az intenzitás, a vízszintesen a keringési fázis látható



Minden szuperkitörés normális kitörésként kezdődik; egy-két nap után kezdődik az átmenet — ekkor a csillag 0,5-val fényesedik normális maximumfényessége fölé. A szuperpúpok a felfényesedés után néhány nappal jelennek csak meg.

A szuperkitörések 5–6-szor tovább tartanak mint a közönségesek — kb. 12 napig —, és fokozatosan ülnek el. A szuperkitörés vége felé az orbitális púp — vagyis a forró folt, melyet elnyomott a kitörés ragyogása — ismét láthatóvá lesz.

A forró folt, mely az anyag akkréciós korongba való érkezésének helyét mutatja, a kettős rendszerben mindig ugyanazon a pozíción van. Azonban fényessége nem a keringési periódussal változik, hanem a valamivel hosszabb szuperpúp-periódussal. Emiatt hívjuk őket késői szuperpúpoknak. Ezek 90°-os keringési fázissal eltolódtak a normális szuperpúpok legutolsó láthatóságához képest — ráadásul maguk a szuperpúpok nem tűnnek el a késői szuperpúpok megjelenésével...

Hogy a helyzet még bonyolultabb legyen, az optikai spektrum Doppler-eltolódásai valamilyen tömeg közeledő-távolodó mozgását mutatják a korongban. Azonban ez a mozgás nem az orbitális, hanem a szuperpúp periódus szerint zajlik.

Ugyancsak különös, hogy míg a szuperpúp-periódus kissé megváltozik egy szuperkitörés folyamán, addig az átlagérték kitörésenként ugyanaz marad, mintha a rendszer "emlékezne" az egy-két évvel korábbi szupermaximumra.

A probléma megoldása

Lássuk, mit tettek a csillagászok a probléma megoldása terén! A 70-es évek végén, a 80-as évek elején a kutatók számos modellt dolgoztak ki, azonban egyik sem képes valamennyi SU UMA-jellegzetességet megmagyarázni, ráadásul mindegyik komoly fizikai problémákkal terhelt.

Mindez részben annak köszönhető, hogy nem volt elegendő és megfelelő minőségű megfigyelés a szupermaximumokról. Ennek felismerése után két elméleti csillagász, G. Barth és R. Whitehurst munkacsoport hozott létre T. Naylor, B. Hassall, G. Someborn és a cikk szerzője bevonásával.

A legnagyobb problémát az jelenti, hogy a ritka szupermaximumok előrejelezhetetlenek. Rádásul minden esetben 1–2 nappal egy normális kitörés kezdete után jelentkeznek. Ennek megfelelően az észlelési anyag is meglehetősen hézagos volt.

Az amatőr változócsillag-észlelők felbecsülhetetlen segítséget adtak, mivel azonnal közölték velünk, ha célpontjaink, a Z Cha vagy az OY Car kitörése elkezdődött. Ezt a két csillagot azért választottuk ki, mivel a halvány vörös csillag okozta fogyatkozásokat esetükben jól használhatjuk mint a szuperpúpok és az akkréciós korongban megoszló fény indikátorait.

Minthogy mindkét csillag mélyen a déli égen látható, a riasztásokat Frank Batesontól, az új-zélandi RASNZ vezetőjétől kaptuk. Bár normálisan mindkét csillag túl halvány (15^m – 16^m -s) amatőr műszerek számára, kitöréseik során 11^m – 12^m -t érnek el, így szerény távcsövekkel is elérhetők. Nem tudom eléggé hangsúlyozni, milyen nagy segítséget jelentett az új-zélandi amatőrök munkája.

Munkacsoportunk az IUE és az EXOSAT űrobszervatóriumokat, továbbá földi óriástávcsöveket használhatott mérései során. Mindegyik eszközre jól előre kell észlelési időt igényelni, ám az időpontot csak akkor tudjuk megmondani, ha valamelyik célcsoport szupekítörése már megkezdődött. Ebben az esetben a mi észlelésünk kap prioritást a műszereket éppen használókhoz képest.

1985-ben nyílt arra lehetőségünk, hogy mind az OY Car-t, mind a Z Cha-t észlelhessük. Április végén jött az értesítés Frank Batesontól, hogy az OY Car maximumban van. Az IUE-vel és az EXOSAT-tal ultraibolya- ill. röntgenméréseket végeztünk, az ESO, a Dél-Afrikai Asztrofizikai Obszervatórium és az Angol-Ausztrál Obszervatórium műszereivel pedig látható és infravörös tartományban folytattunk észleléseket.

