

MIRE A NAP MEGVÉNÜL

Kiss L. László[†]

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet
laszlo@physics.usyd.edu.au

Napunk csillagászati értelemben kis tömegű törpecsillag, amely önszabályzó termonukleáris erőműként megteremti életünk fizikai alapjait. Cikkünkben áttekintjük a Naphoz hasonló csillagok fejlődését, a kapcsolódó jelenségek hátterét és következményeit, illetve megpróbáljuk elképzelni, milyen lesz a mai Naprendszer kb. 7,6 milliárd év múlva, amikor központi csillagunk vörös óriássá felfúvódva a Föld jelenlegi pályaméretét meghaladóan kitágul.

Pillantás a Nap belsejébe

Napunk a csillagászat egyik legfontosabb etalonja, hiszen tömegét, sugarát, kisugárzott fényteljesítményét (luminozitását) általában ezen mennyiségek egységként használjuk: így beszélünk tizenöt naptömegű (M_{Nap}) fekete lyukakról, ezer napsugarú (R_{Nap}) vörös szuperóriásokról vagy éppen százezer napluminozitású (L_{Nap}) hiperóriás csillagokról. Legközelebbi csillagként az asztrofizikai elméletek legfontosabb kalibrációs tesztobjektuma, melynek fizikai jellemzői igen pontosan ismertek. A közelség miatt felszíni részletei nagy szögfelbontással tanulmányozhatók, a Nap által kibocsátott fotontenger színképi elemzése igen érzékeny vizsgálatokat tesz le-

hetővé. Mindezek együttesen a *csillagfejlődési elméletek* nagyon pontos kidolgozását is eredményezték, így általában véve a csillagok evolúciójában is egyfajta etalon a Nap, melynek jelenlegi állapotából nagy pontossággal rekonstruálhatjuk a Nap típusú csillagok múltját, illetve előre jelezhetjük jövőjüket.

A csillagok kezdeti tömegfüggvénye, azaz a különböző tömegű csillagok gyakorisága egy egyszeri csillagkeletkezési esemény során, széles tömegtartományon keresztül jól közelíthető egy hatványfüggvénnyel, melynek a kitevője -2 közelébe esik (Salpeter, 1955; Kroupa, 2002). Ez azt jelenti, hogy a csillagkeletkezés folyamatai a kis tömegű égitestek kialakulását részesítik előnyben, aminek következménye, hogy Tejútrendszerünk legtöbb csillaga a Naphoz hasonló vagy még kisebb tömegű törpecsillag. Ugyanakkor az is következik ebből, hogy ha Napunk szerkezetét és fejlődését megértjük, akkor a csillagok többségének sorsáról meglepően pontos információkat tudunk leszűrni az asztrofizika törvényeire alapozva. Mindez többek között azért is jelentős, mert a más csillagok körül keringő bolygókra vonatkozó forradalmi felfedezések az elmúlt tizenöt évben megmutatták, hogy a bolygórendszerek igen gyakoriak, például a csillagukhoz igen közel keringő, ún. forró Jupiter típusú óriásbolygók a Nap típusú csillagok legalább 3–4 %-ára jellemzők

(Butler et al., 2006). Azaz, Napunk jövője az idegen naprendszerek lehetséges sorsáról is sokat elárul.

Napunkra pillantva a különböző hullámhosszakon készült képek más és más tartományokat mutatnak be, melyek a forró naplégkör hőmérsékleti, ionizációs, mágneses stb. tulajdonságait teszik meghatározhatóvá. A színképelemzés rendkívül hatékony módszere segítségével nagyon pontosan megállapíthatjuk a látható fényt kibocsátó tartományában mintegy 5800 K hőmérsékletű gázanyag pontos összetételét. A felszíni hőmérsékletből, csillaglégköri paraméterekből viszonylag egyszerű feltevésekkel megbecsülhetjük a Nap belsejében uralkodó viszonyokat. Az asztrofizika korai eredménye, hogy Napunk magjában sok millió fokos hőmérséklet és hatalmas nyomás uralkodik, amely megteremti a fúziós reakciók stabil fennmaradását igen hosszú időn keresztül. Napunk anyagának kb. 73 %-a hidrogén, majdnem 25 %-a hélium, és a nehezebb elemek (csillagászati szóhasználatban ez utóbbiakat együtt fémeknek hívjuk) aránya valamivel kevesebb, mint 2 %. Jelenleg központi csillagunk magjának anyaga mintegy 15 millió fokos hőmérsékletű és 150 ezer kg/m³ sűrűségű hidrogén és hélium keveréke, melyben a hidrogén folyamatosan héliummá alakul. Ebből a tényből két fontos következtetés vonható le: (i) Napunk jelenlegi állapotának élettartamát a fúzióra képes hidrogén mennyisége határozza meg; (ii) egy adott csillag magjának héliumtartalma igen érzékeny az égitest korára, tehát ha meg tudjuk becsülni a magbéli hélium arányát, hatékony korbecslési módszer hullhat ölünkbe.

