

2019

CSILLAGÁSZAT

VOLODIMIR SZIROTYUK
JURIJ MIROSNICSENKO



ISBN 978-966-914-222-1



VOLODIMIR SZIROTYUK
JURIJ MIROSNICSENKO

CSILLAGÁSZAT

STANDARD SZINT

11

VOLODIMIR SZIROTYUK
JURIJ MIROSNICSENKO

CSILLAGÁSZAT

STANDARD SZINT

(A Jackiv J. Sz.
vezette szerzői közösség
tanterve szerint)

Tankönyv a magyar oktatási
nyelvű általános középfokú tanintézetek
11. osztálya számára

*Ajánlotta Ukrajna Oktatási
és Tudományos Minisztériuma*



Львів
Видавництво „Світ”
2019

УДК 52(075.3)
С40

Перекладено за виданням:

Сиротюк В. Д. Астрономія : (рівень стандарту, за навч. програмою авт. кол. під керівництвом Яцківа Я. С.) : підруч. для 11-го кл. закл. заг. серед. освіти / Володимир Сиротюк, Юрій Мирошніченко. — Київ : Генеза, 2019

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 12.04.2019 № 472)

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Сиротюк В. Д.
С40 Астрономія : (рівень стандарту, за навч. програмою авт. кол. під керівництвом Яцківа Я. С.) : підруч. для 11 кл. з навч. угор. мовою закл. загал. серед. освіти / В. Д. Сиротюк, Ю. Б. Мирошніченко ; пер. Б. Д. Дьєрі, Г. А. Штерр. — Львів : Світ, 2019. — 160 с. : іл.

ISBN 978-966-914-222-1


УДК 52(075.3)


ISBN 978-966-914-222-1 (угор.)
ISBN 978-966-11-0977-2 (укр.)


© Сиротюк В. Д.,
Мирошніченко Ю. Б., 2019
© Видавництво „Генеза”,
оригінал-макет, 2019
© Дьєрі Б. Д., Штерр Г. А.,
переклад угорською мовою,
2019



KEDVES TIZENEGYEDIKES LÁNYOK ÉS FIÚK!


A 11. osztályban a csillagászati objektumokról, a csillagászati jelenségek lefolyásának általános törvényszerűségeiről fogtok tanulni. Megtudjátok, milyen a Világegyetem szerkezete, melyek megismerésének és kutatásának a módszerei. A tankönyv elméleti anyaga segít nektek megérteni és magyarázni a megfelelő folyamatokat és jelenségeket, törvényeket és elméleteket. Fordítsatok figyelmet a **félkövérrel** és színezéssel kiemelt szövegrészekre. Ezek csillagászati szakkifejezések, fontos szabályok és törvények, amelyeket meg kell jegyeznetek, és tudnotok kell alkalmazni.

A **Tudjátok-e, hogy...**  rubrika érdekes tényeket tartalmaz, és nemcsak a látókörötöket bővíti, hanem segít meggyőzni benneteket arról, hogy a természetben minden a fizika törvényeinek megfelelően történik, tudatosítani magatokban a csillagászati ismeretek szerepét az ember életében és a társadalom fejlődésében.

Minden paragrafus végén megtaláljátok a **Kérdések a tanultakhoz**  rovatot. A kérdésekre válaszolva ellenőrizhetitek, mennyire sajátítottátok el a tananyagot, rögzítettétek a megszerzett tudást.

A **Gyakorlati munka**  segít nektek a csillagászati jelenségek törvényszerűségeinek jobb megértésében.

A különböző feladatok megoldásának mintáit az **Oldjuk meg együtt!**  rubrikában találjátok. A tankönyvben önálló megoldásra váró **Feladatok és gyakorlatok**  is vannak. A csillaggal jelölt példák nagyobb odafigyelést és összpontosítást, több matematikai ismeretet, gondolkodást igényelnek.

Fordítsatok különös figyelmet az **Ellenőrizd a készségedet!**  rubrikában található feladatokra. A megoldásukkal megtanuljátok jobban látni és érteni a környező világot, magyarázni a természetben zajló folyamatokat.

Minden fejezet végén **Tesztfeladatok**  vannak, amelyek segítségével ellenőrizhetitek, hogy milyen szinten sajátítottátok el a tananyagot, és mennyire vagytok felkészülve a témazáró dolgozat megírására.

Mindezek a készségek segítenek nektek a jövőben felhasználni a megszerzett tudást, alkalmazni azt a mindennapi életben. A csillagászati ismeretekre szükségetek lesz még abban az esetben is, ha a választott hivatásotok nem kapcsolódik majd a természettudományokhoz.

Ha szükségetek lesz valamilyen csillagászati szakkifejezésre vagy szabályra, használjátok a *Tárgymutatót*.

A tanulás során törekedjetez minél nagyobb önállóságra a tananyag elsajátításában. Készüljetez fel, hogy a csillagászat tanulása nem lesz könnyű feladat.

Sok sikert a tanuláshoz!

Bevezetés



A csillagászat (asztronómia) a legősibb tudományok egyike, amely a Világegyetemben megfigyelhető objektumokat és jelenségeket tanulmányozza, és amelyet az emberek gyakorlati szükségletei, valamint a környezet megismerésének óhaja hozott létre. Nehéz túlértékelni a civilizáció fejlődéséhez való hozzájárulását és az ember világképének kialakulásában játszott szerepét.

A csillagászat tanulmányozásának fő célja az általános műveltség, a tudományos világkép, valamint a mozgástörvények módszereinek és eredményeinek rendszere alapjairól, az égitestek és a Világegyetem fizikai természetéről, fejlődéséről szóló tudásrendszer kialakítása.

Ezt a végtelen és folytonosan változó világot nevezzük Világegyetemnek. A *világegyetem* fogalma magában foglalja a Földet és a többi bolygót, a Napot és a csillagokat, a galaxisokat és azt a közeget, amelyben elhelyezkednek. Földünk, és vele együtt mi is ennek a Világegyetemnek a részei vagyunk.

Az emberek mindig is a megfigyelt objektumok és jelenségek természetének megértésére törekedtek, ezért a környező világ képét az általuk birtokolt tudásnak megfelelően alakították ki. Az új tények és elméletek megjelenésével, valamint azzal, hogy lehetővé vált ezeknek az elméleteknek az ellenőrzése megfigyelések és mérések révén a csillagászat társtudományainak (különösen a fizika) alkalmazásával, a világról alkotott kép fokozatosan egyre pontosabbá vált és ezzel együtt változott. Néha mindez a világ felépítéséről alkotott túlhaladott elképzelések forradalmi lerombolását jelentette. Ilyen volt például Kopernikusz heliocentrikus elmélete.

Napjaink csillagászatában egyre modernebb kutatási technikát és információs-kommunikációs technológiát alkalmaznak. A korszerű sugárzásdetektorok az információt egyenesen a számítógépekhez és más elektronikus eszközökhöz továbbítják. A megfigyeléseket az elektromágneses sugárzás különféle spektrumaiban folytatják: a rádióhullámok, az infravörös, a látható, az ultraibolya, a röntgen- és a gamma sugarak tartományában. Új objektumokat fedeztek fel (fekete lyukak, neutroncsillagok), már ismert testeknek meglepő tulajdonságaira bukkantak, létrejöttek a feltételek a Naprendszer több objektumának közvetlen kutatására. És minél inkább találkozunk az ismeretlenel a csillagászok és fedeznek fel új dolgokat, annál több válaszra váró kérdés bukkan fel.

A modern csillagászat meglehetősen távoli kozmikus objektumokat tanulmányoz, ezzel együtt nem szakad el a Földtől. Az emberiség számára fontos a Nap aktivitásának és a földi folyamatokra gyakorolt hatásának kutatása, számos kérdésnek a megválaszolása: van-e élet más bolygókon, hogyan hat a világűr az élővilágra.

A világban nem sok hivatásos csillagász található, jóval kevesebben vannak, mint a fizikusok, biológusok, matematikusok és egyéb tudományok képviselői, viszont mindig is sok amatőrről beszélhettünk, akik aktívan figyelik a csillagokat és a bolygókat, és idővel profikká válnak. A csillagászat elemeinek megismerése az iskolában segít a legszükségesebb ismeretek megszerzésében erről az ősi és örökké fiatal, folytonosan fejlődő tudományról, amely mindeközben feltárja az emberiség előtt a Világegyetem titkait.

1. §. A CSILLAGÁSZAT TÁRGYA. FEJLŐDÉSE ÉS JELENTŐSÉGE A TÁRSADALOM ÉLETÉBEN. A CSILLAGÁSZAT KUTATÁSI OBJEKTUMAINAK RÖVID ÁTTEKINTÉSE

1. A csillagászat a Világegyetem objektumait és annak egészét vizsgáló alaptudomány. A csillagászat az égi objektumokat, jelenségeket és a Világegyetemben lejátszódó folyamatokat kutatja. Az emberek régóta próbálták megfejteni a környező világ titkait, meghatározni saját helyüket a Világegyetemen – amelyet az ógörög filozófusok Kozmosznak neveztek – rendszerében. Figyelmesen követték a napkeltét és napnyugtát, a Hold fázisai váltakozásainak rendjét, hiszen ettől függött az életük és a munkatevékenységük. Az embereket érdekelte a csillagok változatlan napi mozgása, de megrémisztették őket az olyan kiszámíthatatlan jelenségek, mint a hold- és napfogyatkozások, a ragyogó üstökösök felbukkanása. Az emberekre különösen mély benyomást tettek azok a jelenségek, amelyeknek alapjául az anyag létezésének a tudomány által még nem ismert formái, ismeretlen természeti folyamatok szolgáltak.

A csillagászat (asztronómia – a görög άστρον – csillag, égitest, νόμος – törvény szavakból) – az égitesteknek, azok rendszereinek és a Világegyetem egészének felépítését, mozgását, eredetét és fejlődését kutató alaptudomány.

A csillagászat mint tudomány az emberi tevékenység egyik fontos fajtája, amely ismeretrendszert nyújt a természet fejlődésének törvényszerűségeiről.

4

A csillagászat célja a Világegyetem eredetének, felépítésének és fejlődésének tanulmányozása.

A csillagászat fontos feladatai közé tartoznak a csillagászati jelenségek magyarázatai és előrejelzésük, mint például a nap- és holdfogyatkozások, üstökösök periodikus megjelenése, a Föld közelében elhaladó aszteroidák, nagyméretű meteorok vagy üstökösök magjai. A csillagászat tanulmányozza a bolygók mélyében, felszínükön és atmoszférájukban végbemenő fizikai folyamatokat, hogy jobban megérthessük a mi bolygónk felépítését és fejlődését. A nyolc nagybolygó (köztük a Föld), a törpebolygók, holdjaik, az aszteroidák, meteortestek, üstökösök, bolygóközi por és a fizikai tér formájában megjelenő anyag, valamint a Nap együttesen alkotják a gravitáció által egybekötött Naprendszert.

Fontos a Nap belsejében zajló folyamatok ismerete, fejlődésük prognosztizálása, hiszen ettől függ az élet létezése a Földön. Más csillagok evolúciójának tanulmányozása és összehasonlítása a Nappal segít megismerni csillagunk fejlődési szakaszait.

A mi csillag galaxisunk és más galaxisok vizsgálata lehetőséget nyújt arra, hogy meghatározzuk a típusát, fejlődését, a Naprendszer benne elfoglalt helyét, annak a valószínűségét, hogy a Naphoz közel halad el egy másik csillag, vagy magának a Napnak az áthaladását a csillagközi gáz- és porfelhőkön.

Tehát a csillagászat a Világegyetem felépítését és fejlődését tanulmányozza. A *világegyetem* kifejezésen a térnek azt a részét értjük, amely magában foglalja a tanulmányozás szempontjából elérhető összes égitestet és azok rendszereit.

2. A csillagászat fejlődésének története. A csillagászat szakágai. A csillagászat és más tudományok kapcsolata. A csillagászat a régmúltban jött létre. Köztudomású, hogy már az ősember is megfigyelte a csillagos eget, majd a barlang falán lerajzolta a látottakat. A társadalom fejlődésével, a földművelés kialakulásával megjelent az idő mérésének, a naptár létrehozásának az igénye. Az égitestek mozgásában, a Hold fázisainak változásaiban észlelt törvényszerűségek lehetővé tették az őskori ember számára az idő egységeinek meghatározását (nap, hónap, év) és az egyes évszakok beköszöntének kiszámítását abból a célból, hogy idejében elvégezhesék a vetési munkákat és betakarítsák a termést.

A csillagos ég megfigyelése a legrégebb időktől fogva alakította az embert mint gondolkodni képes személyiséget. Az állatok időben és térben reflexszerűen tájékozódnak a Nap és más csillagok, valamint a Hold szerint, de csak az emberre jellemző, hogy megjósolja a földi jelenségeket az égbolt megfigyelése alapján. Így például az ókori Egyiptomban a papok a Szíriusz csillag pirkadat előtti égbolton való megjelenéséhez kapcsolva jósolták meg a Nílus tavaszi áradási periódusait, vagyis a földműves munkák idejét. Arabiában, ahol a nappali hőség miatt sok munkát az éjszakai órákra halasztottak, alapvető szerepet játszott a holdfázisok megfigyelése.

Azokban az országokban, ahol fejlett volt a tengerhajózás, különösképpen az iránytű felfedezése előtt jelentős figyelmet fordítottak a csillagok alapján történő tájékozódásra.

A legősibb civilizációk – Egyiptom, Babilon, Kína, India és Amerika – írásos dokumentumaiban (i. e. III–II. évezred) felbukkannak a csillagászati tevékenységre utaló nyomok. A Föld különböző pontjain az őseink kőtömbökből készült épületeket hagytak maguk után, amelyeket bizonyos csillagászati irányoknak megfelelően tájoltak. Ezek az irányok egybeesnek például a napkelte pontjaival a napéjegyenlőség és napforduló napjaiban. Kőből emelt hasonló nap-hónap mutatót találtak Nagy-Britannia déli részén (Stonehenge, 1. ábra).

Csillagászati megfigyelésekre és kultikus szertartásokra szolgáló hasonló tereket több kontinensen is találtak. Például a Buena Vista (2. ábra) – a nyugati félteke legrégebbi obszervatóriuma, amely a perui Andokban volt, néhány km-re Limától. Tekintettel arra, hogy az obszervatórium az i. e. 4200-as évekből datálódik, 3000 évvel megelőzte az inkák civilizációját.

A mayák városát, Chichén Itzát azért építették, hogy fogadhatják „az égi látogatókat”. A város legérdekesebb épülete a lépcsőzetes Kukulkán piramis (3. ábra). Turisták ezrei zárandokolnak el ide évente két alkalommal, hogy megtekintsék azt a fényjátékot, ami az őszi és a tavaszi napéjegyenlőségkor látható. Ilyenkor a Nap sugarai a Kukulkán piramis főlépcsőjének nyugati mellvédjére úgy esnek, hogy a fény és az árnyék egy 37 m-es, háromszögekből álló kígyó képét alkotja meg. 7 óra leforgása alatt, ahogy a Nap mozog, az árnyék kígyó a piramis aljáig kúszik, ahol egyesül a kőből faragott kígyófejű lények sokaságával.

Ugyancsak Chichén Itzában építették meg az El Caracol (Csiga) henger formájú obszervatóriumot, amelyet minden jel szerint a Vénusz égbolton való mozgásának megfigyelésére használtak.

A csillagászat, mint minden más tudomány, egymással szorosan összekapcsolt több fejezetet foglal magában. Ezek a vizsgálat tárgyában, módszereiben, valamint a megismerés eszközeiben különböznek. Történelmi aspektusból szemlélve áttekintjük a csillagászat fejezeteinek kialakulását és fejlődését.

A Földről mint égitestről először az ókori Görögországban tűntek fel helyes tudományos adatok. **Eratoszthenész** (i. e. 275–194) alexandriai csillagász i. e. 240-ban a Nap megfigyelése alapján viszonylag pontosan meghatározta a földgolyó méretét.



1. ábra. Stonehenge – ősi csillagászati tér



2. ábra. Buena Vista



3. ábra. Piramis és obszervatórium. Chichén Itzá



Alexandriai
Hüpatia
(latinul
Hypatia)

Alexandriai Hüpatia (latinul **Hypatia**) (370–415) matematikát, csillagászatot, mechanikát és filozófiát tanult, összeállította az első csillagászati táblázatokat.

Nikolausz Kopernikusz (1473–1543) heliocentrikus világmérete, amelyet *Az égi pályák körforgásairól* c. munkájában (1543) fejtett ki, megnyitotta az utat a Világegyetem megismerése előtt. Azonban nehezen hajlott meg, az új haladó tudományos adatoknak csak nehezen engedett az évszázadok során mélyen meggyökeresedett elképzelés arról, hogy a Világegyetem középpontjában a mozdulatlan Föld található. Kopernikusz elméletét véglegesen **Galileo Galilei** (1564–1642) itáliai fizikus, mechanikus és csillagász erősítette meg, aki egyértelmű bizonyítékokat tárt fel annak hitelességéről. Galilei a legegyszerűbb távcső segítségével végezte el a csillagászati felfedezéseit. A tudós hegyeket és krátereket figyelt meg a Holdon, felfedezte a Jupiter 4 holdját. A Vénusz fázisainak változásai, amit felfedezett, arról tanúskodott, hogy ez a

bolygó a Nap, nem pedig a Föld körül forog.

Galilei kortársa, **Johannes Kepler** (1571–1630) (aki a kor kiemelkedő csillagászának, Tycho Brahenak volt az asszisztense) hozzájárulást kapott a bolygók több mint 20 éven át végzett megfigyeléseinek nagy pontosságú eredményeihez. Keplert különösképpen a Mars érdekelte, amelynek a mozgásában jelentős eltérések mutatkoztak a kor elméleteihez képest. Hosszadalmas számításokat követően a tudósnak sikerült levezetnie a bolygók mozgástörvényeit leíró képleteit. Ez a három törvény fontos szerepet játszott a Naprendszerrel alkotott ismeretek fejlődésében.

6 Az a csillagászati ág, amely az égitestek mozgását tanulmányozza, az égi mechanika nevet kapta.

Az égi mechanika lehetővé tette mind a Naprendszerben, mind pedig a Galaktikában megfigyelhető szinte valamennyi mozgás magyarázatát és előzetes kiszámítását.

A csillagászati megfigyelések során egyre tökéletesebb teleszkópokat használtak. Galilei látcsövet Kepler tökéletesítette, majd pedig **Cristiaan Huygens** (1629–1695). **Isaac Newton** (1643–1727) új fajtájú teleszkópot talált fel – a reflektor-teleszkópot. A korszerűsített optikai műszerek segítségével új felfedezések születtek, amelyek nem csak a Naprendszer testeire vonatkoztak, de a gyenge fényű és távoli csillagokra is.

1655-ben Huygens megfigyelte a Szaturnusz gyűrűit és felfedezte a Titán nevű holdját. 1761-ben **Mihail Lomonoszov** (1711–1765) felfedezte a Vénusz légkörét és megvizsgálta az üstökösöket. A Földet tekintve etalonként a tudósok összehasonlították más bolygókkal és holdakkal. Így született meg a **planetológia** tudománya.

A spektrumanalízis felfedezése lehetővé tette a csillagok fizikai természetének és kémiai összetételének tanulmányozását. A Nap spektrumában látható sötét vonalak részletes kutatása, amelyet **Joseph Fraunhofer** (1787–1826) német tudós végzett el, jelentette az első lépést az égitestekről nyert spektrális információ terén. A laboratóriumi spektroszkópia, illetve az atomok és az ionok spektroméletterének fejlődése a kvantummechanika alapján az ezen alapuló csillagfizika és mindennek előtt a csillagatmoszféra fizikájának a fejlődéséhez vezetett. A XIX. század 60-as éveiben a spektrumelemzés lett az égitestek fizikai természete tanulmányozásának fő módszere.

Azt a csillagászati ágat, amely az égitestekben, azok rendszereiben végbemenő fizikai jelenségeket és kémiai folyamatokat tanulmányozza a kozmikus térben, asztrofizikának nevezzük.

A csillagászat további fejlődése a megfigyelést szolgáló technika tökéletesítésével függ össze. Jelentős sikereket értek el a különböző frekvenciatartományú sugárzás új típusú detektorainak létrehozása terén. A fotoelektron-sokszorozó, az elektronoptikai átalakítók, az elektronfotográfia és a televízió módszerei javították a fotometrius megfigyelések pontosságát és érzékenységét, ami még inkább kiszélesítette a megfigyelt sugárzás tartományát.

A gravitációs lencsézésnek köszönhetően a megfigyelések számára elérhetővé váltak a távoli, több milliárd fényév távolságra található galaktikák fényei. Létrejötték a csillagászat új irányai: a sztellárasztronómia, a kozmológia és a kozmogónia.

A sztellárasztronómia – a csillagok mozgása térbeli eloszlásának törvényszerűségeit tanulmányozza a mi csillagrendszerünkben, a Galaktikában, más csillagrendszerek tulajdonságait és eloszlását vizsgálja.

A kozmológia – a csillagászat ága, amely a Világegyetem egészének eredetét, felépítését és fejlődését tanulmányozza.

A kozmológia következtetései a fizika törvényeire és a megfigyelési csillagászat adataira, valamint egy adott korszak teljes ismeretrendszerére támaszkodnak. A csillagászatnak ez az ága a XX. század első felében kezdett intenzíven fejlődni, miután Albert Einstein kidolgozta az általános relativitáselméletet.

A kozmogónia – a csillagászat ága, amely az égitestek, azok rendszereinek eredetét és fejlődését vizsgálja.

Mivel az égitestek létrejönnek és fejlődnek, az evolúciójukról szóló elképzelések általánosan véve szorosan kötődnek ezeknek a testeknek a természetéhez. A galaktikák és csillagok kutatása során számos hasonló objektum megfigyeléseinek adatait használják, amelyek más-más időben jönnek létre és különböző fejlődési szakaszokban vannak. A modern kozmogóniában széleskörűen alkalmazzák a fizika és a kémia törvényeit.

A csillagászat szoros kapcsolatban áll más tudományokkal. A csillagászok által évezredek alatt megszerzett tudás gyakran kapóra jött más tudományok képviselői számára, és megfordítva – a fizika, matematika, kémia, űrhajózás vívmányai jelentős mértékben hatottak a csillagászat fejlődésére. A csillagászat tanulmányozása során meggyőződhetek erről.