Meglepetések

Észleléseink meglepő eredményre vezettek. A röntgenkibocsátó régió nem lett elfedve, miközben tudtuk, hogy a fehér törpe viszont igen. Így a röntgensugárzásnak egy kiterjedt, forró koronából kell erednie, mely a korongon kívül helyezkedik el.

Az ultraibolya tartomány folytonos emissziója és színképvonalai csak részleges fogyatkozásra utaltak, ami arra vall, hogy legalább a sugárzás egy része olyan, nagyméretű területről származik, mely nem került elfedésre. Rádásul a forróbb emisszió nagyobb mértékben került elfedésre, mint a hűvösebb fény. Így forrása közelebb esik a fehér törpéhez, mint a hűvösebb anyag helyéhez. A hűvösebb ultraibolya sugárzás minden bizonnyal az akkréciós korongból kiinduló "szél"-ből ered.

Szuperpúp nem látható sem ultraibolya, sem röntgentartományban. Így a szuperpúpnak olyan helyről kell származnia, mely a "korong-szélnél" is jóval alacsonyabb hőmérsékletű. Az észlelt optikai és infravörös luminozitásarányból úgy találtuk, hogy a szuperpúp-sugárzás karakterisztikus hőmérséklete kb. 9000 Kelvin. Maga a szuperpúp nem kerül teljesen elfedésre, így nagy méretűnek kell lennie. Mérete valószínűleg összevethető az egész korong vetületével.

Szimulációs eredmények

Az észlelési programmal párhuzamosan Whitehurst azt az elméleti problémát tanulmányozta, hogy az akkréciós korong hogyan viselkedhet a Z Cha és az OY Car esetében normál és szuperkitörés idején. A gázáram viselkedésére vonatkozó szimulációk során figyelembe vette mindkét csillag gravitációs hatásait. Általában a vörös csillagot figyelmen kívül hagyják, mivel tömege csak egytizedét teszi ki a fehér törpének.

A vörös csillag figyelmen kívül hagyása ésszerű egyszerűsítés, ha a korong fehér törpéhez közel eső részére végzünk számításokat. Azonban mindez pontatlanságokhoz vezethet a korong külső részeinek modellezésében. És éppen ez a legfontosabb terület kitörések alatt, különösen, ha az anyagáramlást hosszabb időszakra kívánjuk tekintetbe venni.

Whitehurst elemzései azt mutatják, hogy egy normál kitörés során a korong a viszkozitálásában bekövetkező növekedés miatt kitágul, és ez a belső többletsúrlódás okozza a jelentős kifényesedést. Egy-két nap után, a jóval fényesebb stádiumban, a viszkozitás leesik, csökken a gáz korongon belüli súrlódása, és ez a korong összehúzódását ill. halványodását eredményezi.

Időnként a korong kitörése valahogyan instabilitást gerjeszt az anyagvesztő csillagban, ami megnöveli az áramlás ütemét, így több anyag kerül a korongba. Ez az anyag még jobban felduzzasztja a korongot, ezért ún. stabilitási sugara mögé terjed ki. Ekkor a korong már nem kör-, hanem ellipszis alakú, és precessziós mozgásba kezd ("támolyog"). De hogyan változhat egy precesszálo korong? Itt jut szerephez a vörös anyagvesztő csillag. Amikor a korong precessziója során épp a vörös csillag felé "mutat", a normális forró folt újra megjelenik a korong peremén. Azonban az elliptikus forma miatt a felszabaduló energia mennyisége a szuperpúp-periódus szerint változik, bár orbitális fázisa (az a hely, ahol az anyagáram a korongba érkezik) ugyanakkora marad. Mindez elég jól megmagyarázza a különös "késői szuperpúpokat".

Végül, ismét az elliptikus korongformának köszönhetően, megmagyarázhatók a korongon belüli anomális anyagmozgások. A hidegebb, elliptikus részek a forró, kör alakú belső részekre vetülnek. Emiatt a "hűvös" abszorpciós vonalakból meghatározott sebességek nem a fehér törpe keringését, hanem a külső korong elliptikus mozgását mutatják. Ismét jó az egyezés az elmélet és az észlelések között.

A tömegarány szerepe

A szimulációk jelentős előnye, hogy a rendszert egyetlen szám írja le, a két csillag tömegének aránya. Ha ezt az értéket a Z Cha észlelt tömegarányára állítjuk be, a modell jól megadja a korong precessziós periódusát.

Szuperpúpok nem észlelhetők a hosszabb periódusú kataklizmikus változók hosszú maximumaikor (pl. SS Cyg), mivel ezeknél a rendszereknél a két csillag tömege közel megegyezik. Ezekben az esetekben az a sugár, melyen belül az instabilitás elhelyezkedik, nagyobb mint az árapály-sugár (amelyen kívül az árapály szétroncsolná a korongot). Ennek eredményeként a korong külső régióit elveszti a rendszer, mielőtt annyira kiterjedhetnének, hogy a precessziós mozgás létrejöhetne.