Feltehető a kérdés: hogyan lehet következtetni Napunk vagy más csillagok magjának héliumtartalmára? A választ az *asztroszeizmológia* (a Nap speciális esetében helioszeizmo-

lógia) szolgáltatja, melynek módszerei nagymértékben hasonlítanak a geofizikusok szeizmikus vizsgálataiéhoz. Miként a földrendéshullámok terjedése bolygónk belsejében elárulja a mechanikai tulajdonságok változását egészen a Föld magjának határáig, ugyanúgy a csillagokban kialakuló állóhullámok frekvenciáinak megmérése, majd elméleti modellekkel való összehasonlítása is lehetővé teszi a csillagbelső szerkezetének feltérképezését. A pulzáló változócsillagok oszcillációi különösen akkor hasznosak részletes szeizmológiára, ha nagyon nagyszámú független rezgési állapot, ún. módus gerjesztődik egyszerre, ebben az esetben ugyanis a különböző hullámhosszú módusok eltérő mélységű rétegeket mintavételeznek (*1. ábra*).

A Naphoz hasonló csillagok szoláris oszcillációi kínálják mindeddig a legpontosabb módszert asztroszeizmológiára. A Napunktól nem túlzottan eltérő tömegű és hőmérsékletű égitestekben kb. a csillagsugar külső negyedét a *konvektív zóna* teszi ki, ahol a forrásban lévő vízhez hasonlóan forró buborékok emelkednek fel, majd lehülve, süllyednek vissza. A buborékok véletlenszerű mozgása által keltett nyomásváltozások (a csillag gázanyagának „bugyogása”) az egész csillagra kiterjedő olyan rezgéseket váltanak ki, melyek a konvektív gerjesztés nélkül erősen csillapított módusokhoz tartoznak. A Nap esetében ezek jellemzően ötperces periódusú oszcillációk, melyek valójában sok-sok ezer egyedi módus folyamatosan változó gerjesztése és csillapítása eredményeként figyelhetők meg.

Az asztroszeizmológia legmagasabb szintjét a szeizmikus inverzió jelenti, amelynek során a mért rezgési frekvenciákból meghatározzuk a csillag belsejében érvényes lokális hangsebesség értékét a központtól mért távolság függvényében. Mivel ez az érték a sűrűség,

[†] A Lendület Fiatal Kutatói Program egyik nyertes pályázója (a szerk.)

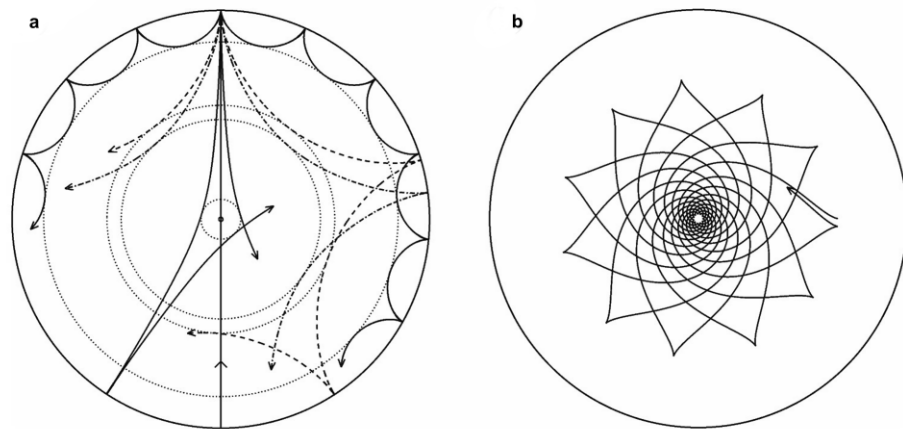
a hőmérséklet és a plazma átlagos molekuláris tömegével jellemzett kémiai összetétel függvénye, a teljes inverzióból olyan paraméterek is levezethetők, mint a csillagmag pontos mérete, az ionizációs állapotokban bekövetkező hirtelen változások pontos elhelyezkedése, a konvektív zóna és az alatta levő sugárzási zóna mérete, de még az egész csillag forgási állapotának változása is a mélység függvényében (a terület friss áttekintését lásd például Aerts et al., 2008).

