

# Csillagászat

(Vázlat)

1. A csillagászat rövid története
2. Naprendszer
  - a) Nap
  - b) Nagybolygók és holdjaik
  - c) Kisbolygók
  - d) Üstökösök és meteorok
  - e) Interplanetáris anyag
3. Tejútrendszer, Galaktika
4. Extragalaxisok
5. Csillagok élete
6. A csillagok jellemző tulajdonságai
7. A világegyetem és a naprendszer kialakulásának története
8. Űrkutatás, űrhajózás

## A csillagászat rövid története

A csillagászat valószínűleg a legrégebben ismert természeti tudomány. A történelem előtti korokban a hely- és az időmeghatározás társadalmi szükséglete hozta létre.

### Mezopotámiai csillagászat

- A tudományos csillagászat bölcsője Mezopotámia.
- *Megfigyelőhelyek:* Magas, lépcsőzetes templomok.
- *Hagyatékuk:*
  - Időszámításban a hatvanas babiloni számrendszer maradványa.
  - A teljes kör 360 fokra való felosztása.
  - A nap 12-es felosztása.
  - Az állatövi csillagképek nevei.

A mezopotámiai népek érdeme az első csillagászati ciklus felismerése és használata. Megfigyelőhelyeik magas, lépcsőzetes templomok voltak. Egyszerű megfigyelőeszközeikkel csak korlátozott pontosságú méréseket tudtak végezni. Minthogy megfigyelési eredményeiket és módszereiket később a görögök vették át, az utóbbiak és a rómaiak közvetítésével több mezopotámiai csillagászati hagyaték él ma is a tudományainkban. Ilyen pl. az időszámításban a hatvanas babiloni számrendszer maradványa, a teljes kör 360°-ra való felosztása, a nap 12-es felosztása, az állatövi csillagképek neve. Innen származik a naptár hétnapos beosztása is. A hét napjai az égitestekről kapták a nevüket: a vasárnapot a Napról, a hétfőt a Holdról, a keddet a Marsról, a szerdát a Merkúrról, a csütörtököt a Jupiterről, a pénteket a Vénuszról, a szombatot a Szaturnuszról nevezték el.

A **kínai császárok csillagászai** gondos feljegyzéseket készítettek már az i.e. III. évezredtől kezdve a rendkívüli égi jelenségekről, a nap- és holdfogyatkozások időpontjairól.

### Egyiptomi csillagászat

- *Megfigyelési eszközeik:*
  - Nap-és vízórák,
  - Hasítékokkal ellátott iránykijelölő lécek,
  - Zsinórok és egyenlő távolságban csomókkal megjelölt kötelek.
- *Eredményeik:*
  - Napot gömb alakúnak képzeltek,
  - Ők látták először a napfoltokat.

Az **egyiptomi** csillagász papok az éjszakai égbolt évszakos eltolódásából pontosan következtettek az ország életére nézve döntő fontosságú áradás várható kezdetére. Az egyiptomi csillagászati megfigyelőeszközök nap- és vízórák, hasítékokkal ellátott iránykijelölő lécek, függőn, zsinórok és egyenlő távolságban csomókkal megjelölt kötelek voltak. A Napot gömb alakúnak képzeltek, és ők látták először a foltokat a felszínén.

## A görög csillagászat

Az ókori közel-keleti népek csillagászati eredményei a görögökhöz kerültek, akik a kultúrtörténet folyamán először igyekeztek összefoglaló rendszerbe foglalni, és következtetések útján továbbfejleszteni a világra vonatkozó ismereteket. Csak az ő koruktól nevezhetjük a szó mai értelmében vett tudománynak a régiek ismeretanyagát.

### Homérosz

Az ő korában a Földet még lapos korongnak gondolták.

### Parmenidész (Kr. e. V. sz.)

A Földet gömb alakúnak, de mozdulatlannak tekintette.

### Hipparkhosz

- A geocentrikus világkép atyja.
- A bolygók mozgását két körmozgás összetevőjére bontotta.
- A Földet mozdulatlannak képzelte.

### Eratoszthenész (Kr. e. III. sz.)

A délkör hosszát 100 km pontosságon belül megadta.

### Arisztarkhosz

- A heliocentrikus világkép első hirdetője.
- Megállapította, hogy a Nap jóval nagyobb a Földnél, és messzebb van a Holdnál.

### Ptolemaiosz

- **A geocentrikus világkép tanainak összefoglalója.**
- A Föld gömb alakú, és az égi gömb középpontjában helyezkedik el.
- A Föld mozdulatlan. A világmindenség kering a Föld körül.
- A Nap egy év alatt kerüli meg a Földet.
- A bolygók szintén körpályán keringenek a Föld körül.

Homérosz korában a Föld lapos korong volt a görögök képzeletében. A püthagorasz-i iskolához tartozó Parmenidész (i.e. V sz.) említette első ízben a gömb alakot a Földdel kapcsolatban. A gömb alakú Föld azonban mozdulatlan volt a görögök képzeletében, és az égitestek mind körülötte keringtek. A fejlettebb geocentrikus világképet Hipparkhosz, a tudományos csillagászat atyja, a pergai Appolóniusszal (i.e. II. sz.) alkotta meg. A bolygók mozgását két-két körmozgás összetevőjére bontotta. Ez a rendszer az epiklois pályák tana csaknem kétezer éven át uralkodott a csillagászatban.

A mozdulatlannak képzelt Föld nagyságát több görög csillagász is megmérte. Közülük Eratoszthenész (i.e. III. sz.) mérése a legpontosabb. A mérés lényege az, hogy észrevette, hogy a nyári napforduló idején, amikor az egyiptomi Szüénában a Nap merőlegesen bevilágít a Nílus kútjaiba, ugyanakkor a tőle északra fekvő Alexandriában a delelő nap sugarai  $7^\circ$ -nál nagyobb szöget zárnak be a függőlegessel. A kapott szögkülönbséget  $360^\circ$ -hoz viszonyítva, a két város lemért távolsága alapján a Föld területét 100 km-en belüli pontossággal adta meg.

Az i.e. III. században élt Arisztarkhosz, aki nemcsak a heliocentrikus világkép első tudatos felismerője és hirdetője, de az első igazi csillagászati távolságmérés végrehajtója is. Arisztarkhosz geometriai megfontolások alapján

bebizonyította, hogy a Hold átmérője harmada a Föld átmérőjének (mai mérések szerint kb. negyede), és jó közelítéssel állapította meg a Hold távolságát is. Ebből kiindulva megmérte a Föld-Nap távolságot is.

A görög csillagászat Ptolemaiosszal (i.e. 90-161) érte el a tetőfokát. Az "Almagest" néven ismert főművében saját korának teljes ismeretanyagát foglalta össze. Ezt a geocentrikus világképet ptolemaioszi világképnek is szoktuk nevezni. Néhány égi jelenséget valóban jól lehetett ezzel az elképzeléssel is magyarázni. Talán ennek köszönhető, hogy az elkövetkező 15 évszázad fenntartás nélkül elfogadta. Tanai a következők:

- A föld mozdulatlan és gömb alakú.
- Az égi gömb középpontjában helyezkedik el.
- Az egész világmindenség kering a Föld körül.
- A nap egy év alatt kerüli meg a Földet. Azt, hogy a Nap keringés közben némileg változtatja távolságát a Földtől, azzal magyarázta, hogy bár a Nap egyenletesen, körpályán kering, a pálya középpontja kissé eltolódva van a Földtől.
- Feltételezte, hogy a bolygók is körpályán keringenek a Nap körül.

A görög tudomány eredményeit tartalmazó könyvtekercsek legnagyobb része a kereszténység és az iszlám fanatikusok könyvégetése alkalmával elpusztult. Az arabok érdeme, hogy felkutatták és arab nyelvre fordítva megmentették a még fellelhető görög csillagászati eredményeket. Ptolemaiosz műve kizárólag arab fordításban maradt ránk.

### A keresztény középkori csillagászat

A görög emlékek elpusztulása miatt a kora középkori társadalomban azt feltételezték, hogy a Föld lapos, esetleg félgömb alakú szárazföld, sziget egy végtelen óceánban. Csak az Ibériai-félsziget arab egyetemsein tanították a ptolemaioszi világképet.

### Kopernikusz

- Lengyel csillagász.
- 1473-ban Turonban született.
- Krakkóban, majd Itáliában tanult.
- 33 évesen visszatért Lengyelországba, és kanonokként élte életét.
- Fő műve a Hat könyv az égitestek mozgásáról (1543) című alkotása.
- Ebben foglalta össze a heliocentrikus világkép főbb jellemzőit.

### A heliocentrikus világkép főbb tanai:

- A világegyetem középpontjában a Nap van.
- A bolygók kör alakú pályán keringenek, de a Nap nem a kör középpontjában van.