A Világegyetem bizonyos objektumaira vonatkozó jelentős mennyiségű információ összegyűjtése és feldolgozása a csillagászat olyan ágainak a tárgya, mint a **Nap fizikája, a bolygók fizikája, a csillagok és ködök fizikája, az üstökösök fizikája, a meteorcsillagászat, a meteoritika**. A Földre a Naprendszer egyik bolygójaként tekinthetünk – ebben fejeződik ki a csillagászat és a földrajz, valamint a geofizika kapcsolata. Az időjárás klimatikus és szezonális változásai, a mágneses viharok, a felmelegedések, a jégkorszakok – mindezek és egyéb más jelenségek vizsgálatához a geográfusok csillagászati ismereteket használnak.

3. A csillagászat jelentősége az ember világnézetének és műveltségének alakításában. A csillagászat minden időben jelentős hatást gyakorolt az ember tevékenységére, hiszen a legfőbb jelentősége éppen a tudományos világnézet kialakítása és a kutatási tevékenység fejlesztése volt, és ma is az.

Ezt a csillagászat különböző ágainak a fejlődését áttekintve lehet nyomon követni.

A tájékozódási módszereket, amelyeket gyakorlatilag a csillagászat fejlesztett ki, a tengerhajózásban, a repülésben és az űrhajózásban alkalmazzák. Jelentős mértékben megnöttek az égitestek (csillagok, kvazárok, pulzárak) koordinátái meghatározásának pontossági követelményei, mivel ezek alapján tájékozódnak az automatikus űrberendezések, amelyek sebessége összemérhetetlen a földi sebességekkel. A Naprendszer égitesteinek feltárásával megjelenik az igény a Hold, a Mars, a Vénusz és egyéb égitestek térképének összeállítására.

A pontos idő szolgálat munkája, amelynek feladata a pontos idő jeleinek mérése, őrzése és átadása szintén összefügg a csillagászattal. A 10^{-13} s pontosságú atomórák lehetővé teszik a Föld forgásában tapasztalható éves és évszázados változásainak tanulmányozását és az időegység pontosítását.

A kozmikus tér meghódításával nő az **égi mechanika** által megoldandó feladatok száma. Az egyik ilyen a Föld műholdjai pályáinak eltérése az előre kiszámítottaktól. A műholdak repülési magasságának változása a földfelszínhez képest a Föld méhében található kőzetek átlagsűrűségétől függ, ami a kőolaj, földgáz vagy vasérc vélhető lelőhelyére utal.

A Naprendszer égitestei légköreinek vizsgálata segít jobban megismerni a földi légkör dinamikájának törvényeit, pontosabban megalkotni a modelljét, tehát jobb időjárás-előrejelzést készíteni.

Az asztrofizika fejlődése ösztönzi a legújabb technológiák kidolgozását. Így, például, a Nap és más csillagok energiaforrásainak kutatása adta az ötletet az irányított termonukleáris reaktorok létrehozásához. A Nap protuberanciáinak tanulmányozási folyamatában született meg a magas hőmérsékletű plazma mágneses mező általi hőszigetelésének ötlete, a mágneses hidrodinamikus generátor megalkotása. A **Napfigyelő szolgálatot** – a Nap aktivitásának regisztrációját végző nemzetközi koordináló hálózat – a meteorológiában, az űrhajózásban, az orvostudományban és az emberi tevékenység egyéb ágazataiban használják.

A Föld egyedülálló bolygó, amelyen az evolúció során létrejött az emberi civilizáció, a földi természet unikális, ezért óriási az emberiség felelőssége annak megőrzésében.

4. Kutatási objektumok és tér-idő lépték a csillagászatban. A II. világháborút követően viharos fejlődésnek indult a rádiófizika (a rádióhullámok fizikája). A háborúban fennmaradt tökéletesített vevőkészülékek, antennák és rádiólokátorok képesek voltak a Nap és a távoli kozmikus objektumok rádiósugárzásának vételére. Így jött létre a rádiócsillagászat – a csillagászat egyik ága. A rádió-megfigyelések meghonosítása számtalan kiemelkedő felfedezéssel gazdagította a csillagászatot.

A csillagászati megfigyelések fejlődésének új impulzust adott az űrberendezések és az ember kijutása a világűrbe. A kozmikus berendezéseken elhelyezett tudományos műszerek és teleszkópok (4. ábra) lehetővé tették a Nap, más csillagok és galaxisok ibolyántúli, röntgen- és gamma-sugárzásának a kutatását. Ezek a földi légkör (amely elnyeli a rövidhullámú sugarakat) határain túl végzett megfigyelések rendkívüli mértékben kiszélesítették az égitesteknek és azok rendszereinek fizikai természetéről szóló információ mértékét.



A Hubble űrteleszkóp



A Kepler űrteleszkóp

A Szpektr-UF
űrszervatórium

4. ábra

A modern tudományos csillagászati információ tanulmányozásának és kutatásának céljából a világ vezető intézeteinek és obszervatóriumainak megfigyelési eredményei szabadon hozzáférhetők az interneten, beleértve a déli félteke obszervatóriumait is.

5. Az asztrológia és jövővéseinek áltudományos volta. A legősibb idők óta fogva az ember érdeklődött az égi jelenségek – a Nap, a Hold, a bolygók és csillagok mozgása, az üstökösök és meteoritok megjelenése, a nap- és holdfogyatkozások – iránt. Valójában ezek voltak az első csillagászati megfigyelések, amelyek elősegítették a csillagászat tudományának kialakulását.

Ezzel szemben az asztrológia (a görög αστρον – csillag, λόγος – szó szavakból ered), amely az i. e. II. évezredben jött létre Mezopotámiában, szoros kapcsolatban állt az asztrális kultuszokkal. Az ókori Hellaszban állították össze az első horoszkópokat, amelyek szerint állítólag előre lehetett látni az ember sorsát az égitestek születésekor való állása alapján. Azonban érdemes megjegyezni, hogy a horoszkóp elkészítéséhez ismerni kellett az égitestek helyzetét, ami arra készítette az asztro-

lógusokat, hogy megfigyeljék a bolygókat és a csillagokat, ezzel együtt pedig csillagászati ismereteket gyűjtöttek. Viszont a Világegyetem természetéről és az ember pszichológiájáról felgyűlő ismeretekkel együtt elismerték az asztrológia tudománytalan voltát, mivel kialakult az a vélemény, miszerint hiányzik belőle a tudományos módszer és a megismerés tudományos módja.

Az asztrológiával szemben fontos érv az, hogy művelői a geocentrikus rendszert használják, amit Kopernikusz még 1543-ban elutasított. Azonban egyetlen asztrológus sem tekinti a Földet a Naprendszer középpontjának (ez értelmetlen volna). Az asztrológiában a mikrokozmosz és a makrokozmosz közvetlen kapcsolatának elve hat, vagyis mi, a szervezetünk, a személyiségünk ugyanazoknak a ritmusoknak van alávetve, amelyek szerint a Világegyetem és a Naprendszer is létezik. Még az i. e. 4500 évvel ezelőtt íródott *Hammurapi törvényoszlopában* rögzítették az általános azonosság elvét, ami a világmindenség egységéről szól: *Ami fent van, az van lent is*. Azonban ez az elv nem állítja egyértelműen a bolygók közvetlen hatását az emberre és sorsára – értelme sokkal szélesebb és mélyebb.

A Földet két sugárzási öv veszi körül – a Van Allen-övek. Hennagyij Szkurigin (1927–1991) még az 1971-es *Kozmikus fizika új hangsúlyokkal* c. monográfiájában leírta a Föld mágneses terének szerkezetét, amely a napszél és a Föld mágneses tereinek kölcsönhatását. A nappali oldalon körülbelül három földszugárt érnek el, az éjszakain pedig háromszor nagyobbat. A földi magnetoszféra határa a mágneses viharok miatt komoly rezgéseket szenved el. A Föld mágneses pólusai úgyszintén elmozdulnak a nap folyamán. A Nap, a Hold és a Naprendszer bolygóinak elmozdulása nagy hatást gyakorol a Föld magnetoszférájára annak különböző pontjaiban. A tudósok még 1968-ban megállapították, hogy az elektromágneses terek az élővilág információhordozói. A élő szervezetek, az embert is beleértve, észrevehetően reagálnak még a gyenge mágneses tér változására is. Köztudomású, hogy a mágneses viharok idején sok ember közérzete hirtelen romlik.

Az ókori tudósok megjegyzték, hogy a Jupiter mintegy védi a Földet: kedvező befolyása mellett nő a termés és a jószágok szaporulata. Az asztrofizika megállapította, hogy a Jupiter és Íó holdja egyfajta generátort alkot, amelynek az elektromágneses mező kedveznek a Földnek. A Szaturnusz veszélyes bolygónak tartották. Az asztrofizika kiderítette, hogy a Szaturnusz a gyűrűivel gigantikus részecskegyorsítóként működik: elképesztő sebességre gyorsítja a gázionokat és kilöki azokat a térbe, és ezzel nem csak a Földre, de a teljes kozmikus térre hatást gyakorolva. Ezek az ionok egészségromlást, járványokat, pszichológiai diszkomfortot okoznak.

Egyetlen asztrológus sem képes arra, hogy valamit abszolút pontosan előre jelezzen, hacsak nem Nostradamus szintű jóvendőmondó, mivel a világűr hatása a földi életre csak moduláló tényező. Így tehát megszűnésének pillanatától kezdve mind a mai napig és a jövőben is **áltudomány marad az asztrológia**.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mit tanulmányoz a csillagászat? Soroljátok fel a csillagászat legfontosabb sajátosságait!
2. Hogyan jött létre a csillagászat mint tudomány? Jellemezzétek fejlődésének fő periódusait!
3. Mi az oka annak, hogy éppen a csillagászat a legősibb a modern tudományok között?
4. Milyen szerepet töltenek be a megfigyelések a csillagászatban?
5. Milyen objektumokat és objektumrendszereket tanulmányoz a csillagászat? Soroljátok fel őket méreteik szerinti növekvő sorrendben!
6. Milyen ágakból áll a csillagászat? Röviden jellemezzétek őket!
7. Milyen jelentőséggel bír a csillagászat az ember gyakorlati tevékenysége szempontjából?
8. Miben különbözik az asztronómia az asztrológiától?
9. Milyen hazai és külföldi csillagászati honlapokat vagy portálokat ismertek?

1. fejezet

ÉGGÖMB. AZ ÉGITESTEK MOZGÁSA AZ ÉGGÖMBÖN

Ebben a fejezetben megtudhatjátok, mi az éggömb, a csillagkép; melyek a jellegzetes csillagképek, az éggömb alappontjai és vonalai; mi az ekliptika, az égi koordináták, a vízszintes parallaxis; tanultok a csillagászati távolságegységekről, a csillag látszólagos és abszolút fényességéről, a zóna- és a világidőről; a naptárak típusairól; Kepler törvényeiről. Megtanuljátok az égitesteknek az éggömbön végzett látható mozgása okainak magyarázatát; megismeritek az égitestek távolságának, valamint méreteinek és tömegének meghatározási módszereit; a helyi idő meghatározásának elvét, a naptár felépítésének elvét, az égi koordináta-rendszert; a nap- és holdfogyatkozások okát; felismeritek a csillagos égen a jellegzetes csillagképeket, a legfényesebb csillagokat, a Naprendszer szabad szemmel is látható bolygóit, elsajátítjátok a csillagos égbolt mozgó térképének, a csillagatlaszoknak a használatát, a terepen való tájékozódást a Nap és a Sarkcsillag alapján.

10

2. §. ÉGITESTEK ÉS ÉGGÖMB. CSILLAGOK. A CSILLAGOK NAGYSÁGRENDJE

1. Csillagképek és fényes csillagok. A csillagok nagyságrendje. Nyitott területen felettünk az égbolt kupola formájú. Tiszta éjszakákon több ezer csillag ragyog a fejünk felett, és úgy tűnik, hogy lehetetlen eligazodni ezen a hatalmas csillagképen. Az ókori megfigyelők a csillagos égen fényes csillagok bizonyos csoportjait látták, amelyeket alakokként képzeltek el. Ahhoz, hogy könnyebben legyen tájékozódni a csillagos égen, a csillagcsoportoknak, vagyis csillagképeknek az emberek állatok, madarak, különböző tárgyak neveit adták. Egyes alakokban az ógörög csillagászok mitológiai hősöket „láttak”. **Klaudiosz Ptolemaiosz** (kb. 87–165) ógörög csillagász *Almagest* (A csillagászat nagy matematikai felépítése 13 könyvben, i. sz. II. század) c. munkájában 48 csillagképről tesz említést, közöttük a Nagy és Kis Medvéről, a Sárkányról, a Hattyúról, a Bikáról, a Mérlegről.

A legfeltűnőbb csillagképek sok népnél saját nevet kaptak. Így a szlávok a Nagy Medvét Szarvasnak látták. Mások szekeret és rudat véltek felfedezni ebben a csillagképben, így Szekérnek (a magyarok Göncölszekérnek) nevezték el. A Nagy és a Kis Medve között van a Sárkány csillagkép. A legenda szerint a Sárkány (Kígyó) elrabolja a fiatal szépséget, aki a közismert Sarkcsillag.

Az ógörög csillagászok még a III. században a görög mondavilágnak megfelelően egységes rendszerbe foglalták a csillagképek neveit. Ezeket az elnevezéseket idővel átvette az európai tudományosság. Ezért a Föld északi féltekének középső szélességi fokairól látható, fényes csillagokat tartalmazó csillagképek az ókori görög mondák és mítoszok hőseinek neveit kapták (például a Cepheus, Androméda, Pegazus, Perseus). Ábrázolásuk látható az ókori csillagtérképeken: a Nagy Medve és a Kis Medve, Orion, az égi vadász, az égi bikafej, vagyis a Bak és mások (1.1. ábra). A Cassiopeia csillagkép a görög mitológiai királynéről kapta a nevét (1.2. ábra).



1.1. ábra. Andreas Cellarius atlaszának képei a csillagképek mitológiai alakjainak ábrázolásaival

Napjaink csillagászati térképein nem ábrázolnak mitológiai alakokat, de az ókori elnevezéseik fennmaradtak.

A kevésbé fényes csillagképeknek az európai csillagászok adtak nevet a XVI–XVIII. században. A déli félgömb (Európából nem látható) összes csillagképe a nagy földrajzi felfedezések korában kapott nevet, amikor az európaiak megkezdték az Újvilág (Amerika) meghódítását.

Azonban idővel egyre bonyolultabb helyzet alakult ki – az egyes országokban eltérő csillagtérképeket kezdtek használni. Egységesíteni kellett a csillagos égbolt felosztását. A csillagképek végső számát és határait 1922-ben a Nemzetközi Csillagászati Unió I. kongresszusán határozták meg. Az égbolt szférájának teljes felületét feltételelesen 88 csillagképre bontották.

Napjainkban a csillagképek alatt az ég jellegzetesen megfigyelhető csillagcsoportját tartalmazó részét értik. Rögzítésük megkönnyítésére és a csillagképek megtalálásának egyszerűsítése céljából a csillagászati tankönyvekben és atlaszokban a csillagképeket alkotó fényes csillagokat feltételes vonalakkal kötötték össze. A fő csillagképek közé azok a csillagképek tartoznak, amelyek csillagjai a csillagok hátterén kiemelt konfigurációt alkotnak, illetve azok, amelyek fényes csillagokat tartalmaznak (1.3. ábra).

A tiszta, csillagos égen a horizont fölött szabad szemmel közel 3000 csillag látható. Fényességükben különböznek egymástól: egyesek azonnal észrevehetőek, mások



1.2. ábra. A Cassiopeia csillagkép



12

1.3. ábra. A fő csillagképek és a fényes csillagok kölcsönös elhelyezkedése, ahogyan a földrajzi középszélességekről látható

alig láthatóak. Ezért még az i. e. II. században a csillagászat egyik alapítója – **Hipparkhosz** (i. e. 190–120) – bevezette a csillagok látszólagos fényességének feltételes skáláját. A legfényesebb csillagokat az elsőrendűek közé sorolta, a kb. 2,5-szer gyengébbeket a másodrendűek közé, a leggyengébbek, amelyek csak holdfény nélküli éjszakákon látszanak – hatodrendű csillagok.

A csillagos égen csupán 12 elsőrendű fényességű csillag található. Ukrajna területéről ezek közül 11 látható.

Több fényes csillagnak az ógörög és arab csillagászok adtak nevet: Vega, Szíriusz, Capella, Altair, Rigel, Aldebaran. Később a csillagképek fényes csillagait a görög ábécé betűivel jelölték a fényességük csökkenésének megfelelően.

1603-tól érvényes a csillagok **Johann Bayer** (1572–1625) német csillagász által javasolt megjelölési rendszere. Ebben a rendszerben a csillag neve két részből áll: a csillagkép nevéből, amelyhez a csillag tartozik és a görög ábécé betűjéből. Emellett a görög ábécé első betűje, az α , a csillagkép legfényesebb csillagának felel meg, a β – a második legfényesebb jele. Például a Regul – α Oroszlán – az Oroszlán csillagkép legfényesebb csillaga, a Denebola – β Oroszlán – ennek a csillagképnek a második legfényesebb csillaga. A tudomány fejlődésének és a teleszkóp felfedezésének köszönhetően megnőtt a vizsgált csillagok száma. Megjelölésükhöz már nem volt elegendő a görög ábécé betűkészlete. Akkor kezdték el a csillagokat latin betűkkel jelölni. Amikor ezek is elfogytak, a csillagokat számokkal jelölték (például 61 Hattyú).

2. Az éggömb nevezetes pontjai, vonalai és síkjai. Úgy tűnik, mintha minden csillag az égbolt egy bizonyos gömbfelületén helyezkedne el és azonos távolságra lenne a megfigyelőtől. Valójában távolságuk eltérő, amelyek olyan nagyok, hogy a szem nem képes észlelni ezeket a különbségeket. Ezért ez az elképzelt gömbfelület az éggömb nevet kapta (1.4. ábra).

Az éggömb – tetszőleges sugarú képzelt gömbfelület, amelynek a középpontja a megoldandó feladattól függően a tér egy bizonyos pontjához kötődik.

Az éggömb középpontjául választható a megfigyelés pontja (a megfigyelő szeme), a Föld vagy a Nap középpontja. Az éggömb fogalmát alkalmazzák a szögméréskor, az égi objektumok égbolton való kölcsönös elhelyezkedésének és mozgásának tanulmányozásakor.

Az éggömb felületére vetítik ki az összes égitest látszólagos helyzetét, amelyen a mérések kényelmessé tétele érdekében egy sor pontot és vonalat szerkesztenek. Például a Nagy Medve (Göncölszekér) „szekerének” egyes csillagai távol helyezkednek el egymástól, azonban a földi megfigyelő számára az égbolt ugyanazon részére vetítődnek ki (1.5. ábra).

A függőön iránya (vagy vertikális vonal) – az éggömb középpontján átmenő egyenes, amely a megfigyelés helyén egybeesik a nehézségi erő hatásának irányával.

A vertikális vonal az éggömböt a zenit (a vertikális vonal és az éggömb felső metszéspontja) és a nadír (az éggömb zenitpontjával szemben található pontja) pontokban metszi.

Az éggömb középpontját tartalmazó síkot, amely merőleges a vertikális vonalra, a valóságos vagy matematikai horizont síkjának nevezzük.

A matematikai horizont megfelel az éggömb felszínét: a megfigyelő számára láthatóra, amelynek a csúcspontja a zenit, és a láthatatlanra, amelynek a nadír a csúcspontja.

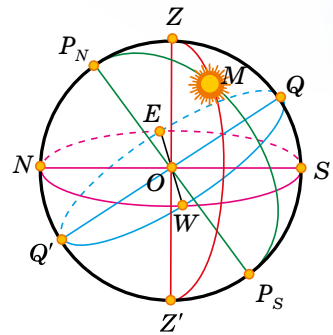
A matematikai horizont nem esik egybe a látszólagos horizonttal, hiszen a Föld felszíne egyenetlen, valamint amiatt, hogy a megfigyelési pontok különböző magasságokban vannak, illetve azért, mert a fénysugarak elhajlanak az atmoszférában.

A vertikális körív – az égbolt nagy köre, amely áthalad a zeniten, az égitesten és a nadíron.

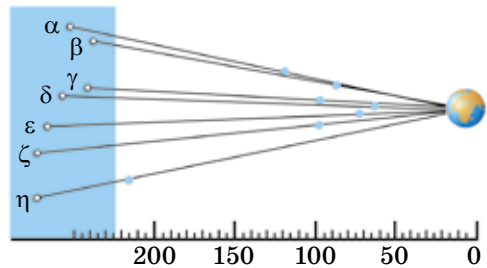
A világtengely – az éggömb középpontján áthaladó, a Föld forgástengelyével párhuzamos egyenes, amely két egymással átellenben fekvő pontban metszi az éggömböt.

A világtengely és az éggömb azon metszéspontját, amelynek a közelében helyezkedik el a Sarkcsillag, **északi világpólusnak** nevezzük, a vele átellenes pontot pedig **déli világpólusnak**.

A Sarkcsillag az északi világpólushoz képest közel 1° -ra található (pontosabban $44'$ -re).



1.4. ábra. Éggömb: O – az éggömb középpontja (a megfigyelő tartózkodási helye); P_N – északi világpólus; P_S – déli világpólus; $P_N P_S$ – világtengely; Z – zenit; Z' – nadír; E – kelet; W – nyugat; N – észak; S – dél; Q – az égi egyenlítő felső pontja; Q' – az égi egyenlítő alsó pontja; ZZ' – függőleges vonal; $P_N M P_S$ – deklináció; NS – délvonal; M – égitest az égbolton



1.5. ábra. A Nagy Medve csillagkép csillagai vetületeinek ábrázolása az égbolton

Az éggömb középpontján áthaladó nagy kört, amelynek a síkja merőleges a világtengelyre, égi egyenlítőnek nevezzük.

Az égi egyenlítő két részre bontja az éggömböt: északi félgömbre, amelynek a csúcspontja az északi világpólus, és a délire, amelynek csúcspontja a déli világpólus.

Az égitest deklinációja – az éggömb nagy köre, amely áthalad a világpólusokon és az égitesten.

Deklinációs kör – az éggömb kis köre, amelynek síkja merőleges a világtengelyre.

Az éggömbnek azt a nagy körét, amely áthalad a zeniten, a nadíron és a világpólusokon, égi meridiánnak nevezzük.

Az égi meridián két egymással átellenben fekvő pontban metszi a valódi horizontot.

A valódi horizont és az égi meridián északi világpólushoz legközelebb eső metszéspontját **északpontnak** nevezzük.

A valódi horizont és az égi meridián déli világpólushoz legközelebb eső metszéspontját **délpontnak** nevezzük.