A leg részletesebb vizsgálatokra mindeddig csak a Nap esetében kerülhetett sor, mivel még a legfényesebb közeli, Nap típusú csillagok szoláris oszcillációit is egészen a legutóbbi évekig szinte lehetetlen volt detektálni. Mára a helyzet alapvetően megváltozott, a nagyon érzékeny sebességmérések mellett az ultraprecíz *fotometriai űrtávcsövek* (CoRoT, Kepler) is beszálltak a Nap típusú csillagok mérésekkel nagy kihívást jelentő oszcillációinak tanulmányozásába. A Kepler-űrtávcső-

re vonatkozó részletes szimulációk alapján az asztroszeizmikus vizsgálatokkal valódi *precíziós asztrofizika* válik lehetségessé, hiszen a Nap típusú csillagok tömegét, sugarát és korát rendre 5 %, 3 % és 10 % relatív hibával meg lehet határozni (Kjeldsen et al., 2009). Mindezt a csillagok belső szerkezetére és fejlődésére vonatkozóan forradalmian új eredményekre fog vezetni a következő évtized elején. Érdeemes megemlíteni, hogy a kutatásokban az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetből is sokan részt vesznek a CoRoT és a Kepler asztroszeizmológiai tudományos konzorciumaiban.

A fejlődés útjai

Amennyiben kellő részletességgel ismerjük egy csillag pillanatnyi belső szerkezetét, a magjában zajló energiatermelés magfizikai folyamatai determinálják a későbbi állapotok alakulását. Érthető, hogy a különböző magátalakulási reakciók hatáskeresztmetszetei –

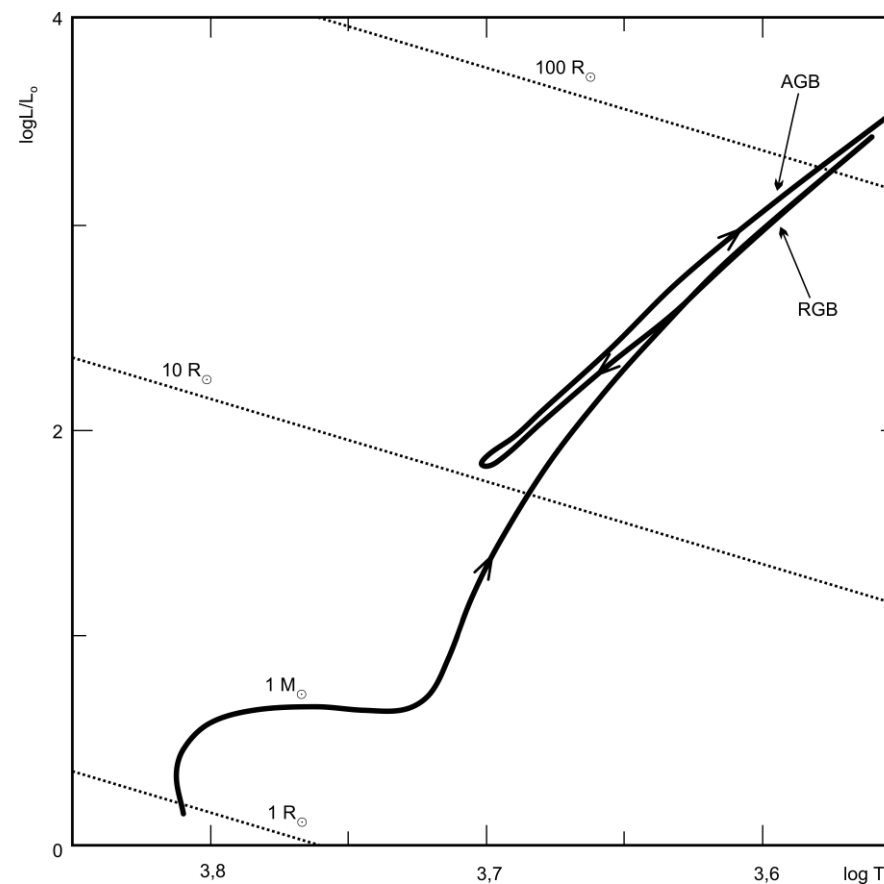


1. ábra • Hullámterjedés a Nap belsejében • a – a felszín közelében gerjedő nyomási hullámok (p-módusok) behatolási mélysége erősen függ a frekvenciától: minél nagyobb a frekvencia, azaz rövidebb a hullámhossz, annál inkább a felszín közelében marad az adott hullám. b – a mag közelében gerjedő g-módusok (amelyeknél a visszatérítő erő a gravitáció) nem képesek kijutni a csillag felszínéig (Kiss 2008).

