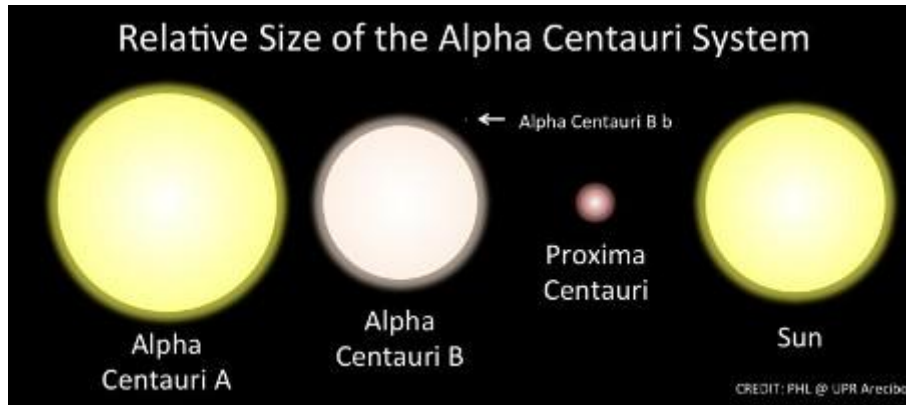


## A csillag- és bolygórendszerek.

A csillagok tömegének meghatározásánál már szó esett a kettőscsillagokról. Most részletesebben foglalkozunk velük.

Régóta tudjuk, hogy a csillagok jelentős részének van társa. Ezek kettős vagy többszörös rendszerek. Az  $\alpha$  Cen például három csillag együttese.

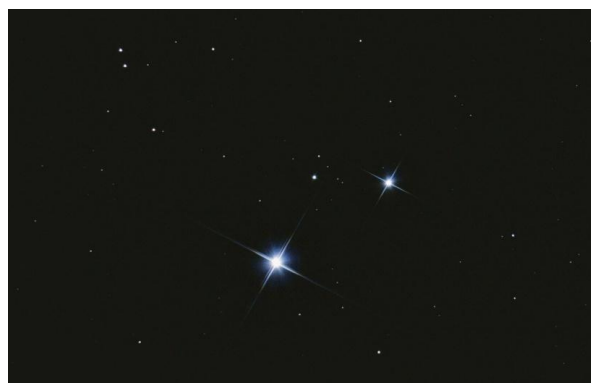


*A Nap (Sun) és az Alfa Centauri hármas rendszer csillagainak méretei. A Proxima (a legközelebbi – görög szó) csillagunk legközelebbi szomszédja. (Forrás: astronomytrek.com)*

A kettős, illetve többszörös csillagokat két csoportra oszthatjuk: *optikaiakra és valódiakra.*

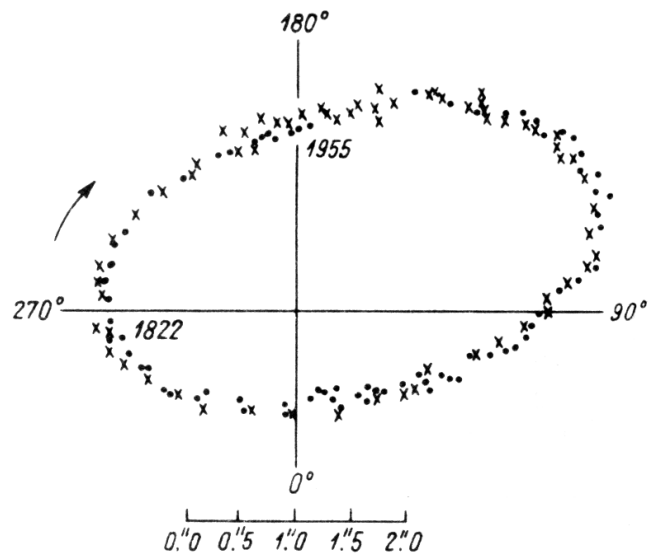
*Az optikai kettősök között nincs fizikai kapcsolat!* A csillagpárokat csak azért látjuk egymáshoz közel, mert a látóirányuk közel esik egymáshoz. Valójában a térben jókora távolság választja el ezeket – az emberi képzelet által szült csillagképek csillagjaihoz hasonlóan.

A *valódi kettősök* több csoportból állnak: *vizuális, fedési, spektroszkópai és asztrometriai kettősökből.* A vizuálisokról és a fedésiekről már volt szó. A vizuálisokat már egy kisebb teljesítményű távcsővel is megfigyelhetjük. Néhány látványosat említünk meg. A Nagy Göncöl rúdjának középső csillagát érdemes megnézni, a neve Alcor.



*Az Alcor és fizikai kísérője. (Forrás: asztrofoto.hu)*

A két csillagról készült megfigyeléseket az alábbi ábrán láthatjuk.