Az észak- és délpontot összekötő vonalat **délvonalnak** nevezzük.

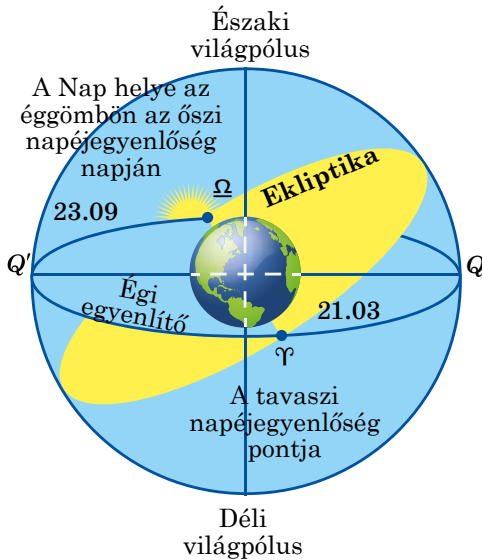
Ez a vonal a valódi horizont síkjában fekszik. A délvonal irányának megfelelően esnek a tárgyak árnyékai délben.

14

Ugyancsak két egymással átellenben lévő pontban metszi egymást az égi egyenlítő és a valódi horizont – a **kelet-** és **nyugatpontban**. Az éggömb középpontjában arccal az északpont felé elhelyezkedő megfigyelő számára a keletpont jobbra lesz, a nyugatpont balra. Megjegyezve ezt a szabályt könnyűvé válik a tájékozódás a terepen.

A Nap éves látható mozgását a csillagok között ekliptikának nevezzük.

Az ekliptika síkjában fekszik a Föld útja a Nap körül, vagyis a pályája, amely az égi egyenlítőhöz képest $23^{\circ}26,5'$ szögben hajlik és a **tavaszi** (Υ , március 21. körül) és az **őszi** (Ω , szeptember 23. körül) **napéjegyenlőség** pontjaiban metszi azt (1.6. ábra).



1.6. ábra. Az ekliptika és az égi egyenlítő

A tavaszi napéjegyenlőség pontjának azt a pontot nevezzük, amelyben a Nap az éves útja során a déli félgömbből átkerül az északi félgömbbe.

Az **őszi napéjegyenlőség** pontjában a Nap az északi félgömbből átkerül a déli félgömbbe.

Az égitest égi délkörön való áthaladásának jelenségét kulminációnak (delelésnek) nevezzük.

A földrajzi középszélességeken vannak olyan égitestek, amelyek a látóhatár alá kerülnek vagy onnan feljönnek; vannak olyanok is, amelyek sohasem jönnek fel (láthatatlanok az adott helyről vizsgálva). Az egyenlítőn minden égitest le-

megy a horizont alá vagy feljön. A Föld pólusain vannak olyan égitestek, amelyek mindig láthatók a horizont fölött, és olyanok is, amelyek sohasem.

Csillagidőnek (szoláris idő) nevezzük a tavaszpont felső kulminációja (delelése) óta eltelt s időt.

Csillagnapnak nevezzük azt az időtartamot, amely a tavaszpont két egymást követő felső kulminációja (delelése) között eltelik.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mit értünk csillagképen?
2. Hány csillagképre van felosztva az égbolt?
3. Hogyan kaptak nevet a csillagképek? Nevezetek meg néhány csillagképet!
4. Milyen elv alapján épül fel a csillagok látszólagos fényességének Hipparkhosz-féle skálája? Mit értünk a csillag nagyságrendjén?
5. Miben rejlik a csillagok Bayer-féle besorolási rendszere?
6. Melyik a fényesebb csillag: az elsőrendű vagy a hatodrendű fényességű?
7. Mit értünk az *éggömb* fogalmán?
8. Soroljátok fel az éggömb nevezetes pontjainak, vonalainak és síkjainak meghatározásait!

3. §. ÉGI KOORDINÁTÁK

1. Koordináta-rendszerek. Az égitestek helyzetét az éggömb pontjaihoz és köreihez viszonyítva határozzák meg (1.4. ábra). Évéggett bevezették az égi koordinátákat, hasonlóan a Föld felszínének földrajzi koordinátaíhoz.

A csillagászatban számos koordináta-rendszert alkalmaznak. Ezek abban különböznek egymástól, hogy az éggömb más-más köreihez képest lettek kialakítva. Az égi koordinátákat a nagy körvekkel vagy a hozzájuk tartozó középponti szögekkel mérik.

15

Az égi koordináták – az éggömb nagy köreinek középponti szögei vagy ívei, amelyek segítségével meghatározzák az égitestek helyzetét az éggömb nevezetes köreihez és pontjaihoz képest.

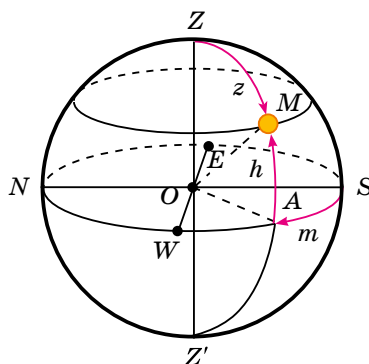
Horizontális koordináta-rendszer. A csillagászati megfigyelések során kézenfekvő az égitestek helyzetének a meghatározása a látóhatárhoz képest. A horizontális koordináta-rendszer a valódi horizont körét alkalmazza alapul. Ebben a koordináta-rendszerben a h magasság és az A azimut létezik.

Az égitest h magassága – az M égitest függőleges kör mentén mért szögtávolsága a valódi horizonthoz képest (1.7. ábra).

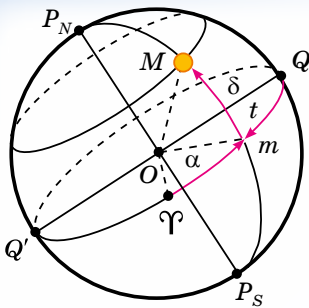
A magasságot fokokban, percekben és másodpercekben határozzuk meg. A zenithez képest 0° -tól $+90^\circ$ -ig terjedhet, ha az égitest az éggömb látható részén található, vagy 0° -tól -90° -ig a nadírhoz képest, ha az égitest a horizont alatt van.

Az azimutok mérésének kezdőpontjaként a délpont szolgál.

Az A égitest azimutja a valódi horizont mentén a délponttól a horizont és az M égitesten áthaladó vertikális nagykör metszéspontjáig mért szögtávolság (1.7. ábra).



1.7. ábra. Horizontális koordináta-rendszer: h – az M égitest horizont fölötti magassága; z – zenittávolság; A – azimut



1.8. ábra. Ekvatoriális égi koordináta-rendszer: δ – az M égitest deklinációja; α – rektaszczenzió (egyenes emelkedés); t – óraszög

térképek megszerkesztése és a csillagkatalógusok összeállítása végett a legkézenfekvőbb az éggömb alapköréül az égi egyenlítő körét elfogadni (1.8. ábra).

Azokat az égi koordinátákat, amelyek rendszerében az alapkör az égi egyenlítő, ekvatoriális koordináta-rendszernek nevezük.

Ebben a rendszerben a δ **deklináció** (elhajlás) és az α **rektaszczenzió** (egyenes emelkedés) a koordináták.

16

Az égitest δ deklinációja – az M égitest szögtávolsága az égi egyenlítőhöz képest, amelyet a deklinációs kör mentén mérnek.

A deklináció 0 és $+90^\circ$ között változhat az északi, illetve 0 és -90° között a déli világpólushoz képest. A mérések kezdőpontjául az égi egyenlítőn a ♈ tavaszpontot tekintik, amelyben a Nap a tavaszi napéjgyenlőség időpontjában, március 21-e körül található.

Azt a pontot, amelyben a Nap középpontja metszi az egyenlítőt a déli félgömbből az északi félgömbbe való mozgása során, a tavaszi napéjgyenlőség ♈ pontjának, a vele átellenben fekvő pontot az őszi napéjgyenlőség ♁ pontjának nevezük.

Annak következtében, hogy a tropikus év – a Nap ugyanazon a napéjgyenlőségi ponton való két egymást követő áthaladása közötti időintervallum – nem esik egybe a naptári év hosszával, a napéjgyenlőség pillanatai évről évre elcsúsznak a naptári nap kezdetéhez képest. A napéjgyenlőségek normál években 5 óra 48 perc 46 másodperccel később következnek be, mint az ezt megelőző évben, szökőévben pedig 18 óra 11 perc 14 másodperccel korábban; így a napéjgyenlőség pillanata két szomszédos naptári dátumra is kerülhet. Például a Nap az adott évben március 20-án vagy 21-én halad át a tavaszponton greenwichi idő szerint (ezt a pillanatot tekintik a csillagászati tavasz kezdetének a északi féltekén, az ősypontot pedig szeptember 22-én vagy 23-án (a csillagászati ős kezdeté az északi féltekén).

Az égitest α rektaszczenziójának (egyenes emelkedésének) nevezük az égi egyenlítő ívét a tavaszponttól az égitest deklinációs köréig vagy a tavaszpont iránya és az égitest deklinációjának síkja által bezárt szöget.

A rektaszczenziót az éggömb napi forgásával ellenkező irányban mérik 0-tól 360° -ig fokokban vagy 0-tól 24^h -ig órákban.

Az idő mérésével kapcsolatos csillagászati feladatok esetében az α rektaszczenzió helyett bevezették a t óraszöveget (1.8. ábra). Az óraszöveget az éggömb forgásirányával azonos irányban számolják, vagyis nyugatra az égi egyenlítő felső pontjától

Az azimutot a délponthoz képest nyugatra mérik 0 és 360° között.

A horizontális koordináta-rendszert a topográfiai felvételek készítésekor, a navigációban alkalmazzák. Az éggömb napi forgása következtében az égitest magassága és azimutja változik az időben. Tehát a horizontális koordináták csak az adott időpontban rendelkeznek bizonyos értékkel.

A zenittől az égitestig a vertikális kör mentén mért szögtávolságot z zenittávolságnak nevezük.

A nadírhoz képest 0-tól $+180^\circ$ -ig terjed. A magasság és a zenittávolság összefüggését a következő egyenlőség adja meg: $z + h = 90^\circ$.

Ekvatoriális koordináta-rendszer. A csillag-

mérik 0-tól 360°-ig (fokmértékben) vagy 0-tól 24^h-ig (óramértékben). Néha a szöveget 0-tól +180°-ig (0-tól +12^h-ig) nyugat vagy 0-tól -180°-ig (0-tól -12^h-ig) kelet felé.

Tehát az óraszög az égi egyenlítő mentén, annak a felső pontjától az égitest deklinációs köréig mért szögtávolság.

A csillagok koordinátái (α , δ) az ekvatoriális koordináta-rendszerben nem állnak összefüggésben az éggömb napi mozgásával és nagyon lassan változnak. Ezért alkalmazhatók a csillagtérképek és katalógusok összeállítása során.

A csillagtérképek az éggömb síkvetületei a meghatározott koordináta-rendszerben rávitt objektumokkal.

Az égbolt egymással határos részeinek összességét, amely lefedi a teljes égboltot vagy annak egy meghatározott részét, **csillagatlasznak** nevezzük.

A csillagok speciális listájában, amelyet csillagkatalógusoknak nevezünk, szerepelnek az égbolton elfoglalt pozíciójuk koordinátái, a nagyságrendjük és egyéb paramétereik. Például a *Hubble Guide Star Catalog (GSC)* mintegy 19 millió objektumot tartalmaz.

2. A világpólus horizont feletti magassága. Már tudjuk, hogy a Sarkcsillag, amely az északi világpólus közelében található, az adott földrajzi szélességen csaknem azonos magasságban helyezkedik el a horizont fölött a csillagos ég napi forgása során. Amikor a megfigyelő északról dél felé mozdul el, vagyis a kisebb földrajzi szélességek felé, a Sarkcsillag lejjebb található a horizont fölött, vagyis összefüggés áll fenn a világpólus magassága és a megfigyelés helyének földrajzi szélessége között. Az 1.9. ábrán láthatjuk a földgömb és az éggömb, valamint a megfigyelési hely égi meridiánja síkjának metszeteit. A megfigyelő az O pontból $PON\angle = h_p$ magasságon látja a világpólust. Az OP világtengely párhuzamos a Föld tengelyével. A Föld középpontjánál lévő $OTQ\angle$ megfelel a megfigyelés helyének φ földrajzi szélességével.

A Föld sugara a megfigyelés helyén merőleges a valós horizontra, a világtengely pedig merőleges a földrajzi egyenlítő síkjára.

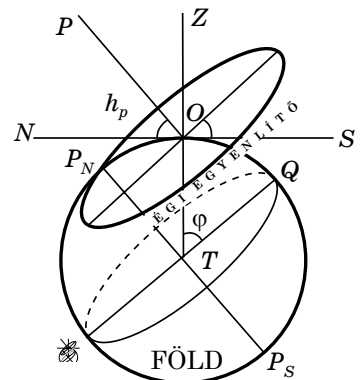
Ezért a $PON\angle$ egyenlő az $OTQ\angle$ -gel mint kölcsönösen merőleges szárú szögek. Vagyis a világpólus horizont feletti szögmagassága megfelel a megfigyelési hely φ földrajzi szélességének: $h_p = \varphi$.

Másrészt látható, hogy a $QOZ\angle$ meghatározza a zenit δ_z hajlásszögét. Ezért leírhatjuk, hogy $\varphi = \delta_z$ vagy $\varphi = h_p = \delta_z$. Ez az egyenlőség jellemzi az összefüggést a megfigyelés helyének földrajzi szélessége és az égitest megfelelő horizontális ekvatoriális koordinátái között.

Ahogy a megfigyelő a Föld északi sarka felé mozog, az északi világpólus egyre inkább a horizont fölé emelkedik. A Föld pólusán a világpólus a zenitben lesz. A csillagok a horizonttal (ami egybeesik az égi egyenlítővel) párhuzamos körök mentén fognak mozogni.

A földrajzi középszélességeken a világtengely és az égi egyenlítő bizonyos szöveget zár be a horizonttal, akárcsak a csillagok napi pályái. Ezért megfigyelhetők felkelő és lenyugvó csillagok. A felkelés alatt azt a jelenséget értjük, amikor az égitest átlépi a horizont keleti részét, lenyugváskor pedig a nyugatit.

A földrajzi középszélességeken, például Ukrajna területéről megfigyelhetők az északi pólus körüli csillagképek csillagjai, amelyek sohasem ereszkednek a látóhatár alá (cirkumpoláris csillagok). Ezeket **sosem nyugvó csillagoknak** nevezzük. A déli világpólus közelében elhelyezkedő csillagok Ukrajna területéről nézve **sosem kelnek fel**.



1.9. ábra. A világpólus horizont feletti h_p magasságának és a megfigyelő helyének φ földrajzi szélessége közötti összefüggés

Az alkalmazott csillagászat egyik legfontosabb feladata a pontos idő vagy az égitestek felkelési és lenyugvási pontjai azimutjainak meghatározása. Az égitest felkelése és lenyugvása időpontjainak vagy a felkelésük, illetve lenyugvásuk pontjainak a matematikai horizonton való elhelyezkedése az égitest δ deklinációjától és a megfigyelés helyének φ földrajzi szélességétől függ.

3. A földrajzi szélesség meghatározása a csillagászati megfigyelések alapján. Az égitestek a világtengely körüli napi elfordulásuk során naponta kétszer metszik az égi délkört. Az égitest áthaladását az égi délkörön **kulminációnak (delelésnek)** nevezzük.

Megkülönböztetik az alsó és felső kulminációt. **Felső kulminációkor** az égitest a napi mozgása során a horizonthoz képest a legmagasabb pontban van, a legközelebb a zenithez. Az égitest **alsó kulminációjának** pontja távolabb van a zenittől, mint a felső kulminációs pont és a felső kulminációt követő fél nap elteltével következik be.

A földrajzi és domborzati térképek összeállításakor, az utak és autópályák lefektetése, a hasznos ásványi kincsek felderítése során ismerni kell a hely földrajzi koordinátáit. Ezeket a feladatokat csillagászati megfigyelések segítségével lehet megoldani. Áttekintünk három módszert.

1. módszer. A földrajzi szélesség meghatározható a Sarkcsillag megfigyelése alapján. Ha úgy tekintjük, hogy a Sarkcsillag az északi világpólust mutatja, akkor a Sarkcsillag horizont feletti megközelítő magassága megadja a megfigyelés helyének földrajzi szélességét. Ha megmérjük a Sarkcsillag magasságát a felső (h_F) és az alsó (h_A) kulminációkban, úgy megkapjuk a megfigyelés helyének pontosabb értékét:

$$\varphi = (h_F + h_A) : 2.$$

Ez az egyenlet teljesül minden olyan csillagra, amely nem nyugszik le, és felső, valamint alsó kulminációja a zenittel azonos oldalra esik.

2. módszer. A földrajzi szélesség meghatározható a csillagok felső kulminációjának megfigyelése alapján. A $h_F = (90^\circ - \varphi) + \delta$ és a $h_A = (90^\circ + \varphi) - \delta$ egyenletekből kapjuk:

$$\varphi = \delta \pm (90^\circ - h_F).$$

A „+” jelet akkor tesszük ki, ha a csillag a zenithez képes déli irányban, a „-” jelet pedig akkor, ha északi irányban kulminál.

3. módszer. A földrajzi szélesség meghatározható a zenit közelében elhaladó csillagok megfigyelésével: $\varphi = \delta_z$.

A csillagászati obszervatóriumokban speciális teleszkópokat helyeznek el (zenit-teleszkóp, fényképezeti zenit távcső), amelyek rögzítik a berendezés látómezőjében elhaladó csillagokat a zenit közelében. A zenitben lévő csillag deklinációja (δ) egyenlő a φ -vel.

Számos zenit-teleszkóppal felszerelt obszervatórium alkotja a Nemzetközi Szélesség Szolgálatot (International Latitude Service). Ennek feladata a földrajzi szélesség változásának vizsgálata, vagyis a pólusok helyének a megfigyelése a Föld felszínén.

A természetben olyan érdekes jelenségek mennek végbe, mint a sarki nappal és sarki éjszaka, valamint a fehér éjszaka.

Azokon a napokon, amikor az égitest az adott szélességen nem megy le a horizont alá (még az alsó kulmináció pillanatában sem), tart a sarki nappal, és fordítva – az év azon napjain, amikor a Nap nem emelkedik a horizont fölé (még a felső kulmináció pillanatában sem), tart a sarki éjszaka.

Alkalmazzuk azt a feltételt, hogy az adott szélességen az égitest nem nyugszik le $\delta > (90^\circ - \varphi)$ a Napra vonatkoztatva. Azt kapjuk, hogy a sarki nappal az év azon napjaiban tart, amikor a Nap deklinációjára teljesül a $\delta_\odot > 90^\circ - \varphi$ feltétel.

Az atmoszféra megléte ahhoz vezet, hogy mielőtt az égitesttől eredő fénysugár elérné a megfigyelő szemét, átmegy a földi atmoszférán és megtörik, elmozdítva

ezzel az égitest látszólagos helyét a valóshoz képest. Ezt a jelenséget **csillagászati refrakciónak** nevezzük.

A refrakció miatt az égitest látszólagos helyzete a zenit felé mozdul el a valóshoz képest. A ρ elmozdulás az égitest horizont feletti magasságától, valamint a hőmérséklettől és a nyomástól függ. Normál körülmények között a látható égitestek számára a ρ értékét $35'$ -nek fogadják el. A refrakció és a Nap látszólagos sugarának figyelembevételével adódik, hogy a sarki nappal kezdő dátuma az év azon napjának felel meg, amikor a Nap deklinációja:

$$\delta_{\odot} = 90^{\circ} - (\varphi + \rho + R_{\odot}).$$

A Nap deklinációjának így kapott értékét megkeressük a csillagászati évkönyvben, és kiírjuk azt a dátumot, amely megfelel ennek az értéknek. Nyilvánvaló, hogy két ilyen dátumunk lesz. Az egyik meghatározza a sarki nappal kezdetét, a másik a végét. A sarki nappal kezdetétől azt a napot választjuk, amelyik után a Nap deklinációja növekszik.

Hasonlóképpen a sarki éjszaka kezdő dátuma megfelel az év azon napjának, amikor a Nap deklinációja $\delta_{\odot} = \varphi - 90^{\circ} + \rho + R_{\odot}$, az ezt követő napokon pedig csökken.

Rendkívül lenyűgöző jelenség az ún. fehér éjszakák, amikor a Nap egy rövid időre a horizont alá bukik. A fehér éjszakák alatt alkonyat figyelhető meg, vagyis az égbolt megvilágíttósága éjjel körül is hasonló az estihez. Ez a jelenség a nagyobb szélességeken figyelhető meg (60° fölött). Úgy tekintik, hogy akkor vannak fehér éjszakák, amikor a Nap 0° -tól -6° -ig ereszkedik a horizont alá.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

19

1. Jellemezzétek a horizontális és az ekvatoriális koordináta-rendszereket!
2. Miért használnak különböző koordináta-rendszereket a csillagászatban?
3. Miben rejlik az elvi különbség a különböző égi koordináta-rendszerek között?
4. Hogyan határozhatjuk meg a világpólus horizont feletti magasságát?
5. Milyen feltétel mellett látható az égitest az adott szélességen?
6. A földgolyó mely pontján mozognak a matematikai horizonttal párhuzamosan a csillagok?

4. §. CSILLAGÁSZAT ÉS AZ IDŐ MEGHATÁROZÁSA. A NAPTÁRAK TÍPUSAI

1. Az idő meghatározása. Egész életünk összefügg a nappal és az éjszaka, valamint az évszakok periodikus váltakozásával. Ezekben az ismétlődő csillagászati jelenségeken alapulnak az idő főbb mértékegységei – a nap, a hónap, az év. Az idő mérésének alapegysége összefüggésben van a földgolyó tengely körüli teljes fordulatának periódusával.

A Nap középpontja felső kulminációjának pillanatát **valódi délnek** nevezzük, az alsót – **valódi éjfélnak**.

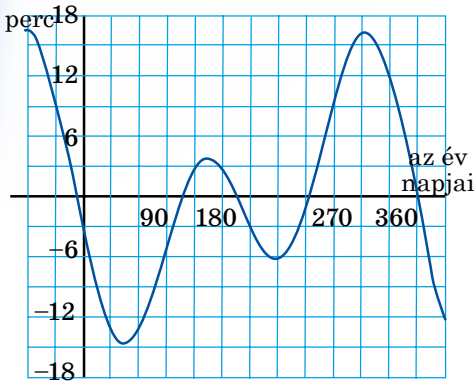
A Nap két egymást követő azonos kulminációja között eltelt időtartamot **valódi napnak** nevezzük.