### Giordano Bruno

- Kopernikusz tanait nyíltan hirdette
- Máglyahalál

### Galilei

- 1608-ban készítette az első távcsövet.
- Ő látta meg először a Hold hegyeit, síkságait (tengereit), a napfoltokat, a Vénusz fázisait.

- Ő fedezte fel a Jupiter első négy holdját.
- Ő látta először a Tejútrendszer csillagait.

### Tycho de Brache

- Nagyon sok csillagászati mérést végzett.

Kopernikusz munkájának megjelenése után indult meg a korszerű csillagászat. Kopernikusz 1473-ban Torunban született. 1491-től Krakkóban volt egyetemi hallgató. Ezután Itáliába ment, hogy kilenc éven keresztül az egyetemeket látogassa. 1506-ban, 33 éves korában tért haza. Élete hátralévő részét egy kis városban élte le, ahol kanonokként működött. Életművének a "Hat könyv az égitestek mozgásáról"-nak kiadásával halála órájáig várt (1543). Ez alapozta meg igazából a heliocentrikus világképet. Kopernikusz nem mond semmi olyat, ami már nem merült volna fel valamelyik görög csillagásznál. Mégis meglepő az a merészség, amellyel az egyház szolgálatában álló tudós szembeszáll kora dogmatikus eszméivel. Tanai a következők:

- A világegyetem középpontjában a Nap van.
- A gömb alakú Föld saját tengelye körül forog.
- A Föld kering a Nap körül. A Nap nem pontosan a körpálya középpontjában található.

A kopernikuszi tanok rést ütöttek az egyház dogmarendszerén. Ezért az egyház minden lehetséges eszközzel akadályozni igyekezett e tanok terjedését.

Giordano Brunót, aki Kopernikusz elméletén továbblépve azt hirdette, hogy a Nap sem a világmindenség középpontja, hanem csak egy a megszámlálhatatlan csillagok közül, eretnekséggel vádolták, és máglyahalálra ítélték. Kopernikusz művét pedig 1616-ban pápai tilalmi listára helyezték, és csak 1835-ben vették le onnan. Tycho de Brahe (1546-1601) dán csillagász ennek a korszaknak a legtevékenyebb megfigyelő csillagásza volt. Három évtizeden keresztül gyűjtött adatokat az égi jelenségekről. Megfigyelései Keplerre maradtak.

### Kepler

Tycho de Brache mérései alapján fogalmazta meg három törvényt.

#### **Kepler törvényei a következők:**

##### ▪ 1. törvény

A bolygók ellipszis pályán keringenek a Nap körül, és az ellipszis egyik gyújtópontjában a Nap van.

Következménye, hogy az égitestek mozgásuk során hol közelebb, hol távolabb járnak a Naptól. A nagy excentricitású pályák esetén a legnagyobb naptávolság akár százszorosa is lehet a legkisebb naptávolságnak.

##### ▪ 2. törvény

A területi törvény. Kimondja, hogy a Napot a bolygóval összekötő egyenes, a vezérsugár, egyenlő idő alatt egyenlő területeket sűrol.

Ebből következik, hogy a bolygók napközben gyorsabban, naptávolban lassabban mozognak.

### ▪ 3. törvény

A bolygók keringési idejének négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint közepes naptávolságuk (ellipszisük fél nagytengelye) köbei.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

### Newton

Felismerte a bolygók mozgásának okát.

Az általános gravitáció felfedezése végre biztos alapot adott a csillagászati számításoknak. Az általános tömegvonzás törvénye kimondja:

Két tömeggel rendelkező test kölcsönhatást gyakorol egymásra. Az erő egyenesen arányos a két test tömegének a szorzatával, és fordítottan arányos a két test távolságának a négyzetével. Az arányossági tényező a Chawendish által megmért gravitációs állandó, melynek értéke:  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

$$F_{\text{gr}} = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Kepler (1571-1630) Württembergben született. 1589-től a tübingeni egyetem hallgatója. Tanítómestere ismertette meg vele Kopernikusz rendszerét. Kepler Brahe méréseit felhasználva, a Mars pályájára vonatkozó megfigyelési eredményekből kiindulva több éves munka során megalkotta a ma Kepler I. és II. törvényeként ismert tételeket. Megállapításait az "Új csillagászat" című művében 1609-ben tette közzé. További 10 év kellett a III. törvény megfogalmazásához, amelyet a "A világ harmóniájáról" című könyve tartalmazott először.

Kepler törvényei a következők:

1. A bolygók ellipszis pályán keringenek a Nap körül, és az ellipszis egyik gyújtópontjában a Nap van. Következménye, hogy az égitestek mozgásuk során hol közelebb, hol távolabb járnak a Naptól. A nagy excentricitású pályák esetén a legnagyobb naptávolság akár százszorosa is lehet a legkisebb naptávolságnak.

2. A területi törvény. Kimondja, hogy a Napot a bolygóval összekötő egyenes, a vezérsugár, egyenlő idő alatt egyenlő területeket sűrol.

Ebből következik, hogy a bolygók napközeli gyorsabban, naptávolban lassabban mozognak.

3. A bolygók keringési idejének négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint közepes naptávolságuk (ellipszisük fél nagytengelye) köbei.

A csillagászat fejlődéséhez nagymértékben járult hozzá Galileo Galilei (1564-1642). Az általa megalkotott távcsővel (1609) megsokszorozódott a megfigyelhető objektumok száma. Galilei látta meg először a Hold hegyeit és síkságait (szerinte tengereket), a Vénusz fázisait, a Jupiter négy legnagyobb, később róla elnevezett holdjait, a Tejút csillagokra való bomlását és a napfoltokat. Szenvedélyes harcosa volt a kopernikuszi eszmének, és emiatt két ízben is inkvizíció elé állították.

Az égi mozgás okának a felderítése az angol Newton érdeme. Az általános gravitáció felfedezése végre biztos alapot adott a csillagászati számításoknak. Az általános tömegvonzás törvénye kimondja:

Két tömeggel rendelkező test kölcsönhatást gyakorol egymásra. Az erő egyenesen arányos a két test tömegének a szorzatával, és fordítottan arányos a két test távolságának a négyzetével. Az arányossági tényező a Chawendish által megmért gravitációs állandó, melynek értéke:

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

# Naprendszer

A Naprendszerbe több objektum is tartozik. Ezek a következők:

- a) Nap,
- b) nagybolygók és holdjaik,
- c) kisbolygók,
- d) üstökösök és meteorok,
- e) interplanetáris anyag.

## a) Nap

A Nap egy csillag, amely "átlagos" tulajdonságai miatt a többi csillag sok tulajdonságát is magán hordozza. A Nap tanulmányozása, közelsége miatt sok vonatkozásban a csillagokra vonatkozó ismereteinket is bővíti.

A csillagászatnak a Nappal foglalkozó ágát **napfizikának** is nevezzük.

### Néhány adat a Napról:

Átmérő:	$1,4 \cdot 10^6$ km
Tömeg:	$2 \cdot 10^{30}$ kg
Átlagos sűrűség:	$1,41$ kg/m <sup>3</sup>
Központi hőmérséklet:	$10\text{-}20 \cdot 10^6$ K
Felületi hőmérséklet:	5800 K
Gravitációs gyorsulás a felszínen:	$270$ m/s <sup>2</sup>
Forgási periódus:	26-34 nap

A Nap forog a saját tengelye körül. Érdekes, hogy az egyenlítőhöz közelebbi tartományok nagyobb szögsebességgel forognak, mint a pólusokhoz közeleiek.

### A Napnak két tartománya van:

- I. A Nap belső része
- II. A Nap légköre



## I. A Nap belső részei

### *1. A centrális mag*

Itt zajlik a magreakció. Másodpercenként 6 kg hidrogén alakul át héliummá.

Ez a tartomány kb. a sugár 10 %-a.

### *2. A röntgensugárzási tartomány*

A centrális magban keletkezett energia röntgen- és más elektromágneses sugárzás formájában terjed át a külső, hideg tér felé.

### *3. Konvekciós zóna*

A Nap felszíne alatt mintegy 100 000 km mélyen van. Itt az energiatranszportot a sugárzás mellett a Nap anyagának a víz forrásához hasonló konvektív áramlása is biztosítja. A konvektív zónában lévő anyag már gázállapotban található.



## II. A Nap légköre

A Nap légkörét is három tartományra osztjuk.

### *1. Fotoszféra*

A Nap sugárzásának túlnyomó része innen származik. Granulált szerkezetű a konvekciós zóna felső része miatt.

