

6. Csillagok alapvető tulajdonságai

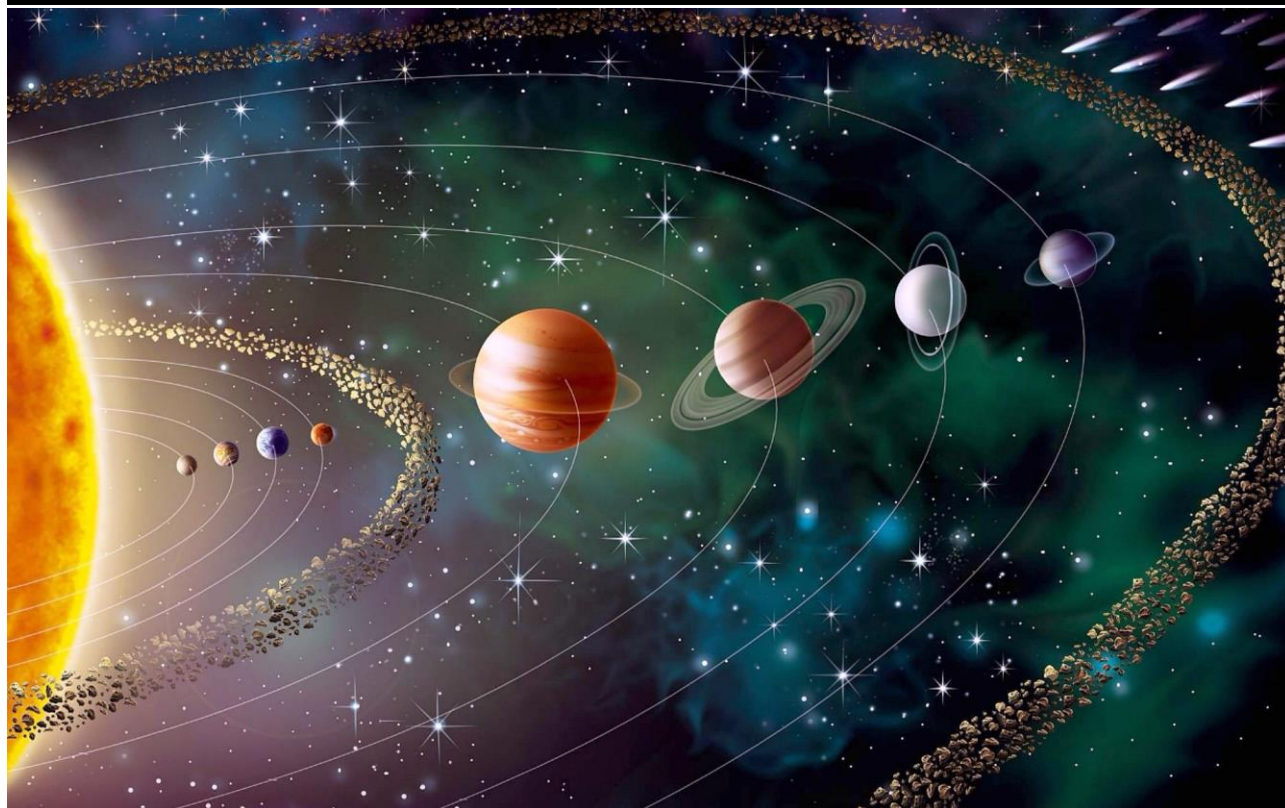
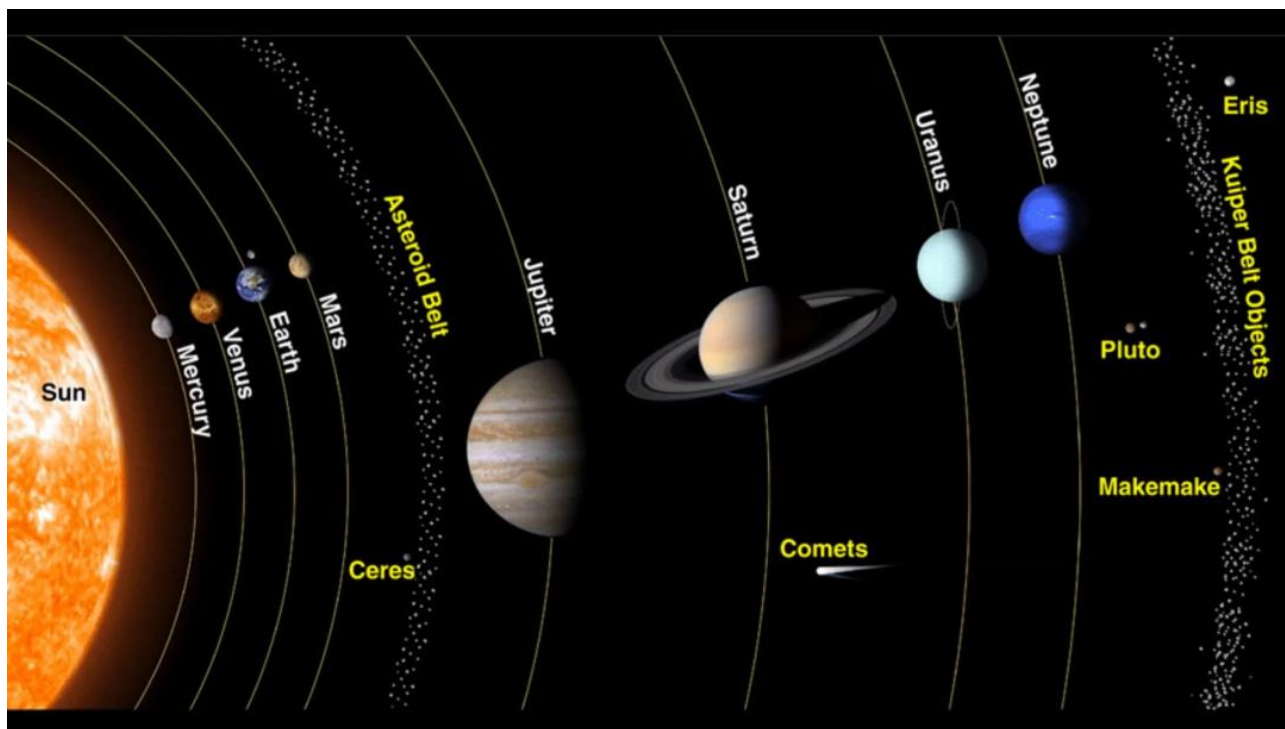
Alább egy, a fent szereplő témáról szóló szöveget olvashattok; az ebben szereplő explicit információk, ábrák és saját tudásotok segítségével oldjátok meg a következő feladatokat.