A napkorong középpontjának alsó kulminációja pillanatától egy másik tetszőleges helyzetéig ugyanazon délkörön eltelt időt **valódi napidőnek** vagy **szoláris időnek** (T_{\odot}) nevezzük.

Meg kell említeni, hogy a valódi nap periodikusan változtatja a hosszát. Ennek két oka van: 1) az ekliptika síkjának az égi egyenlítő síkjához való hajlása, 2) a Föld pályájának elliptikus volta. Amikor a Föld az ellipszisnek azon a szakaszán van, amely a Naphoz közelebb található (az 1.10. ábrán balra látható), akkor gyorsabban mozog. Fél év elteltével, amikor a Föld az ellipszis ellentétes részén



1.10. ábra. A valódi nap-napok különböző hosszúságának okai



20 1.11. ábra. Az időegyenlet grafikonja

középnapot 24 órára osztják. A középnap minden órája 60 percre bontódik, minden perc pedig a középóra 60 másodpercére. A középnap kezdetét a **középjéfélt** fogadták el, vagyis az éggömb egy fiktív pontjának, az egyenlítői középnap alsó kulminációját pillanatát. Azt az időtartamot, amely az egyenlítői középnap alsó kulminációjától ugyanazon földrajzi délkörön egy másik helyzetéig eltelik, **középnap időnek** (T_k) nevezzük.

A középnap idő és a valódi napidő (szoláris idő) között egy meghatározott pillanatban mutatkozó eltérést az **idő egyenletének** nevezzük. Jele a görög ábécé η betűje, és így írható le: $\eta = T_k - T_{\odot}$.

Az idő egyenletének η értékét a csillagászati naptárakban adják meg. A megközelítő értéke meghatározható a grafikonja alapján (1.11. ábra), amelyből az is kitűnik, hogy évente négyszer az időegyenlet nullával egyenlő. Ez körülbelül április 14-én, június 14-én, szeptember 2-án és december 24-én következik be. Ugyanígy évente négyszer az időegyenlet grafikonja eléri a szélső értékeit: kétszer pozitív – május 15-e és november 3-a körül, kétszer pedig negatív – február 15-e és augusztus 1-e körül.

Úgyszintén megkülönböztetik még a **csillagnapot** (kb. 23 óra 56 perc 4 mp.) A csillagnap a tavaszpont két egymást követő azonos kulminációja között eltelt idő. Ennek a pontnak a felső kulminációja pillanatát, amit a csillagnap kezdetétől fogadtak el, a csillagidő 0 órájának tekintik.

A tavaszpont felső kulminációja pillanatától ugyanazon délkör mentén bármely másik helyzetéig eltelt időt **csillagidőnek** nevezzük.

2. A földrajzi hosszúság meghatározása. Az idő napokban való mérése a földrajzi délkörrel áll összefüggésben. Az egy bizonyos meridiánon mért időt **az adott délkör helyi idejének** nevezzük, és az megegyezik az ezen fekvő összes ponton. Az éggömb bármely pontjának kulminációja a földgolyó különböző délkörein más-más időben megy végbe. Emellett minél keletebbre található a szóban forgó délkör, a

lesz, lassabban fog mozogni a pályáján. A Föld nem egyenletes pályamozgása okozza a Nap nem egyenletes elmozdulását az éggömbön. Vagyis más-más évszakokban a Nap különböző sebességgel mozog. Ezért a valódi nap hossza folyamatosan változik.

A valódi nap egyenlőtlenítése következtében nem kényelmes az időegységként való használata. Ezért a mindennapi életben nem a valódi, hanem az átlagos nap-hosszúságot alkalmazzák, amelynek az időtartamát állandónak tekintik.

Mi az átlagos naphosszúság? Képzünk el egy pontot, amely egy év alatt egy teljes fordulatot tesz meg a Föld körül úgy, mint a Nap, de mindeközben egyenletesen mozog az égi egyenlítő mentén, nem pedig az ekliptikán. Nevezzük ezt az elképzelt pontot **fiktív egyenlítői középnapnak**.

A fiktív egyenlítői középnap felső kulminációját középdélnek nevezzük, a két egymást követő középdél között eltelt időszakot pedig egyenlítői középnapnak. Hossza mindig egyforma. Az egyenlítői

rajta fekvő pontokon annál korábban történik a kulmináció vagy kezdődik a nap. Mivel a Föld egy óra alatt 15° -ot fordul, ezért két pontja egy óras időeltolódása a hosszúsági fokaik 15° -os különbségének felel meg (óramértékben egy óra). Ebből levonható a következtetés: a Föld két pontja helyi idejének különbsége számszerűleg egyenlő az órákban kifejezett hosszúságuk értékének különbségével. A földfelszín λ_1 és λ_2 földrajzi hosszúságain elhelyezkedő pontjai esetében adódik: $T_{\lambda_1} - T_{\lambda_2} = \lambda_1 - \lambda_2$.

A földrajzi hosszúság kezdő (nulladik) délköréül a London melletti Greenwich csillagvizsgálóján áthaladó délkört fogadták el. A greenwichi délkör helyi napi középidejét **világidőnek** nevezzük. A pontos idő jelei a világidő perceinek és másodperceinek felelnek meg. A csillagászati naptárakban és évkönyvekben a legtöbb jelenség pillanatát a világidő szerint adják meg. Ezeknek a jelenségeknek a helyi idő szerinti bekövetkezése könnyen meghatározható az adott délkör Greenwichhez viszonyított hosszúságának ismeretében.

Ha az adott pillanatban a greenwichi délkörön a világidő T_0 , akkor a λ földrajzi hosszúságú helyen T_λ . Tehát a kiinduló egyenlet $\lambda_0 = 0$ mellett ilyen alakot ölt: $\lambda = T_\lambda - T_0$. Ez az egyenlet lehetővé teszi a földrajzi hosszúság meghatározását a világidő (T_0) és a helyi idő (T_λ) alapján, amit a csillagászati megfigyelések alapján határoznak meg. Másrészt, a megfigyelés helye földrajzi hosszúságának (λ) és a világidőnek (T_0) az ismeretében meghatározható a helyi idő (T_λ): $T_\lambda = T_0 + \lambda$.

Napjainkban a középnapi idő számításának zónarendszere van bevezetve. Ennek a rendszernek megfelelően a földgolyót 24 időzónára osztották, amelyek mindegyike 15° földrajzi hosszúságra helyezkedik el a szomszédoshoz képest. A greenwichi délkör időzónáját a nulladiknak tekintik. A 0-tól keletre a zónákat 1-től 23-ig számozták meg. Azonos időzónán belül egy konkrét pillanatban a zónaidő egyforma. A szomszédos zónákban ettől egy órával tér el. A ritkán lakott területeken, a tengereken és az óceánokon az adott zóna határa a középső meridiántól keletre és nyugatra egyaránt $7,5^\circ$ távolságra van. Más helyeken kényelmi megfontolásokból az állam- és közigazgatási határok, a hegygerincek, folyók és más természetes határok mentén húzták meg azokat.

A világidő (T_0) és az adott hely zónaszámának (n) ismeretében meghatározható a zónaidő: $T_n = T_0 + n$.

Kizárva a $\lambda = T_\lambda - T_0$ és a $T_n = T_0 + n$ egyenletekből a T_0 -t, megkapjuk azt az összefüggést, ami lehetővé teszi a földrajzi szélesség meghatározását a zónaidő (T_n) és a λ földrajzi szélességű hely helyi idejének (T_λ) ismeretében: $T_n - T_\lambda = n - \lambda$.

A zónaidő rendszere megszünteti azokat a kényelmetlenségeket, amelyeket a helyi és a világidő egyidejű alkalmazása okoz. Az adott zónaidő szerint beállított órák mindenütt ugyanannyi percet és másodpercet mutatnak az összes zónában, csak az egész órák mutatott számában különböznek.

Takarékosság és az elektromos energia célszerű napi fogyasztása céljából a nyári időszakban egyes országokban (így a mienkben is) tavasszal egy órával előrehúzzák az óramutatókat – bevezetik a nyári időszámítást. Ősszel az órákat a zónaidőnek megfelelően visszaállítják.

Ennek megfelelően létezik az a határ, ahol elkezdődik az új nap, illetve a hét napja. A nemzetközi dátumválasztó vonal a Bering-szoroson halad át a Csendes-óceán szigetei között az Északi- és a Déli-sark között (180° -os délkör).

A legmegbízhatóbb és kényelmes óra az atomóra, amit 1964-ben vezetett be a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal. Etalonként az atomórákat (kvantumórákat) fogadták el. Az ilyen órák szerint egy másodperc az az időtartam, amely alatt a cézium atom által sugárzott elektromágneses hullám 9 192 631 770 rezgést végez. 1972. január 1. óta a világ országai atomórák szerint mérik az időt.

3. Naptár. A *naptár* a hosszan tartó időintervallumok nyilvántartására szolgáló rendszer, amelynek az alapjául a periodikus csillagászati jelenségek szolgálnak: a nappal és az éjszaka váltakozása, a holdfázisok változása, az évszakok változása.

Bármely naptárrendszer három fő időegységre támaszkodik: a középnapra, a szinodikus hónapra (holdhónapra) és a tropikus (szoláris) évre.

A *szinodikus hónap (holdhónap)* – a Hold két egymást követő azonos fázisa közötti időintervallum.

A *tropikus (szoláris) év* – a Nap középpontjának két egymást követő tavaszponton való áthaladása közötti időtartam.

A tavaszpont lassú, a csillagokhoz képest a Nap mozgásával ellentétes elmozdulása miatt a Nap az égbolt ugyanazon pontjába 20 perc 24 másodperccel később kerül, mint a tropikus év időtartama. Ezt az időtartamot **csillagévnek** nevezzük és 365,2564 középnapot tesz ki.

A szinodikus hónap és a tropikus év hossza nem egész számú középnapból áll. Így a holdhónap átlagos időtartama 29,530589 nap, a tropikus év pedig 365,242190. Amint látjuk, mindhárom időmérték egység összemérhetetlen. Nem lehet olyan egész számú tropikus évet kiválasztani, amelyekbe „beleférne” egész számú szinodikus hónap és egész számú középnap. A napok, hónapok és évek összehangolására tett próbálkozások ahhoz vezettek, hogy különböző korszakokban más-más népeknél sok eltérő naptár alakult ki, amelyek feltételeesen 3 típusra oszthatók: lunáris (hold), luniszoláris (hold-nap) és szoláris (nap). Éppen ezzel magyarázható a naptár felépítésének bonyolultsága és az évezredek alatt számos olyan naptár megjelenése, amelyekkel megkísérelték felszámolni ezeket a nehézségeket.

22

A holdnaptár 12 hónapból áll, amelyek felváltva 30 vagy 29 nappal állnak. A holdnaptárban 354 vagy 355 középnap van, vagyis a szoláris évnél 10 nappal rövidebb. Ez a naptár széleskörűen elterjedt a muzulmán országokban.

Amiatt, hogy a holdév kevesebb nappal áll, mint a tropikus év, a muzulmánoknál az évkezdés időpontja nem állandó, hol tavaszra, hol nyárra, hol őszre, hol pedig télre esik.

A legbonyolultabbak a nap-hónapi naptárak. Ezekben a holdhónapok egy bizonyos mennyiségének összege körülbelül megegyezik a tropikus évvel. Az ilyen naptárak alapjául a következő viszony szolgál: 19 szoláris év 235 holdhónapnak felel meg (kb. 2 órás hibával). Napjainkban ez a rendszer a zsidó naptárban maradt fenn, amely szerint egy év 12 vagy 13 hónapból áll. Egyes hónapok hossza évről-évre változik, az év kezdete mindig őszre esik, de az általunk használt Gergely-naptár egyetlen dátumával sem esik egybe.

A rómaiak az időt előbb holdévekben mérték. Az új év március 1-én kezdődött. A modern naptár egyes hónapjait ennek a hagyománynak megfelelően nevezték el: a szeptember – hetedik, a december – tizedik, stb. Később az év első napját a rómaiak január elsejére vitték át, mivel i. e. 153-tól ezen a napon foglalták el hivatalukat a konzulok.

Az első nap-naptárak egyikének az egyiptomit tekintik, amelyet i. e. 4000 évvel dolgoztak ki. E szerint a naptár szerint az év 12, egyenként 30 napos hónapból áll, amihez az év végén hozzáadtak 5 ünnepnapot. A mai modern naptár a római naptárból ered, amely **Julius Caesar** (i. e. 100–44) reformjainak eredményeként jelent meg, és i. e. 45. január 1-én léptettek életbe. Innen ered a neve, a **Julianus-naptár** is. Az év hossza e szerint a naptár szerint 365,25 nap, ami megfelel a tropikus év hosszának.

Kényelmi megfontolásokból három egymást követő évet 365 naposnak tekintettek, a negyedikhez (a szökőévhez) hozzáadtak egy napot – az 365 napos lett. Az év

12 hónapból állt: a páratlanok 31 naposak, a párosak 30 naposak voltak, csupán az egyszerű (nem szökőév) februárja volt 28 napos.

Amiatt, hogy a Julianus-év 11 perc 15 másodperccel hosszabb a tropikus évnél, 128 év alatt egy napnyi hiba halmozódott fel, 400 év alatt pedig körülbelül három. Idővel a naptár egyre többet késett. Ezért a XVI. század végén a tavaszi napéj-egyenlőség nem március 21-én, hanem 11-én következett be.

A hibát 1582-ben javították ki, amikor a katolikus egyházfő, XIII. Gergely pápa különleges naptárreform bizottságot hozott létre, amely 10 nappal „előretolta” a naptárt, és így a tavaszi napéj-egyenlőség visszakerült március 21-re. A kijavított naptár a **Gergely-naptár** (vagy Gregorián-naptár) nevet kapta.

A Gergely-naptárban minden negyedik év szökőév, kivéve az évszázadok utolsó évét, amelyet csak akkor tekintenek szökőévnek, ha a századok száma maradék nélkül osztható négygel (1700, 1800 – nem szökőév, míg 1600 – igen).

Ezt a naptárt Ukrajna területén 1918. január. 31-én, szerdán vezették be. A következő nap már február 14-e volt, mivel a két naptár közötti különbség akkorra már elérte a 13 napot.

Ez a 13 napos eltérés a régi naptár szerint 2100. február 15-ig, az új szerint 2100. február 28-ig marad fenn. Ezután egy nappal több, vagyis 14 napos lesz.

A Julianus-naptár szerinti év csaknem $11\frac{1}{4}$ perccel, a Gergely-naptár szerinti pedig 27 másodperccel hosszabb a szoláris évnél. Egy plusz nap így 3226 év alatt jön össze, a gyakorlati céloknak pedig ez a pontosság teljesen megfelelő.

A Gergely-naptár sem tökéletes: eltérő a hónapok hossza, nem egyformák a negyedévek, a hónapok dátumai nincsenek összhangban a hét napjaival. Ezért megjelentek új világnaptárak tervei, amelyekben az évet egyenlőbben osztják félévekre, negyedévekre. Azonban a világ országai között fennálló politikai és gazdasági viszonyok nem teszik lehetővé az egységes reformot és a világnaptár bevezetését.

Sok-sok évvel ezelőtt, amikor az európaiak még csak feltételezték, hogy Amerika létezik, későbbi felfedezője, Kolumbusz pedig még meg sem született, a mai Mexikó, Guatemala és Honduras területén hatalmas és erős civilizáció létezett – a maja indiánoké. Másfélezer éve már városokat, palotákat és szentélyeket építettek. Egyes szentélyek obszervatóriumként szolgáltak, ahonnan a maják megfigyelték a Nap, a Hold és más égitestek mozgását. A maja naptár szerinti év hossza 365,2420 nap volt, vagyis mindössze két tízezrednyivel tért el a ma ismert adattól.

A maják 20-as alapú számrendszert használtak. Alapjául a 0 szolgált, ami önmagában semmit sem jelentett, de más számokkal együtt több tízszer megnöveli az értéküket. A bal oldalon elhelyezett nulla tízszeres szorzót jelent; amikor a maják felül helyezték el a nullát, ez húszszoros szorzónak felel meg.

Tulajdonképpen számokból csak kettőt használtak a maják, pont és vonal képében. Ennek a három jelnek a segítségével a maják ki tudták számítani a bolygók pályáit, a Nap és a Hold fogyatkozásait és egyéb jelenségeket sok évre előre.

Használják még az érák (kor, korszak), vagyis az évszámítás hosszan tartó időszakát. Minden időszámítás kiindulópontját **érának** nevezik. A különböző népeknél az érák különböztek egymástól, és valamilyen jeles eseményekhez vagy császárok uralkodásához kötődtek.

Rómában a város megalapításától számított érák használták (i. e. 753), az éveket pedig a konzulok kinevezésétől számolták. A középkori Euró-



1.12. ábra Maja naptár

pában elterjedt a Diocletianus éra, ami Diocletianus császár trónra lépésétől (i. sz. 284. augusztus 29-től) datálódik és a XV. századik alkalmazták.

Az ókori Görögországban az olimpiák éráit használták (kezdete i. e. 776), amelyeket négyévente tartottak meg. A zsidók az érajukat a világ megteremtésétől számolják – i. e. 3761-től. A keresztények úgy vélik, hogy a világ teremtése i. e. 5508-ban történt. A Krisztus születésétől elkezdődött érát Dionysius Exiguus szerzetes, pápai levéltáros számította ki 525-ben. A Diocletianus éra 248. esztendejét a Krisztus születése utáni 532. évnak feleltette meg. A keresztény éra vagy **időszámításunk** alkalmazása részlegesen a X. században kezdődött el, a katolikus országokban pedig csak a XV. században terjedt el általánosan.

I. Péter ukája értelmében az Orosz Birodalomban 1700-ban vezették be az új érárt, aminek megfelelően a világ teremtését követő 7208. december 31. után 1700. január 1. következett. A világ muzulmánjai a saját érajukat használják, amit hidzsrának neveznek, és ez az éveket Mohamed próféta Mekkából Medinába való átköltözésétől, vagyis i. sz. 622-től számítja.



TUDJÁTOK-E, HOGY...

A niceai zsinat határozata (325) értelmében a pravoszláv egyház a húsvétot az első tavaszi holdtöltét követő vasárnapon ünnepli. Vagyis március 21-ét követő első holdtölte után. Carl Friedrich Gauss német matematikus algoritmust ajánlott a húsvét ünnepének Julianus-naptár szerinti kiszámítására. Ehhez el kell osztani az évszámot 19-cel, 4-gyel és 7-tel, a maradékot jelöljük a , b , c betűkkel. Majd a $19a + 15$ -öt osszuk el 30-cal és a maradékot jelöljük d -vel; $a(2b + 4c + 6d + 6) : 7$ maradékot e -vel; akkor azt kapjuk, hogy a Julianus-naptár szerinti húsvét március $22 + d + e$ napja lesz. A képlet univerzális egyetlen pontosítása, hogy 2101-től a Gergely-naptárhoz viszonyított eltérés már nem 13, hanem 14 nap lesz.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Miben különbözik a valódi nap a középnaptól?
2. Mit nevezünk csillagnapnak?
3. Mit értünk az idő egyenletén? Írjátok le, és magyarázzátok meg az időegyenletet!
4. Milyen az összefüggés a megfigyelési hely földrajzi hosszúsága és a helyi idő között? Mit értünk világidőn?
5. Hogyan határozhatjuk meg a zónaidőt? Hogyan határozható meg a földrajzi hosszúság a zónaidő alapján?
6. Mit értünk dátumválasztó vonalon? Hol található? Hányféle dátum létezhet egyidejűleg a Földön?
7. Miért nem hozható létre abszolút pontos naptár?

5. §. A BOLYGÓK LÁTSZÓLAGOS MOZGÁSA

1. Ptolemaiosz világregndszere. A régmúltban öt, a csillagokhoz hasonló, de azoknál sokkal fényesebb égitest volt ismert, amelyek azzal együtt, hogy, akár a csillagok, részt vesznek az égbolt napi forgásában, saját látható mozgással is rendelkeznek. Az ókori görögök ezeket az égitesteket **planétáknak** nevezték (a görög $\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\epsilon\varsigma$ – bolygók szóból). Szabad szemmel a következő bolygók láthatók: Merkúr, Vénusz, Mars, Jupiter és Szaturnusz.

A bolygók az égbolton az ekliptika közelében helyezkednek el, de ellentétben a Nappal és a Holddal, időközönként megváltoztatják mozgásuk irányát. A csillagok között általában nyugatról kelet felé mozognak (akárcsak a Nap és a Hold) – ez a direkt (prográd) mozgás. Azonban minden bolygó mozgása egy bizonyos időben lassul, megáll és keletről nyugat felé kezd mozogni – ez a retrográd mozgás. Majd az

égitest újra megáll és újakezdi a direkt mozgását. Ezért minden bolygó látszólagos mozgása az égbolton – bonyolult, hurokszerű görbe. Ez a mozgáspálya ciklikusan változik, amely során a bolygó a csillagok között nagyjából a korábbi helyére tér vissza (1.13. ábra).

A bolygók mozgása sokáig érthetetlen és talányos jelenség volt, amely később Kopernikusz elméletében kapott helyes és egyszerű magyarázatot.

Azonban az i. sz. II. században Klaudiosz Ptolemaiosz kidolgozta a világ geocentrikus elméletét, amely lehetővé tette a bolygók csillagokhoz viszonyított helyzetének sok évre előre történő kiszámítását és a nap-, valamint holdfogyatkozások előrejelzését.

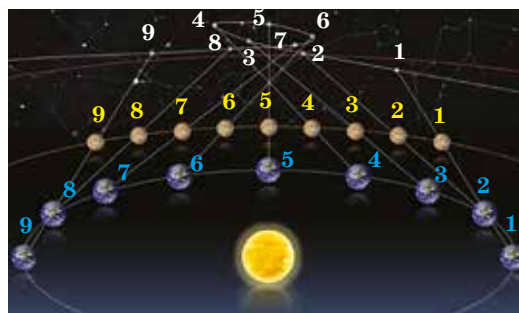
Elődei és saját megfigyeléseit felhasználva Ptolemaiosz felépítette a Nap, a Hold, a bolygók mozgásának elméletét és feltételezte, hogy az összes égitest a világminőség egy golyóhoz hasonló formájú, mozdulatlan Föld körül kering.