**Hőmérséklete** kb. 5700 K. Ezt a tartományt szokták a Nap felszínének is nevezni.

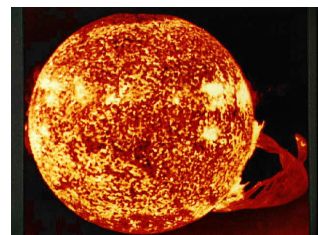
**Vastagsága** kb. 500 km. Időnként sötétebb (hidegebb) foltok is megjelennek rajta. Ezek a **napfoltok**. Csoportokban jelennek meg (kb. 50 db/csoport). Átmérőjük 10 km. 1500 K-nel alacsonyabb a hőmérsékletük, mint a fotoszféráé. Napfoltmaximum 11 évente jelentkezik. A foltoknak erős mágneses hatása van. A fotoszféra felső tartományában található az időnként megjelenő **napfáklyák**, amelyek rendszerint szálak szerkezetűek. Egyszerűsítve környezetüknél magasabb hőmérsékletű felhőknek foghatjuk fel ezeket.

### *2. Kromoszféra*

A fotoszféra felett kb. 10 km vastagságban helyezkedik el.

Magasabb hőmérsékletű, mint a fotoszféra. Jellemző tevékenysége a **protuberancia**.

Ezek a Nap felszíne fölé emelkedő néhány 100 000 km-es hosszúságú gázoszlopok.

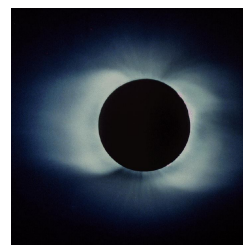


Élettartamuk több hónap is lehet. A kromoszférában időnként fényes foltok jelennek meg. Ezek a **flerek**, más néven napkitörések. Kialakulásukban a Nap mágneses terének van jelentősége. Napkitörés alkalmával nagy mennyiségű anyagi részecske (korpuszkula) dobódik ki a Napból, amelyek bizonyos idő után a Földet is eléri. Ilyenkor észlelhető a mágneses vihar és a sarki fény a Földön.

### 3. Napkorona

Megfigyelése csak teljes napfogyatkozáskor lehetséges.

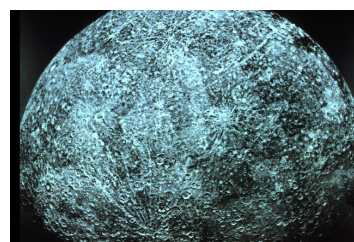
**Sűrűsége**  $10^{-16} \text{ g/cm}^3$ . **Hőmérséklete**  $10^6 \text{ K}$ .



## b) Nagybolygók és holdjaik

### Merkúr

Pályája	Elnyúlt ellipszis
Légköre	Napszélből befogott részecskék
Légköri nyomás	100 Pa
Hőmérséklete	Magas

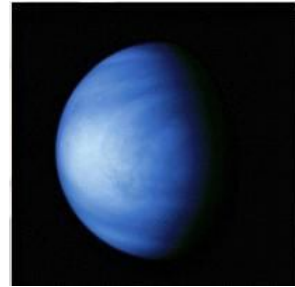


A Naphoz legközelebbi bolygó. Emiatt a Földről csak a kora esti vagy a hajnali órákban figyelhető meg. Tulajdonságainak feltérképezésében űrszondák játszanak szerepet. Indirekt mérésekből tudjuk, hogy a felszínén magas hegyek vannak.

A Merkúr meglehetősen lassan (58,65 nap) forog a tengelye körül. Légköre a napszélből befogott részecskékből áll, melynek sűrűsége 1/1000 része is lehet a földi légkörnek. A felszínén igen szélsőséges hőmérsékleti viszonyok alakulnak ki. A napos oldalon  $+430^\circ\text{C}$ , az árnyékos részen  $-185^\circ\text{C}$  is lehet a hőmérséklet.

## Vénusz (Esthajnalcsillag)

Légköre	Főleg széndioxid
Nyomása	$10^7$ Pa
Hőmérséklet	700 K
Mágneses tere	nincs

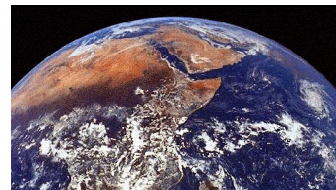


A Nap és a Hold után az égbolt legfényesebb égitestje. Felszíne nem látható a légkör miatt. 1964-ben rádiócsillagászati mérésekkel állapították meg tengely körüli forgásának idejét. Ez 243 nap. Légköre 96%-ban széndioxidból áll. Ezenkívül nitrogén, nemesgázok, oxigén és kis mennyiségű vízgőz is található benne. A felszínén 10 MPa körüli a nyomás, és a széndioxid légkör üvegházhatása miatt a hőmérséklet  $+475$  °C. A felszín felett 30-70 km magasságban 100 m/s szélsőséget is mértek. A bolygónak nincs mágneses tere. A ráeső fény kb. 70%-át visszaveri.

## Föld

A Naprendszer harmadik bolygója.

Légköre	Főleg nitrogén és oxigén
Nyomása	$10^5$ Pa (a felszín közelében)
Mágneses tere	van
tömege	$6 \cdot 10^{24}$ kg
sugara	$6,37 \cdot 10^6$ m



Egyetlen holdja van.

## Hold

- Az égbolt második legfényesebb objektuma.
- **Keringése kötött.**
- Felszínének 50 %-a figyelhető meg a Földről.
- A Hold jelenléte az oka a Földön az ár-apály jelenségnek.

## A Hold felszíni képződményei

- Hegyek
- Kráterek
  - Tengerek
  - Szakadékok
  - Sugaras szerkezetű vonalak



1969. július 20.

Az égbolt második legfényesebb égitestje.

Néhány fontos adat a Holdról:

Átmérője: 3476 km

Tömege:  $7,3 \cdot 10^{22}$  kg

Sűrűsége:  $3,34 \text{ kg/m}^3$

Gravitációs gyorsulás a felszínén:  $1,6 \text{ m/s}^2$

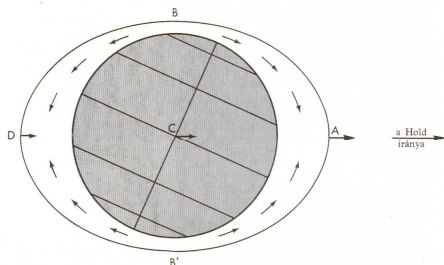
Szökési sebesség: 2,38 km/s

Közepes Föld-távolsága: 384000 km

Keringési ideje: 27,3 nap

A Hold tengelykörüli forgásának periódusideje megegyezik a Föld körüli keringésének periódusidejével. Ezért a Földről mindig ugyanazt az oldalt látjuk a Holdnak. Ezt a jelenséget **kötött keringésnek** nevezzük. A Föld felszínéről a Holdnak kb. 59%-a figyelhető meg. A Hold jelenléte az oka a Földön az ár-apály jelenségnek.

A Földön szilárd és folyékony halmazállapotú anyag található. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a víz egyenletesen borítja a Földet. A Hold vonzása a szilárd tartományokra úgy hat, mint egy



merev testre, tehát a Föld különböző pontjaira ható gravitációs erőhatásokat a Föld tömegközéppontjában ható erőhatással helyettesíthetjük. A Hold által a Földre gyakorolt erőhatás minden pontban egyenlőnek vehető. Ez a feltevés a folyékony anyagra már nem igaz. Mivel a Hold az A ponthoz közelebb van, mint a D ponthoz, ezért a víz gyorsulása A pontban nagyobb a szilárd kéreg gyorsulásánál, a D pontban pedig kisebb. Ezért adott pillanatban az A és D pontban dagály, ugyanakkor B és a B' pontban apály van. A Föld adott pontján egy nap kétszer van apály, és kétszer van dagály.

### A Hold felszínén megfigyelhetők:

**Hegyek:** A földi mérethez képest magasak. Gyűrű alakban húzódnak.

**Kráterek:** 200 km-től néhány cm átmérőjűek. Oka: vulkáni tevékenység és meteorbeccsapódás.

**Tengerek:** A Holdon nincs víz. Az elnevezés történelmi eredetű. A Hold első távcsöves megfigyelője, Galilei, még azt hitte, hogy a sötét síkságok helyén a földihez hasonló tengerek találhatók. Ezek valójában lapos síkságok, amelyeket porózus anyag borít.

**Szakadékok:** Hosszú, keskeny, mély képződmények. Kialakulásuk oka a holdrengés.

**Sugaras szerkezetű vonalak:** Képződésük okát nem tudjuk. Fiatal kráterekből indulnak ki, és minden képződményen áthaladnak.