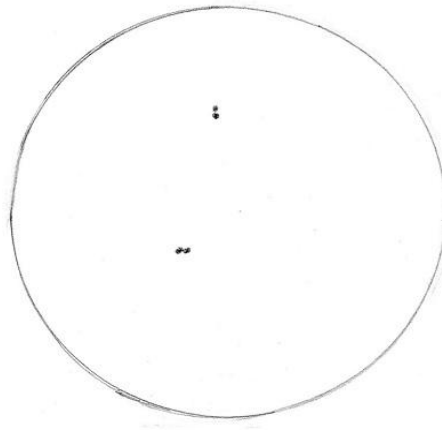


*A Zéta UMa kettőscsillag egyik komponensének pályája a másikhöz viszonyítva. A szögérték ívmásodpercben van feltüntetve. A pontok pedig a megfigyelt helyzeteket mutatják.*



*Egy másik látványos kettős a Béta Cygni (Hattyú), neve Albireo. A két csillag narancs és zöld színű. Richard Yandrick felvétele (APOD).*

Extra látványt nyújt az Epsilon Lyr (Lant), amely két egymáshoz közeli csillag (már egy kézi látcső is kettősnek mutatja). Nagyobb teljesítményű műszerrel pedig mindkét csillagról kiderül, hogy kettős rendszert alkot.

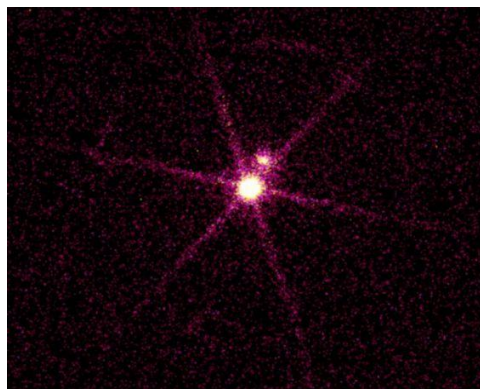


A róluk készült rajz. (Forrás: [physics.umanitoba.ca](http://physics.umanitoba.ca))

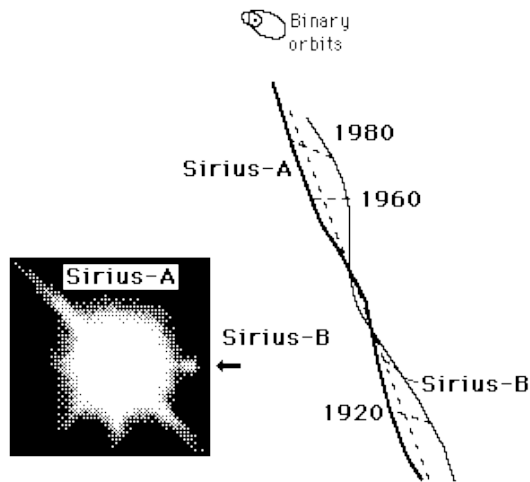
A *Csillagászat kistávcsövekkel* – szerzője Vizi Péter – számos kettőscsillagot sorol fel, sőt néhánynak a pályáját is feltünteti.

Távcsőben nem láthatjuk sem a fedési, sem a spektroszkópai kettős mindét tagját.

A *spektroszkópai kettős* olyan csillagpár, ahol a Doppler-effektus miatt periódikusan tolódnak el a két csillag színképvonalai egymáshoz képest. Csak ezzel a módszerrel lehet felfedni, hogy két csillagból álló rendszerről van szó. Az *asztrometriai kettősök* komponenseit sem látjuk a távcsőben. Azonban, ha figyeljük a fényesebb csillag égi háttér előtti útját, akkor azt vesszük észre, hogy az nem ív alakú lesz, hanem hullámvonal formájú. Ez csak úgy lehetséges, ha a csillagnak van egy – optikai értelemben vett – láthatatlan kísérője. Így fedezték fel a Szíriusz fehér törpe kísérőjét, melyet azután sikerült megörökíteni.