melyeket a nukleáris asztrofizika mindmáig nagyenergiás kísérletekkel, illetve nagyon pontos számításokkal igyekszik pontosítani – kulcsfontosságú szerepet játszanak a fejlődési modellek technikai részleteiben. Nagy vonalakban azonban már bő fél évszázada ismerjük a csillagok fejlődését, aminek pontos lefutása elsősorban az égitestek kezdeti tömegétől függ. A Napunkhoz hasonló csillagok élettartama néhány milliárdtól néhány tízmilliárd évig terjed, végállapotuk pedig lassan hűlő elfajult törpecsillag, egy fehér törpe. Ezzel szemben például a 10–15 nap-

tömegű objektumok alig néhány millió év alatt elhasználják a fúziós reakciókra képes nukleáris üzemanyagukat, aminek bekövetkeztével roppant nagy energiafel szabadulással járó szupernóva-robbanás zárja fejlődésüket.

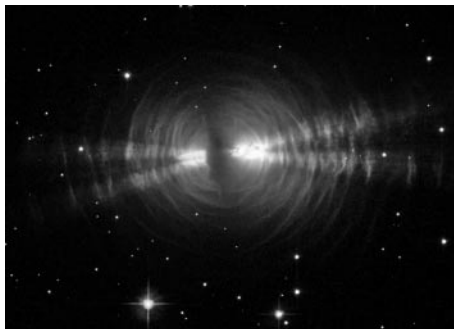
Az evolúcióra vonatkozó részletes modellszámítások alapján tudjuk, hogy minden csillag a luminozitást a hőmérséklet függvényében ábrázoló Hertzsprung–Russell-diagram (HRD) fősorozatán kezdi életét, amikor a magbéli hidrogén–hélium fúzió felelős az energiatermelésért. A kis és közepes tömegű csillagokban (kb. fél és öt naptömeg között)



2. ábra • Egy 1 naptömegű fémszegény csillag evolúciós útvonala a Hertzsprung–Russell-diagramon (Castellani et al., 2003 modelljei alapján).

a magbéli hidrogén elfogytával az energiatermelés kikerül a magból az azt övező hidrogén-égető héjba. Mindeközben a csillag megkezdí vándorlását a HRD jobb felső sarka felé, azaz luminozitása megnő, felfúvódik, hőmérséklete pedig lecsökken (2. ábra). Ekkor beszélünk (első) *vörös óriáságról* (Red Giant Branch – RGB), amihez jól meghatározott maximális luminozitás tartozik. A számítások szerint a csillagok tömegétől szinte teljesen független az RGB tetejének (tip of the Red Giant Branch – TRGB) luminozitása, ami így jól használható távolságindikátor is egyben. A TRGB-t a csillagok akkor érik el, amikor a héliummá átalakult magban beindul a hélium szénné való átalakulása; ehhez a csillag tömegének legalább 0,5–0,6 naptömegűnek kell lennie. A hélium fúziója szénné hirtelen kezdődik, ami érdekes módon a csillag összehúzódásával és felmelegedésével jár.

Amikor a magbéli hélium nagy része átalakul szénné, hasonló folyamat játszódik le, mint az első vörös óriáságra kerülés előtt: az

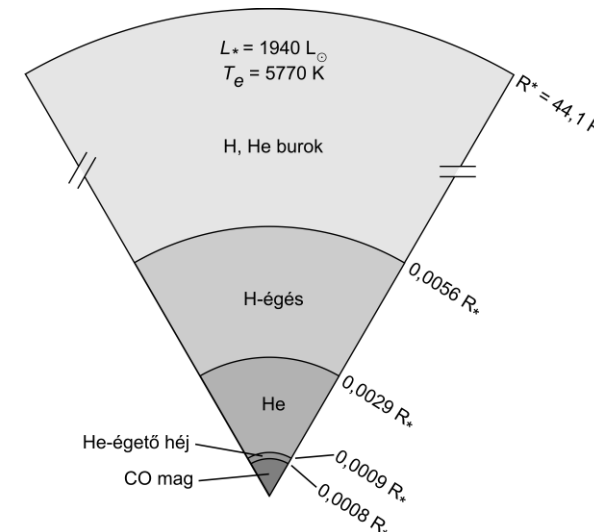


3. ábra • A Tojás-köd. A fák égvgyűriihez hasonló koncentrikus gyűrii az aszimptotikus óriáságon jelentkező, időszakosan erősebb tömegvesztési folyamatokra utalnak. A két átlós „fény sugar” a központi csillag fénye, ami a csillag körüli porburokból a sugarak irányában tud csak kijutni (NASA/HST/STScI).