A Holdról hozott közetminták vizsgálatával megállapították, hogy a Hold a Földhöz hasonlóan kb. 4,7 milliárd éves égitest. A holdpor kémiai összetétele nagyon hasonlít a felső földkéreg kémiai összetételére. Ezért elmondhatjuk, hogy nagy valószínűséggel a Hold a Földdel egy időben és azonos körülmények között keletkezett. Ennek ellenére a Hold felépítése egyszerűbb, mint a Földdé. A Hold arculata elsősorban történetének korai szakaszában változott lényegesen, az utolsó 3 milliárd év csak kisebb változásokat hozott a Hold szerkezetében.

## Mars

Légköre	Főleg széndioxid
Légnyomás	1750 Pa
Évszakok	Váltakoznak
Nyár	+20 °C — +50 °C
Tél	- 50 °C — - 80 °C
Két holdja van	Phobos, Deimosz



Sokban hasonlít a Földhöz. Az évszakok itt is váltakoznak. A Mars légköre igen ritka. Az átlagos légnyomás a Földnek kb.200-ad része. Légkörének fő összetevője a széndioxid (95%), emellett nitrogén, oxigén, vízgőz és nemesgáz is található. A ritka légkör miatt igen nagy a hőingadozás.

A nyári hőmérséklet: +20 °C+50 °C.

A téli hőmérséklet: -50 °C - -80 °C.

A Mars felszínének legismertebb elemei a "hósapkák". Ezek főleg jeget és szárazjeget tartalmaznak. A felszíni formák közül érdemes megemlíteni a hasadékokat, amelyek a marsi kéreg tágulásának következményei lehetnek, és a fiatal vulkánokat.

Távcsőben a Mars vörösnek látszik, ezért "vörös bolygónak " is szokták nevezni.

**Két holdja van: a Phobos és a Deimos.**

## Jupiter

Légköre	NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , He
Felhők	sávszerűen helyezkednek el
Tengelykörüli forgása	9 óra 50 perc - 9 óra 56 perc
Mágneses tere	jelentős
Évszakok	nincsenek
Jellegzetessége	vörös folt



A Jupiter a Naprendszer legnagyobb bolygója. Tömege 2,5-szer nagyobb, mint a többi bolygó együttes tömege. Felépítése nagyon hasonlít a Napéhoz. Fő alkotórésze hidrogén, hélium, metán, ammónia. Ebből arra is lehet

következtetni, hogy a Jupiter a Naphoz hasonló körülmények között alakult ki, de nem volt elég nagy ahhoz, hogy csillaggá válhasson.

A Jupiternek nincs szilárd kérge. A légkör és a felszín határát ott jelölhetjük ki, ahol a hidrogén cseppfolyóssá válik. A Jupiter felhői sávyszerűen helyezkednek el, valószínűleg a tengely körüli forgás miatt fellépő nagy területi sebesség miatt.

A forgása nem egyenletes. Az egyenlítői öv forgási periódusa 9 óra 50 perc, a póluskörnyéki zónáké 9 óra 56 perc. Felületének jellegzetes képződménye a Vörös Folt, amely környezetéhez képest 11 évente foglalja el ugyanazt a helyet. Mérésekből arra lehet következtetni, hogy a bolygónak jelentős mágneses tere van.

A Jupiternek 52 holdja ismert. Ezek közül a legnevezetesebbek a **Galilei-féle holdak: Io, Europa, Ganymedes, Kallisto.**

## Szaturnusz

Légköre: Jupiter légköréhez hasonló

Holdjainak száma: 30

Titán: Légköre van

Gyűrűje: Három részből áll



Az utolsó olyan bolygó, amely a Földről szabad szemmel látható. A bolygók közül azzal tűnik ki, hogy legkisebb a sűrűsége ( $0,71\text{kg/dm}^3$ ), és legnagyobb a lapultsága. A Szaturnusz legfőbb ékessége a gyűrűje, amely több ezer részgyűrű együttese. Feltételezések szerint a bolygó egyik felrobbant holdjának maradványai. Ma a Szaturnusznak 30 holdját ismerik. Közülük a Titán nevű holdat érdemes kiemelni, mert a Naprendszerben az egyetlen, amelynek jelentős légköre van. Ez a Ganymedes után a Naprendszer második legnagyobb holdja.

## Uránusz

- A nagy távolság miatt keveset tudunk a bolygóról.
- 21 holdja van.
- Van gyűrűje.
- Forgástengelye 8 fokos szöget zár be a keringés síkjával.

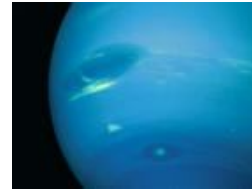


Az Uránuszt 1781-ben egy angol csillagász fedezte fel. Jupiter-típusú bolygó. Összetétele megegyezik a Jupiter összetételével, tengelyforgása 10,7 óra. Érdekessége, hogy a bolygó forgástengelye mindössze  $8^\circ$ -os szöget zár be a keringési síkjával. Az Uránuszt is gyűrű veszi körül, és jelenleg 21 holdja ismert.



## Neptunusz

- Jelenleg 9 holdját ismerjük.
- Szintén van a bolygónak gyűrűje.



A Neptunuszt 1846-ban egy német csillagász fedezte fel. Jupiter típusú bolygó, hőmérséklete valamivel magasabb az elméletileg várható értéknél ( $-110^{\circ}\text{C}$ ). Szintén van gyűrűrendszere, és jelenleg 9 holdja ismert.

## Plutó

- 1930-ban fedezték fel.
- Átmérője kb. 5700 km.
- Tömege kb. 0,18 földtömeg.
- Egy holdja ismeretes.
- Keringési periódusa: 248 év.



Az Uránusz pályaháborgásai miatt 1930-ban fedezték fel a kilencedik nagybolygót, a Plutót. A Plutó nem Jupiter-típusú, de nem is Föld-típusú bolygó. Pályája annyira elnyúlt, hogy időnként jobban megközelíti a Napot, mint a Neptunusz. Átmérője kb. 5700 km. Tömege kb. 0,18 földtömeg.

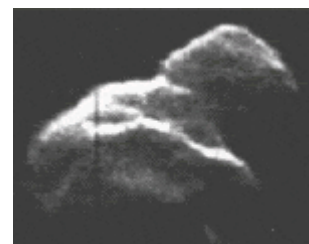
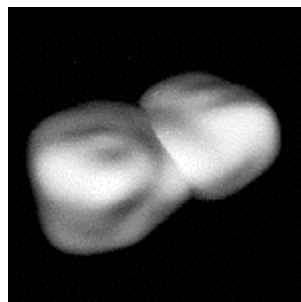
\* A Plutót 2006. augusztus 24.-től a tudomány nem soroljuk a Naprendszer bolygói közé.

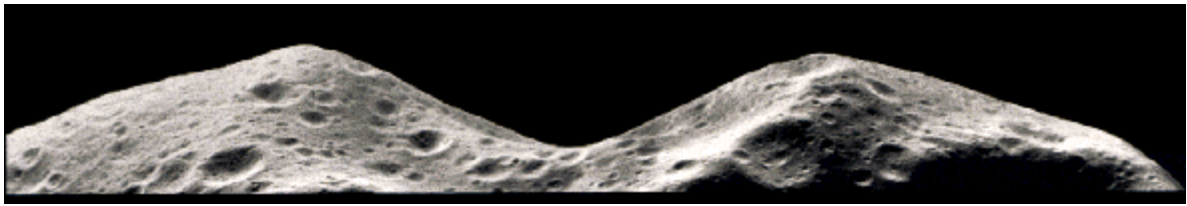
## c) Kisbolygók

Már a XVIII. században is vizsgálták a bolygók helyzetét a Naptól mért távolság függvényében.

Feltűnt, hogy a Mars és a Jupiter között még egy bolygónak kellene lenni. Piazzini 1801-ben felfedezte a hiányzó bolygót. A későbbiek során még rengeteg kisbolygót fedeztek fel ebben a térrészben. Valószínűleg, hogy ezek a képződmények egy korábban felrobbant bolygó maradványai.

Jelenleg 1600 kisbolygónak ismerik a pályáját. Az 1 km-nél nagyobb átmérőjű kisbolygók száma 100 000, összes tömegük kb. 0,5 földtömeg. A legnagyobb kisbolygó a Ceresz, átmérője 768 km.





#### d) Üstökösök és meteorok

Az üstökösök a Naprendszer leglátványosabb égitestjei. Évente kb. 12 üstököst lehet megfigyelni. Elnyúlt ellipszis alakú pályán keringenek.

Az üstökösök csak akkor figyelhetők meg, ha 1-2 csillagászati egységre megközelítik a Napot. (1 cs.e. a Föld-pálya nagytengelyének a fele, kb. 149,6 millió km).

Egyes tudósok számítása alapján kb. 100 milliárd üstököst tételeznek fel a Naprendszerben.

Az üstökösök két részből állnak:

- ◆ magból,
- ◆ csóvából.