Feladatok:

- Mi a legnagyobb különbség a csillagok és bolygók közt?
- Miért nem lehet a bolygókból csillag?
- A Holdnak van saját fénye?
- Nézzetek utána a csillagászatban használt mértékegységek történetének!
- Az egyes állapotjelzőknek miért van fontos szerepe a csillagok tulajdonságainak leírásában? Ti m ilyen egyéb attribútumot használnátok egy csillag jellemzésére?
- * Mekkora az alábbi távolságok fényévben és km-ben kifejezve?
 - A Földhöz legközelebbi csillag (a Nap után) a Proxima Centauri 1,29 parszek távolságra van
 - A Tejút közepe körülbelül 8,6 kiloparszekre van a Földtől
 - A Tejút átmérője körülbelül 30 kiloparszek
 - Az Androméda-galaxis (M31) kissé kevesebb, mint 800 kiloparszekre van a Földtől
 - A legközelebbi nagy galaxishalmaz, a Virgo-halmaz, kb. 16,5 Mpc távolságra van a Földtől
 - Az RXJ1242-11 galaxis, aminek egy szupernehéz fekete lyuk magja kell legyen, kb. 200 Mpc távolságra van a Földtől
 - A részecskehorizont –a megfigyelhető univerzum határa, melynél távolabbról nem érkezett hozzánk fény az *ősrobbanás* óta– sugara kb. 14 Gpc
- ** Naprendszerünkben milyen távolságban látszik olyan fényesnek a Nap, mint a Földről a Szíriusz?
(A Sarkcsillag – Föld távolság *400 fé*, a Sarkcsillag sugárzási teljesítménye 5000x-e a Napénak.)
- ** Becsüljük meg, hogy mennyivel csökken a Nap tömege másodpercenként!
($P_{\text{sugárzási Nap}} = 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$)
- * Elemezzétek a csillagok energiatermelésének 3 módját, készítsetek róla beszámolót is!
- A Magyar Csillagászati Egyesület (MCsE) honlapján csillagászati hírek olvashatók. Készítsetek ezekből tablót vagy kiselőadást!
- Keressetek képeket csillagok osztályozásánál szereplő objektumokról, készítsetek ebből PPT-t, rajzokat, egyéb projektterméket!
- Készítsetek a tanszöveg és a benne foglalt ábrák segítségével, valamint saját tudásotok felhasználásával projektet a témából!

CSILLAGOK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

A **csillag** a csillagászat szaknyelvében olyan égitest, aki nukleáris energiát termel, így saját fénnel rendelkezik, szemben a **bolygókkal**, kik központi csillaguk fényét verik vissza, és elenyésző saját sugárzást bocsátanak ki.