energiatermelés újra kikerül a csillag magjából az azt övező, héliumban és hidrogénben gazdag héjakba. Ekkor a luminozitás újra megnő, emiatt a csillag újból felfúvódik vörös óriássá, hőmérséklete pedig ismét lecsökken 3000–4000 K közé. Ezt a második vörös óriáságot hívjuk *aszimptotikus óriáságnak* (Asymptotic Giant Branch – AGB), ahol a csillagok fejlődése markáns fordulóponthoz érkezik: a több száz napsugárra való kitágulás miatt a csillag anyagának külső részei igen távol kerülnek a tömegközépponttól, azaz a szökési sebesség néhány km/s-ra csökken le. Ilyenkor a legkisebb instabilitások is erős tömegvesztési folyamatokat indítanak el, amelyek végén a csillag tömegének jelentős része (akár 80–90 %-a is!) ledobódik, létrehozva egy lassan táguló gázfelhőt, amit a csupaszá váló, forró csillagmag intenzív sugárzása fénylére gerjeszt. Ekkor születik meg egy új *planetáris köd* (3. ábra), közepén a lassan hűlő, akkorra már általában szénből és oxigénből álló csillaggal, ami csillagászati léptéken rövid idő múlva a fehér törpék közé kerül, mindenféle további energiatermelés nélkül.

A 2. ábrán ezt az útvonalat láthatjuk egy naptömegű fémszegény csillagra, elméleti számítások alapján (Castellani et al., 2003). Az átlós vonalak jelzik az 1, 10 és 100 R_{Nap} sugarú csillagok helyét. Jól látszik, hogy a Napunkhoz hasonló csillagok kb. 200 R_{Nap} méretig fúvódnak fel, miközben hőmérsékletük 3500 K-re csökken. A modellek egyelőre bizonytalanok mind az RGB, mind az AGB tetején, ahol a tömegvesztés figyelembe vétele az elméleti számításokban rendkívül nehéz.

Napunk fejlődése jelenleg nagyjából félúton jár a fősorozati állapot kezdete és az aszimptotikus óriáság között. Az utóbbi állapotban lévő csillagok belső szerkezete nagyon



4. ábra • Egy $5 M_{\text{Nap}}$ tömegű AGB-csillag belső szerkezete. A magot övező héjak méretét meg kellett százszorozni az ábrázolhatóságához (Carroll – Ostlie, 1996 nyomán).

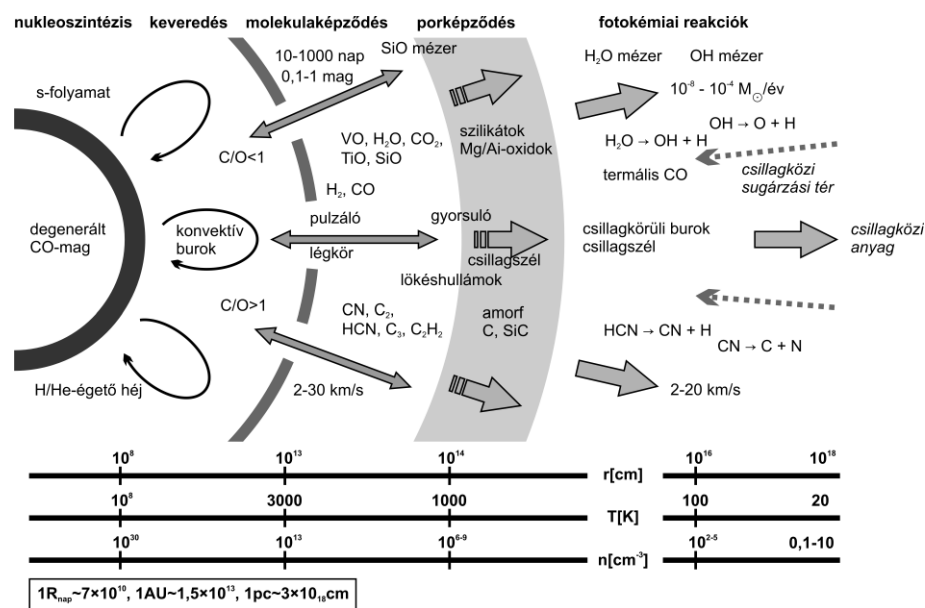
jellegzetes (4. ábra). Legfelül az energiát nem termelő, szénből és oxigénből álló mag van, amelynek mérete a csillag sugarának egy ezrelékét sem éri el. Körülötte hélium- és hidrogén-égető héjak találhatók, melyeket egy héliumból álló réteg választ el. A csillag méretének több mint 99 %-át a hidrogénből és héliumból álló felfúvódott burok teszi ki, amelynek nagy részében a konvektív energia-terjedés dominál. Utóbbi jelenti az egyik legnagyobb nehézséget a csillagok modellezésében, mivel a turbulens konvektív zóna viselkedésének kiszámítása a legnehezebb hidrodinamikai feladatok közé tartozik.