- \* A mag átmérője km-es nagyságrendű.
- \* Tömege kisebb, mint  $10^{-8}$ -on földtömeg.
- \* Elsősorban szilárd jég, ammónia és metán alkotja. A Nap közelében a felmelegedés miatt ezek a gázok elpárolognak, és fényes ragyogásként veszik körül a magot. **Ez az üstökös feje.**

Az üstököst körülvevő gázfelhő molekuláit a napszél (a Nap állandó korpuszkuláris sugárzása) és a sugárnyomás a Nappal ellentétes irányba taszítja. Ekkor keletkezik az üstökösre leginkább jellemző csóva. Egyes üstökösöknek gáz, más üstökösnek por csóvája van.



Ritkán olyan üstökös is megfigyelhető, amelynek por- és gázcsóvája is van. Tekintettel arra, hogy a napszél másként hat a gázmolekulákra, mint a porszemekre, ilyenkor egyidejűleg két csóva figyelhető meg.

A csóva hossza több száz millió km is lehet. Legismertebb a [Halley üstökös](#). 1910-ben és 1986-ban volt megfigyelhető Földünkről. Ilyenkor a Földünkön áthalad az üstökös csóvája.



A **meteorrajok** valószínűleg felrobbant üstökösök maradványai. Amikor a Föld ilyen meteorrajon keresztülhalad, gyakori a meteorhullás. A Föld légkörébe hulló meteorokat a súrlódás miatt erős fényjelenség kíséri (hullócsillag). Ezeket meteoritoknak nevezzük.



A **meteoritok** vizsgálata érdekes felvilágosítást nyújt a Földön kívüli világ anyagi összetételéről. A meteoritokat két fő csoportba osztjuk: kő és vas meteoritok. A Földre évente mintegy 2000 meteorit esik, átlagban 100 kg tömeggel.



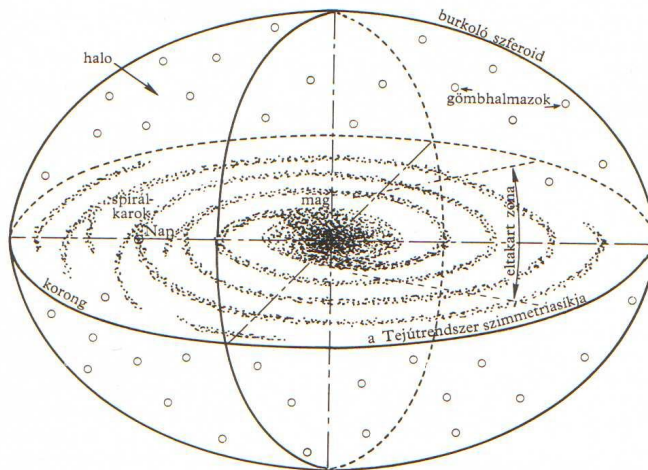
### e) **Interplanetáris anyag**

A Naprendszer szimmetriasíkjában helyezkedik el az a por-és gázfelhő, amely a Nap által megvilágítva az állatövi fényt szolgáltatja. Az állatövi fény legjobban a trópusi országokban figyelhető meg naplemente után vagy napfelkelte előtt. Az állatövi fényt szolgáltató interplanetáris anyag folyamatosan megy át a Nap felé, közeledve a napkoronába.

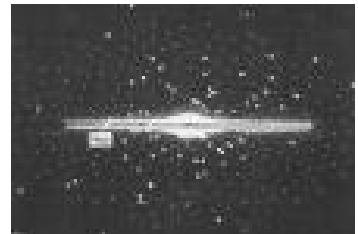
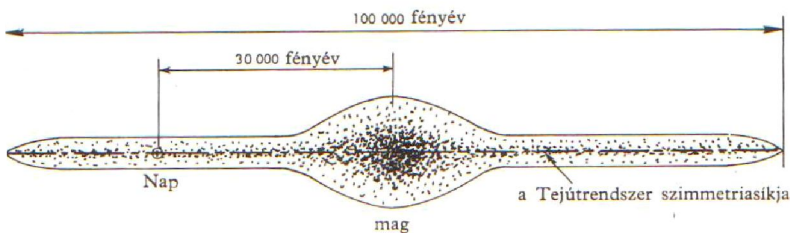


## Tejútrendszer, Galaktika

A Naprendszer egy nagyobb csillagrendszernek, a Galaktikának vagy más néven a Tejútrendszernek a tagja.



A Tejútrendszer oldalnézetből két, peremével egymáshoz illesztett tányérra hasonlít.



Ha a tejútrendszert felülről nézzük, akkor 12 spirálkar alkotja. Alkotóelemei kb.  $10^{11}$  db csillag és az össztömeg néhány százalékát kitevő intersztelláris anyag.

- Ez a Tejútrendszer síkjában és a karokban koncentrálódik.
- Az intersztelláris anyag sűrűsége  $10^{-24}$  kg/m<sup>3</sup>.
- A Tejútrendszer centrumát csillagokból és csillaghalmazokból álló *haló* veszi körül gömbszimmetrikus eloszlásban. Átmérője kb. 100 000 fényév.
- Igen érdekes objektum a Galaktika magja, ami egyben rádióforrás is. A mag mibenlétét még nem sikerült tisztázni, de valószínű, hogy egy anomáisan nagy tömegű és sűrűségű csillag.

- A Tejútrendszer a szimmetriasíkra merőleges tengely körül forog. Egyes objektumok a Kepler-törvénynek megfelelően mozognak.
- A Naprendszer kb. 250 km/s sebességgel mozog, és 250 millió év alatt fut be egy ellipszist a Tejútrendszer centruma körül.
- Tejútrendszerünkben évente kb. egy tucat nóvát figyelünk meg. Fényességük kitörés esetén elérheti a  $10^{10}$  -  $10^{11}$ -szeresét a normál fényességüknek.
- A Galaktika össztömege:  $2 \cdot 10^{11}$  naptömeg.

## Extragalaxisok

Jelenlegi műszereinkkel kb.  $6,5 \cdot 10^9$  fényév távolság észlelhető. A világmindenség ebben a részében  $10^{10}$  db Tejútrendszerhez hasonló, úgynevezett extragalaxis található.

1925-ben Hubble sikeresen megmérte az Andromeda-köd távolságát. Az eredmény  $2 \cdot 10^6$  fényév. Ez a legközelebbi extragalaxis.

A mérések azt bizonyítják, hogy az extragalaxisok távolodnak tőlünk.

Alakjuk szerint a galaxisokat három csoportba sorolhatjuk:

- elliptikus vagy gömb alakúak,
- spirális galaxisok (ilyen a Tejútrendszer is),
- irreguláris galaxisok (teljesen szabálytalan alakúak).

A galaxisok nem töltik ki egyenletesen a távcsöveinkkel belátható teret, hanem általában csoportokat, galaxishalmazokat alkotnak. A Tejútrendszer is egy ilyen csoport tagja. Két nagyobb (Andromeda-köd és Tejútrendszer) és 15 kisebb (pl. Kis Magellán, Nagy Magellán) tartozik ide.

# A csillagok élete

## *Vörös óriások, fehér törpék és pulzárok*

A csillagok élettörténete a hidrogénnel kezdődik.

A kavargó gázfelhőben  
gázcsomagok alakulnak  
ki, és repülnek szét.



**16 billió km**



A gravitáció egymáshoz közelebb húzza a részecskéket.



Az atomok a centrum felé esnek.



Mozgási energiájuk nő.

