

# Gothard Jenő, a színeképelemzés magyarországi úttörője

Gothard Jenő a XIX. század utolsó két évtizedében Konkoly Thege Miklós mellett a magyar csillagászat egyik meghatározó alakja volt (l. Gotharddal foglalkozó korábbi cikkeinket: Új Gothard-bibliográfia, Meteor 2007/6., 54. o.; Gothard Jenő emlékezete, Meteor 2007/78., 94. o.). Rendkívül jelentős a csillagászati célú fotográfia területén végzett, úttörő jellegű munkája. Nem kevésbé fontos a XIX. század utolsó harmadának új tudományága, a csillagászati színeképelemzés területén kifejtett tevékenysége sem. A többnyire saját maga által készített vagy megfelelően átalakított spektroszkópokkal eleinte vizuálisan, majd fotografikusan rögzített csillag- és ködshíneképek tanulmányozásával olyan alapvető megállapításokat tett, melyek előrevetítették a nóvák és a planetáris ködök közötti, csak jóval később igazolt kapcsolatot.

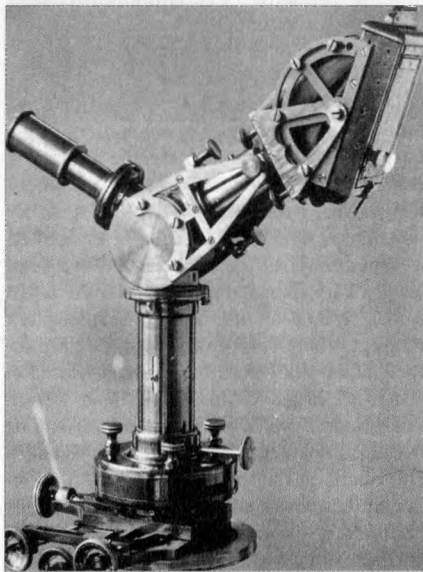
Az 1881-es alapítást követő másfél évtized a herényi obszervatórium aranykora. Gothard műhelyéből sorra kerülnek ki a jobbnál jobb csillagászati műszerek és eszközök, ezek közül sokat a legnevesebb európai obszervatóriumok (Heidelberg, Potsdam, Bothkamp) is használtak. Az eszközök általában nem egy, hanem két-három példányban készültek, s Gothard igyekezett a másodpéldányok árából fedezni a saját célra készített eszköz költségeit.

Gothard Jenő már az alapításkor világos tudományos célt tűzött ki új obszervatóriuma számára: az üstökösök és az emissziós csillagok színeképének vizsgálatát. Ennek megvalósításához rendelkezésére állt a Konkolytól vásárolt Browning-teleszkóp, a spektroszkópok azonban még nem, ezeket folyamatosan szerezte be (először főleg Konkolytól), illetve alakította át, de hamarosan elkezdte a saját tervezésű eszközök építését is. Így pár éven belül olyan arzenállal dolgozhatott, amivel már nemzetközileg is

értékelhető és publikálható eredményeket tudott elérni.

## Az első spektroszkópiai eredmények

Az első években az üstökös- és csillagshíneképek megfigyelése vizuálisan történt, de fotográfiai tudása gyarapodásával nagyon gyorsan áttért a spektrumok fotólemezzre történő rögzítésére. Az első laboratóriumi színeképet – ívkisüléssel elpárologtatott fémek (vas, cink és kadmium) spektrumát – 1884. december 26-án fényképezte le. A spektroszkópiai kísérleteihez még 1883 nyarán különböző anyagú prizmadákkal nagyon készült spektrumokat tartalmazó üveglemezeket kapott Victor Schuman lipcsei mérnökötől, s ezek alapján kezdte el tanulmányozni a törőközegek tulajdonságait, nem csak az optikai, de az ultraibolya tartományban is.



Gothard 9-es számú nagy spektrográfja 1886-ban

Első spektroszkópai megfigyelései üstökösökről készültek, s ehhez a témához később is többször visszatért. 1892-ben jó minőségű színeképfelvételt rögzített a Swift-üstökösökről. Ezirányú kutatásainak legjelentősebb eredménye szénhidrogének molekulásávjainak egyértelmű kimutatása az üstökösök színeképeiben.