A Világegyetemben rengeteg csillag és égi objektum lelhető fel; sajnos azonban ezek közül csak néhányat láthatunk szabad szemmel is, hiszen köztük hatalmas távolságok jellemzők, amikhez képest a földi méretek gyakorlatilag elhanyagolhatók. Nagyon szerencsés viszont, hogy vannak olyan általunk jól megfigyelhető csillagok is, melyek a Földtől többmillió fényév távolságra vannak; ez távlatokat nyithat a világ megismeréséhez és a Világűrben uralkodó rendszer és „csodák” feltárásához.

A hatalmas távolság miatt a csillagok közt lévő távolságok nem SI-ben mérendők, hanem helyettük a **fényév** nevű hosszúságmennyiséget alkalmazzuk: 1 fényév az az út, amit a fény a maga 300.000 km/s-os sebességével 1 év alatt megtesz, $1 \text{ fé} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m} \approx 10^{16} \text{ m}$.

Csillagászatban használatos hosszúság-mértékegységek továbbá:

- **csillagászati egység:**

Az égi mechanikában használatos hosszúságegység. Eredeti definíciója szerint a Föld-Hold rendszer tömegközéppontja Nap körüli pályájának fél nagy tengelye.

$1 \text{ CsE} = 8,3 \text{ fényperc} \approx 150.000.000 \text{ km}; 1 \text{ fé} = 63.241 \text{ CsE}$

- **parsec:**

Az a távolság, amelyből egy CsE – merőleges rálátás esetén – egy ívmásodperc szög alatt látszik.

$1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ fé} = 3,26 \cdot 10^{16} \text{ m}$

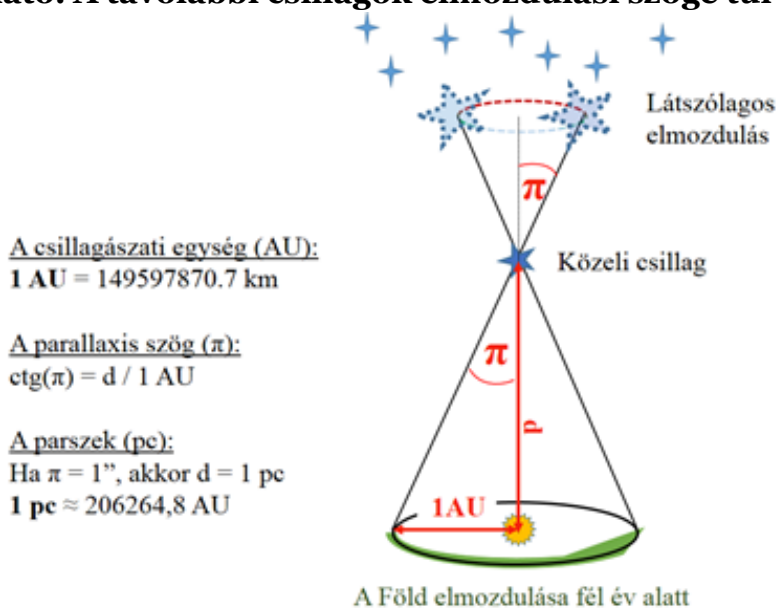
A hozzánk legközelebb elhelyezkedő csillag a Nap, tőle a fény 8 perc alatt ér a földfelszínre. Napunkhoz legközelebbi csillag a Proxima Centauri, melyre $d_{\text{Föld, Proxima Centauri}} = 4,3 \text{ fé}$ és $d_{\text{Föld, Proxima Centauri}} \approx 250.000 d_{\text{Föld, Nap}}$.

Ez a távolság tipikus a galaxisunkban. Ennél sűrűbben helyezkednek el a **galaxis és a gömbhalmazok középpontjában**, és sokkal távolabb a **galaktikus halóban**: a galaxist körülvevő gömb alakú térrészben.

Néhány jellegzetes távolság-érték:

Égitest	Távolság
Föld–Hold	1,3 fénymásodperc
Nap–Föld	8,3 fényperc
Nap–Pluto	5,5 fényóra
A Naprendszerhez legközelebbi csillag (Proxima Centauri)	4,24 fényév
Legközelebbi galaxis, a Canis Major-törpegalaxis	25 000 fényév
Galaxisunk, a Tejútrendszer közepe a Földtől	30 000 fényév
A Tejútrendszer átmérője	100 000 fényév
A legközelebbi „nagy” galaxis, az Androméda-galaxis	2,5 millió fényév
A belátható Világegyetem sugara ¹	13,7 milliárd fényév