PHILIP CHARLES
(Sky & Tel. 1989. jún. ford. Mzs)

Az iménti cikkben említett változókon kívül természetesen jóval több SU UMa típusú csillag "profi" megfigyeléseit segítették amatőr észlelők. Elsősorban a gyors információcsere értékelte fel az amatőrök munkáját. Mi is végzünk megfigyeléseket olyan csillagokról, melyeket hivatásos csillagászok szemelnek ki vizsgálataik célpontjává. A lehetséges célpontokat és észlelési intervallumokat rendszeresen közli az AAVSO Alert Notices, mely sok magyar AAVSO-tagnak is jár.

Különösen fontos, hogy az épp kitörésbe jutó csillagokról minél gyorsabban jussanak el megfigyeléseink (ha vannak) a tengerentúlra. A gyors továbbítást meg tudjuk oldani, azonban az is fontos, hogy észlelőink is soron kívül (tehát nem várva meg a havi beküldést) értesítsenek bennünket. Az Alert Notices csillagain kívül a hosszú ciklusidejű törpe nóvák (pl. UV Per, CH UMa, WZ Sge, T Leo stb.), és különösen a visszatérő nóvák (pl. T CrB, RS Oph, T Pyx stb.), továbbá a Z And típusú csillagok kitöréseivel kapcsolatos gyors híradás is kívánatos. Néhány különleges változó (pl. KR Aur, GK Per, V482 Sgr stb.) és valamennyi R CrB változó (R CrB, SV Sge, U Aqr stb.) aktivitása is fontos. Ha bármely, e szempontból érdekes változást vesznek észre megfigyelőink, lehetőség szerint azonnal jelezzék azt Mizser Attilának, a 186-2313-as telefonon (éjszakai órákban is). Az észleléseket — amennyiben helytállóak — haladéktalanul továbbítjuk az AAVSO-nak.

Változós hírek

Nova And 1988

A Nova And 1988-at (PQ And) D. McAdam fedezte fel 1988. márc. 21-i felvételein. A csillag besorolása eleinte kérdéses volt; égi helyzete miatt nehezen lehetett észlelni. Márc. 21.—júl. 9. között $10^m,0$ — $18^m,8$ között nóvaszerűen halványodott. G. Richter a sonnebergi lemezarchívumot átnézve további két kitörésre bukkant, melyek 1938 augusztusában ($11^m,0$) ill. 1967 márciusában ($10^m,8$) következtek be. Ennek alapján a PQ And vagy visszatérő nóva, vagy hosszú ciklusidejű U Gem csillag. (IBVS 3546 — Mzs)

Nova Muscae 1991

Az új nóvát a dánok WATCH elnevezésű, a teljes égboltot egyidejűleg vizsgáló röntgenkamerájával fedezte fel Soren Brandt. Feltűnésekor, január 9-én az égbolt második legerősebb röntgenforrása volt, s kb. kétszer "fényesebb" a Rák-ködnél. La Sillán (Chile) az ESO távcsöveivel 12-én és 13-án hiába készítettek mind jobb felvételeket a nóva feltételezett vidékéről, optikailag nem sikerült azonosítani az új nóvát. Egy nappal később talált rá Massimo Della Valle és Brian Jarvis. Korábbi ESO-felvételekkel összehasonlítva egy 16—17 magnitúdós csillagot azonosítottak nóvaként (minimumfényessége 21^m). Ugyanaznap éjszakán az NTT-vel készült CCD-felvételek már 13^m -sként mutatták.

A Nova Muscae 1991 a röntgen nóvák legújabb képviselője; további ilyen objektumok: V616 Mon (1975), V2107 Oph (1977), V822 Cen (1980), V404 Cyg (1989). A röntgen nóvák annyiban térnek el a klasszikus nóváktól, hogy "anyaggyűjtő" főcsillaguk nem fehér törpe, hanem neutroncsillag, esetleg fekete lyuk. Esetükben a neutroncsillagra hulló csillaganyag gravitációsenergia-felszabadulása okozza a felfényesedést (bár lehetséges, hogy termonukleáris folyamatok is szerephez jutnak). A kevesebb anyag jelenléte miatt nem jöhet létre olyan táguló héj, mely a klasszikus nóvákat jellemzi. Röntgen nóváknál a fényességnövekedés az akkréciós korongot fűti fel, mely az erős röntgen- és optikai kifényesedésnek a forrása. (ESO PR 91/1)