## A $\gamma$ Cassiopeiae és a $\beta$ Lyrae spektroszkópiája

Gothard első, emissziós csillagokkal kapcsolatos publikációi két jól ismert és sokat vizsgált objektummal, a  $\gamma$  Cassiopeiae és a  $\beta$  Lyrae csillagokkal foglalkoznak. Előbbi a színeképelemzés története szempontjából is fontos objektum, hiszen Angelo Secchi a vatikáni obszervatóriumban már 1866-ban színeképet vett fel róla, s detektálta a hidrogén emissziós vonalainak jelenlétét.

Gothard az *Astronomische Nachrichten*-ben (AN) 1883–84-ben megjelent két publikációjában nagyon gondos, precíz leírást ad a színeképek megfigyelésének minden körülményéről, beleértve a meteorológiai feltételek részletes ismertetését is. A leírás alapján [spektrumfelvételek képi közlésére a korabeli nyomdatechnika miatt még nem volt lehetőség] a  $\gamma$  Cas színeképét a H $\alpha$  emissziója dominálja, ugyanakkor a H $\beta$  halvány, néha szinte észrevehetetlen, míg a D $_3$  vonal csak nagyon jó légköri viszonyok mellett figyelhető meg. Mivel ez a vonal közel esik a nátrium jól ismert D $_1$  és D $_2$  vonalához, először azt hitték, hogy szintén a nátriumhoz tartozik, innen ered a jelölés is. Valójában a neutrális hélium 587,6 nm-es vonaláról van szó. Érdekességként megjegyezhetjük, hogy Gothard még a publikációban is kiemeli, hogy három éjszakán Konkoly Thege Miklóssal és Than Károly műegyetemi professzorral együtt végezte az észlelést, sőt egyik éjszakán Konkoly-nak a H $\gamma$  vonalat is sikerült megfigyelnie. A vonalak hullámhosszának méréséhez szükséges kalibráló spektrumot, ahogyan az akkoriban általános volt, egy hidrogénnel töltött Geissler-cső szolgáltatotta, melyet egy Ruhm-

korff-féle szikrainduktorral gerjesztettek. A hivatkozott AN cikkben Gothard részletesen leírja, hogy az észlelés során hogyan rögzítette felváltva egymás után többször is a csillag, illetve a csőben gerjesztett hidrogén színeképét. December 21-én például a H $\beta$  vonalra 486,5 és 485,9 nm-et kapott a csillag, illetve a cső esetében.

A  $\gamma$  Cas a ma *Be csillag* elnevezéssel jelölt normál emissziós B csillagok tipikus képviselője. Ezen objektumok egyik legjellemzőbb tulajdonsága, hogy nagyon gyorsan forognak, a  $\gamma$  Cas esetében a  $v \sin i$  értéke majdnem 300 km/s. (A Nap esetében az egyenlítő menti rotációs sebesség csak 2 km/s!) A gyors forgás következtében a Be csillagok erősen lapultak, s a nagy centrifugális erők miatt jelentős egyenlítői anyagkiáramlás jellemzi őket. Ez az eltávozott, hidrogénben gazdag anyag aztán egy forgó, lapult korongban gyűlik össze a csillag körül. Ez a korong az oka annak, hogy a színeképben a hidrogén vonalai emisszióban jelennek meg. A  $\gamma$  Cas esetében a korong körülbelül 17 csillagrádiuszig terjed. Az emissziós Balmer-vonalak a Be csillagoknál jellegzetes profilokat mutatnak. A részleteket nem taglalva a különböző vonalprofilok létrejötte egy nagyon egyszerű geometriai modell keretein belül úgy magyarázható, hogy a csillagok körüli korongokra különböző szögek alatt látunk rá. Ha ez a látószög viszonylag nagy, akkor üvegnyak alakú vagy dupla csúcú emissziós profil jelentkezik, míg ha közel éléről látjuk a korongot, akkor az emisszióban egy mély centrális abszorpció is megfigyelhető. A hidrogén vonalaival ellentétben a hélium vonalai a csillag felszínéhez jóval közelebb gerjesztődnek.