A legegyszerűbb módszer szerint, ha meghatározzuk a Földhöz elég közel elhelyezkedő csillag pontos helyzetét hat hónapos különbséggel (két periódusban, amikor a Föld ellentétes irányban helyezkedik el a Naptól), akkor észrevehetjük, hogy a két helyzet nem egyezik. Ismerve a földi pálya átmérőjét (~300 millió km), ki tudjuk számítani azt a szöget, amellyel a csillag elmozdult az égbolton. Az elmozdulás fordítottan arányos a távolsággal. Ezt a módszert **parallaxis-módszernek** nevezzük. **Csak a közeli csillagoknál alkalmazható. A távolabbi csillagok elmozdulási szöge túl kicsi.**



Megjegyzendő, hogy a csillagokat villódzó, sziporkázó fénypontokként látjuk szabad szemmel. A nagy távolság miatt tűnnek pontszerűnek, még a legnagyobb földi távcsövekben is. A csillagok fényének ezt a szabálytalan pislákolását – a szcintilláció jelenségét – a földi légkör áramlásai hozzák létre. (Gyakran, első ránézésre egyáltalán nem könnyű megállapítani, hogy az égen bolygót látunk-e vagy csillagot).

A csillagok fizikai tulajdonságait az ún. **állapothatározókkal** jellemezhetjük.
A legfontosabb állapothatározók a következők:

- **Forgási periódus**

- **Mágneses tér**

- **Felületi hőmérséklet**

A hőmérséklet a csillag magjától a légköréig változik. Például a Nap magjában eléri a 15 millió °C-ot, míg a légkör effektív felszíni hőmérséklete csak 5785°K. A csillagászok a légkör effektív hőmérsékletét a színek és a fekete test (minden sugárzást elnyelő test, amely csak elméletileg létezik) összehasonlításával mérik.

- **Kémiai összetétel**

Habár a csillagok nagyrészt hidrogént és héliumot tartalmaznak, kémiai összetételük eléggé különbözik. Például nemrég határozták meg, hogy a fiatal csillagok kisebb arányban tartalmaznak fémeket, mint az idősebbek. Ennek az a magyarázata, hogy a vörös óriások már elégették a bennük lévő hidrogént, bennük a hélium és a nehezebb elemek fúziója zajlik.

- **Sugár**

A **csillagok mérete** a kicsiny, nagyváros méretű neutroncsillagoktól (melyek tulajdonképpen már halott csillagok) az olyan szuperóriásokig terjed, mint a **Sarkcsillag (Polaris)**, valamint az **Orion csillagkép Betelgeuse nevű csillaga, melyek átmérője a Napénak nagyjából ezerszerese**.

A ma ismert legnagyobb csillag a VY Canis Majoris, amelynek sugara elérheti a Napénak 1420-szorosát. Sűrűsége viszont jóval kisebb, mint a Napé.

Egy *Michelson-interferométernek* nevezett műszerrel lehet megmérni az óriás és szuperóriás csillagok szögátmérőjét. Ez az ívpercekben és ívmásodpercekben mért szögátmérő a távolsággal arányban megadja a csillag lineáris átmérőjét.

Más módszerek is vannak a méretek meghatározására: **kisugárzott energia vagy a fedési kettősök fogyatkozásai** alapján.

- **Tömeg**

A tömeg az egyik legfontosabb állapothatározó. **Értéke 0,07 és 100 naptömeg között változhat.**

- Alsó határát a stabil hidrogénfúzió elindításához szükséges maghőmérséklet jelöli ki, az ennél könnyebb égitestek a barna törpék, melyek magjában csak a deutérium fúziója indul be, ami hamar el is fogy.
- Felső határa az úgynevezett *Eddington-határ*, az ennél nehezebb csillagok olyan intenzív sugárzást bocsátanak ki, hogy a sugárnyomás lefújná a csillag külső rétegeit, így megkönnyítve az onjektumot.

Egy csillag gravitációs vonzása főleg a tömegétől függ.

A **kettőscsillagok** esetében a tömeget az egymástól való távolságuk és keringési idejük alapján lehet meghatározni.

A **pálya** a tömegvonzástól függ, a tömegvonzás pedig a tömegtől és a távolságtól.

Létezik egy ún. **tömeg-luminozitás összefüggés**: egyenesen arányosak egymással; ennek alapján is meghatározhatjuk egy csillag tömegét.

Minél nagyobb egy csillag tömege, annál gyorsabb ütemben alakítja át az anyagot energiává; ennek következtében a **nagy tömegű csillagok élettartama rövidebb**, mint a kisebb tömegűeké.