Ahogy egyre több megfigyelési adat gyűlt össze a bolygók mozgásáról, úgy vált egyre bonyolultabbá Ptolemaiosz elmélete (különböző sugarú, hajlásszögű, sebességű pótlólagos köröket vezettek be), ami nemsokára túltúlnak nehézkessé és valótlanná tette.

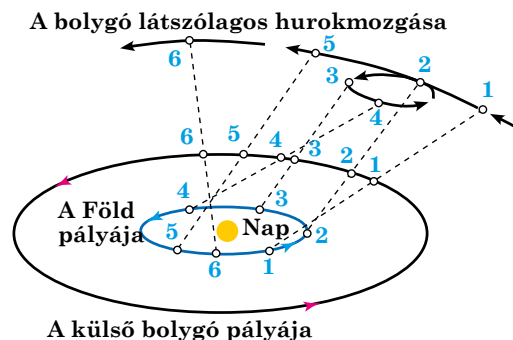
2. Kopernikusz világregszere. A XVI. században Nikolausz Kopernikusz lengyel tudós elvetve a Föld mozdulatlanságának dogmatikus elméletét, azt a közönséges bolygók közé sorolta. Rámutatott, hogy a Föld – a Naptól számított harmadik bolygó –, akárcsak a többi társa, a Nap körül mozog és egyidejűleg a saját tengelye körül forog. Kopernikusz heliocentrikus elmélete nagyon egyszerű magyarázatot adott a bolygók hurokmozgására. Az 1.13. és 1.14. ábrákon a Marsnak a Földről megfigyelt mozgása látható az égbolton. Az égbolton azonos számok jelzik a Mars, a Föld és a Mars pályájának pontjait az égbolton megegyező időpontokban.

Ptolemaiosz heliocentrikus elmélete nem tette lehetővé a bolygók távolságának meghatározását. Kopernikusz heliocentrikus elmélete nyújtott első ízben módot arra, hogy kiszámíthatóak legyenek a Naprendszer arányai a földpálya sugarának csillagászati hosszegységül való alkalmazása által.

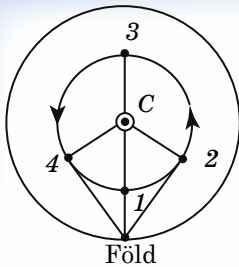
Kopernikusz 1543-ban, nem sokkal a tudós halála előtt megjelent fő műve, *Az égi pályák körforgásairól* című hatkötetes könyvének megírására 20 év komoly munkáját szentelte. A csillagász tevékenységének forradalmisága abban rejlik, hogy a Naprendszer felépítésének új szemléletével elválaszthatatlanul összefügg a Föld, és ezzel együtt az ember helye a Világegyetemben. A Kopernikusz által kifejtett világgkép egyszerűsége és realitása gyor-



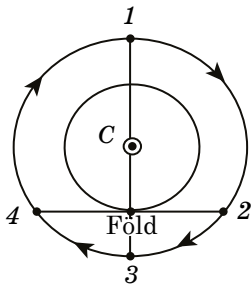
1.13. ábra. A Mars látszólagos hurokmozgása



1.14. ábra. A bolygók hurokmozgásának magyarázata Kopernikusz elmélete alapján.



1.15. ábra. A belső bolygók konfigurációinak ábrázolása: 1 – alsó együttállás; 2 – a legnagyobb nyugati elongáció; 3 – felső együttállás; 4 – a legnagyobb keleti elongáció



1.16. ábra. A külső bolygók konfigurációinak ábrázolása:
1 – együttállás;
2 – nyugati kvadratura;
3 – szembenállás;
4 – keleti kvadratura

28°-ig. Egyik bolygó sem mozdul el távolra a Naptól, ezért éjszaka nem láthatók. A reggeli és az esti láthatóságuk időtartama a Vénusz esetében nem haladja meg a négy, a Merkúr esetében pedig a másfél órát. A Merkúr néha teljességgel láthatatlan, mivel a világos napszakban kel és nyugszik.

Megkülönböztetik a keleti és a nyugati elongációt. Keleti elongációban a bolygó este, naplemente után figyelhető meg, nyugatiban – hajnalban, napkelte előtt. A felső bolygókra (1.16. ábra) másféle konfigurációk jellemzők.

Ha a Föld a bolygó és a Nap között helyezkedik el, akkor ezt a konfigurációt **szembenállásnak** nevezzük. Ez a konfiguráció a legkedvezőbb a bolygó megfigyelésére, mivel a bolygó ilyenkor van legközelebb a Földhöz, a megvilágított félgömbjével fordul feléje, és az égen a Nappal szemben helyezkedvén el, éjfél körül van a felső kulminációban. Megemlítendő, hogy a külső bolygók esetében nincs alsó együttállás, ezért nem szükséges felsőnek nevezni az együttállást. Ha a Földtől a külső bolygó és a Nap felé mutató irány 90°-ot tesz ki, akkor azt mondják, hogy a bolygó **kvadraturában** van. Megkülönböztetik a nyugati és a keleti kvadraturát. A nyugati kvadratura konfigurációjában a bolygó éjfél körül nyugszik, a keletiben – éjfél körül kel. A bolygók konfigurációinak pillanatait és láthatóságuk feltételeit évente közlik a csillagászati kézikönyvek és évkönyvek.

san támogatókra talált. Kopernikusz elmélete a fejlődést fékező, elavult és skolasztikus nézetek feladására készítette a tudományt. Azonban a csillagászat maga is bizonyos meggyőződések foglya maradt. Például nem tudta feladni azt az elképzelését, hogy a bolygók egyenesen mozognak a körpályákon.

Galileo Galilei kiemelkedő olasz tudós megerősítette Kopernikusz elméletét a saját, távcső segítségével végzett felfedezései révén. Kiderítette, hogy a Holdon hegyek és kráterek vannak, felfedezte a Vénusz fázisait, a Jupiter négy holdját és azt, hogy a Tejút nem pusztán fény az égen: gyenge fényű csillagokból áll, amelyek szabad szemmel nem láthatók.

Johannes Kepler, felfedezve a bolygók mozgástörvényeit, továbbfejlesztette Kopernikusz elméletét, és tények alapján bizonyította, hogy a bolygók ellipszispályán, nem egyenesen mozognak.

Isaac Newton 1687-ben felfedezte az általános tömegvonzás törvényét, ami lehetővé tette, hogy képletek formájában fejezzék ki a bolygók mozgásának elméletét, és véglegesen lemondjanak a nehézkes geometriai szerkezetekről.

3. A bolygók konfigurációi és láthatóságuk feltételei. A

bolygók konfigurációján a bolygók, a Föld és a Nap jellegzetes kölcsönös elhelyezkedését értik. A konfigurációk eltérőek az alsó bolygók (amelyek pályái közelebb vannak a Naphoz, mint a Föld pályája) és a felső bolygók (amelyek pályái a Föld pályáján túl találhatók) esetében.

Az alsó bolygókkal kapcsolatban megkülönböztetik az **együttállást (konjunkciót)** és az **elongációt** (1.15. ábra). Alsó együttállásban a bolygó legközelebb van a Földhöz, a felsőben – legtávolabb. Elongáció esetében a szög a Földről a Nap irányába és az alsó bolygó irányába között hegyes marad. A bolygók pályáinak elliptikus volta miatt a maximális elongáció értéke nem állandó. A Vénusz esetében 45°-tól 48°-ig terjed, a Merkúr esetében – 18°-tól

4. A bolygók forgásának sziderikus és szinodikus periódusai.

Azt az időtartamot, amely alatt a bolygó egy teljes fordulatot tesz meg a Nap körül a csillagok közötti pályáján, a *bolygó csillag- vagy sziderikus keringési periódusának* nevezzük.

A bolygók azonos konfigurációi pályáik különböző pontjaiban következnek be.

A bolygók két azonos konfigurációja közötti időtartamot a *bolygó szinodikus keringési periódusának* nevezzük.

Ez különbözik a sziderikus periódustól.

A szinodikus periódus két egymást követő együttállás (szembenállás) közötti periódus.

Kopernikusz elmélete lehetővé teszi a bolygók keringésének szinodikus és sziderikus periódusai közötti kölcsönös összefüggés feltárását.

Tegyük fel, hogy T – a bolygó keringésének sziderikus periódusa, T_0 – a Föld keringésének sziderikus periódusa (csillagév); S – a bolygó forgásának szinodikus periódusa. Annak az ívnek a középértékét, amelyet a bolygó egy nap alatt megtesz, n közepes elmozdulásnak nevezzük, ami $n = 360^\circ/T$ -vel egyenlő, a Föld közepes elmozdulása pedig $n_0 = 360^\circ/T_0$. A belső bolygók esetében $T < T_0$ és $n > n_0$.

Ezeknek a bolygóknak az azonos együttállásai (például az alsó együttállások az 1.17. ábrán) S szinodikus keringési periódusban következnek be, amely alatt

a Föld $L_0 = n_0 S = \frac{360^\circ}{T_0} S$ ívet tesz meg, a bolygó pe-

dig, „előresietve”, egy fordulatot végez a Nap körül, és utoléri a Földet $L = 360^\circ + L_0$ szögtávolságot megtéve,

$$L = n S = \frac{360^\circ}{T} S.$$

Kivonva az első egyenletet a másodikból, megkapjuk a belső bolygók szinodikus mozgásegyenletét:

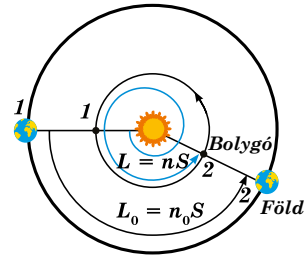
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}.$$

A külső bolygókra nézve a szinodikus

$$\text{mozgásegyenlet a következő alakot ölti: } \frac{1}{S} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T},$$

mivel $T > T_0$ és $n < n_0$.

Az utóbbi egyenletek megadják a bolygók keringése szinodikus periódusainak átlagértékét. Ezeknek az egyenleteknek a segítségével a bolygó megfigyelt szinodikus keringési periódusa alapján könnyű kiszámítani a Nap körüli keringésének sziderikus periódusát.



1.17. ábra. A belső bolygó egymást követő alsó együttállásainak (1 és 2) szinodikus periódusa



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mi a ptolemaioszi világrend fő hiányossága?
2. Miben rejlik Kopernikusz nézeteinek forradalmisága? Milyen jelentőségű elveinek szerepe a csillagászatban?
3. Hogyan bizonyította Galilei Kopernikusz elméletét?
4. Mit jelent a bolygók retrográd mozgása? Hogyan magyarázható a heliocentrikus elmélet segítségével a bolygók hurokmozgása?
5. Mit értünk a bolygók konfigurációján? Milyen konfigurációban lehetnek a külső és a belső bolygók?

6. §. A NAP ÉS A HOLD LÁTHATÓ MOZGÁSA

1. A Nap éves látható mozgása. A Nap állandóan változó δ és α koordinátái alapján az éggömbön meghatározható az a nagy kör, amely a napkorong középpontjának éves látható pályáját jelöli. Az ókori görögök ezt a kört **ekliptikának** nevezték el. Mivel a Nap éves mozgása tükrözi a Földnek a pályáján történő valós mozgását, az ekliptika az éggömbnek és a Föld pályájával párhuzamos sík metszetének a pályája. Ezt a síkot nevezik az **ekliptika síkjának**. A már korábban említett két napéjegyenlőségi ponton kívül két köztes, egymással ellentétes pontot is jelölnek az ekliptikán, amelyekben a Nap elhajlásának abszolút értéke a legnagyobb. A **nyári napforduló pontjában** a Nap elhajlása maximális $\delta = +23^\circ 26'$ (június 22. körül). A téli napforduló pontjában a Nap elhajlása maximális $\delta = -23^\circ 26'$ (december 22. körül).

A csillagképeket, amelyeken áthalad az ekliptika, ekliptikai csillagképeknek nevezük.

Az ekliptikának és csillagképeinek 12 részre való felosztása az ókori Mezopotámiában alakult ki. Ezt az övet állatövnek nevezték el (gör. ζωδιακός κύκλος – *állatok köre*). Eleinte Babilonban egybeestek az állatövi jegyek és az ekliptikai csillagképek, mivel a csillagképeknek nem voltak pontos határai. Később, a hellenisztikus korszakban az állatövi jegyekről mint az ekliptika 12 egyenlő részéről olyan adatok gyűltek össze, amelyek szerint az égen a körív 30° -os részeit foglalják el. A jegyek számításának kiindulópontja Υ – a tavaszi napéjegyenlőség pontja.

Mára az állatövi jegyek és az ekliptikai csillagképek nem esnek egybe. 13 ekliptikai csillagkép van. Közülük 12 (1.1. táblázat) elnevezésében megegyezik az állatövi jegyekkel. A Kígyótartó csillagképe, amely ekliptikai, nem tartozik az állatövi jegyek közé. A különböző csillagképeknek különböző a mérete az égen. Továbbá a precesszió (a Föld tengelyének elmozdulása) miatt a tavaszi napéjegyenlőség pontja folyamatosan eltolódik. Például a Kos állatövi jegy a Halak csillagképébe esik.

Az 1.1. táblázat az állatövi csillagképeket, azok jelöléseit és a Napnak a csillagképben való tartózkodási idejét tartalmazza.

1.1. táblázat

Az állatövi csillagkép neve	A csillagkép jele	Az állatövi csillagkép időtartama
Bak	♉	december 22. – január 20.
Vízöntő	♊	január 21. – február 18.
Halak	♋	február 19. – március 20.
Kos	♌	március 21. – április 20.
Bika	♍	április 21. – május 20.
Ikrek	♎	május 21. – június 20.
Rák	♏	június 21. – július 22.
Oroszlán	♐	július 23. – augusztus 22.
Szűz	♑	augusztus 23. – szeptember 22.
Mérleg	♒	szeptember 23. – október 22.
Skorpió	♓	október 23. – november 22.
Nyilas	♈	november 23. – december 21.

2. A Nap napi mozgása különböző szélességeken. Már tudjátok, hogy a Nap egy elképzelt vonalon történő elmozdulását a csillagok között ekliptikának nevezik. Az egész ekliptikát (360°) a Nap egy év alatt teszi meg, ez a mozgás viszont csak kép-

zelt, mivel a Földnek a Nap körüli keringése következtében történik. Emlékezzünk vissza, hogy az égitestek (többek között a Nap) látható mozgását, amely a Föld saját tengelye körüli keringése miatt áll elő, **napi mozgásnak** nevezzük.

Figyeljük meg különböző szélességeken a Nap napi mozgását. A középső szélességeken a Nap mindig az égbolt keleti részén kel fel, fokozatosan emelkedik a horizont fölött, délben eléri a legmagasabb pontját az égbolton, ezután elkezd lejjebb ereszkedni a látóhatár felé, és végül az égbolt nyugati részén lenyugszik. Az északi féltekén ez a mozgás balról jobbra történik, a déli féltekén pedig jobbról balra. Emellett a Föld északi féltekéjén levő megfigyelő a Napot délen, a déli féltekén található pedig északon látja majd. A Nap napi elmozdulása az égen szimmetrikus az észak-dél iránnyal.

A Földön az északi sarkkörön túl, ahol $|\varphi| > 66,5^\circ$, a Nap napi elmozdulása gyakorlatilag az egyenlítővel párhuzamos. A Nap fél éven keresztül nem nyugszik le, miközben köröz a látóhatár fölött. Ez az éjféli nap. Ezután a Nap fél évre lenyugszik és beáll a sarki éjszaka.

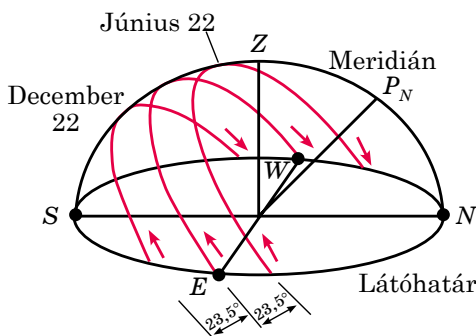
Az egyenlítőn a Nap, mint más égitestek is a valós horizont síkjához képest merőlegesen kel fel és nyugszik, és fél napon keresztül látható.

3. A Nap napi elmozdulásának változása az év folyamán. A Napnak a látóhatár fölötti napi elmozdulásának változását a különböző évszakokban az északi félteke középső földrajzi szélességein az 1.18. ábra mutatja. Az év folyamán délben megfigyelve a Nap magasságát észrevehető, hogy évente kétszer az egyenlítőn található. Ez a tavaszi (március 21. körül) és az őszi (szeptember 23. körül) napjégyenlőség idején történik. A látóhatár síkja kettéosztja az égi egyenlítőt. Emiatt a napjégyenlőség idején a Nap elmozdulása a látóhatár fölött és a látóhatár alatt egyforma; tehát a nappal és az éjszaka egyenlő hosszúak. A legrövidebb nappal december 22-re esik, a leghosszabb pedig június 22-re.

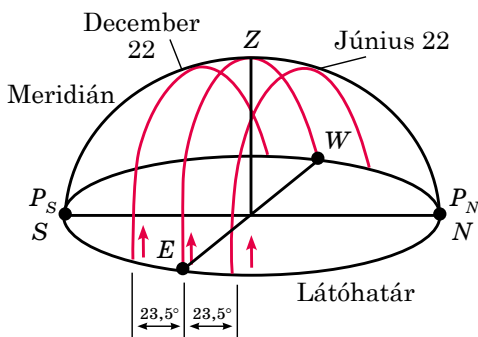
Az egyenlítőn elhelyezkedő megfigyelő számára a Napnak a látóhatár fölötti éves elmozdulásait az 1.19. ábra mutatja.

4. A Hold látszólagos mozgása és fázisai. A Hold a Föld természetes holdja. Ez a Földhöz legközelebbi égitest, amely a Nap fényét veri vissza. A Hold a Föld körül majdnem ellipszoid alakú pályán kering ugyanabban az irányban, amerre a Föld forog a tengelye körül. Ezért úgy látjuk, hogy a Hold a csillagok között az égbolt forgásirányával szemben mozog. A Hold mozgásának iránya mindig nyugatról kelet felé mutat. A Földről a megfigyelő számára a Hold egy nap alatt $13,2^\circ$ -kal mozdul el.

A Hold a Föld körül 27,3 nap (sziderikus hónap) alatt tesz meg egy teljes fordulatot a pályáján. A saját tengelye körül ugyanennyi idő alatt tesz meg egy fordulatot, ezért a Föld felé a Holdnak mindig ugyanaz a féltekéje fordul.



1.18. ábra. A Napnak a látóhatár fölötti napi elmozdulásai különböző évszakokban középső földrajzi szélességeken



1.19. ábra. A Napnak a látóhatár fölötti éves elmozdulásai különböző évszakokban a Föld egyenlítőjéről nézve

A Holdnak a Föld körüli mozgása nagyon bonyolult, annak tanulmányozása az égi mechanika egyik legnehezebb feladata. A Hold látszólagos mozgását látható alakjának folyamatos változása, a fázisok változása kíséri. Ez azért történik, mert a Naphoz és Földhöz képest a Hold különböző pozíciókat vesz fel (1.20. ábra).

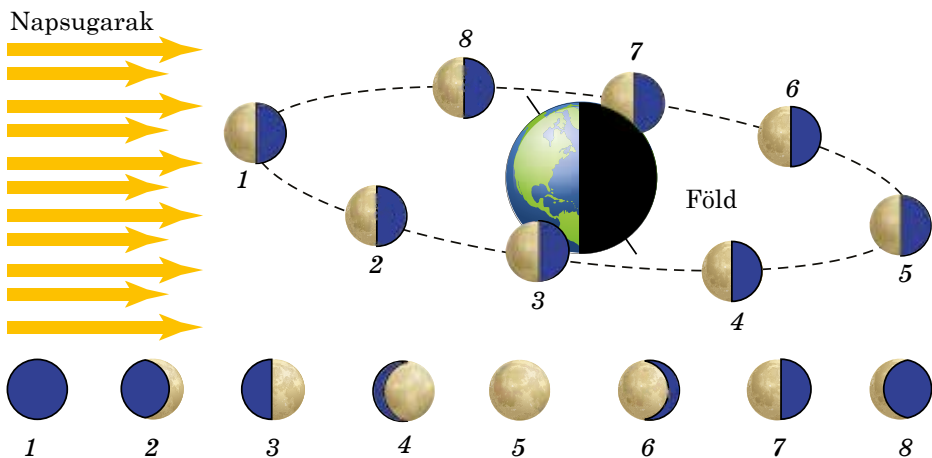
Holdfázisnak nevezzük a holdkorong napfényben látható részét.

Tekintsük meg a Hold fázisait az újholtól kezdve. Ez a fázis akkor áll be, amikor a Hold a Nap és a Föld között halad el, és a sötét oldalával fordul felénk (1.20. 1 ábra). A Hold egyáltalán nem látszik a Földről.

1-2 nap múlva az égbolt nyugati részén megjelenik és folyamatosan növekszik egy fényes sarló, az „új” Hold (1.20. 2 ábra). Az égen néha a holdkorong másik, halvány része is látható. A hamuszürke fény jelensége azzal magyarázható, hogy a holdsarlót közvetlenül a Nap világítja meg, a hold felszínének többi részét pedig a Földtől visszaverődő szórt napfény. 7 nap múlva a holdkorong jobb fele teljesen láthatóvá válik, eléri az **első negyed**et (1.20. 3 ábra). Ebben a fázisban a Hold nappal kel, estig az égbolt déli részén látható, este pedig lenyugszik. Ezután tovább növekszik (1.20. 4 ábra) és az újhold után 14–15 nappal a Hold szembenállásba kerül a Nappal (1.20. 5 ábra). Ekkor áll be a **telihold fázisa**. A napsugarak teljesen megvilágítják a Föld felé néző féltekét. A telihold napnyugtakor kel, és napkeltekor nyugszik, az éjszaka során pedig az égbolt déli részén látható.

Telihold után a Hold Nyugat felől, fokozatosan közeledik a Naphoz, és balról van megvilágítva (1.20. 6 ábra). Körülbelül egy hét múlva áll be a **harmadik**, vagyis az utolsó **negyed fázisa** (1.20. 7 ábra). Ekkor a Hold éjfél körül kel, napkelteig megjelenik az égbolt déli részén és nappal lenyugszik. A Nap és a Föld kísérőjének további közeledései a Hold látható része sarlószerűvé válik (1.20. 8 ábra). A Holdat csak reggel, nem sokkal a napkelte előtt lehet látni és a világos napszakban, napnyugta előtt nyugszik le. Ezután megint beáll az újhold, és a Hold nem látszik az égen.