A jelenleg is válaszra váró sok kérdés oka a vörös óriáscsillagok rendkívül összetett viselkedése. A konvekció által dominált burok folytonosan megy át a csillagközi térbe, miközben a fotoszféra a Nap fotoszférájánál nagyságrendekkel vastagabb zóna. Eközben a csökkenő hőmérséklettel először molekula-, majd porképződés indul be, ami egyaránt

kíhat a pulzáció és a tömegvesztés dinamikájára. A csillag és burka sokszorosan csatolt rendszerként fogható fel, amelyben a pulzáció csak egy a sok ismeretlen között (5. ábra).

Érdeemes megjegyezni, hogy a vázolt csillagfejlődés fontos kísérőjelenségei a csillagok különböző instabilitásai. A vörös óriások tekintetében két alapvető instabilitás említhető meg: a pulzációs és az energiatermelési instabilitás.

A *pulzációs instabilitás* a csillagok periodikus kitágulásával és összehúzódásával kapcsolatos, amelyet hasonló folyamatok gerjesztenek, mint a többi klasszikus (pl. RR Lyrae és cefeida típusú) pulzáló változócsillagban. A nagy luminozitás és sugár, valamint a viszonylag kis tömeg következménye, hogy a pulzáció időskálája sokkal hosszabb, mint az említett klasszikus pulzáló változócsillagban. Míg egy száz napsugarú és nyolc naptömegű cefeida 15–20 napos periódussal tágul ki és húzódik össze, addig egy kétszáz napsugarú és egy



5. ábra • Az AGB-csillagok rendkívül összetett rendszerek. Ez a sematikus ábra kísérletet tesz a csillagmagtól a csillagközi térig terjedő tartományok elkülönítésére, a bennük lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok alapján (Josef Hron [Bécsi Egyetem] nyomán)

naptömegű vörös óriás 200–300 napos periódusokkal jellemezhető.

Ezzel szemben az *energiatermelési instabilitás* (héliumhéj-villanásként, illetve termális pulzusként is szokás emlegetni) a hidrogén- és héliumégető héjak időben változó viselkedéséhez köthető, jellemző időskálái néhány száz évtől százezer évig terjednek. Közvetlenül és emberi időskálán megfigyelhető hatásuk a pulzációs periódus változása, amely effektust mindeddig néhány vörös óriás változócsillagban sikerült kimutatni (például Gál – Szatmáry, 1995).

A Nap és a bolygórendszer távoli jövője

Noha emberi léptékkal a klímaváltozás és globális felmelegedés sokkal sürgetőbb probléma, nem érdektelen azt sem megvizsgálni, hogy mi fog történni Földünkkel, illetve a

Naprendszerrel ama távoli jövőbe eső állapotban, amikor a Napunk vörös óriássá fúvódik fel. Mintegy 4,6 milliárd évvel ezelőtt a Nap luminozitása a jelenleginek mintegy 70 %-a volt, azóta pedig a kisugárzott fényteljesítmény egyenesen növekedett a csillagfejlődés eredményeként. Meddig fog ez tartani, és milyen következmények várhatók?