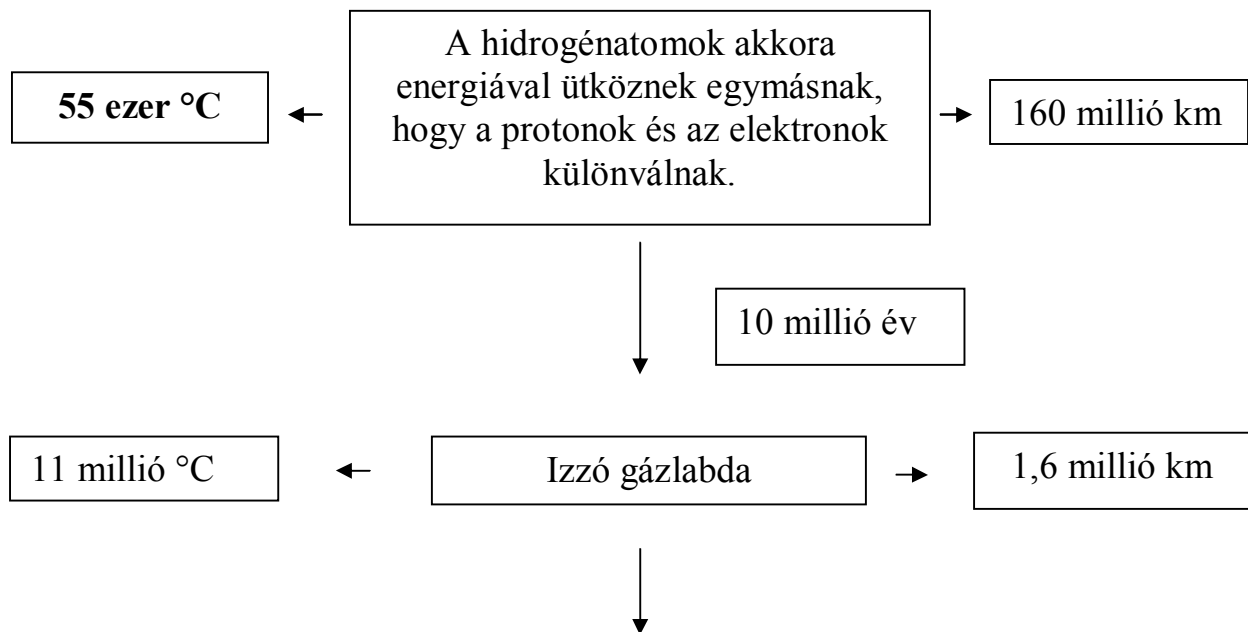


**A gáz melegszik, hőmérséklete emelkedik.**



A zsugorodó, önmagát melegítő gázlabda a csillag **embrionális állapota**.





**Megindul a nukleáris reakció. A hidrogén atommagok hélium atommagokká egyesülnek.**

Ez a csillag életének 99%-a.

A hidrogénégető korszak vége felé a csillag külső rétege felfúvódik.

Ez a **VÖRÖS ÓRIÁS**.



A hidrogénkészlet elfogyott.

↓  
A külső részek a központ felé zuhannak.

↓  
A hőmérséklet tovább emelkedik.

**100 millió °C**

↓  
Újabb energiát termelő magreakció indul meg.

↓  
He atommag C atommaggá alakul.

↓  
A csillag újraéled.

**100 millió év**

↓  
Amikor a He készlet elfogy az újabb kollapszus tovább melegíti a csillagot.

Újabb magreakció megindulásához 300 millió fokra van szükség.

Ekkora hőmérsékletet csak a nagytömegű csillagok képesek elérni.

### Kis tömegű csillagok

**Fehér törpe**

- A csillag anyaga zuhan a középpont felé.
- Térfogata milliomod részére csökken.
- De a nukleáris tüzet semmi nem éleszti újra.
- A felszabaduló energia miatt fényesen ragyog a csillag.

### Nagy tömegű csillagok

↓  
A további kollapszusok rendkívül nagy mennyiségű hőt termelnek.

↓  
Az atommagfúziók addig zajlanak, amíg ki nem alakul a vasmag.

**1 billió fok**

↓  
**Robbanó csillag**

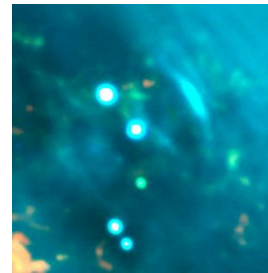
## SZUPERNOVA



Valamennyi vasnál  
nagyobb rendszámú  
elem magja kialakul.

A robbanó csillag  
magja összepréselődik.

## Neutroncsillag vagy pulzár



## Fekete lyuk

A legtöbb csillag változatlanul látszik, pedig nem az. Azok is születnek, fejlődnek és meghalnak, akárcsak az élő szervezet.

Egy csillag élettörténete a természet legegyszerűbb és leggyakoribb elemével, a hidrogénnel kezdődik. A világűr tele van hidrogénfelhőkkel, amelyek hullámlanak és örvénylenek a csillagok közötti térben. E híg felhők kavargó mozgása közben néha az atomok felgyülemlekednek, és kis gázcsomagokat hoznak létre. E csomagok ideiglenesen sűrűsödnek az egyébként ritka közegben. Normális esetben az atomok szabálytalan mozgásuk következtében rövid idő alatt ismét szétrepülnek, és a gázcsomag gyorsan széteszik a térben. Csakhogy a szomszédjára minden atom kis gravitációs erőt fejt ki, ami az atomok szétszóródási tendenciájával ellentétesen hat.

Ha a gázcsomagban lévő atomok száma elég nagy, az említett különféle erők együttese azt korlátlanul együtt tartja. Ekkor már önálló gázfelhőről van szó, amelyet a felhő atomjainak egymásra kifejtett vonzóereje tart össze. Az idő múltával folytonosan ható gravitáció minden atomot közelebb húz a többihez, így a felhő összehúzódik. Az egyes atomok a gravitációs tér hatására a centrum felé kezdenek esni. Esésük közben felgyorsulnak, és mozgási energiájuk növekszik. Az energianövekedés következtében a gáz felmelegszik, tehát hőmérséklete emelkedik. Ez a zsugorodó, folytonosan önmagát melegítő gázlabda az **embrionális állapotú csillag**.



Miközben a felhő saját súlya alatt összehúzódik, a belső hőmérséklete állandóan nő. Elérve az **55 ezer  $^{\circ}\text{C}$** -ot, a gáz hidrogénatomjainak már elég nagy a sebességük ahhoz, hogy egymással ütközve az összes elektront kilökjék a proton körüli pályájukról. Az eredeti hidrogéngáz, amelynek minden atomja egy protonból és egy elektronból állt, most két gáz keverékévé válik: az egyik elektronokból áll, a másik protonokból.

Az eredeti, **16 billió km** átmérőjű gázgömb ebben az állapotban már csak **160 millió km-es**.

E hatalmas gázgömb, amely immár különálló protonokból és elektronokból áll, folytatja összehúzódását saját súlya alatt, és a centrumának hőmérséklete tovább emelkedik. **10 millió év** után ez a hőmérséklet eléri a kritikus kb. **11 millió  $^{\circ}\text{C}$** -ot. Ekkor a gázlabda átmérője **1,6 millió km**-re zsugorodott, ami a mi Napunknak és más típusú csillagoknak a mérete.

Miért a 11 millió  $^{\circ}\text{C}$  a kritikus hőmérséklet?

A magyarázat az összehúzódó gáz protonjai közötti erőkkel kapcsolatos. Amikor a két protont nagy távolság választja el egymástól, elektromosan taszítják egymást, mivel minden protonnak elektromosan pozitív töltése van. De ha a protonok nagyon közel kerülnek egymáshoz, az elektromos taszítás átadja helyét a sokkal erősebb magerő vonzásának. A protonoknak ahhoz, hogy a magerő hatásos legyen, egybilliomod cm-nél közelebb kell lenni egymáshoz.

Normál körülmények között az elektromos taszítás gátként működik, és az ilyen nagymérvű közeledést megakadályozza. Kivételes erősségű ütközések során azonban a protonok áthatolnak az őket elválasztó elektromos gáton, és a nukleáris vonzás hatása alá kerülnek. A kívánt hevességű ütközések akkor lépnek fel, amikor a gáz hőmérséklete a 11 millió  $^{\circ}\text{C}$ -ot eléri.

Ha egyszer a két proton közötti gát az ütközés következtében átszakadt, a két részecske a nukleáris vonzás következtében felgyorsul, és egymás felé száguld. Végül az ütközés pillanatában a nukleáris vonzóerő akkora, hogy a két protont egyetlen magba egyesíti. Ugyanakkor energiájuk egy része elektromágneses hullám formájában felszabadul. Ez az energia-felszabadulás jelzi a csillag születését.

Az energia kiáramlik a gázgömb felszínére, és többek között fény formájában kisugárzódik. Ennek következtében látjuk a csillagot az égen.

Az energia-felszabadulás, amely kilogrammonként egymilliószor nagyobb, mint amennyi a TNT robbanásakor szabadul fel, megállítja a csillag összehúzódását, és az életének jó részét abban az egyensúlyban éli le, amely a nukleáris energia felszabadulásából származó kifelé ható nyomás és a gravitációs erő következtében létrejövő befelé ható nyomás között fennáll.

Két proton egyesülése egyetlen maggá csak az első lépés abban a reakciósorozatban, amelynek során a magerő felszabadul a csillag élete folyamán. Sorozatos ütközésben két további proton egyesül az előző kettővel, és létrejön a négy részecskét tartalmazó mag. Két proton elveszti pozitív töltését, és neutronná válik a folyamat során. Az eredmény olyan mag, amelynek két protonja és két neutronja van. Ez a héliumatom magja. A reakciósorozat a hidrogénatommagokat héliumatommagokká alakítja.