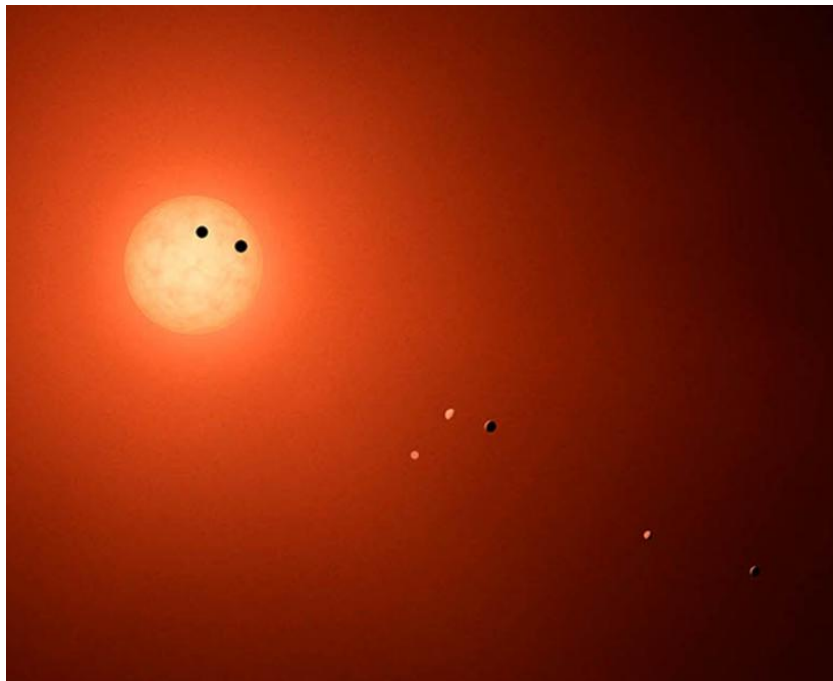


A Szíriusz A és B egy röntgentartományban készült képen. (APOD, NASA.)



*A bal oldali – optikai tartományban készült képen – látjuk a kísérőt. Mellette a két csillag mozgását figyelhetjük meg. (Forrás: APOD.)*

*A fenti megfigyelési módszer alapvető szerepet játszik a csillagok körül keringő bolygók (exobolygók) felfedezésében. A néhány évtizeddel ezelőtti mérés technika ezt nem tette lehetővé, de a mai precíz megfigyelések révén számos Naprendszeren kívüli bolygót sikerült kimutatni. A másik megfigyelési módszer pedig a fedési változók által adott lehetőség. Tehát a megfigyelt csillag korongja előtt elvonuló égitest vagy égitestek okozta fényváltozás mérése. Ezt alkalmazza a Keplerről elnevezett, a légkör fölött keringő űrtávcső. Ugyanígy a felszínen lévő távcsövek segítségével is sikerült sok új bolygót találni. A jelenlegi leltár (2017) szerint mintegy 3500 olyan bolygót tartunk nyilván, amelyek más csillagok körül keringenek.*



*2016 májusában fedezték fel ezt a hét bolygóból álló rendszert, amely egy 40 fényévre lévő csillag körül kering. A felfedezés a korábban említett fedés okozta fényváltozás alapján történt. A kép csupán illusztráció! (Forrás: NASA, JPL, Spitzer Space Telescope.)*

Egy négy bolygóból álló naprendszer láthatunk azon a kisfilmen, amely az APOD 2017. február 1. dátumnál található meg. A bolygók tömegét és pályáinak jellemzőit tudjuk jelenleg meghatározni. Az, hogy mi van a felszínükön, még homály fedi. Ehhez pontos és részletes színeképet kellene nyernünk. Így arról beszélni, hogy hol alakulhatott ki élet, nincs sok értelme. De már most kiszűrhetők azok az égitestek, amelyeken biztosan nem találunk a földihez hasonló létformákat.

Az univerzumban sok olyan csillagcsoportot láthatunk, melyek több ezer, de akár milliárdnyi csillagot tartalmaznak. Ám alakjuk, életkoruk gyökeresen eltérő. Ezek a *nyílt- és a gömbhalmazok*.

*A nyílthalmazok.*

A téli égbolton két látványos nyílt csillaghalmazt láthatunk szabad szemmel. Mindkettő a Bika csillagkép területén fekszik. Az egyik neve: *Hyadok*, a másik pedig a *Plejádok (Fiastyúk)*.



*A Fiastyúkról készült kép Éder Iván alkotása. Érdeemes megfigyelni a csillagok körül látható csillagközi felhőket.*



*A Hyadok (bal oldalon) a Bika fejének része. Tőle jobbra a Fiastyúk. Majoros Attila felvétele.*

Azért hívjuk ezeket nyílthalmazoknak, mert nincs határozott alakjuk, annak ellenére, hogy fizikailag összetartoznak. Méretük néhány parsec. A Fiastyúk 10 pc, a Méhkas pedig 4 pc méretű. Láthatunk tehát két olyan csillagcsoportot, amely segít elképzelni a csillagászatban használt távolságskálát. A halmazok népessége a néhány tucattól a több ezerig terjed. Az elhelyezkedésük fontos, hiszen az egész égbolton áthaladó Tejút sávjában találjuk meg ezeket. Azt szoktuk mondani, hogy a Tejútrendszer egyenlítői vidékéhez közel található. Ennek pedig kiemelt jelentősége van a csillagkeletkezés szempontjából. Többnyire gáz- és porfelhőket (lásd később) tartalmaznak. Gravitációs értelemben véve stabil képződményeknek tekinthetők. Így kialakulásuk nem úgy történt, hogy az egyik csillag tömegvonzása rabul ejtett egy másik csillagot, és így végül kialakult a látható népes csoport. Koruk néhány százmillió és milliárd év közé esik. Az M67 jelű halmaz kora 4 milliárd év. A nyílthalmazokat is szokás osztályokba sorolni (pl. egyedszám, kor) hasonlóan a csillagok színképtípus szerinti elrendezéséhez. (Bővebben lásd Marik Miklós szerk.: Csillagászat című könyvben.)