Egyik újholttól a következőig körülbelül 29,5 nap telik el. A holdfázisok változásának ezen időszakát szinódikus hónapnak nevezik. A szinódikus (vagy havi hold) hosszabb a **sziderikus** (vagy csillag-) hónapnál, mert a Hold és a Föld ugyanabba az irányba mozog.



1.20. ábra. A Hold fázisainak változása

5. Nap- és holdfogyatkozások. Mozgása során a Hold gyakran eltakarja az állatövi csillagképek csillagait. Ennél ritkábban takarja el a bolygókat és a Napot. A Nap Hold általi takarását **napfogyatkozásnak** nevezzük.

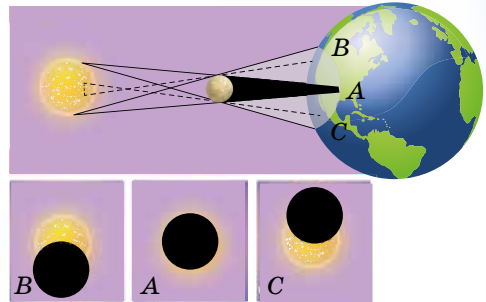
A napfogyatkozásnak eltérő a kinézete a földfelszín különböző pontjaiban, mivel a Hold átmérője 400-szor kisebb a Nap átmérőjénél és a Hold nagyjából 400-szor közelebb van a Földhöz, ezért az égbolton a Nap és a Hold egyforma méretű korongoknak tűnnek. Teljes napfogyatkozáskor a Hold teljesen eltakarhatja a Nap fényes felületét, miközben a Nap légköre látható marad.

Tekintsük meg a teljes napfogyatkozás sémáját (1.21. ábra). Elhaladva a Nap és a Föld között, a kisméretű Hold nem tudja teljesen eltakarni a Földet. A Nap korongja csak az *A* megfigyelő számára lesz eltakarva, aki kúp alakú holdárnyék közepében helyezkedik el, amelynek legnagyobb átmérője a Föld felszínén 270 km. Csak innen, a földfelszín viszonylag keskeny területéről – ahová árnyékot vet a Hold – lesz látható a teljes napfogyatkozás. Ott, ahol a Hold félárnyékot vet, a Hold úgynevezett félárnyékának kúpjában részleges napfogyatkozás lesz látható (a *B* és *C* megfigyelők számára).

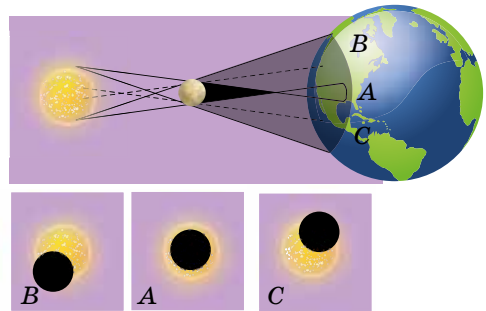
Ha napfogyatkozás közben a Hold elliptikus pályáján mozogva jelentős távolságra kerül a Földtől, a látható holdkorong túl kicsinek bizonyul ahhoz, hogy teljesen eltakarja a Napot. Ekkor az *A* megfigyelő (1.22. ábra) a Hold sötét korongja körül a napkorong fényes részét is láthatja.

A Hold félárnyékán kívül a napfogyatkozás egyáltalán nem látható. A napfogyatkozás a Földnek nem a teljes felszínén figyelhető meg, hanem csak ott, ahol elhalad a Hold árnyéka és félárnyéka. A Hold árnyékának a föld felszínén megtett útját a **teljes napfogyatkozás sávjának** nevezzük.

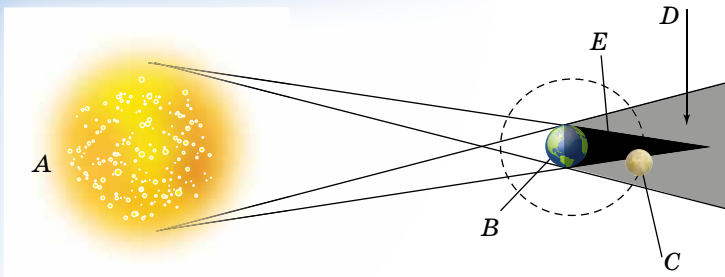
Holdfogyatkozások akkor történnek, amikor a Hold a Föld árnyékába kerül, amely szintén kúp alakú és félárnyékkal van körülveve (1.23. ábra). Amikor a Hold részben lép be a Föld árnyékába, **részleges**, amikor pedig teljesen, akkor **teljes fogyatkozásról** beszélünk. Ha a Föld árnyéka a Nappal ellentétes irányba esik, akkor a Hold csak a telihold fázisban haladhat át rajta. A Hold bal szélével fokozatosan lép be a Föld árnyékába. Teljes holdfogyatkozás idején vörösesbarnává vagy narancsvörössé válik (1.24. ábra), mivel a napfény, miután megtörik a Föld légkörében, főleg vöröses sugarakkal világítja meg a Holdat, amelyeket a legkevésbé szórászt és gyengít az atmoszféra.



1.21. ábra. A teljes napfogyatkozás sémája (*A*, *B*, *C* megfigyelők számára)



1.22. ábra. A gyűrűs napfogyatkozás sémája (*A*, *B*, *C* megfigyelők számára)



1.23. ábra. A holdfogyatkozás sémája. Az égitestek elhelyezkedése a fogyatkozás idején: A – Nap; B – Föld; C – Hold; D – félárnyék; E – teljes árnyék



1.24. ábra.
A Hold alakja teljes holdfogyatkozásakor

Évente 2–5 napfogyatkozás lehet. Átlagosan a Földön egy és ugyanazon helyen ritkán, 200–300 évente figyelhető meg teljes napfogyatkozás, időtartama pedig nem haladja meg a 7 min 31 s-ot. Ezért a csillagászok, annak érdekében, hogy nagyon rövid idő alatt tanulmányozhassák a Nap külső, ritka gázburkát, alaposan felkészülnek a napfogyatkozások megfigyelésére.

Évente általában 1–2 holdfogyatkozás történik, de vannak évek, amikor egyáltalán nincs fogyatkozás.

A holdfogyatkozások a Föld egész éjszakai féltékéjéről láthatóak, ahol a Hold épp a horizont fölött található. Ezért minden ilyen helyen gyakrabban észlelhetőek, mint a napfogyatkozás, habár 1,5-szer ritkábban történnek. A holdfogyatkozás maximális időtartama 1 h 47 min.

Még az i. e. VI. században megállapították, hogy nagyjából 18 év és 11,3 nap múlva minden fogyatkozás ugyanabban a sorrendben megismétlődik. Ezt az időközt (a fogyatkozások közötti periódust) **szároszciklusnak** nevezték el (gör. οἰσος – periódus, ismétlődés).

A szároszciklus ideje alatt átlagosan 70–71 fogyatkozás történik, ezek közül 42–43 napfogyatkozás (14 teljes, 13–14 gyűrűs és 15 részleges) és 28 holdfogyatkozás.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mik a Nap napi mozgásának jellegzetességei a különböző szélességeken? Látható-e a Nap a zeniten Ukrajnából, Ausztráliából és Brazíliából? Miért?
2. Miért fordul a Hold mindig ugyanazzal az oldalával a Föld a felé? Megfigyelhető-e a Hold ellentétes mozgása?
3. Mi a különbség a sziderikus és a szinódikus hónapok között? Mi okozza a különböző időtartamukat?
4. Mit értenek holdfázison? Írjátok körül a Hold fázisait!
5. Miért történnek hold- és napfogyatkozások?
6. Mi a szároszciklus? Milyen a periódusa?

7. §. KEPLER TÖRVÉNYEI

A XVI. sz. végéig a tudósok nem tudták a kor elméleti segítségével néhány évről előre meghatározni a bolygók kölcsönös helyzetét. Akkoriban azt feltételezték, hogy a bolygók szigorúan kör alakú pályákon, egyenletesen mozognak a Nap körül. A bolygók mozgásának kinematikai törvényeit csak a XVII. sz. elején fedezte fel az osztrák csillagász és matematikus, **Johannes Kepler** (1571–1630).

Elsőként állapította meg, hogy **a bolygók ellipszis alakú pályán keringenek, melynek egyik gyújtópontjában a Nap található.** Ez a törvényszerűség a **Kepler első törvénye** nevet kapta.

Az AB szakaszt (1.25. ábra) **nagyfőtengelynek**, a CD szakaszt pedig az ellipszis **kisfőtengelyének** nevezik. Az $AO = OB = a$, $CO = OD = b$ szakaszokat pedig ennek megfelelően az ellipszis **kis** és **nagy féltengelyeinek** nevezik.

Az $e = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a}$ arányt az **ellipszis excentricitásának**

mondják. Minél nagyobb az excentricitás, a fókuszpontok annál inkább eltolódnak a középponttól, és annál nagyobb lesz a különbség a nagy és kis féltengely között. Tehát az excentricitás mutatja az ellipszis „nyújtottságának” a mértékét.

Az ellipszis esetében $0 < e < 1$. Megjegyzendő, hogyha $e = 0$, akkor a körről, mint az ellipszis egy fajtájáról beszélhetünk ($b = a$). Tételezzük fel, hogy az F_1 fókuszpontban a Nap áll, akkor a legközelebbi bolygó pályáján található A pontot **perihéliumnak**, a legtávolabbi B pontot pedig **aphéliumnak** nevezük. Jelöljük meg q -val az AF_1 szakaszt (q – perihélium távolság), Q -val a BF_1 szakaszt (Q – aphélium távolság).

Az 1.25. ábrából következik, hogy $q + OF_1 = a$, $OF_1 = ae$, akkor $q = a - ae = a(1 - e)$, $Q = a(1 + e)$.

A Föld pályájának excentricitása 0,017. A Föld január elején van a perihéliumban, ahol a perihélium távolság 147 millió km-rel egyenlő, július elején pedig az aphéliumban, az aphélium távolság 152 millió km.

A Mars mozgásának tanulmányozása közben Kepler észrevette, hogy a bolygó nem egyenletesen mozog a pályáján: télen gyorsabban, mint nyáron. Keresni kezdte a Mars mozgássebességének változásában a szabályszerűséget, és megalkotta azt a hipotézist, miszerint a sebességnek fordított arányosságban kell állnia a Mars és a Nap közötti távolsággal. A perihélium és aphélium esetében a hipotézis beigazolódott. Ekkor Kepler 360 részre osztotta a Mars pályáját, és elkezdte ezeken a szakaszokon ellenőrizni hipotézisét. A számítások és a megfigyelések kimutatták, hogy a Mars egyenlő időközök alatt pályájának az azonos területű szektorait sűrolja.

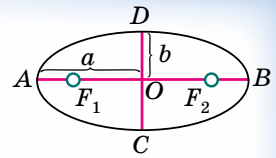
Az összefüggés modern megfogalmazása az összes bolygóra vonatkozik és **Kepler második törvényének** nevezik. Így hangzik: **a bolygók vezérsugara** (a bolygó és a Nap középpontját összekötő egyenes) **azonos idő alatt azonos területet sűrol.**

Kepler második törvényét, avagy a területek törvényét az 1.26. ábra mutatja. A bolygó (P) vezérsugara, a Nap (S) körül végzett mozgás során egyenlő időközök alatt egyenlő területű alakzatokat sűrol – P_1SP_2 és P_3SP_4 . Tehát a bolygó mozgássebessége változó: a perihéliumban maximális értéket vesz fel, az aphéliumban pedig minimális. A Föld sebessége télen a legnagyobb: $v_{max} = 30,38$ km/s. A legkisebb a sebessége nyáron: $v_{min} = 29,36$ km/s. Júliusban a Föld lassabban kering, ezért az északi féltekén tovább tart a nyár, mint a déln. Ezzel magyarázható az, hogy az éves átlaghőmérséklet a Föld északi féltekéjén magasabb, mind a déln. Ha a Föld állandó sebességgel keringene a Nap körül, akkor a napok száma ezekben a félévekben egyenlő lenne.

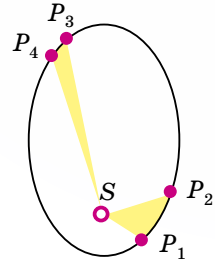
Összehasonlítva a pályák méreteit és a bolygók Nap körüli keringésének periódusait, Kepler megállapította, hogy a bolygók keringési periódusainak négyzete arányos a Naptól mért közepes távolságuk köbével (avagy az $r^3 : T^2$ arányosság minden bolygó számára egyenlő).

Kepler harmadik törvénye így hangzik: **két bolygó sziderikus keringési idejének négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint pályáik nagy féltengelyeinek köbei:**

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



1.25. ábra.
Az ellipszis elemei



1.26. ábra.
Kepler második törvényének magyarázata

Kopernikusz felfedezései és követői bebizonyították, hogy a Föld egy bolygó, ami a Nap körül kering csakúgy, mint a többi bolygó. Ezért kialakult egy elképzelés arról, hogy a nehézségi erő megléte nem csak a Földre jellemző, hanem a többi égitestre is. Azokra az anyagi testekre, amelyek más bolygók, a Hold vagy a Nap közelében vannak, nehézségi erő hat, amely a középpontjuk felé irányul, mint a Földön is. Ezért a gravitáció tulajdonságának más égitestekre történő kiterjedése következtében felmerült a kérdés a testek kölcsönhatásáról.

Kísérleti adatok alapján Newton megfogalmazta a testek mozgásának három alaptörvényét (a tehetetlenség törvénye, az anyagi pont dinamikájának törvénye, a hatás-ellenhatás törvénye). Kepler harmadik törvénye és a dinamika törvénye alapján Newton levezette az általános tömegvonzás törvényét: **két test olyan erővel vonzza egymást, amely egyenesen arányos a testek tömegeinek szorzatával, és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével:**

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

ahol m_1 és m_2 – az egymást vonzó két test tömegei; r – a köztük lévő távolság, $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ – gravitációs állandó.

Az általános tömegvonzás törvénye és a mechanika törvényei alapján Newton matematikailag bebizonyította, hogy a nehézségi erő (gravitációs erő) hatására az m tömegű test az M tömegű testhez viszonyítva valamely görbén fog mozogni: ellipszis, kör, parabola vagy hiperbola.

Így tehát Newton pontosította és általánosította Kepler első törvényét: **a tömegvonzás hatására egyik égitest a másik égitest gravitációs terében valamely kúpszelet – ellipszis, kör, parabola vagy hiperbola – mentén fog mozogni.**

34



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Fogalmazzátok meg Kepler törvényeit!
2. Milyen pályákon mozoghatnak az égitestek a nehézségi erő hatására?
3. Hogyan változik a bolygó mozgássebességének értéke a perihéliumtól az aphéliumig?
4. Hogyan függ a műholdak keringési sebessége a bolygók tömegétől?

8. §. AZ ÉGITESTEK MÉRETEINEK, TÖMEGÉNEK ÉS TÁVOLSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA A NAPRENDSZERBEN

1. A Föld méreteinek meghatározása. A Föld gömb alakja lehetővé teszi méreteinek egy olyan módszerrel történő meghatározását, amit először Eratoszthenész görög tudós alkalmazott. A módszer a következőben áll. A földgömb egy földrajzi meridiánján kiválasztunk két pontot: O_1 és O_2 (1.27. ábra). Jelöljük a meridián $O_1 O_2$ ívének hosszát l -lel, a szögmértékét pedig n -nel (fokokban). Akkor az l_0 meridián

1° -os ívének hossza egyenlő: $l_0 = \frac{l}{n}$, a meridián hossza pedig: $L = 360^\circ l_0 = \frac{360^\circ l}{n} = 2\pi R$, ahol R – a földgömb sugara. Innen $R = \frac{180^\circ l}{\pi n}$.

A meridián ívhossza a föld felszínén kiválasztott két pont között (O_1 és O_2) fokokban egyenlő a kiválasztott pontok földrajzi szélességének különbségével, tehát

$$n = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Az n meghatározásához Eratoszthenész azt a körülményt használta ki, hogy Asszuán és Alexandria városai ugyanazon a meridiánon fekszenek, a köztük lévő távolság pedig ismert. Egy egyszerű készülék segítségével, amit a tudós szkáphosznak nevezett el, megállapította: ha Asszuánban délben, a nyári napforduló idején

a Nap megvilágítja a mély kutak legalját (a zenitben tartózkodik), akkor ugyanebben az időpontban Alexandriában a Nap a függőlegestől a kör 1/50-ed részére tér el ($7,2^\circ$). Tehát meghatározva az ív l hosszát és n szögét Eratoszthenész kiszámította, hogy a Föld kerülete 252 ezer stadiont tesz ki (stadion ≈ 180 m). Tekintettel az akkoriban használt mérőműszerek pontosságára és a kezdeti adatok megbízhatatlanságára a végeredmény eléggé kielégítő volt (a Föld meridiánja hosszának valós középértéke 40 008 km).

Az O_1 és O_2 pontok közötti l távolság (1.27. ábra) pontos mérését természetes akadályok nehezítik (hegyek, folyók, erdők). Ezért az l ív hosszának meghatározása olyan számítások segítségével történik, amelyek csak egy viszonylag rövid távolság, az ún. bázishossz és néhány szög megmérését igénylik. Ezt a geodéziában kifejlesztett módszert **háromszögelésnek** nevezik (lat. *triangulum* – háromszög).

A módszer lényege a következő. Az O_1O_2 ív – melynek hosszát meg kell határozni – mindkét oldalán 50 km-es távolságokon belül kiválasztanak néhány pontot A, B, C, \dots úgy, hogy minden egyes pontból legalább két másik látható legyen.

Minden pontban piramis alakú tornyok formájában (1.28. a ábra) geodéziai jeleket állítanak, amelyeknek magassága a terepviszonyoktól függően 6 és 55 m között lehet. Minden torony felső részén van egy vízszintes lapos felület, ahol elférhet a megfigyelő és a szögmérő berendezés, azaz a teodolit (1.28. b ábra). Bármely két szomszédos pont közötti távolságot teljesen lapos felületen választják ki, és ezt tekintik a háromszöghálózat bázisának. A bázis hosszát nagy pontossággal, speciális mérőszalagok segítségével mérik meg.

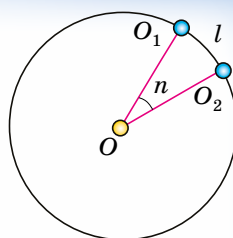
A háromszögben mért szögek és a bázishossz ismerete lehetővé teszik, hogy trigonometriai egyenletek segítségével kiszámítsák a háromszög oldalait, utána pedig – figyelembe véve a görbületét – az O_1O_2 ív hosszát is.

A geodézia fejlődésében fontos volt **Snellius** (1580–1626) holland tudós javaslata arról, hogy a háromszögelés koordináták átadására is használható. 1615–1617-ben Snellius olyan szögmérést végzett el Hollandiában a meridián ívén, amely 33 háromszögből állt és körülbelül 130 km hosszú volt.

1816 és 1855 között **Vaszil Sztruve** (1793–1864) csillagász és földmérő vezetésével megmérték a meridián 2800 km hosszú ívét. A XX. sz. 30-as éveiben **Feodoszjij Kraszovszkij** (1871–1948) professzor vezetésével végeztek nagy pontosságú szögméréseket. Akkoriban nem nagy bázishosszt választottak: 6 és 10 km között. Később, az optikai és rádiólokáció alkalmazásának köszönhetően a bázishosszt 30 km-re növelték. A meridián ívhossza mérésének pontossága 10 kilométerenként ± 2 mm tett ki.

A háromszögeléses mérések megmutatták, hogy a meridián 1° -os ívének a hossza eltérő a különböző szélességeken: az egyenlítőn 110,6 km, a pólusoknál pedig 111,7 km, azaz a pólusok felé növekszik.

A Föld tényleges alakját semmilyen ismert mértani test nem jelképezheti. Ezért a geodéziában és gravimetriában a Földet **geoid** alakúnak tekintik, azaz olyan testnek, amelynek felszíne megközelíti a nyugodt óceán felszínét és a kontinensek alatt folytatódik.



1.27. ábra.
A Föld sugarának meghatározása



1.28. ábra.
Háromszögelési torony és teodolit

Napjainkban a háromszöghálózatok elektronikus radarberendezésekkel vannak ellátva, amelyek földi pontokon vannak elhelyezve, reflektoraik pedig a Föld mesterséges geodéziai műholdjain találhatóak. Ez teszi lehetővé a pontok közötti távolságok pontos meghatározását. Ez az irányzat legelterjedtebb és legnépszerűbb a geodéziában. Elérhető az interneten keresztül. A műholdvevőket Ukrajna számos geodéziai alegységén már napjainkban is széleskörűen alkalmazzák a geodéziai hálózat megújítására, légifotók hozzáfésztolására, topográfiai és kataszteri mérésekhez és egyéb munkákhoz.

2. Távolságok meghatározása a vízszintes parallaxis módszerével. A bolygók csillagászati egységekben mért közepes naptávolságát Kepler harmadik törvénye alapján számíthatjuk ki. Ismerve kilométerekben a Föld közepes naptávolságát (azaz 1 CsE értékét), a Naprendszerben minden távolságot kifejezhetünk kilométerekben.

A XX. sz. 40-es évei óta a rádiótechnika lehetővé tette az égitestek távolságának radar általi meghatározását, amiről a fizikaórákon tanultakból tudtok. A távolságmérés klasszikus módja volt és maradt a szögmérési mértani módszer. Ezzel a módszerrel határozzák meg a messzi csillagok távolságát is, amelyeknél a radareljárás nem alkalmazható. A mértani módszer a parallaktikus elmozdulás jelenségén alapul.

Parallaktikus elmozdulásnak vagy **az égitest parallaxisának** nevezzük az égitestnek azt a látszólagos elmozdulását, amelyet a megfigyelő helyváltoztatása vált ki.

A Naprendszerben található testek közötti távolságok meghatározásának alapja a vízszintes parallaxisok mérése.

36

A p szöget, amely alatt a látósugárra merőleges földsugár látható az égitestről, vízszintes (horizontális) parallaxisnak nevezzük (1.29. ábra).

Minél távolabb van az égitest, annál nagyobb a p szög.

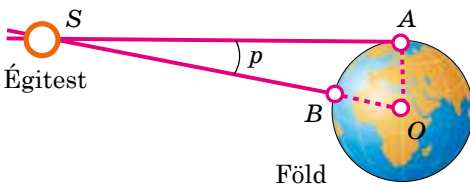
Ismerve az égitest vízszintes parallaxisát, meghatározhatjuk a $D = SO$ távolságát a Föld középpontjától. Az égitesthez mért távolság $D = \frac{R_F}{\sin p}$, ahol R_F – a Föld sugara. Ha R_F -et egynek vesszük, az égitest távolságát kifejezhetjük földsugarakban.