Érdekes felismerés, hogy a válasz bizonytalanságát dominálótényező Napunk tömegvesztése, melynek becsült legnagyobb értéke viszonylag jól meghatározott. A tömegvesztés eredményeként a bolygópályák tágulni fognak, de például Földünk Nap általi elnyelésével kapcsolatban meglehetősen sok az elmentmondás a szakirodalomban. Egy nemrégiben megjelent tanulmány (Schröder – Connon Smith, 2008) szerint a jelenleg legpontosabbnak tekintett tömegvesztési modellek

az első vörös óriásági (RGB) Napra 0,332 naptömeg elvesztését jóslják, mintegy 7,59 milliárd év múlva. Ekkor Napunk sugara a jelenleginek 256-szorosa lesz, ami jelentősen nagyobb, mint most a Föld $215 R_{\text{Nap}}$ értékű pályasugara. Viszont csillagunk tömege szinte pontosan kétharmad részére csökken, aminek következtében a földpálya mérete mintegy másfélszeresére nő. (Érdeemes megjegyezni: Napunk később, az aszimptotikus óriáságon sem lesz ettől nagyobb, ugyanis addigra jelenlegi tömegének 45 %-át elveszti, maximális sugara az AGB-n alig $180 R_{\text{Nap}}$ körül várható.)

Noha ennek alapján azt gondolhatnánk, hogy Földünk meg fog menekülni, Klaus-Peter Schröder és Robert Connon Smith számításai szerint a hatalmasra nőtt Nap árpályhatásai, illetve a kiterjedt, jelenleginél sokkal sűrűbb alsó légkörének fékező hatása együttesen azt fogják eredményezni, hogy Földünk bespirálozik a vörös óriás Nap belsőjébe, ahol a fékezés megugrásával bolygónkra a teljes megsemmisülés vár. Viszont a jelenleg 1,15 csillagászati egységnél (1 csillagászati egység [CSE] a Föld átlagos távolsága a Naptól, kb. 149,6 millió km) távolabbi bolygók, azaz már a Mars is túl fogja élni a Nap maximális felfúvódását. Érdekes, hogy a tizenkét milliárd évnél lassú fejlődés után Napunk bolygóelnyelő fejlődési fázisa mindössze ötmillió évet vesz igénybe: ennyi idő alatt jut keresztül az egyre hidegebb, kései Nap fotoszférája a belső bolygórendszeren. Az RGB tetejét elérve begyullad a magbéli hélium, ami kb. százharminc millió évig fog ki-

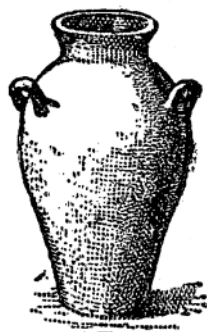
tartani. Ezután csillagunk elfejlődik az AGB-re, majd ennek tetejét elérve az utolsó nagy tömegvesztési hullám végén egy nagyjából fél naptömegnyi fehér törpét hagy maga után, egy rövid életű planetáris köd gerjesztésének látványos epizódjával.

Szintén izgalmas kérdés, hogy mi történik a Nap *lakhatósági zónájával*. Ez az a távolságtartomány csillagunk körül, melyen belül a földi típusú élet számára kedvezőek a körülmények (lásd Kereszturi Ákos tanulmányát e cikkgyűjteményben). Jelenleg a Naprendszerben kb. 0,9 és 1,4 csillagászati egység között húzódik a lakhatósági zóna, amit Földünk kb. egymilliárd év múlva a forró oldalon elhagy a Nap fejlődése miatt. Mintegy ötmilliárd év múlva a lakhatósági zóna 1,3 és 1,9 CSE között lesz, ami a kitágult földpályát nem fogja magában foglalni. Az RGB tetejét elérve a majdnem háromezerszeres luminozitás-növekedés eredményeként a lakhatósági zóna kikerül 50 és 70 csillagászati egység közé, azaz a Kuiper-öv jelenleg fagyott üstökös-magjai várhatóan mind elpárolognak az óriási Nap sugárözönében. A Jupiter és Szaturnusz jég-holdjai rövid időre óceánholdakká válnak, majd várhatóan azok is elpárolognak, s csak szilárd kőzetmagjuk éli túl a megvévült Nap néhány millió évig tartó fellángolását. Mire 130 millió évvel később újra vörös óriássá lesz csillagunk, addigra már csak egy kiégett és elpárolgott bolygórendszer maradványai kísérik végig a csillagfejlődés utolsó stációján.