Egy ilyen csillagcsoport tagjairól joggal feltételezzük, hogy minden tagja azonos távolságra van tőlünk. Így a korábban ismertetett távolságmérésre alkalmas összefüggés így írható fel:

$$m - M = - 5 + 5 \cdot \log r = \text{állandó.}$$

Ennek figyelembe vételével felrajzolható minden halmaz HRD-je. A vízszintes tengelyen nem a színképtípus szerepel – mivel az egyes csillagok színképtípusát nehéz precízen meghatározni –, hanem a B-V színindex (lásd korábban).

Mielőtt mindezt részletesen tárgyalnánk, egy kis történelmi kitérőt kell tennünk.

*Charles Messier* (1730-1817) francia csillagász lelkes üstökös kutató volt. Számos megfigyelése kapcsán olyan objektumokra bukkant, amelyek ködös képet mutattak, de nem mozdultak el az égi háttér előtt, mint az üstökösök. Ezért úgy döntött, hogy ezekről egy katalógust készít. Így került a listára 110 objektum. Mindegyiket sorszámmal látta el. Pl. M 45 – a Fiastyúkot jelöli, az M 67 pedig egy másik nyílthalmaz a Rák csillagképben.



*Messierről készült festmény. (Forrás: wikipédia.)*

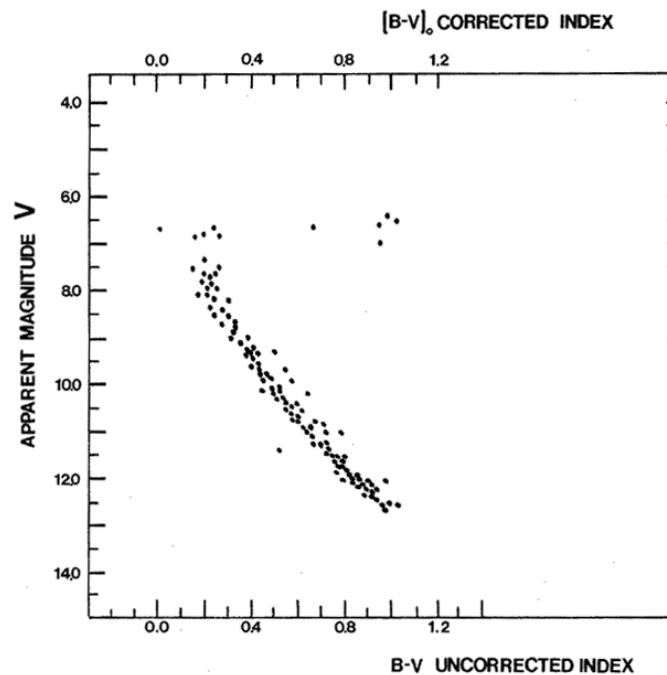


*A 110 objektumról készült tabló. (Forrás: wikipédia.)*

Ha valaki részletesen szeretne olvasni ezekről, akkor a Mallas és Kreimer által írt A Messier-album című könyvét kell beszereznie.

Ezek után érdemes megnézni az M 44 (Praesepe = Jászol) nyílthalmaz HRD-jét. Ez a csoport fényszennyezés mentes helyről szabad szemmel látható a Rák csillagképben.