**A hidrogén héliummá alakítása** az első és a leghosszabb fázis a csillag nukleáris energiatermelésének történetében, **életének mintegy 99%-át** kitölti. A csillag életének e hosszú szakasza alatt külső formája nagyon keveset változik, de a folyamat vége felé, amikor már a proton legnagyobb része átalakult alfa-részecskékké, a csillag kezd az öregedés első jeleit mutatni. Az árulkodó jelek: a külső réteg felfúvódása és vörösödése, ami kezdetben alig észlelhető, de addig tart, amíg a csillag eredeti méreténél mintegy 100-szor nagyobb, hatalmas gömbbé nem nő. A mi Napunk ezt az állapotot valószínűleg ötmilliárd év múlva éri majd el, ekkorra hatalmas gázgömbbé duzzad, amely elnyeli a Merkúrt, a Vénuszt és majdnem a Föld pályájáig ér. Ez a vörös golyó bolygónkra nézve az ég legnagyobb részét kitölti majd. A Nap sugarai a Földet kb. 2200  $^{\circ}\text{C}$ -ra hevítik majd fel, elpárologtatva a felszín anyagának jelentős részét.

Az ilyen felpuffadt, vörös csillagokat nevezik **vörös óriásoknak** a csillagászok.

A csillag addig él vörös óriásként, amíg protonkészleteit felemészti. Ha az üzemanyag elfogyott, a csillag nem tudja többé azt a nyomást előállítani, amely a gravitációjának befelé ható iszonyú erejével egyensúlyt tartana, ezért a külső rétegek a középpont felé kezdenek zuhanni. A vörös óriás összeomlik.

Az összeroppanó csillag belsejében tiszta héliummag van, amely a csillag korábbi életében a protonok fúziójából keletkezett. **A He-atommagok a 11 millió  $^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten nem vesznek részt nehezebb magokká való egyesülési** folyamatokban, mert két pozitív töltésük következtében közöttük az elektromos taszítás négyszer akkora, mint a protonok között volt. Ahhoz, hogy a két He-atommag közötti elektromos gát átszakításához elegendő heves ütközés jöjjön létre, százmillió fokok hőmérséklet szükséges.

Amint azonban a csillag összeroppan, gravitációs energiájának nagy része a részecskék mozgási energiájává alakul, tehát a rendszer belső hőmérséklete emelkedik. Közepének hőmérséklete eléri végül a **százmillió fokok** kritikus hőmérsékletet is. Ekkor megkezdődik a He-atommagok fúziója szénatom-magokká, miközben magenergia szabadul fel, amely újraéleszti a csillag belsejében égő tüzet. Ez az energia-felszabadulás megállítja a további gravitációs összeomlást, a kollapszust. A csillag megijedve életre kap, miközben He-atommagokat éget C-atommagokká.

A Napunkkal azonos méretű csillagokban a He-égető szakasz mintegy **százmillió évig** tart. Ennek az időszaknak a végére a most már inkább He-atommagokból, mint protonokból álló üzemanyag-tartalékok ismét kimerülnek, a csillag belseje pedig C-atommagokkal kezd feltöltődni. Ezeket a magokat, amelyekben hat pozitív elektromos töltés van, még tekintélyesebb elektromos gát választja el egymástól, mint a He-atommagokat, és leküzdéséhez még hevesebb ütközésekre van szükség. A százmillió fokok hőmérséklet, amelyen a He-atommagok fúziója végbement, nem elég ahhoz, hogy a szénatommagok egyesüljenek. Ehhez **háromszázmillió** fok szükséges.

Mivel a vörös óriás belsejében uralkodó hőmérséklet nem éri el a **300 millió fokot**, a nukleáris tűz lassan kialszik, ahogy a szén felgyülemlik. A csillag most ismét szűkében lesz azoknak az erőforrásoknak, amelyek egyensúlyt tartanak a külső rétegek nyomásával, és újra megindul a gravitációs kontrakció.

Eddig a pontig minden csillag élete hasonlóan zajlik le, további fejlődése és haldoklása azonban attól függ, milyen a mérete és a tömege. A kis tömegű csillagok összezsugorodnak és kialszanak, míg a nagyok gigászi robbanásban semmisülnek meg. Napunk történetesen éppen a határra esik, nem tudjuk bizonyosan, merre fordul majd a sorsa az élete végén, de azt gyanítjuk, hogy inkább kialszik.

A kis és nagy csillagok életútjának szétválását az okozza, hogy a vörös óriás korszak végén, a második kollapszus során, különböző mennyiségű energia szabadul fel. Egy kis csillagban az összeroppanás csekély mennyiségű hőt termel, és a centrum hőmérséklete nem éri el a 300 millió fokot, ami a szénatomok magjának egyesüléséhez szükséges. Így a nukleáris tüzet semmi nem éleszti fel. Ehelyett folytatódik az összeomlás, míg a csillag belsejében lévő anyag nyomása akkora nem lesz, hogy az minden további méretcsökkenésnek ellenáll. A csillag ezután mindörökre ebben az összenyomott állapotban marad. Mérete durván akkora, mint a Földd, saját súlya préselte össze ekkorára, eredeti térfogatának mintegy milliommód részére. Ennek a rendkívül sűrű testnek a közepe tájáról vett kávéskanálnyi anyag 10 tonnát nyomna. Ha valaha ilyen csillagra találnánk, nem tudnánk leszállni e különös világra, noha felszíni hőmérséklete esetleg kellemes lehet számunkra, mert a rendkívül erős tömegvonzás hatására a látogatót saját súlya összeroppantaná.

Bár egy ilyen csillag középpontjában soha sincs akkora forróság, hogy a szénatommagok magreakciója meginduljon, felszíni hőmérséklete mégis elég magas ahhoz, hogy a csillagot szemünk fehéren izzónak lássa. Ezeket az összetöppedt, fehéren izzó csillagokat fehér törpéknek nevezzük. A **fehér törpe** idővel az utolsó hőkészletét is kisugározza az űrbe. Végül hőmérséklete lecsökken, és kihunyta után sötét tetemmé válik.

Egészen más sors vár a nagyméretű, nagy tömegű csillagokra. Minthogy a csillag tömege elég nagy, kollapszusa rendkívül nagy mennyiségű hőt termel, többet, mint amennyi a fehér törpe kialakulásakor keletkezik. A hőmérséklet hamarosan eléri a 300 millió fokot, amelynél a szénatommagok egyesülnek. A szénatommagok fúziója még nehezebb elemek létrejöttéhez vezet. Így keletkeznek az elemek az oxigéntől a nátriumig.

Idővel a szénüzemanyag-készletek is kiürülnek, kimerülésüket újabb kollapszusok követik, új felmelegedés, megújult nukleáris égés, amely további elemeket hoz létre.

Így tehát kollapszus és nukleáris égés váltakozásain keresztül egy nagy tömegű csillagban minden olyan elem létrejön, amelynek rendszáma nem nagyobb a vasénál. De a vas nagyon különös elem. Ez a fém, amely a legkönnyebb és a legnehezebb elemek között valahol félúton foglal helyet, kivételesen sűrű magot tartalmaz. A neutronok és a protonok olyan sűrűn helyezkednek el benne, hogy semmiféle nukleáris reakció segítségével nem lehet energiát kinyerni belőle. A valóságban a vasmagok elnyelik a nukleáris reakció energiáját. Ha a csillag belsejében nagy tömegű vas gyűlik fel, a tüzet nem lehet feléleszteni. A csillag belső tüze kialszik, és megkezdí saját súlya alatt a végső kollapszusát.

A végső kollapszus katasztrofális esemény. A centrumban lévő vasatommagok felszippanthják a csillag energiáját, nyomban, ahogy termelődik, és az összeroppanó anyag, elhanyagolható ellenállással találkozván, rendkívüli sebességgel zuhan a centrum felé, milliónyi km-t megtéve egy percnél rövidebb idő alatt. Végül felhalmozódik a centrumban roppant nyomású, sűrű tömb alakjában. Amikor a centrumban a nyomás eléri egy meghatározott nagy értéket, a kollapszus folyamata leáll. Az összeomlott csillag, mint egy összenyomott rugó, pillanatnyilag csendes, aztán egy heves robbanásban feltámad.

A kollapszus és a rákövetkező robbanás alatt kialakuló hőmérséklet akár egybillió fokot is elérheti. Ekkora hőmérsékleten a robbanó csillag egyes atommagjai szétbomlanak, nagyon sok neutron szabadul ki. A neutronokat más magok befogják, nehezebb elemekké épülnek fel, például ezüstté, arannyá, uránná. Így keletkeznek a periódusos rendszer vason túli elemei a csillag életének végső pillanatában.

A robbanás kisodorja az űrbe mindazokat az elemeket, amelyet a csillag élete során előállított, egy kicsiny, gyengén fénylő mag marad hátra. A teljes epizód néhány percig tart mindössze, a kollapszus beálltától a végső robbanásig.