Például a Nap parallaxisa $p_\odot = 8,794''$. A Nap parallaxisának a megközelítőleg 149,6 millió km-rel egyenlő Nap–Föld távolság felel meg. Ezt a távolságot tekintik egy csillagászati egységnek (1 CsE). A Naprendszer tagjai közötti távolságokat általában csillagászati egységekben fejezik ki.

Kis szögek esetén $\sin p \approx p$, ha a p radiánokban van megadva.

Ha a p -t ívmásodpercekben fejezzük ki, $\sin 1'' = \frac{1}{206265''}$ pótszorzót kell bevezetnünk, ahol 206 265 – a másodpercek száma egy radiánban. Ekkor $\sin p'' = p'' \sin 1'' = \frac{p''}{206265''}$ és $D = \frac{206265''}{p''} R_F$. Ez az egyenlőség jelentősen meg-

könnyíti az ismert p parallaxis alapján a D távolság kiszámítását.



1.29. ábra. Az égitest vízszintes parallaxisa

3. Radareljárás. A Naprendszer tagjai távolságainak meghatározására a legpontosabb mérési módszert – a radareljárás – használják. Megmérve a t időt, amely arra szükséges, hogy a rádióhullám elérje az égitestet, visszaverődjön és

visszaérjen a Földre, az alábbi képlet alapján meghatározzák a testhez mért D távolságot:

$$D = c \frac{t}{2},$$

ahol c – a fénysebesség, ami körülbelül $3 \cdot 10^8$ m/s (pontosabban 299 792 458 m/s).

A radareljárás segítségével a legpontosabban határozták meg a Naprendszerben található testek távolságát, pontosították a Föld kontinensei közötti távolságokat, még pontosabban meghatározták a csillagászati egység értékét (1 CsE = 149 597 870 km).

A lézeres távolságmérés módszerei (például a Holdra szállított speciális radar-reflektorok) lehetővé tették a Föld–Hold távolság néhány centiméteres pontossággal történő meghatározását.

4. A Naprendszer tagjai méreteinek meghatározása. A Naprendszer tagjainak megfigyelése közben megmérhető az a szög, amely alatt a Földön tartózkodó megfigyelő számára látható az égitest. Ismerve az égitest szögátmérőjét ρ (1.30. ábra) és az égitesthez mért D távolságot, az alábbi képlet alapján kiszámíthatjuk az adott test lineáris R sugarát is: $R = D \sin \rho$.

A vízszintes parallaxis meghatározása szerint a Föld sugara (R_F) az égitestről p szög alatt látható. Ebből azt kapjuk,

hogy $R = \frac{\sin \rho}{\sin p} R_F$. Mivel a ρ és p szögek

értéke kicsi, végül ezt kapjuk:

$$R = \frac{\rho''}{p''} R_F.$$

Az égitestek méretei csak akkor határozhatók meg ezzel a módszerrel, ha láthatók a korongjaik.

5. A Föld tömegének meghatározása. Az égitestek egyik legfontosabb jellemzője a tömeg. Az általános tömegvonzás törvényének alkalmazása lehetővé teszi az égitestek, többek között a Föld tömegének meghatározását.

A földfelszín közelében lévő m tömegű testre $F = mg$ nehézségi erő hat, ahol g – a szabadesés gyorsulása.

Ha a test kizárólag a nehézségi erő hatására mozog, akkor az általános tömegvonzás törvényét alkalmazva a szabadesés gyorsulása $g = G \frac{M}{R^2}$ és a Föld közép-

pontja felé irányul. Tehát tudva, hogy $g = 9,81$ m/s², $G = 6,673 \cdot 10^{-11}$ N · m²/kg²

és a Föld sugara $R_F = 6370$ km, az $M = \frac{gR^2}{G}$ képlet szerint kiszámíthatjuk a Föld

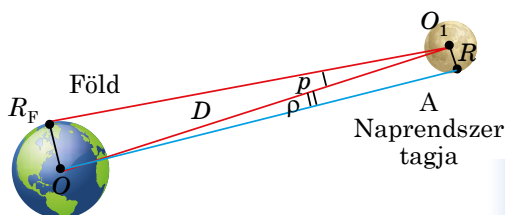
tömegét: $M = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg.

A Föld tömegének és térfogatának ismeretében meghatározható az általános sűrűsége. Az általános sűrűség $5,5 \cdot 10^3$ kg/m³-rel egyenlő. Ugyanakkor a Föld sűrűsége nem állandó, hanem a középpontja felé növekszik.

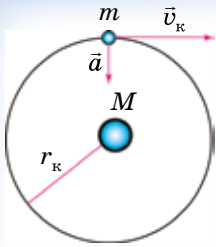
6. Az égitestek tömegének meghatározása. Az égitestek tömegét többféleképpen is meghatározhatjuk: 1. Megmérve a nehézségi erőt az adott égitest felszínén (gravimetrikus módszer). 2. Kepler harmadik általánosított törvényének segítségével.

Az első módszert a Föld esetében feljebb már áttekintettük. Mielőtt megvizsgál-nánk a második módszert, ellenőrizzük Kepler harmadik törvényének működését a bolygó v_K sebességgel történő körmozgása esetén.

Tételezzük fel, hogy az m tömegű test v_K lineáris sebességgel, r_K sugarú kör mentén mozog az M tömegű ($m \ll M$) test körül (1.31. ábra). Ez akkor lehetséges, ha a



1.30. ábra. A Naprendszer tagjainak lineáris méreteinek meghatározása



1.31. ábra. A testek körmozgása

mozgás olyan erő hatására történik, amely $a = \frac{v_k^2}{r_k}$ centripetális gyorsulást vált ki.

A gyorsulást okozó erő a nehézségi erő, amely $\frac{GMm}{r_k^2}$ -tel egyenlő. Egymáshoz egyenlítve a $\frac{v_k^2}{r_k}$ -t és a nehé-

ségi erő okozta gyorsulást $\frac{GM}{r_k}$, megkapjuk, hogy $v_k^2 = \frac{GM}{r_k}$.

Ha az m test M test körül végzett körmozgásának periódusa T időt tesz ki, akkor ugyanennek a testnek a lineáris mozgás-

sebessége a pályán $v_k = \frac{2\pi r_k}{T}$. Behelyettesítve az utolsó egyenletet az előzőbe, ezt

$$\text{kapjuk: } \left(\frac{2\pi r_k}{T}\right)^2 = \frac{GM}{r_k} \text{ vagy } \frac{r_k^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}.$$

Az egyenlet elliptikus mozgás esetén is igaz, ha a kör r_k sugarát az ellipszis alakú pálya nagy féltengelyének a értékével helyettesítjük. Ebben az esetben a következő arányt kapjuk: $\frac{a^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi^2}$, amelyet így fogalmazhatunk meg: **a moz-**

38

gáspálya nagy féltengelye köbének vagy a periódusidő négyzetének és a középpontban lévő test tömegének szorzataránya állandó.

Ha a kisebbik test m tömege nem elhanyagolható az M tömegű középponti test tömegéhez képest, akkor Kepler harmadik törvényében, ahogyan azt Newton kimutatta, az M tömeg helyett a tömegek $(M + m)$ összege fog szerepelni. Így a következő

$$\text{arányosságot kapjuk: } \frac{a^3}{T^2 (M + m)} = \frac{G}{4\pi^2}.$$

Általánosítva ezt az egyenlőséget két – M_1 és M_2 tömegű – égitest esetére:

$$\frac{T_1^2 (M_1 + m_1)}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

tehát a holdak sziderikus periódusai négyzetének (T_1^2 és T_2^2) és az össztömegeknek ($M_1 + m_1$ és $M_2 + m_2$) a szorzatai úgy aránylanak egymáshoz, mint a holdak mozgáspályái nagy féltengelyeinek köbei (a_1^3 és a_2^3).

Kepler Newton által pontosított harmadik törvényének alapján határozható meg a második módszerrel a holddal rendelkező bolygók tömege, valamint kiszámítható a Nap tömege. Kepler harmadik törvénye ugyancsak felhasználható a kettős csillag tömegeinek meghatározására.

Azoknak a bolygóknak a tömegét, amelyeknek nincs holdjuk, azon perturbációk alapján határozzák meg, amelyeket vonzásukkal idéznek elő a Föld, a Mars, üstökösök, kisbolygók mozgásában, valamint kölcsönös perturbációik alapján.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Hogyan határozta meg a Föld méreteit Eratoszthenész görög tudós?
2. Soroljátok fel a Naprendszer tagjai távolságának meghatározására használt módszereket!
3. Hogyan határozzuk meg a meridián ívhosszát háromszögeléses módszerrel?
4. Mit értünk vízszintes parallaxison?

5. Mi a csillagászati egység?
6. Mi az égitestek távolsága radareljárásos meghatározásának lényege?
7. Hogyan általánosította Newton Kepler törvényeit?
8. Hogyan függ a holdak keringési periódusa a bolygók tömegétől? Hogyan számíthatjuk ki a Föld és a Nap tömegét?



1. SZ. GYAKORLATI MUNKA

Gyakorlat forgó csillagterképpel. Az égitestek helyzetének meghatározása az éggömbön csillagterkép segítségével.

A munka célja: megismerkedni a csillagterképpel, megtanulni annak felhasználását az égi helyzetek meghatározására dátumtól és időtől függően, meghatározni az égitestek keltének és nyugtának időpontjait.

Eszközök: forgó csillagterkép, iskolai csillagászati naptár.

Elméleti tudnivalók

A legegyszerűbb csillagászati eszköz, amelynek segítségével megfigyelhető az égitestek égi meridiánhoz és horizonthoz viszonyított helyzetének napi változása, a **forgó csillagterkép**. Segítségével (ha megközelítőleg is) elég gyorsan és elméleti számítások nélkül számos feladatot megoldhatunk a gyakorlati csillagászatból.

A forgó csillagterkép sémája

A forgó csillagterkép két részből áll: csillagterkép és rátétkorong (1.32. ábra).

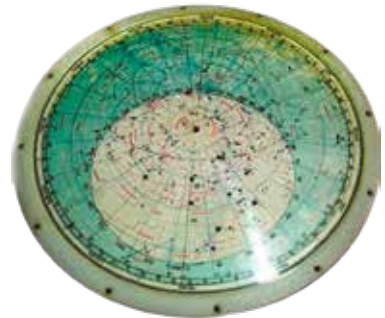
A deklinációs körök koncentrikus körök formájában vannak feltüntetve a forgó csillagterképen, a rektaszcenziós (óra-) körök pedig a térkép középpontjába helyezett északi világpólusból kiinduló sugarak formájában. Így alakul ki az ekvatoriális koordináta-rendszer (α , δ). Az égitestek deklinációját a térképen a sugarak mentén számítják a térkép szélétől a középpontjáig (-45° -tól 90° -ig). A rektaszcenziók a térkép szélének közelében vannak feltüntetve (0-tól 24^h -ig). A térkép pereme mentén a naptári napok vannak jelölve (dátumok pereme).

A csillagterképen az égi egyenlítőt az a körvonal jelöli, amelynek deklinációja nullával egyenlő. A térképnek az a része, amely az égi egyenlítőn belül található, az északi éggömbnek felel meg.

Az excentrikus ovális, amely az égi egyenlítőt két átlósan ellentétes pontban metszi (tavaszpont: $\alpha = 0^h$, és őszi pont: $\alpha = 12^h$), az ekliptika (a forgó térképen általában piros színnel jelölik). Ha a világpólusból egyenest húzunk valamely naptári naphoz, akkor a húzott egyenes és az ekliptika metszéspontja megmutatja a Nap helyzetét az adott napon.

A rátétkorong lehetővé teszi, hogy a csillagterképen kijelöljük az égboltnak azt a részét, amely a Föld adott pontjából, az adott időpontban látható. Az ovális kivételével a korongot félig áttetsző égszínkékek festékekkel festik meg. Az ovális belsejében található csillagok az év adott napján, adott időpontban a horizont fölött helyezkednek el, a többi pedig a horizont alatt (megfigyelésük nem lehetséges az adott időpontban, a Föld adott pontján).

Az idő számítása a rátétkorong peremének mentén található óra-skála segítségével történik,



1.32. ábra.
Forgó csillagterkép

amely órákban, 0-tól 24^h -ig van kalibrálva. Lehetővé teszi az átlagos helyi idő meghatározását 5 perces pontossággal.

Az ovális kontúrja jelképezi a matematikai vagy valódi horizontot. Ezen a körvonalon található az azimutok skálája (fokokban, 0-tól 360° -ig), amelynek segítségével meghatározható az égitestek azimutjának megközelítő értéke. Ugyancsak az azimutok skáláján vannak feltüntetve a látóhatár fő pontjai: **dél S** ($A = 0^\circ$), **nyugat W** ($A = 90^\circ$), **észak N** ($A = 180^\circ$) és **kelet E** ($A = 270^\circ$).

A délponton és az északponton áthaladó egyenes jelképezi az égi meridiánt. Azon égitestek, amelyek metszik az égi meridiánt, az adott pillanatban kulminálnak. A felső kulminációban azok az égitestek találhatók, amelyek az égi meridiánon az északi világpólus és a délpont között helyezkednek el. Azok a csillagképek, amelyek az adott időpontban emelkednek a látóhatár fölé, a valódi látóhatár keleti részén helyezkednek el (a matematikai horizontnak az északponttól, a keletponton át, a délpontig húzódó ívének közelében). Azokat a csillagképeket pedig, amelyek az adott időben nyugszanak, a valódi látóhatár északi részén kell keresni.

A zenit helyzetét a rátétkorongon az égi meridián és azon körvonal metszéspontja határozza meg, amelynek deklinációja a megfigyelési pont földrajzi szélességével egyenlő.

A munka menete

1. feladat

40

1. Tegyétek a rátétkorongot abba a helyzetbe, amely a munkavégzés időpontjának felel meg!

2. Határozzátok meg, mely csillagképek és fényes csillagok kelnek, nyugszanak ebben az időpontban, lesznek a felső vagy alsó kulminációban, melyek láthatóak teljes egészükben, melyek csak részben! A csillagatlasz segítségével határozzátok meg az égbolton éppen látható csillagok megnevezéseit!

3. Határozzátok meg az alábbi napokon:

Változat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dátum	22.01	22.02	22.03	22.04	22.05	22.12	22.11	22.10	22.09	22.08

1) melyik csillagképben található a Nap; 2) a napkelte és napnyugta időpontját; 3) a nap hosszát!

2. feladat

1. Határozd meg a csillagos égbolt kinézetét a születésed dátumakor!

2. Határozd meg a Nap helyzetét a születésnapodon (csillagkép és koordináták)!

3. Határozd meg a napkelte és napnyugta időpontját, valamint a nap hosszát a születésnapodon!

4. Határozzátok meg a csillagok koordinátáit (a változatok szerint):

Változat	1	2	3	4
Csillag	α Sas (Altair)	α Szűz (Spica)	α Oroszlán (Regulus)	α Lóra (Vega)

5. Határozd meg, milyen időpontban kel és nyugszik az adott csillag a születésnapodon!

Ellenőrző kérdések

1. Milyen részekből áll a forgó csillagtérkép? Írd le a fő térkép felépítését!

2. Írd le a forgó csillagtérkép rátétkorongjának felépítését!

3. Hogyan határozható meg a forgó csillagtérkép segítségével az égitest α -ja és δ -ja?

4. Hogyan határozzuk meg a forgó csillagtérkép segítségével az égitest keltének (nyugtának) az időpontját az adott dátumkor?

5. A 88 csillagkép közül melyik a legnagyobb? Legkisebb? Leghosszabb? Az égi egyenlítőn található mely csillagkép szel két egyenlőtlen részre egy másik csillagképet?



OLDJUK MEG EGYÜTT!

1. feladat. Miért, és mikor vezették be az éggömb pontjait és vonalait?

Felelet. Az éggömb pontjait és vonalait ógörög tudósok vezették be: Milétoszi Thalész (i. e. VII–VI. sz.), Eukleidész (i. e. III. sz.) és mások. A szférikus csillagászati koordináta-rendszerek felépítéséhez és a szögek méréséhez volt rájuk szükség.

2. feladat. A tanuló este valamely csillag kulminációját a zenitől északra, $66^{\circ}30'$ magasságon figyelte meg. Ennek a csillagnak az alsó kulminációban mért magassága $35^{\circ}42'$ volt. Határozzátok meg a megfigyelési pont és a csillag deklinációjának földrajzi koordinátáit!

Megoldás. A csillag magassága a látóhatár fölött a felső kulminációban, amely a zenitől északra történik: $h_F = 90^{\circ} + \varphi - \delta$, ahol φ – a megfigyelési pont földrajzi szélessége, δ – a csillag deklinációja. Az alsó kulminációban: $h_A = \delta + \varphi - 90^{\circ}$. Összeadva és kivonva egymásból ezeket az egyenlőségeket, kapjuk:

$$h_F + h_A = 2\varphi, \quad h_F - h_A = 180^{\circ} - 2\delta.$$

Innen kifejezzük a megfigyelési pont szélességét:

$$\varphi = \frac{h_F - h_A}{2} = \frac{66^{\circ}30' + 35^{\circ}42'}{2} = 51^{\circ}06'$$

és a csillag deklinációját:

$$\delta = \frac{180^{\circ} - (h_F - h_A)}{2} = \frac{180^{\circ} (66^{\circ}30' - 35^{\circ}42')}{2} = 74^{\circ}36'.$$

3. feladat. A test térbeli helyzetének meghatározásához három koordinátára van szükség. A csillagászati katalógusokban leggyakrabban két koordinátát adnak meg: a rektaszencziót és a deklinációt. Miért?

Felelet. A szférikus koordináta-rendszerben a harmadik koordináta a sugárvektor modulusa – az r objektumig mért távolság. Ezt a koordinátát az α - és δ -nál bonyolultabb megfigyelésekkel lehet meghatározni. A katalógusokban az éves parallaxis a megfelelője, ahonnan $r = 1/\pi$ (pc). A szférikus csillagászat feladataiban elegendő két koordináta ismerete (α és δ) vagy alternatív koordináta-pároké: ekliptikus – λ , β vagy galaktikus – l , b .

4. feladat. Számítsátok ki a Neptunusz Nap körüli keringésének periódusát, tudva, hogy átlagos naptávolsága 30 CsE!

Megoldás. Írjuk fel Kepler harmadik törvényét: $\frac{T_N^2}{T_F^2} = \frac{a_N^3}{a_F^3}$, ahol T_N – a Neptunusz csillagperiódusa; a – átlagos naptávolság (a keringési pálya nagyobbik féltengelye); T_F – a Föld csillagperiódusa; a_F – a Föld keringési pályájának nagyobbik féltengelye (1 CsE).

$$T_N = \sqrt{\frac{T_F^2 a_N^3}{a_F^3}} = T_F \sqrt{\frac{a_N^3}{a_F^3}}; \quad T_N = 1 \sqrt{\frac{30^3}{1^3}} = 164 \text{ év.}$$

5. feladat. Március 21-én a Nap középpontja a tavaszponttal majdnem egy időben halad át a meridiánon, ami után a két pont eltávolodik egymástól az éggömbön. Miért? Melyik pont halad gyorsabban? (A napi mozgásról van szó.)

Felelet. Távolodnak egymástól, mert: 1) a tavaszpont csak napi mozgást végez, a Nap viszont a napi mellett sajátmozgást is; 2) a tavaszpont az egyenlítőn található, a Nap pedig az ekliptikán. A Nap naponta kisebb utat tesz meg, mint a tavaszpont, tehát körülbelül napi 1° -kal lassabban mozog.

6. feladat. A keleti hosszúság 41° -án lévő pontban a zónaidő 6 óra 40 perc. Határozzátok meg a zónaidőt ugyanebben az időpontban a keleti hosszúság 86° -án!

Megoldás. A helyi idők különbsége a hosszúságok különbségével egyenlő: $T_{1H} - T_{2H} = \lambda_1 - \lambda_2$. A helyi idő és a zónaidő közötti különbség: $T_{1H} - T_{1Z} = \lambda_1 - n_1$, ahol n_1 a zóna sorszáma. E két egyenletből: $T_{2H} = T_{1Z} + \lambda_2 - n_1$. Figyelembe véve, hogy $\lambda_1 = 41^\circ$ a harmadik időzónához tartozik [$37,5^\circ - 52,5^\circ$], valamint 1 óra = 15° , megkapjuk, hogy $\lambda_2 = 86^\circ = 5$ óra 44 perc és $T_{2H} = 6$ óra 40 perc + 5 óra 44 perc - 3 óra = 9 óra 24 perc.

7. feladat. Miért van az, hogy míg a Julianus-naptár szerinti év hosszabb, mint a valós év, az mégis lemarad a természethez képest? Ez ahhoz hasonlítható-e, mint amikor a hosszabb léptekkel haladó vándor mégis lemarad a másiktól? Magyarázzátok meg az ellentmondást!

Felelet. Minél nagyobb a mérték, annál kevesebbszer lehet elhelyezni a mérendő mennyiségbe. Tehát a Julianus-naptárt használva kevesebb évet és évszakot kapunk, mintha a trópusi évet használnánk. Ha a naptárban a trópusinál rövidebb évet használnánk, akkor épp ellenkezőleg, „sietne”.



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

42

1.1. Hogyan lehet a Nagy Medve csillagkép segítségével meghatározni az északi égi pólust? A választ rajzzal is szemléltessétek!

1.2. Hogyan változott volna a csillagtérkép, ha a Nemzetközi Csillagászati Unió 1922-ben 88 csillagkép helyett csak 44-et határozott volna meg?

1.3. Melyik csillag fényesebb: az első nagyságrendű vagy a hatodik nagyságrendű?

1.4. A csillag látszólagos fényessége 0^m . Magyarázzátok meg, milyen lenne a csillag látszólagos fényessége (negatív vagy pozitív) ha távolabb lenne!

1.5. Írjátok ki a csillagkatalógusból 5 olyan égitestet a saját szélességi fokotokról, amelyek sosem bukik a horizont alá, amelyek felkel és lenyugszik, amelyek sosem kel fel!

1.6. Határozzátok meg a települések szélességéről megfigyelhető csillagok deklinációját!

1.7. Használható-e a földi csillagtérkép a Naprendszer más bolygóinak felszínén? Bolygóközi repülés közben? Azokon a bolygókon, amelyek más csillagok körül keringenek?

1.8. Határozzátok meg a csillagtérkép segítségével, körülbelül mennyi idő alatt halad át az Orion csillagkép az égi meridiánon!