### NGC 2632 (M44 - Praesepe)

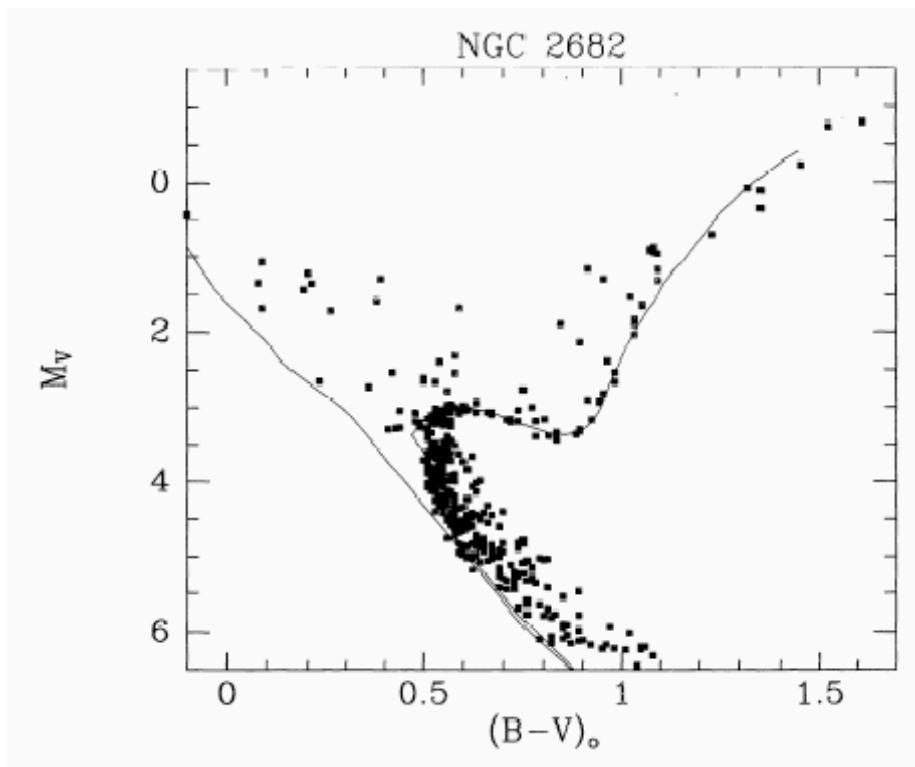


*A Praesepe szín-fényesség diagramja. A függőleges tengelyen a látszó vizuális fényesség, a vízszintesen pedig a színindex szerepel. (Forrás: rpi.edu)*

Az ábrára tekintve kiválóan látszik a fősorozat – ezek a törpecsillagok. A nagyobb fényességű csillagoknál azonban már egy jobbra „kanyarodás” vehető észre. Ugyanakkor már az óriáság képviselői is megjelennek.

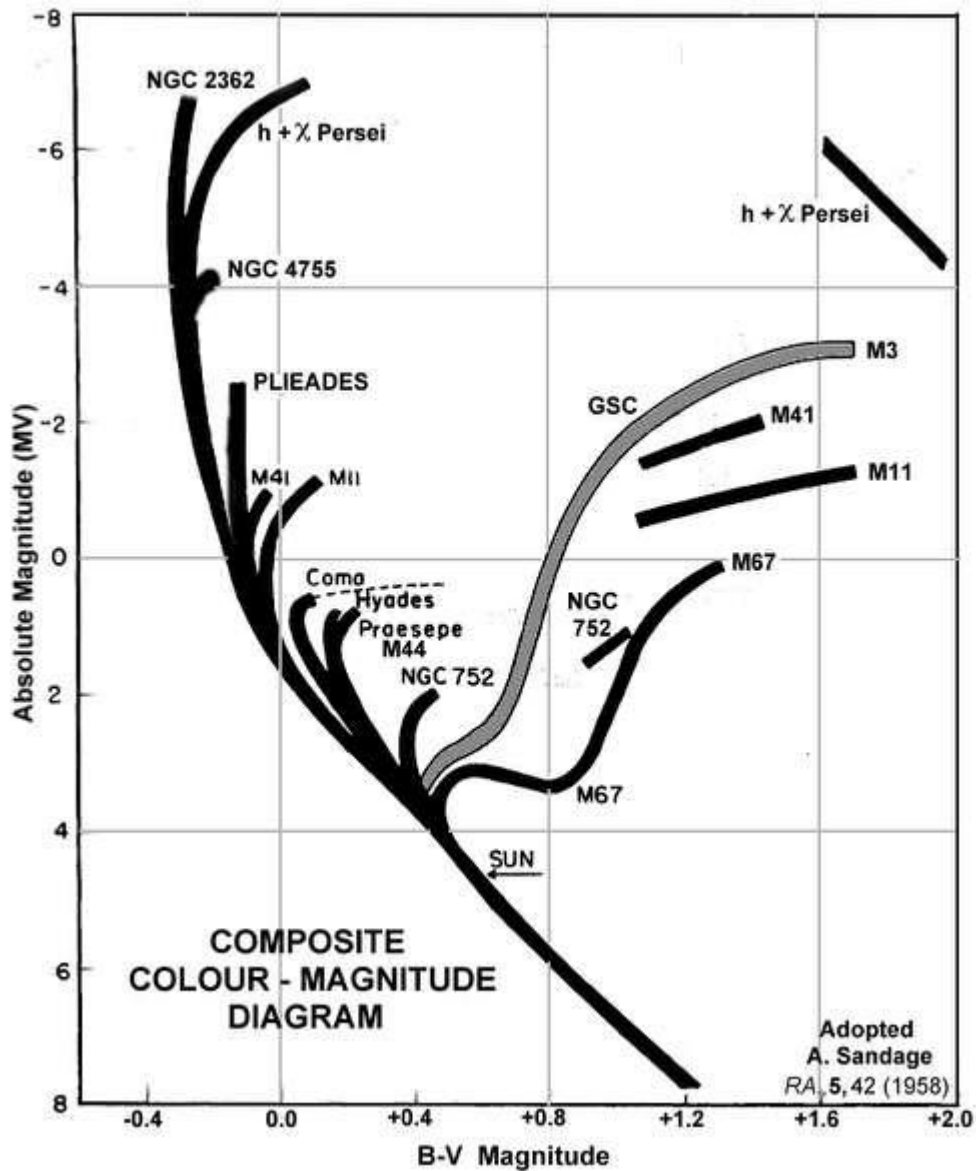
Az M 67-ről már említettük, hogy több milliárd éves csillagok alkotják. Van némi hasonlóság, de sok eltérést is láthatunk az M 44-hez képest.