A csillagok - a fősorozaton való tartózkodásuk során - a hélium és hidrogén magjukban végbemenő fúzióból nyerik az energiát. Ez a folyamat a csillag tömegétől függően rövidebb vagy hosszabb:

- egy naptömegű csillag élettartama 10 milliárd év,
- egy három naptömegű csillagé 500 millió év,
- egy 30 naptömegű csillagé már csak 6 millió év.

Legnagyobb tömegű ismert csillagok a η Carinae és a Pisztolycsillag 100-150 naptömegűek, utóbbi 1-3 millió éves, akkor tömege a Napénak 200-szorosa volt, 1-3 millió év múlva szupernóva lesz.

• **Fényesség**

A csillagoknak van **látszólagos fényessége**, mely függ

- a sugárzási teljesítménytől
- a Földtől való távolságtól.

A Proxima Centauri a hozzánk legközelebb lévő csillag, mégsem azt látjuk a legfényesebbnek:

- $d_{\text{Föld, Sarkcsillag}} = 400 \text{ fé} \approx 100 d_{\text{Föld, Proxima Centauri}}$
- $P_{\text{sugárzási Sarkcsillag}} = 50 \cdot 10^6 \times P_{\text{sugárzási Proxima Centauri}}$
- **így** $L_{\text{Sarkcsillag}} \approx 5000 \times L_{\text{Proxima Centauri}}$.

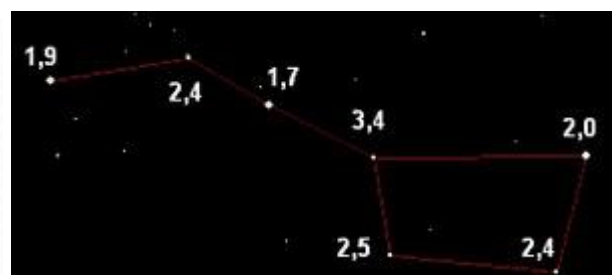
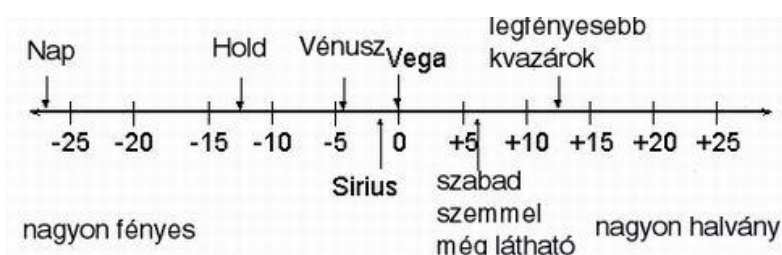
A csillagok látszólagos fényességének **mértékegysége a magnitúdó**, a magnitúdó görög eredetű szó, jelentése nagyságrend.

Alkalmazkodva Hipparkhosz rendszeréhez, a fényesebb csillagokhoz kisebb magnitúdóértéket társítunk; azaz **minél fényesebb egy adott csillag, annál kisebb a magnitúdó értéke**, s a nagyon fényes csillagoknak akár **negatív magnitúdójuk is lehet**.

A magnitúdóskála megalkotásánál figyelembe vették azt a tényt, hogy az ember érzetei az ingerek logaritmusaival arányosak, azaz a szem egy valójában tízszer fényesebb objektumot csak kétszer olyan fényesnek lát; ezzel konzekvensen **a magnitúdó logaritmikus mértékegység**: ha két csillag látszólagos fényessége között 1 magnitúdó különbség van, akkor az egyik csillag 2,512-szer fényesebb a másikkal.

Jellegzetes látszólagos fényességi értékek:

- $m_{\text{Nap}} = 26,86^m$
- $m_{\text{Hold, teliholdkor}} = -12,74^m$
- $m_{\text{Vénusz}} = -4,5^m$ és $-3,9^m$ között
- $m_{\text{Jupiter}} = -2,6^m$ és $-1,7^m$ között
- az éjszakai égbolt legfényesebb csillaga, a Szíriusz $-1,45$ magnitúdós
- a leghalványabb, szabad szemmel tiszta időben még látható csillagok 6 magnitúdósak.



Távcsővel halványabb objektumok is láthatók: minél nagyobb a műszer objektívjének átmérője, annál halványabb égitesteket láthatunk vele. A legnagyobb földi távcsövekkel 25 magnitúdós, a Hubble-űrtávcsővel 30 magnitúdós csillagok is észlelhetők.

A látszólagos fényesség nem utal a csillagok valódi fényességére. Egyes halvány csillagok látszó fényessége azért kicsi, mert nagyon távol vannak a Földtől. Ezért a csillagok valódi fényességét az **abszolút fényesség** adja meg, amely a csillag 10 parszek távolságból megfigyelhető látszólagos fényessége.