A robbanó csillagot **szupernóvának** nevezik. A szupernóvák a Napnál sok milliószor nagyobb fényességgel ragyognak fel. Ha egy szupernóva véletlenül éppen közel van hozzánk Galaxisunkban, hirtelen jelenik meg az égbolton, úgy, mint egy csillag, fényesebb, mint bármelyik, és szabad szemmel esetleg még nappal is látható. Európában az utolsó szupernóva fellángolásokat 1572-ben és 1604-ben figyelték meg. Az egyik legrégebbi feljegyzés szupernóva robbanásról 1054-ből, kínai csillagászoktól származik. E szupernóva helyén ma nagy gázfelhő van, amelyet Rák-kód néven ismerünk. Ez 1100 km/h sebességgel tágul, és annak a csillagnak a maradványait tartalmazza, amelyet ott 900 évvel ezelőtt felrobbanni láttak.

Mi lesz a szupernóva összepréselt magjával, miután külső rétegei az űrbe kirepülnek?

Erre a kérdésre a válasz 1967-ig ismeretlen volt. Ekkor fedezték fel a **pulzárokat**, ezeket a rendkívül érdekes égi objektumokat.

A felfedezés pusztán véletlen műve. A cambridge-i egyetem egyik csillagász hallgatója azt a feladatot kapta, hogy távoli galaxisok rádióhullámainak intenzitásingadozását vizsgálja. Egyszer csak azt tapasztalta, hogy az égbolt bizonyos helyéről szabályos időközökben rövid, gyors rádiójeleket fogott fel a rádiótávcső. A jelek egymásutánja olyan volt, mint egy felgyorsított égi morzejel. A közöttük lévő szünet tartalma rendkívüli állandóságot mutatott. Nem változott többet tízmilliomod résznyinél. Először néhány csillagász úgy vélte, hogy más bolygók intelligens lényei sugároznak üzenetet a Földre. Csakhamar bebizonyosodott, hogy a rádiójelek eredete nem mesterséges, hanem természetes. E következtetés egyik legfőbb alapja az volt, hogy a jelek széles frekvenciasávban jelentkeztek. Ha egy Földön kívüli társadalom más naprendszerbe jeleket próbál küldeni, e csillagközi rádióadásoknak óriási teljesítményűeknek kell lenni ahhoz, hogy a jelek az egyes csillagokat szomszédaitól elválasztó kilométerek billióin átjussanak. Az egyetlen egyszerű út az lenne, ha minden rendelkezésre álló teljesítményt egyetlen frekvenciára koncentrálnának, ahogyan mi tesszük a rádió és a TV műsorszórásban. Pazarló, céltalan és értelmetlen lenne az adó teljesítményét széles frekvenciasávban szétszórni.

A válasz nyitjához vezető első kulcs az impulzusok élessége volt. Abból a megfigyelésből, hogy valamennyi impulzus század másodpercig vagy még kevesebb ideig tartott, a csillagászok arra következtettek, hogy a pulzár hihetetlenül kicsiny csillag, sokkal kisebb, mint egy fehér törpe. E következtetést arra a tényre alapozták, hogy ha egy test elektromágneses impulzusokat bocsát ki magából, a különböző részeiről kiinduló hullámok különböző időpontokban érkeznek a Földre, ami miatt az eredeti impulzus élessége elromlik. Minél kisebb a test, annál élesebb az impulzus. Ezt az okoskodást követve a csillagászok kiszámolták, hogy a test sugara nem nagyobb 16 km-nél. Ez a következtetés megdöbbentő. Mindeddig a 10 ezer km sugarú fehér törpéket tartották a világmindenség legkisebb, legsűrűbb csillagainak.

Hogy lehet egy csillag ezerszer kisebb a fehér törpéknél?

A válasz egy néhány évtizeddel korábban megfogalmazott jóslatig nyúlik vissza. Ekkortájt néhány elméleti asztrofizikus rámutatott arra, hogy amikor egy csillag élete végén összeroppan, szupernóvaként való felrobbanása előtt anyaga a centrumban halmozódik fel, miközben nagy nyomás lép fel, sokkal nagyobb, mint amekkora a csillag saját súlya következtében annak belsejében volt. E hihetetlen nagy nyomás a csillag belsejében lévő elektronokat és protonokat arra kényszeríti, hogy neutronokká egyesüljenek. Így tisztán neutronokból álló gömb jön létre a csillag centrumában, amely alig 30 km átmérőjű, de amely a csillag eredeti anyagának legnagyobb részét magában foglalja. Ezt a feltételezett neutrongömböt nevezték **neutroncsillagnak**.

1965-től kezdődően a csillagászok lankadatlanul kutattak neutroncsillag után, és különös gonddal vizsgálták a **Rák-köd** közepe táját, ahol az 1054-ben észlelt szupernóva-robbanás magjának kellett volna lennie. De semmiféle neutron- csillagot nem találtak, így az érdeklődés csökkent.

1968-ban nagy izgalmat keltett a csillagászok között, amikor a Rák-köd közepén pulzárt fedeztek fel, pontosan azon a helyen, ahol a neutroncsillagot keresték. Hirtelen nagyon sok bizonyítékrészlet kezdett összeilleni. Neutroncsillag létezését jóslták a Rák-köd centrumában, és pulzárt találtak a Rák-köd centrumában. A neutroncsillag, valamint a pulzár az egyetlen olyan objektum, amelyről tudjuk, hogy majdnem egy egész csillag tömegét tartalmazza, mintegy 16 km sugarú gömbben. Világos, hogy a neutroncsillag és a pulzár ugyanannak a dolognak a két neve: fantasztikusan összepréselt, rendkívüli sűrűségű anyaggömb, amely akkor jön létre, amikor egy nagy tömegű csillag az élete végén összeroppan.

Mi hozza létre az éles, ismétlődő füttyöket, amelyről a pulzár a nevét kapta?

Valószínű, hogy a pulzár felszíne hatalmas viharok színhelye, amelyek évekig is eltarthatnak, és közben részecskéket és elektromágneses sugárzást lövellnek ki a térbe. A pulzár a kis mérete miatt rendkívül gyorsan forog a saját tengelye körül. Így a róla kiinduló sugárzások, mint a világítótorony forgó reflektorának fénye, úgy söpörnek végig a világűrön. Ha a Föld véletlenül e nyaláb útjába kerül, éles impulzus észlelhető a pulzár minden egyes fordulata során.

Amikor rájöttek a neutroncsillagok, a pulzárok és szupernóvák kapcsolatára, sok csillagász úgy gondolta, hogy talán a csillagok élettörténetének utolsó lapjai is megíródtak. Mások viszont azt gyanítják, hogy legalább még egy meglepetés vár ránk, mert okunk van azt hinni, hogy a csillagok anyagának összepréselődésében a neutroncsillag nem az utolsó állomás. Bizonyos körülmények között a csillag folytatja összehúzódását a neutroncsillag-állapot után is, egyre gyorsabban és gyorsabban zuhan befelé önmagába, amíg mintegy 3 km sugarúvá össze nem húzódik. Ilyenkor a felszínen a gravitáció milliárdszor nagyobb, mint a Nap felszínén. E roppant visszahúzó erő megakadályozza a fénysugarat abban, hogy elhagyja a csillag felszínét. E pillanattól fogva a csillag láthatatlan. **Fekete lyuk** a térben.

*A fekete lyuk belsejében az összehúzódás folytatódik, az anyag eközben a centrumban préselődik össze parányi, hihetetlen sűrű tömegben. Az elméleti fizika jelenlegi tudása szerint ez a csillag életének vége. A csillag térfogata egyre kisebb és kisebb. A 3 km sugarú gömbből akkorára zsugorodik, mint a tű hegye, aztán akkorára, mint egy bacillus, és még mindig csökkenve belép azoknak a méreteknél a tartományába, amelyek kisebbek, mint amellyel az ember valaha is összekerült. Am az ösztönnünk azt súgja, hogy ilyen objektum nem létezhet. Kell lenni olyan pontnak, ahol a kollapszus leáll. De a XX. század fizikájának törvényei szerint nincs olyan hatalmas erő, amely megállíthatná a kollapszust. Ebből adódik az az igény, hogy a fizika törvényeit az igen kicsiny méretek világára módosítani kell úgy, hogy a részecskék ne kerüljenek végtelenül közel egymáshoz. És itt a figyelmeztetés arra, hogy új törvény vagy új természeti erő felfedezése áll küszöbön, amely egy napon talán sokkal nagyobb energiák felszabadításához vezet majd el, mint a magerenergia. Egy ilyen felfedezés a jövő világát éppúgy átalakítaná, ahogy a magerők felfedezése átalakította a XX. század világát.*