*Az M 67 nyílthalmaz szín-fényesség diagramja. A főág szintén látszik, de az a bizonyos lekanyarodás jóval alacsonyabb fényességnél történik. Az óriáság is markánsabb. Az NGC jelzés pedig egy másik katalógus, New General Catalog sorszámát jelenti. (Forrás: [frigg.physastro.mnsu.edu](http://frigg.physastro.mnsu.edu))*

*A két nyílthalmaz szín-fényesség diagramjának összevetése arra utal, hogy a különböző nyílthalmazok csillagai több tekintetben is eltérnek egymástól. Így született meg az alábbi ábra, amely nagyon tanulságos, hiszen segítségével a csillagok korára lehet következtetni.*



Ha néhány nyílthalmaz HRD-jét egymásra illesztjük, akkor a fenti ábra jön létre. Jól látszik a közös főág. De a lekanyarodás más-más abszolút vizuális fényességnél következik be. Sok nyílthalmaznál az óriáság is megfigyelhető. Az egyes halmazok tagjai egyszerre születtek, de mindegyik halmaz életkora eltér egymástól. Ezért a szín-fényesség diagramjuk különböző. Sun = Nap. Az eredeti elképzelés Allan Sandage (1926-2010) USA-beli csillagásztól származik. (Forrás: southastrodel.com.)

Minél idősebb egy halmaz, annál alacsonyabb fényességnél kezdődik meg a főágról való leválás. Az NGC 2362 csillagai olyan ifjoncok, hogy mindegyikük a fősorozaton található. Ezért ennek főágát nullakorú fősorozatnak, nulla sorozatnak nevezték el.

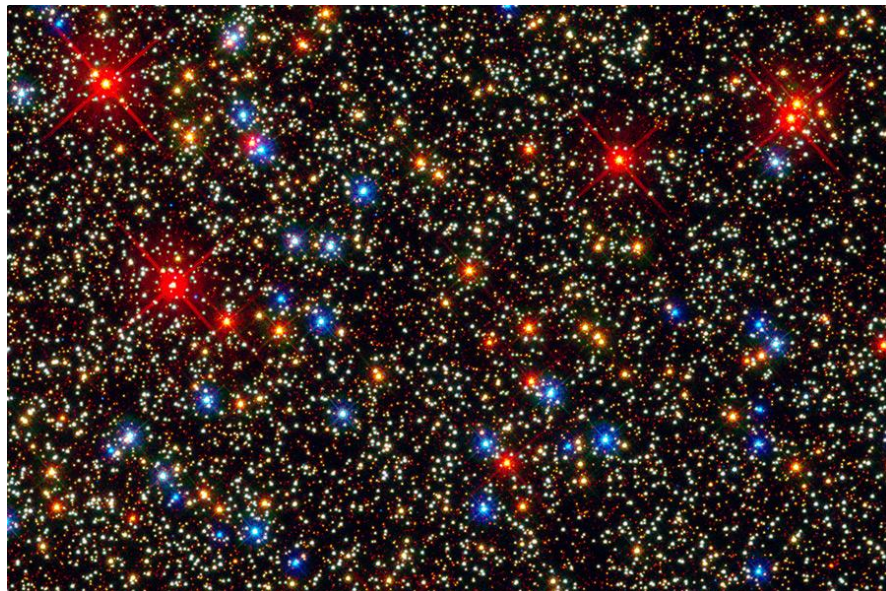
A különböző halmazok egymásra helyezett diagramjai egy tölcsérre emlékeztetnek, ezért ezt a csillagászatban tölcsér effektusként szokták emlegetni.

### *A gömbhalmazok.*

Csillagok tízezrei, sőt milliói egy gömb alakú térségben zsúfolódnak össze, innen ered a nevük. Az eddigi mérések szerint méretük 5 és 150 pc közötti. Gravitációs értelemben stabil képződmények. A nyílthalmazokkal ellentétben *nemcsak a Tejút egyenlítői vidékén, hanem attól jóval távolabb is találunk ilyen csillagcsoportokat.* A csillagsűrűség oly nagy, hogy ha a Föld egy ilyen halmaz közepén lenne, akkor a csillagok a telehold fényével világítanának. Fontos, hogy bennük nincsenek gáz- és porködök! Jogos a feltételezés, hogy egy gömbhalmaz tagjai egyszerre jöttek létre, de az egyes csoportok tulajdonságai egymástól eltérőek.