Kulcsszavak: *asztrofizika, csillagfejlődés, Nap, vörös óriás, a Föld jövője*

IRODALOM

- Aerts, Conny et al. (2008): The Current Status of Asteroseismology. *Solar Physics*. 251, 3–20.
- Butler, R. Paul et al. (2006): Catalog of Nearby Exoplanets. *Astrophysical Journal*. 646, 1, 505–522.
- Carroll, Bradley W. – Ostlie, Dale A. (1996): *An Introduction to Modern Astrophysics*. Addison-Wesley, Castelli, Vittorio et al. (2003): Stellar Evolutionary Models for Magellanic Clouds. *Astronomy and Astrophysics*. 404, 645.
- Gál János – Szatmáry Károly (1995): T Ursae Minoris: A Mira Star with Rapidly Decreasing Period. *Astronomy and Astrophysics*. 297, 461–464. <http://adsabs.harvard.edu/full/1995A&A...297..461G>
- Kiss László (2008): Válogatás a változócsillagászat új eredményeiből. In: Benkő József – Mizser Attila (szerk.): *Meteor Csillagászati Évkönyv 2009*. MCSE, Budapest, 184–198.
- Kjeldsen, Hans et al. (2009): Measurements of Stellar Properties through Asteroseismology: A Tool for Planet Transit Studies. In: *Proceedings IAU Symposium No. 253*. Cambridge University Press, 309.
- Kroupa, Pavel (2002): The Initial Mass Function of Stars: Evidence for Uniformity in Variable Systems. *Science*. 295, 82–91.
- Salpeter, Edwin E. (1955): The Luminosity Function and Stellar Evolution. *Astrophysical Journal*. 121, 161–167. http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?bibcode=1955ApJ...121..161S
- Schröder, Klaus-Peter – Connon Smith, Robert (2008): Distant Future of the Sun and Earth Revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 386, 1, 155–163.



A CSILLAGÁSZAT AZ ŰRBE TELEPÜL – VAGY MÉGSEM?

Szabados László

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet
szabados@konkoly.hu

A csillagászati megismerés elsősorban a távcsöves megfigyeléseken és az azok során kapott adatok megfelelő értelmezésén alapul. Az Univerzumot hatalmas és kimeríthetetlen laboratóriumként is felfoghatjuk. Csakhogy ebben a laboratóriumban a jelenségek adott körülmények között zajlanak le, amelyeket a megfigyelőnek nem áll módjában megváltoztatnia – ellentétben más tudományágak, például a fizika, kémia, biológia laboratóriumi kísérleteivel. Az Univerzum mint különleges laboratórium sajátosságai közé tartozik az is, hogy az anyag szélsőséges, földi laboratóriumokban esetleg nem is reprodukálható körülmények között vizsgálható. A csillagközi anyag sűrűsége például nagyságrendekkel kisebb, mint a Földön előállítható legritkább vákuumban. A csillagok belsejében uralkodó nyomást és hőmérsékletet sem tudjuk földi anyaggal tartósan megvalósítani.

Az égitestek és az Univerzumban előforduló jelenségek vizsgálatát az is nehezíti, hogy a nagy távolság miatt egészen gyenge a tőlük hozzánk érkező jel. A csillagászoknak ezért természetes igénye az, hogy a megfigyeléshez használt távcső minél nagyobb átmérőjű legyen, az égbolt háttérfényessége pedig a lehető legalacsonyabb. Ez utóbbi szempont a civilizációs eredetű fényszennyezés elterjedé-

sével került előtérbe. A 19–20. században alapított csillagászati obszervatóriumok közül sokra (köztük a budapestire és a bécsire is) jellemző, hogy létesítésük idején még a város szélén vagy azon kívül voltak, de napjainkra belterületre esik a helyük, és a világvárosi fények erősen korlátozzák az ottani észlelési lehetőségeket.

A világtól távol, az Univerzumhoz közel

Egy-egy új obszervatórium helyének megválasztásánál ezért nemcsak a derült vagy felhőtlen éjszakák várható száma alapján döntenek, hanem az is lényeges szempont, hogy nagyvárosoktól és iparvidékektől minél távolabbra kerüljenek az érzékeny megfigyelőműszerek. Európában ma már nincs is megfelelő hely a kis felületi fényességű, ezért halvány galaxisok megfigyelésére. A 20. század utolsó évtizedeitől egyre gyakoribb, hogy az egyes országok nem saját területükön létesítenek csillagászati obszervatóriumot, hanem másutt – esetleg más kontinensen –, ahol a költséges távcsövek és az azokra szerelt detektorok hatékony működtetéséhez legkedvezőbb az asztroklíma.

Egy másik lényeges körülmény is amellel szól, hogy a távcsövek messzebbre kerüljenek. A csillagászat ugyanis a távcső feltalálását kö-