A fényesség ismeretében következtethetünk arra, hogy a csillag mennyi energiát bocsájt ki másodpercenként: ez a fényteljesítmény, vagy más szóval **luminozitás**; melynek segítségével megbecsülhetjük *anyagának bizonyos jellemzőit ill. a csillagban zajló energiatermelő folyamatokra is következtethetünk.*

A csillagok luminozításán a másodpercenként kibocsátott sugárzás mennyiségét értjük. A csillagok energiáját a magban végbemenő termonukleáris reakciók hozzák létre. A luminozitás a csillag korától is függ. Az energia elektromágneses sugárzás formájában szabadul fel, a röntgen sugaraktól a rádióhullámokig. Az ultraibolya sugárzást a földi légkör felfogja, amely nehezíti a luminozitás mérését a felszínről. Ezért ezeket közvetlenül a világűrből mérik, műholdak segítségével. Egyes csillagok luminozitása a Nap luminozításának 500 - 500 000-szerese is lehet.

- **Színképtípus**

A színképet spektroszkóppal lehet meghatározni. Ez felbontja a beérkező fényt egy színképi sávra, amelyen sötét, ún. **Fraunhofer-vonalak** jelennek meg. Ezeket az csillag atmoszférájában található alkotóelemek hozzák létre. Például a hidrogén sötét vörös vonalként jelenik meg.

Egy csillag színképének vizsgálata minőségi (kvalitatív) elemzésen kívül mennyiségi (kvantitatív) elemzést is lehetővé tesz. Vagyis a légköri elemek által létrehozott színképvonalak alakja és elhelyezkedése a gáz hőmérsékletétől és nyomásától is függ.

A csillagokat színképük szerint csoportosíthatjuk, elsősorban a hőmérsékletük és az anyagösszetételük alapján.

Az egyes csoportokat a következő betűkkel jelöljük: O, B, A, F, G, K, M, valamint a barna törpe altípusok jelei R, N és S.

Itt az O-típus a legforróbb, az S-típus a lehidegebb csillagokra utal.

Ezt a sorrendet segítő mondatokkal mnemonikokkal jegyezhetjük meg. Íme pár változat:

"Oly Barátságos A Fénylő Göncölszekér, Keresd Meg."

„Orosz Barátom Azt Felelte, Gépek Készítenek Mindent [Rám Ne Számíts]."

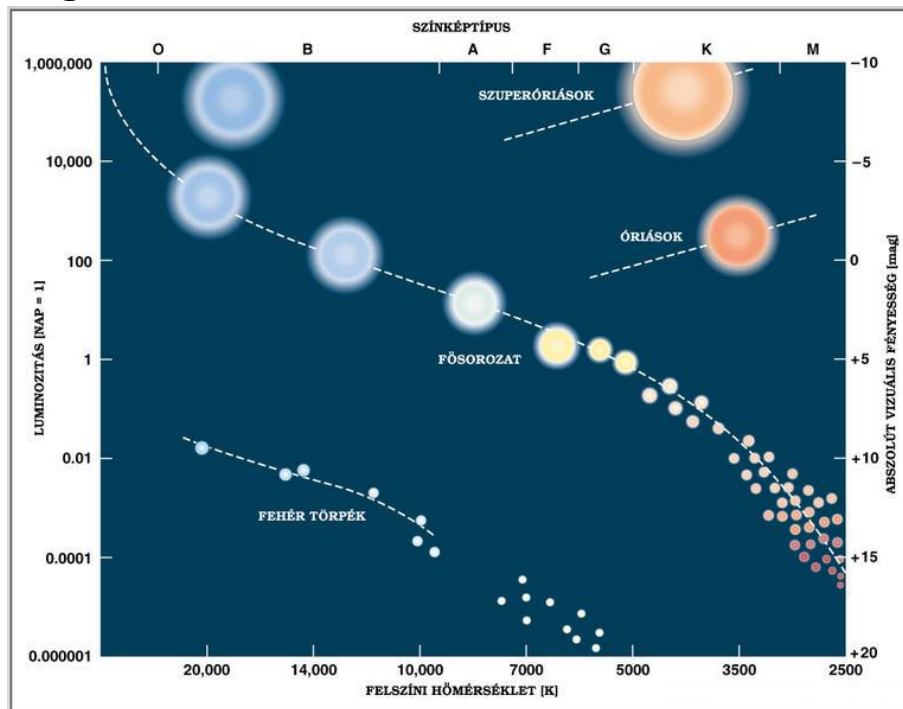
„Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me [Right Now Sweetheart]." (Annie Jump Cannon, 1863-1941)

Minden színképosztálynak 0-9-ig terjedő alosztálya van a felületi hőmérséklet csökkenő sorrendjében, kivétel az O-típus, ahol az osztályozás O5-tel kezdődik.