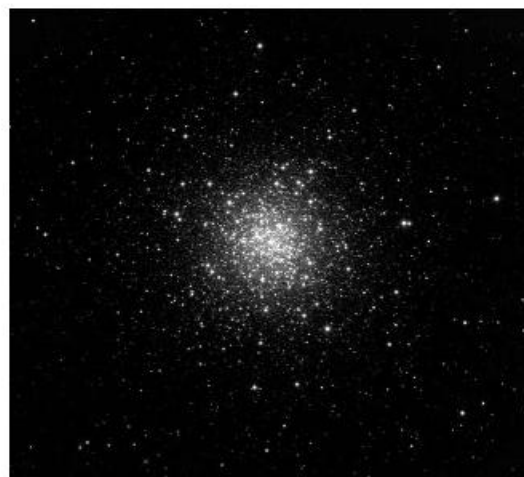
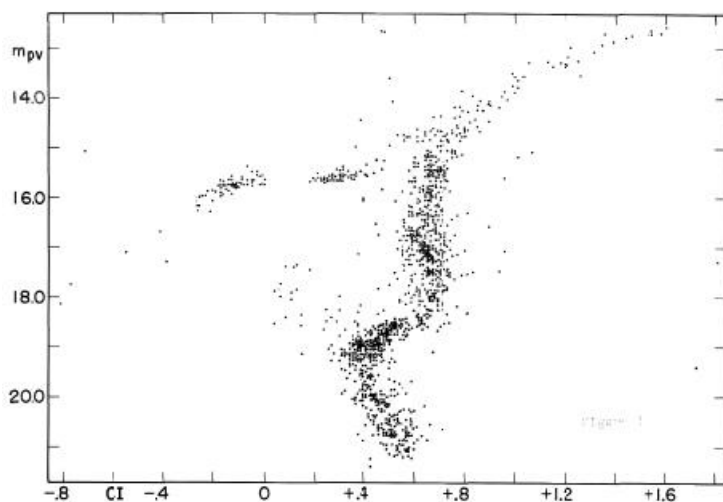


*Az M 13 jelű gömbhalmaz a Herkules csillagképben. A felvételt Éder Iván készítette. Érdemes figyelni a csoport központi sűrűsödésére.*



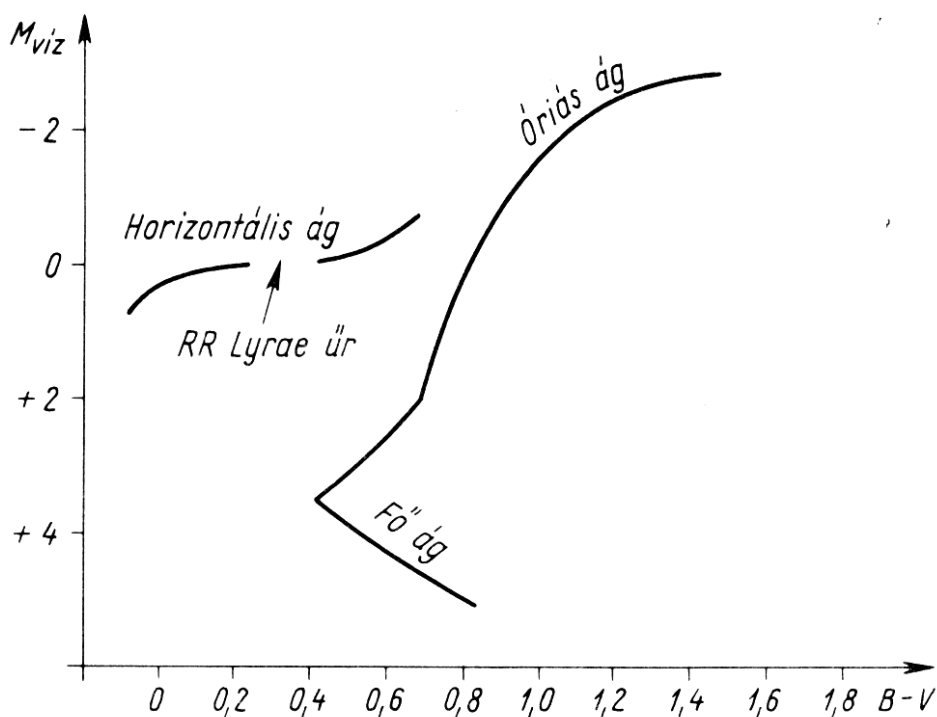
*Az Omega Centauri gömbhalmaz központi vidéke. A halmaz távolsága 15 000 fényév, 10 millió csillag zsúfolódik össze egy 150 fényév átmérőjű térrészben. Itt a csillagsűrűség 10 000-szer nagyobb, mint a Nap környezetében. Ez a gömbhalmaz a déli féltékről szabad szemmel is látható. A képet a HST készítette.*

A Tejútrendszerben 100-nál is több gömbhalmazt találtunk eddig, de más galaxisokban is sikerült ilyeneket felfedezni. Ezek HRD-je alapvetően eltér a nyílthalmazokétól. (Már a legutolsó diagramon is láthatunk egyet. Ez az M 3 halmazé.)