A korai spektroszkópai vizsgálatok másik jelentős célobjektuma a  $\beta$  Lyrae. Az észlelések során Gothard mind a hidrogén, mind a hélium vonalai esetében nagy amplitúdójú intenzitásváltozásokat figyelt meg. Értékelése szerint a változások olyan nyilvánvalóak voltak, hogy semmiképpen nem okozhatta őket valamilyen légköri zavar. 1884 folyamán a hélium D $_3$  vonalát körülbelül 30

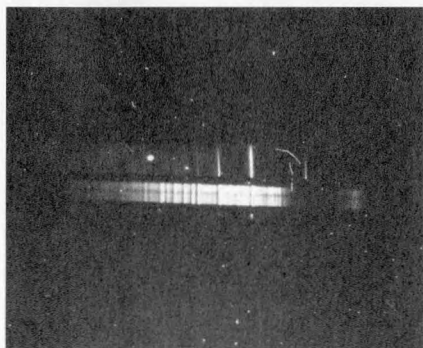
alkalommal észlelte, s így azt is észrevette, hogy a fenti változás valószínűleg periodikus, az általa becsült a periódus pedig 7 nap körüli.

Ma már természetesen tudjuk, hogy ez jó felismerés volt, bár a valódi periódus majdnem kétszerese a Gothard által megadottnak, körülbelül 12,9 nap, ráadásul változik is. A  $\beta$  Lyrae a fedési kettősök egyik legismertebb képviselője, azon belül is a kölcsönható, ún. félig érintkező szoros kettősök csoportjába tartozik. Az egyik komponense egy B7V színképtípusú kékes-fehér törpe (ezt látjuk), a másik pedig egy jóval nagyobb tömegű, A8V színképtípusú fősorozati csillag. A rendkívüli közelség miatt a komponensek alakja is torzult, sőt a kisebb tömegű kitölti az ún. Roche-térfogatát, így folyamatosan anyagot ad át a másik komponensnek. Ez az anyag egy ún. anyagbefogási (akkréciós) korongban gyűlik a nagyobb komponens körül, részben eltakarva azt. Ebben az anyagbefogási korongban gerjesztődnek a hélium emissziós vonalai.

## Nova Aurigae 1892

A XIX. század utolsó nívóját 1892. január 24-én fedezte fel a skót Thomas D. Anderson az Auriga csillagképben. Ma már megszokott dolog – nem utolsósorban éppen a XIX. század vége felé elkezdett felmérő munkáknak köszönhetően –, hogy egy új objektum felfedezésekor ellenőrzik az archívumokban, hogy a korábbi felvételeken találnak-e valamit azon a helyen (lásd SN 1987A). A Nova Aurigae minden bizonnyal az első felfedezések között van, ahol ezt megtették, s a kutatás sikerrel is járt, hiszen a Harvard Obszervatórium kamerája által 1891 decemberében készített felvételen az adott helyen azonosítható a csillag, ami később a T Aurigae jelzést kapta. A nóva 3,8 magnitúdós maximális fényességet ért el, majd ezt követően körülbelül 100 nap alatt 3 magnitúdót halványodott, március közepe után egyre gyorsabban. A nyár során megfigyelésre kedvezőtlen helyzetben volt, csak augusztusban lehetett újra észlelni.

A spektroszkópia történetében ez az objektum volt az első nóva, melynek színképét fotólemezen is rögzítették. A színképek mindenki számára legmeglepőbb tulajdonsága a spektrumvonalak elmozdulása volt! A nóva „népszerűségére” jellemző, hogy 1892 és 1900 között 79 olyan publikációt találunk, melynek a címében szerepel a „Nova Aurigae”. (Egy ilyen keresést ma már a NASA ADS rendszerével másodpercek alatt kivitelezhetünk.) A publikációk szerzői között a kor szinte összes ismert csillagászt megtaláljuk, csak néhány név: Karl Schwarzschild, Edward E. Barnard, Hermann C. Vogel, Edward Pickering, William Huggins, William Campbell, Edward W. Maunder, Max Wolf. Természetesen ott van közöttük Gothard Jenő is.



A Nova Aurigae spektruma az összehasonlító színképpel

Gothard az új csillagot a rossz időjárás miatt először csak február 8-án tudta észlelni, akkor is csak vizuálisan. 10-én már a 8-as számú nagy spektroszkóppal is meg tudta figyelni, sőt 13-án és 14-én a vizuális észlelések mellett 30-tól 90 percig terjedő expozíciós idővel le is fényképezte a spektrumot. A megfigyeléseket az ősz folyamán a Browning-teleszkópra szerelhető objektívprizmával és a 9-es számú nagy spektrográfiával folytatta. A megfigyelt és rögzített színképekben 40–43 fényes és 10–12 sötét vonalat tudott felismerni.