A mi napunk G2 típusú, legtöbb értelemben átlagos csillagnak számít.

A csillagokat a **Hertzsprung-Russell diagramon (H-R diagram vagy HRD)** szokás ábrázolni, melynek a két tengelyén az abszolút fényesség és a hőmérséklet (szín) található.

A legtöbb csillag, a Napunk is, egy sávban helyezkedik el, ez a **főszorozat**. Ezeknek a csillagoknak az **energiatermelésében a proton-proton ciklus dominál, ami során hidrogén alakul át héliummá**.



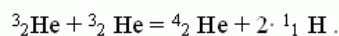
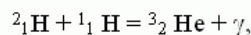
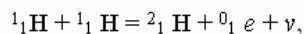
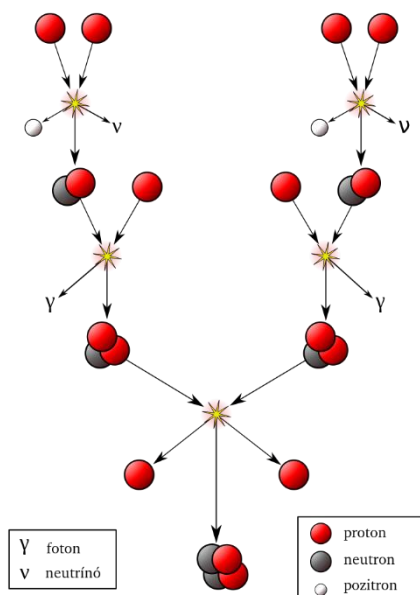
- Ezen kívül szokás még a **felületi gravitációs gyorsulást** is az állapothatározók közé sorolni, mely azonban a csillag tömege és sugara ismeretében könnyen kiszámítható.

Az előbb szerepelt utalás **a csillagok energiatermelésére**; erről alapvetően a következők lehetnek fontosak számunkra:

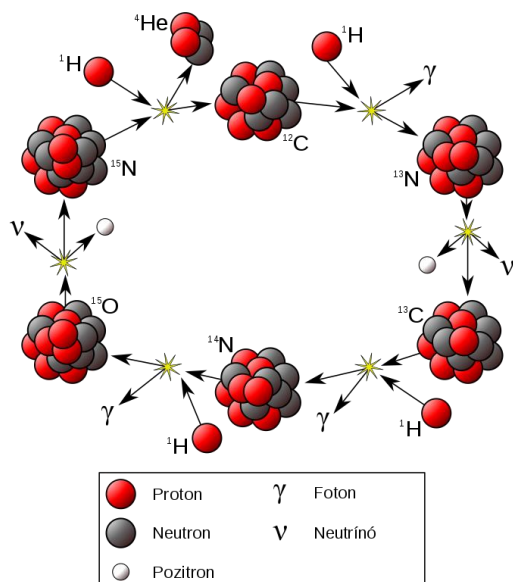
A csillagok legfontosabb energiaforrása a magban zajló termonukleáris reakció. Az energia az **atommagok fúziójából** szabadul fel, **több millió kelvinen**. Ilyen magas hőmérsékleten az elektronok leválnak az atomokról, és **plazma** jön létre. Az atommagok ütközése termonukleáris reakciókat eredményez.

A fúzió többféleképpen is végbe mehet, összességében három fő folyamatot különböztetünk meg:

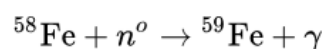
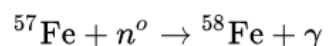
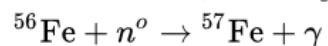
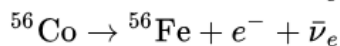
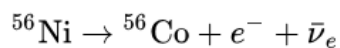
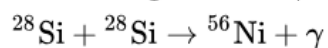
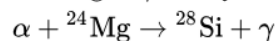
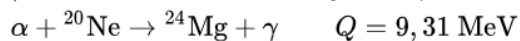
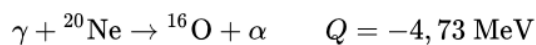
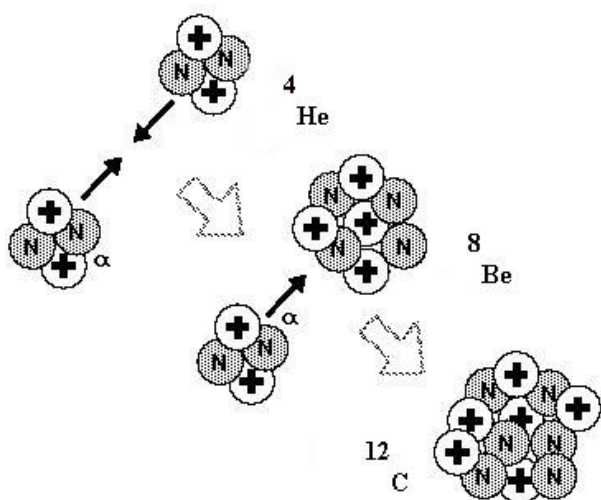
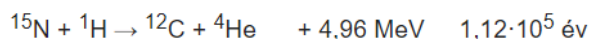
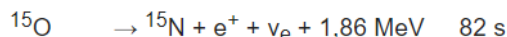
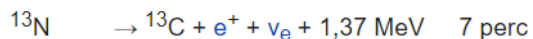
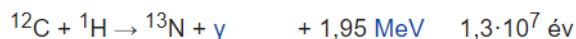
1. Az egyik a **proton-proton ciklus**, ami során protonokból héliummagok keletkeznek. A Naphoz hasonló (viszonylag) kis tömegű főszorozatbeli csillagok energiatermelésében ez a folyamat dominál.
2. Nagy tömegű forró csillagok energiatermelésében a **CNO-ciklus** (más néven Bethe-Weizsacker-folyamat) játszik fontos szerepet.
3. Ennél is magasabb hőmérsékleten megy végbe a **három alfa-ciklus** (Salpeter-reakció); a három alfa-ciklus során a CNO-ciklusból keletkezett ^{16}O izotóp alfa-részecskéket befogva tovább fuzionál. Itt végeredményként (nagyraoszt) vas atommagok keletkeznek, amiben az egy nukleonra jutó kötési energia a legnagyobb, és ami az univerzum egyik leggyakoribb eleme.



$({}^1_1\text{H}$: proton;
 ${}^2_1\text{H}$: deutériummag;
 ${}^3_2\text{He}$: hélium-3-mag;
 ${}^4_2\text{He}$: stabil hélium-4-mag;
 0_1e : pozitron;
 ν : neutrínó;
 γ : foton)



A CNO-ciklus reakciói:



Az energiatermelésben a csillagnak csak egy kis része, az összes hidrogén mindössze 12%-át magában foglaló központi mag vesz részt. **Mivel a csillag középpontjában nincs anyagkeveredés, ezért a mag nem kap utánpótlást és így lassan feléli teljes hidrogénkészletét.**

Fent szerepelt továbbá néhány eddig még ismeretlen kifejezés is; ezek a **csillagok osztályozásakor** használandó elnevezések.

A csillagok osztályozása:

i. Abszolút fényességük, hőmérsékletük, színekük és más állapothatározók szerint a csillagok lehetnek:

- a. átlagos csillagok/**fősorozatbeli csillagok**
- b. **vörös törpék**
- c. **barna törpék** (legkisebb tömegű csillagok, amelyek magjában még beindulhat a fúziós reakció)
- d. óriáscsillagok:
 - **vörös óriások**
 - **hiperóriások**
- e. maradvány csillagok:
 - **fehér törpék**
 - **fekete törpék (kialudt fehér törpék)**
 - **szubtörpék**
- f. neutroncsillagok:
 - **pulzárok** (periodikus rádiójeleket küldenek az űrbe)
 - **magnetárok** (erős mágneses térrel rendelkező neutroncsillagok)
- g. **kvarkcscillagok** (egymáshoz préselt kvarkokból állnak)
- h. **fekete lyukak** (erős gravitációs térrel rendelkező maradvány csillagok)

ii. Kémiai összetételük és a galaxisban elfoglalt helyzetük szerint a csillagok különböző populációkhoz tartoznak.

Kísérőik alapján a csillagok lehetnek:

- a. kettőscsillagok
 - optikai kettőscsillagok (közel azonos látóirányba esnek, valójában a tér mélységében egymástól tetszőleges távolságban lehetnek)
 - fizikai kettőscsillagok
 - spektroszkópiai kettőscsillagok (színeképvonalak eltolódásából lehet rájuk következtetni)
 - fedési kettőscsillagok (egymást periodikusan eltakaró csillagok)
 - többes rendszerek
 - bolygórendszerek

iii. Fényességük szerint a csillagok lehetnek:

- a. állandó fényességű csillagok
(az egyre érzékenyebb fényességmérési módszerek alkalmazásával elterjedt a mondás: nincsenek állandó fényű csillagok, csak a fényváltozásuk nagysága még nem meghatározott)
- b. változócsillagok (periodikus vagy nem periodikus változásokkal):
 - **cefeidák,**
 - **novák,**
 - **szupernóvák**
 - stb.