A bal oldalon az M 3 szín-fényesség diagramja (Allan Sandage). A jobb oldali fotón magát a halmazt látjuk. A kép a Mt. Palomar csillagdában készült.

Érdeemes még egy ábrát közölnünk, amely sok érdekességet mutat.



A gömbhalmazok tipikus HRD-je.

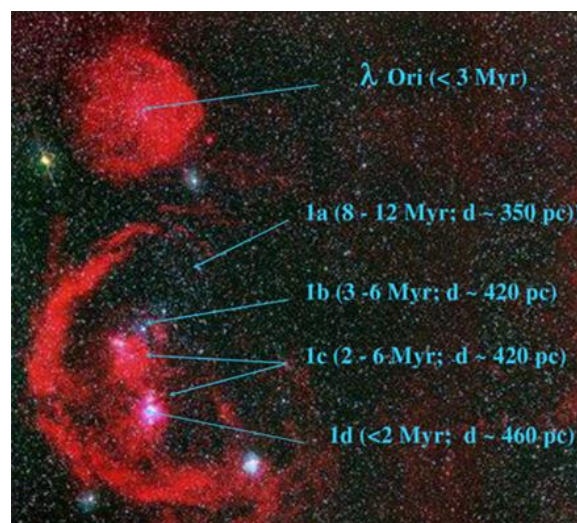
Itt feltűnik valami új, ami csak a gömbhalmazokra jellemző. Ez pedig a *horizontális ág*. Ez kb. 0 abszolút magnitúdónál, nagyjából vízszintes irányban húzódik. Egy másik jellegzetesség pedig az ág belsejében található *rés*, amit *RR Lyrae úrnék* neveztek el. (Az RR Lyrae változófényű csillagokról a következő fejezetben szólunk.) Előfordul, hogy ott egyáltalán nem találunk csillagot. Ha pedig mégis van, akkor az csak a fenti típusú lehet! (Micsoda meglepetés!) Általánosságban megállapítható, hogy a gömbhalmazok lényegesen idősebbek, mint a nyílthalmazok. Még sok más tulajdonságuk is gyökeresen eltérő. Mindezekről a Tejútrendszerrel szóló fejezetben lesz szó.

*Az egyes halmazok HRD-n való ábrázolása kulcsfontosságú. Nagyon sokat segít abban, hogy a csillagok életútját helyesen tudjuk értelmezni.*

### *A csillagtársulások (asszociációk)*

A nyílt- és a gömbhalmazok gravitációs értelemben stabil alakzatok. A tagok a kölcsönös tömegvonzás miatt nem távolodnak el egymástól.

Ezzel szemben a csillagtársulások olyan lazán kötődő csillagokból állnak, amelyek ugyan azonos időben keletkeztek, de az idő múlása során szétszélednek. A Tejútrendszerben kb. 1000-re becsülik ezek számát. Az egyik csoportjuk az *O* és *B* színképtípusú csillagokból áll, ezért *OB-asszociáció* a nevük. Méretük 30-200 pc közé esik. Ezek is – a nyílthalmazokhoz hasonlóan – a Tejútrendszerünk egyenlítői vidékén találhatóak. Csupán 10-20 millió évesek. Forró felszínű csillagok, melyek luminozitása elképesztően nagy, azaz bőkezűen pazarolják a megtermelt energiát. Ezek a Tejútrendszer legfényesebb csillagai, így laza csoportjaik könnyen felismerhetők.



*Az Orionban lévő OB 1 asszociáció csillagai. A távolságuk parsecben, a koruk pedig millió években olvasható. (Forrás: elte.prompt.hu.)*



*Egy látványos OB társulás a Nagy Magellán Felhőben. A HST felvétele.*

A másik jelentős csoportot a *T Tauri* változó fényű csillagok alkotják. Ezeket *T-asszociációknak* hívjuk. A vörös törpecsillagok még a csillaggá válás korai szakaszában vannak.



*Egy T Tauri csillagkezdemény és az azt övező változó fényű köd. (Forrás: Bill Snyder, APOD.)*

*A csillagtársulásoknak a csillagkeletkezés folyamatának megértésében kulcsszerepük van. Így róluk a csillagok születése című fejezetben bővebben szólunk.*