Mivel addigi spektroszkópiai tevékenysége során számos más egzotikus objektum, főleg planetáris ködök és Wolf-Rayet-csillagok

színképét is rögzítette, az összevetés során feltűnt neki, hogy meglepően sok hasonlóság tapasztalható ezen objektumok és a Nova Aurigae spektruma között. Ezután célzott (objektívprizmás és egyedi) megfigyeléseket is végzett mind a planetáris ködök, mind a nóva spektrumára vonatkozóan. Ezen munka eredményeit a nemzetközi csillagászati közösség számára egy angol és két német nyelvű cikkben foglalta össze.

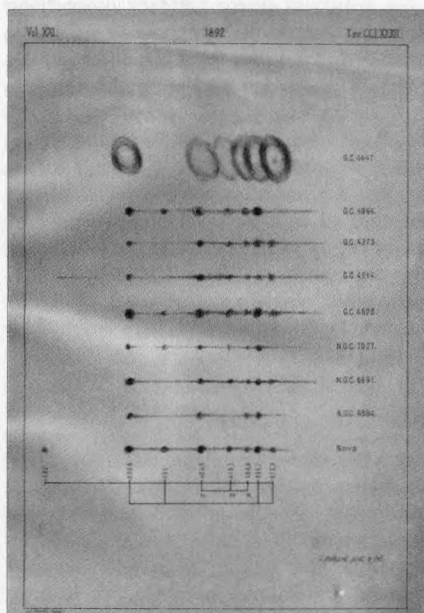
Gothard megfigyelései szerint a planetáris ködök színképei nagyon hasonlítanak egymáshoz, eltérés legfeljebb a vonalak relatív intenzitásában figyelhető meg. Minden köd színképében három vagy több hidrogénvonal azonosítható, de mindegyik planetáris ködnél észlelhető a ködökre jellemző két karakterisztikus vonal, az 500,7 nm-es és a 386,7 nm-es ún. ködvonalak. Sok esetben azonosítható a 372,7 nm-es ködvonal is, de ez a planetáris ködök színképében sokkal halványabb, mint a nagy diffúz ködök spektrumában. Az összehasonlítás alapján a Nova Aurigae színképében az összes, a planetáris ködök spektrumára jellemző vonal megtalálható, közöttük szinte lehetetlen különbséget tenni. A többé-kevésbé elkülöníthető kontinuumért a köd magja felelős, míg a vonalas színképet a magot körülvevő kiterjedt burok hozza létre.

*...the spectrum not only resembles, but that the aspect and the position of the lines show it to be identical with the spectra of the planetary nebulae. In other words, the new star has changed into a planetary nebulae.*

Ez az egyik első megállapítás a szakirodalomban, ami a nóvák és a planetáris ködök közötti genetikus kapcsolatra utalt.

Ma már tudjuk, hogy a planetáris ködök spektrumát ún. tiltott emissziós vonalak dominálják. Ezek olyan vonalak, melyek normál laboratóriumi körülmények között nem jöhetnek létre, gerjesztésükhöz a planetáris ködökben uralkodó extrém viszonyok szükségesek. Ezek közül a legfontosabbak az egyszerűen illetve kétszeresen ionizált oxigéntől származó 372,7 és 500,7 nm-es tiltott vonalak, illetve a H $\alpha$  környékén a neutrális oxigéntől és az egyszerűen ioni-

zált nitrogéntől származó tiltott vonalak. A planetáris ködökben a tiltott emissziós vonalak létrejöttéhez szükséges gerjesztések elektronokkal történő rugalmatlan ütközések következményei. Az említetteken kívül észlelhetők még a neon, argon és kén tiltott vonalai is, illetve hidrogén és a hélium emissziós vonalai is, melyek szabad elektronok befogása utáni átmenetek során keletkeznek.



*Gothard egyik legjelentősebb eredménye a nóvák és a planetáris ködök színképének hasonlóságáról*

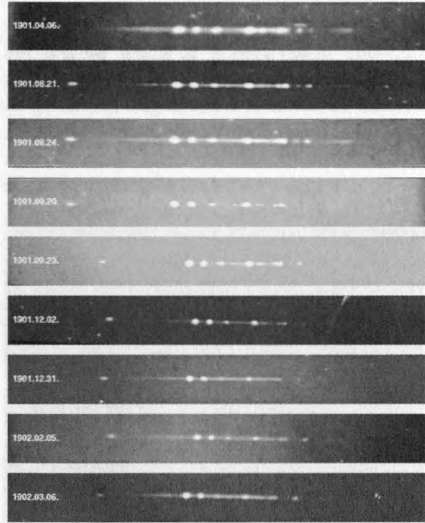
A nóvák a mai elképzelések szerint kölcsönható kettőscsillagok, melyek egyik komponense egy fehér, a másik pedig egy vörös törpe. Az ún. Roche-térfogatát kitöltő vörös törpe a rendszer belső Lagrange-pontján keresztül folyamatosan anyagot ad át a másik komponensnek, ami az impulzusnyomaték megmaradása miatt egy akkréciós korongban spirálozik annak felszíne felé. A folyamat során a fehér törpe körül egy hidrogénben gazdag burok épül fel. A nagy nyomás és hőmérséklet miatt azonban egy kritikus tömeg elérése után a burokban

begyullad a hidrogén, s robbanásszerűen héliummá alakul. A közben felszabaduló óriási energia pedig ledobja a külső rétegeket, amik aztán később a planetáris ködökre nagyon hasonló ionizált gázfelhőként figyelhetők meg. (Maguk a planetáris ködök teljesen más módon, az aszimptotikus óriáság tetejére fejlődő, felfúvódott vörös óriáscsillagok erős tömegvesztése ill. a folyamat végén feltáruuló forró csillagmag ionizáló sugárzása által jönnek létre.) A nóvarobbanás során a csillagok maguk általában nem semmisülnek meg, ezért a robbanás többször is megismétlődhet. Ha az ismétlődés néhány év-évtized időskálán játszódik le, akkor visszatérő vagy rekurrens nóvákról beszélünk.

### Nova Persei 1901

Az 1890-es évek közepére Gothard érdeklődése fokozatosan más területek felé fordult. 1894/95-ben közvetlen közreműködésével építették fel Magyarország első vízerőművét a Rába folyón, a Vas megyei Ikervár mellett. Ő lett az itt termelt elektromos energia hasznosítására létrehozott részvénytársaság műszaki igazgatója is, de az irányítás mellett elektromos eszközök és berendezések tervezésével és szabadalmaztatásával is foglalkozott. 1896 első felében és 1905 nyarán a röntgensugárzás tanulmányozása közben több tucat röntgenfelvételt készített különböző tárgyakról, elhalt élőlényekről, illetve mesterének és önmagának kezéről.

1901. február 21-én azonban olyan dolog történt, ami rövid időre ismét a csillagászat felé fordította figyelmét. A Nova Aurigae-t felfedező Anderson egy újabb nóvát talált a Perseus csillagképben. A két nappal korábban készült Harvard-lemezekon az objektum még csak 13 magnitúdós volt, de nagyon rövid idő alatt 10 magnitúdót fényesedett. Átszámítva ez majdnem tízezerszeres luminositás-növekedést jelent. Maximális fényességét 0,2 magnitúdóval a felfedezés után érte el, majd ezután gyorsan elkezdett halványodni, s május végére már csak 5–6 magnitúdós volt. A halványodás



*A Nova Persei 1901 és 1902 folyamán készített színeképei*

nem volt egyenletes, a nóvák mintegy harmadára jellemző, körülbelül 0,5 magnitúdó amplitúdójú és 4 nap körüli periódusú hullámmás rakódott rá. Az objektum ma GK Persei néven ismert.

Gothard a nóva észlelését február 28-án kezdte el, s egészen 1902 májusának közepéig folytatta azt. Készített színeképeket a 10 hüvelykes objektívprizmával és a 9-es nagy spektrográffal is. Eredményeit három cikkben közölte, melyek közül az elsőben a kontinumban megfigyelhető, körülbelül 9 nap periódusú változásról számol be. A másodikban közli, hogy a nóva színeképében sikerült detektálnia a planetáris ködökre jellemző 386,7 nm-es vonalat is (ez a kétszeresen ionizált neon tiltott vonala), míg a harmadikban jelzi, hogy április hatodikától a hidrogén vonalaiban említésre méltó változás nem tapasztalható, a ködvonalak azonban fényesebbek lettek. Említést tesz egy olyan fényes vonalról, amivel eddig még nem találkozott, illetve arról, hogy a korábban említett periodicitást nem sikerült megerősíteni.

*Kovács József*