1.9. Melyik napon kel a Nap Keleten és nyugszik Nyugaton?

1.10. Ukrajnában a régi hagyomány szerint január 14-én köszöntik az úgynevezett régi újévet. Honnan ered ez a hagyomány?

1.11. Rajz segítségével magyarázzátok meg a bolygók hurokszerű mozgásának jelenségét!

1.12. Milyen konfigurációban figyelhető meg legjobban a Mars? A választ rajzzal magyarázzátok!

1.13. Egy bolygó a Naptól 55° -os szögtávolságra látható. Milyen bolygóról van szó: alsóról vagy felsőről?

1.14. Milyen időközönként ismétlődik a Mars szembenállása, ha a Nap körüli csillagperiódusa 1,88 év?

1.15. Határozzátok meg a Vénusz Nap körüli csillagperiódusát, ha ez a helyzet 1,6 évente ismétlődik!

1.16. Miért van az, hogy a teljes holdfogyatkozás idején a Hold jól látható, míg teljes napfogyatkozáskor a Nap nem látható?

1.17. Mikor van a Hold közelebb a Naphoz: napfogyatkozás vagy holdfogyatkozás közben? Válaszokat rajzzal magyarázzátok!

1.18. Rajz segítségével magyarázzátok meg, hogy a Hold az első negyedben miért este látható?

1.19. Hogyan tud tájékozódni az űrhajós a Hold felszínén, ha a Földön iránytű segítségével tájékozódunk?

1.20. A Hold földfelszínre vetett árnyékának a mérete kisebb vagy nagyobb a Hold átmérőjénél teljes napfogyatkozás idején? Válaszokat magyarázzátok meg!

1.21. Soroljátok fel az általatok ismert, a Naprendszer tagjai távolságának meghatározására használt módszereket!

1.22. A Marsra küldött rádiójel 522,6 s múlva ért vissza a Földre. Mekkora távolságra volt a Földtől a Mars abban a pillanatban?

1.23. Milyen paramétereket kell megmérni ahhoz, hogy kiszámíthassuk, hány-szor nagyobb a Nap a Holdnál?

1.24. A bolygó parallaxisa 0,3". Határozzátok meg a távolságát csillagászati egységekben!

1.25. Határozzátok meg a Mars szögsugarát konfrontáció idején, ha lineáris sugara 3398 km, vízszintes parallaxisa pedig 18"!

1.26. Magyarázzátok meg, ellentmond-e Kepler törvényének egy test körpályán történő Nap körüli mozgása!

1.27. Melyik törvény határozza meg a test mozgássebességének változását (ellipszis alakú pályán) a Naptól mért különböző távolságokon?

1.28*. Melyik törvény segítségével és hogyan lehet bebizonyítani, hogy a Vénusz Nap körüli mozgásának periódusa kisebb, mint a Mars periódusa?

1.29*. Közel van-e a Naphoz a Merkúr, ha pályájának nagyobbik tengelye 58,34 millió km, excentricitása pedig 0,206?

1.30*. Két különböző tömegű test körmozgást végez a Nap körül. Mozgáspályáik féltengelyeinek mérete egyforma. Melyik test periódusa nagyobb? Esetleg egyformák a periódusok?

1.31*. Számítsátok ki, hogyan változna meg a Föld Nap körüli mozgásának periódusa, ha a Föld tömege kétszer kisebb lenne, mint most, az átlagos naptávolsága pedig ugyanolyan maradna!



ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!

Ellenőrző kérdések

1. Mit jelent a csillagkép fogalma?
2. Hány csillagképre van felosztva az éggömb?
3. Hogyan kapták a csillagképek az elnevezéseiket? Példaként nevezétek meg néhány csillagkép nevét!
4. Mi a különbség a geocentrikus és a heliocentrikus világmép között?
5. Miért használnak a csillagászatban különböző koordináta-rendszereket? Mi az alapvető különbség a különböző égi koordináta-rendszerek között?
6. Mi az éggömb és a Föld forgástengelye űrbe meghosszabbított metszéspontjának a megnevezése?

Amit tudok, és amire képes vagyok

● Tudom, hogyan kell feladatokat megoldani

1. Körülbelül hány csillagkép van nappal az éggömbön a látóhatár fölött?
2. Milyen csillagászati eszközök, készülékek és mechanizmusok megnevezései láthatóak a csillagtérképen csillagképek formájában?

3. Egy bizonyos megfigyelési pontban a csillag legkisebb magassága 0° , a legnagyobb pedig 50° . Melyik szélességen található ez a pont? Mekkora a csillag deklinációja?

● **Tudom, hogyan kell végezni a csillagászati megfigyeléseket**

4. Figyeljétek meg a napkeltét vagy napnyugtát napéjegyenlőség idején: szeptember 23-án vagy március 21-én! A Nap ekkor a keletpontban kel és a nyugatpontban nyugszik. Ábrázoljátok ezeknek a pontoknak a helyzetét a házatokhoz képest!

● **Tudom, hogyan kell használni a csillagászati naptárt**

5. A csillagászati naptár segítségével határozzátok meg, a Naprendszer melyik bolygója van legközelebb a Földhöz a születésnapotokon! Ma éjszaka melyik csillagképben látható ez a bolygó?

6. A csillagászati naptár segítségével találjátok meg a Jupitert és a Szaturnuszt az égen, és határozzátok meg, melyik csillagképben vannak ezek a bolygók!



TESZTFELADATOK

1. Melyik test van a középpontban a geocentrikus világkép szerint?

A Nap B Jupiter C Szaturnusz D Föld E Vénusz

2. Melyik bolygót fedezte fel Nikolausz Kopernikusz?

A Mars B Szaturnusz C Uránusz D Föld E Jupiter

3. Mi a görög „bolygó” szó fordítása?

A szőrös csillag C bolygó csillag E hideg test
B farkas csillag D kódosság

4. Az északi világpólus a következő helyen található:

A Arktisz C Orion csillagkép E a Sarkcsillag közelében
B Antarktisz D Nagy Medve csillagkép

5. A pillanatot, amikor az égitest a legmagasabban van a horizont fölött, úgy nevezik, hogy:

A egyenes emelkedés C alsó kulminálás E alsó kultiválás
B felső kulminálás D felső kultiválás

6. A trópusok olyan földrajzi szélességek, ahol:

A pálmák nőnek B a Nap sosem nyugszik le
C napfordulókor a Nap a zenitben kulminál
D napéjegyenlőségkor a Nap a zenitben kulminál
E sosem esik az eső

7. A sarkkör olyan földrajzi szélesség, ahol:

A egész évben nem olvad el a hó B jegesmedvék élnek
C fél évig nappal van, fél évig éjszaka
D napéjegyenlőségkor a Nap a zenitben kulminál
E a téli napfordulókor a Nap nem kel fel

8. Mekkora a szög az egyenlítő és az ekliptika síkjai között?

A 0° B $23,5^\circ$ C 45° D $66,5^\circ$ E 90°

9. Mi a neve a pálya azon pontjának, ahol a bolygó legközelebb van a Naphoz?

A perihélium B perigaeum C apogeum D aphélium E apex

2. fejezet

AZ ASZTROFIZIKAI KUTATÁSOK MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI

A fejezet tananyagát tanulmányozva megismerkedtek a teleszkópok felépítésével és céljával, tudást szereztek az elektromágneses spektrum tartományairól, a sugárzásvevőkről, a legismertebb neutrínó- és gravitációs hullámdetektorokról, Ukrajna és a világ vezető csillagászati obszervatóriumairól. Megtanulják megmagyarázni az atmoszféra hatását a csillagászati megfigyelésekre, a teleszkóp működési elvét, az optikai és a rádióteleszkóp közti különbséget, az égitestek általi sugárzás regisztrálásának sajátosságait.

9. §. AZ ÉGITESTEK ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁSÁNAK VIZSGÁLATA

45

1. Az égitestek sugárzása. Az égitestek természetének vizsgálata során különös figyelmet fordítanak elektromágneses sugárzásuk tanulmányozására. Az égitestek fizikai állapotuktól függően különböző hosszúságú elektromágneses hullámokat bocsátanak ki.

Vákuumban az elektromágneses hullámoknak, a sugárzás fajtájától függetlenül, mindig egyforma a terjedési sebessége: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Az elektromágneses sugárzás fontos jellemzője, hogy terjedési sebessége nem függ a hullámhossztól, a forrás mozgássebességétől. A hullámokat ν frekvenciával és λ hullámhosszal jellemezzük, amelyek között az összefüggés: $c = \nu\lambda$. A különböző hullámhosszú elektromágneses hullámok különbözőképpen lépnek kölcsönhatásba az anyaggal. Ebből kifolyólag az elektromágneses sugárzás vizsgálati módszerei is különböznek. Emiatt az elektromágneses sugárzás feltételelesen néhány tartományra osztható (2.1. táblázat).

2.1 táblázat

Az elektromágneses sugárzás tartományai

Tartományok	Hullámhossz, λ
Rádióhullámok	több mint 1 mm
Infravörös sugarak	760 nm – 1mm
Látható sugarak	390 nm – 760 nm
Ultraibolya sugarak	10 nm – 390 nm
Röntgensugarak	0,01 nm – 10 nm
Gamma-sugarak	kevesebb mint 0,01 nm

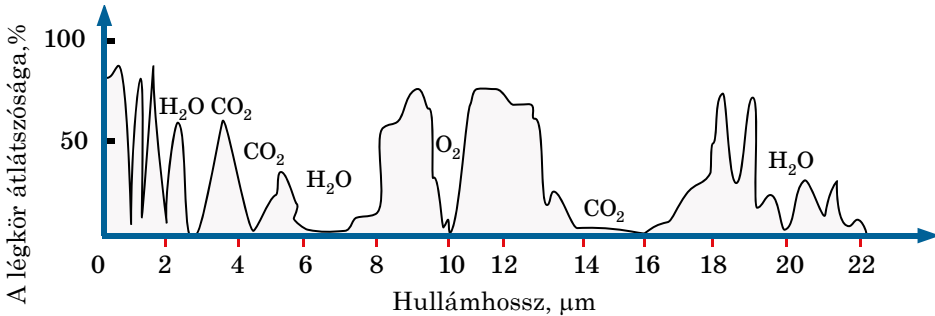
A 390–760 nm-es hullámhosszú sugárzást az emberi szem fényként érzékeli, ráadásul a különböző hullámhosszoknak különböző színek felelnek meg (a lilától

a vörösig). A más tartományú sugárzás kimutatásához speciális készülékekre van szükség.

Fizikai állapotuktól függően egyes égitestek az elektromágneses spektrum keskeny frekvencia-intervallumában bocsátanak ki energiát (például a világos gázködök), míg mások ez egész intervallumban: a γ -sugaraktól a rádióhullámokig (például a csillagok). Az égitestek fizikai természetének széles tartományú elektromágneses sugárzásban való tanulmányozása olyan tudományágak megjelenéséhez vezetett, mint a γ -csillagászat, röntgencsillagászat, infravörös csillagászat, rádiócsillagászat.

Az égitestek által kisugárzott elektromágneses hullámok tanulmányozását nehezíti, hogy a Föld légköre csak bizonyos hullámhossz-tartományokban ereszti át a sugárzást: 300 nm-től 1000 nm-ig, 1 cm-től 20 m-ig és néhány „résben” az infravörös tartományban. A sugárzást, ami eléri a Föld felszínét, optikai teleszkópokkal (látható fény) és rádióteleszkópokkal vizsgálják.

Oxigén, ózon, széndioxid és vízgőz – a légkör négy összetevője, amelyek a sugárzás elnyelődését okozzák. Az elnyelés függ az elektromágneses sugárzás hullámhosszától. A 2.1. ábra a légkör átlátszósági görbéjét mutatja a $\lambda = 0\text{--}22\ \mu\text{m}$ tartományban, amelyből látható, hogy a spektrális tartománynak közel fele teljesen alkalmatlan a megfigyelésre, mivel a megfelelő sugárzás nem jut át az atmoszférán.



2.1. ábra. A légkör átlátszósági görbéje a 0–22 μm -es hullámhossz-tartományban

A légkör erősebben nyeli el az elektromágneses sugárzás rövidhullámú részét: az ultraibolya, röntgen és γ -sugarakat. Ebben a tartományban csak nagy magasságra felemelt (repülőgépeken, szondákban) vagy űrállomás-laboratóriumokban, űrkomplexumokban, a Föld műholdjain, orbitális obszervatóriumokban elhelyezett műszerek segítségével lehetséges megfigyeléseket végezni.

2. Sugárzásvevők. A sugárzást, amit a teleszkóp objektívje gyűjtött össze, a sugárzásevő érzékeli és analizálja. A teleszkópok időszakának első két és fél évtizedében az egyetlen sugárzásevő a szem volt. Ez viszont nem csak nem túl érzékeny, hanem elég szubjektív sugárzásevő.

A XIX. sz. közepétől a csillagászatban elterjedtek a fotografikus módszerek. A fényérzékeny anyagoknak (fényképlemez, film) számos előnyük van az emberi szemhez képest. A fotoemulzió képes összegyűjteni a ráeső energiát, így az expozíciót növelve a negatívon több fény gyűjthető össze.

A fénykép lehetővé teszi az események dokumentálását, mivel a negatívak hosszú ideig őrizhetők. A fényképlemez panorámával rendelkezik, azaz egyszerre rengeteg objektumot rögzíthet, elegendő pontossággal.

A legmodernebb teleszkópok számítógépekkel (és egyéb elektromos készülékekkel) vezérelhetők, az űrbéli objektumokról készült képek pedig olyan formában van-

nak rögzítve, hogy számítógépes programokkal feldolgozhatók. A fotográfiai módszer szinte teljesen elavult. Az utóbbi évtizedekben széleskörűen alkalmazzák a **foto-elektronikus sugárvevőket**, amelyekről az információ egyenesen az elektronikus számítástechnikai eszközhöz, a számítógéphez jut. Ilyen eszköz a CCD-mátrix (Charge-coupled Device, azaz töltés-csatolt eszköz). A CCD egy integrált áramkör, amelyet félvezető anyagra helyeznek, és amely a sugárzás fényenergiáját elektromos energiává alakítja át. Az áramerősség egyenesen arányos a fényerősséggel.

A képek számítógépes feldolgozása lehetővé teszi, hogy megszabaduljunk az akadályoktól és a háttérsugárzástól, amelyeket a fénynek a Föld légkörében való szétszóródása és a légköri turbulencia okoznak.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mit értünk a Föld légkörének átteresztőképességén?
2. Milyen típusú elektromágneses hullámokat sugároznak az égitestek? Az elektromágneses sugárzás egész spektruma milyen tartományokra osztható fel?
3. Hogyan hat a földi atmoszféra a különböző elektromágneses hullámok terjedésére és földfelszínre jutására?
4. Miért nem lehet a Földről az elektromágneses sugárzás valamennyi tartományában megfigyelni az égitesteket?

10. §. MODERN FÖLDI TELESZKÓPOK. AZ OPTIKAI ÉS RÁDIÓTELESZKÓP, A NEUTRÍNÓ- ÉS GRAVITÁCIÓS HULLÁMÉRZÉKELŐK FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSI ELVE

47

1. A csillagászati megfigyelések és a földi teleszkópok. Amint azt már tudjátok, az égitestek és jelenségek tanulmányozásának fő módszere a csillagászati megfigyelés. **Csillagászati megfigyelésnek** nevezzük a Világegyetemben végbemenő folyamatokkal és jelenségekkel kapcsolatos információ célirányos és aktív rögzítését. Empirikus szinten az ilyen megfigyelések a tudás fő forrásai.

A csillagászok évezredek óta keresztül tanulmányozták az égitestek helyzetét a csillagos égen, kölcsönös elmozdulásukat az idő teltével. A csillagok, bolygók és más égitestek pontos helyzetének meghatározása alapanyagot biztosít a távolságuk és méreteik meghatározásához, valamint mozgástörvényeik tanulmányozásához. A szögmérések eredményeit a gyakorlati asztronómiában, az égi mechanikában alkalmazzák.

A csillagászati megfigyelések végzésére és az eredményeik feldolgozására sok országban különleges tudományos-kísérleti intézményeket, **csillagászati obszervatóriumokat** hoztak létre.

A **csillagászati obszervatórium** (gör. *άστρον* – csillag, lat. *observo* – megfigyelek) **tudományos-kísérleti intézmény, ahol az égitestekkel kapcsolatos megfigyeléseket végeznek, tanulmányozzák azokat.**

Az obszervatóriumok a csillagászat kialakulásakor jöttek létre. Maradványaikat megtalálhatjuk Európában, Ázsiában, Dél-Amerikában. Többek között ilyen maradvány az Angliában található Stonehenge. Az első állami csillagvizsgálót (tehát amelyet az állam finanszírozott) 1671-ben Párizsban alapították.

A modern csillagvizsgálók általában a csillagászat valamely külön ágára szakosodnak, így tehát léteznek asztrometriai, asztrófizikai, napvizsgáló obszervatóriumok stb. Az úrkorszak kezdetével elkezdtek megkülönböztetni földi és világűri obszervatóriumokat, amelyekről a 17. §-ban lesz szó.



2.2. ábra.
50 centiméteres
teleszkóp Nizzában,
Franciaországban



2.3. ábra. Harlan
J. Smith reflektor-
teleszkópja a McDonald
Obszervatóriumban,
2,7 m

Napjainkban világszerte közel 400 csillagvizsgálót számlálnak. Ukrajnában vezető helyet foglal el az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia Fő Csillagászati Obszervatóriuma (1944), a Harkiv melletti Rádiocsillagászati Intézet a különleges UTR-2 dekaméteres teleszkópjával, a Krími Asztrofizikai Obszervatórium (1950). A kutatók és megfigyelések bizonyos módszereit megőrizték a lemergi (1769), harkivi (1898), kijevei (1845), odesszai (1971) egyetemek csillagvizsgálói.

A csillagvizsgálók sokáig lakott területeken vagy azok közelében épültek. A XIX. században hegycsúcsokon kezdték elhelyezni őket. A világ legnagyobb csillagvizsgálói között a legismertebbek: az ősi vulkanikus hegy, a Mauna Kea csúcsán található csillagvizsgáló (4205 m, Hawaii-szigetek, 1990-ben helyezték üzembe, tudományos rezervátummá minősítették a különleges asztroklímája miatt; itt néhány 4-méteres teleszkóp van felállítva, valamint a Keck, Gemini és Subaru teleszkópok); az angol csillagvizsgáló La Palma szigetén (2327 m, 1986); az amerikai Las Campanas csillagvizsgáló (2280 m, 1976) Chilében és az európai La Silla csillagászati obszervatórium (2347 m, 1976), ahol a Very Large Telescope (magyarul: nagyon nagy távcső) található.

A csillagászati megfigyelések végzésére és a kapott adatok feldolgozására a modern obszervatóriumokban megfigyelési eszközöket (teleszkópokat, 2.2. és 2.3. ábrák), fényérzékelő berendezéseket, megfigyelési segéd-eszközöket, elektronikus számítástechnikai készülékeket alkalmaznak.

Az optikai teleszkópokat a megfigyelt objektumok fényének összegyűjtésére, valamint azok képének megalkotására használják. A teleszkóp növeli a látószöget, amely alatt látható az égitest, és sokszorosan több fényt gyűjt össze az égitestről, mint amennyit a megfigyelő szabad szemmel képes. Ennek köszönhetően a teleszkóp segítségével a Földről megfigyelhetőek a legközelebbi égitestek felszínének részletei, valamint számos halvány csillag.

Változatosságuk ellenére azok a teleszkópok, amelyek az elektromágneses sugárzást érzékelik, két célt szolgálnak: 1) a lehető legtöbb kisugárzott energiát gyűjteni össze a megfigyelt objektumról (az elektromágneses hullámok bizonyos tartományában); 2) megalkotni a lehető legpontosabb képet az objektumról, hogy a továbbiakban elkülöníthető legyen egyes pontjainak a sugárzása, valamint meghatározható legyen a szögtávolságuk.

Optikai sémájuk szerkezeti sajátosságai alapján az alábbi távcsöveket különböztetjük meg: lencsés rendszerek – refraktorok; tükrös rendszerek – reflektorok; egyes tükör-lencsés rendszerek, amelyhez a **Bernhard Schmidt**-rendszerű (1879–1935), a **Dmitrij Makszutow**-rendszerű (1896–1964) és egyéb távcsövek tartoznak.

A **refraktor-teleszkópot** főleg vizuális megfigyelésekhez alkalmazzák (2.4. ábra). Tárgylencsével és szemlencsével (okulár) rendelkezik. A fényképezőgéppel összekötött refraktor-távcsövet **asztrográfnak** vagy **asztromiai kamerának** nevezik. Az astrográf egy nagy fényképezőgép, amelynek fókusz síkjában egy fotografikus lemezt tartalmazó kazetta van elhelyezve. A refraktorok tárgy-

lencseátmérőjének méreteit korlátozza a nagyobb homogén optikai üvegtömbök előállításának nehézsége, azok deformációja és a fényelnyelés növekedése. A mi időnkben elkészült legnagyobb átmérőjű refraktor-objektív 102 cm-es (Yerkes Observatórium, USA). Az ilyen típusú távcsövek hátránya a nagy hosszúság és a kép torzulása. Az optikai torzulások kiküszöbölésére sok lencsés, világosított optikával rendelkező objektíveket (tárgylencsét) használnak.

A **reflektor-teleszkóp** tükrös tárgylencsével rendelkezik. A legegyszerűbb reflektorban az objektív egy parabolikus tükör; a képet a gyújtópontjában kapják meg.

A refraktorokhoz képest a modern reflektor-távcsövek sokkal nagyobb objektívvel rendelkeznek. A 2,5 m-es átmérőjű tükörrel felszerelt reflektorok gyújtópontjában néha fülkét állítanak a megfigyelő számára. A tükör méretének növelésével az ilyen teleszkópokban szükségessé válik a tükör tehermentesítésére szolgáló speciális rendszerek használata, amelyek kiküszöbölik a saját súlyuk miatt bekövetkező deformációt, valamint a hő okozta deformáció kiküszöbölésére irányuló intézkedések.

A nagy reflektorok létrehozása (4–6 m átmérőjű) nagy technikai nehézségeket is jelent. Ezért olyan mozaik tükrökből álló szerkezetek felépítésén dolgoznak, amelyeknek egyes elemei pontos beállításokat igényelnek speciális felszerelés vagy szerkezetek segítségével, ami néhány párhuzamos távcsőből áll, amelyek egy pontban keresztezik a képeket.

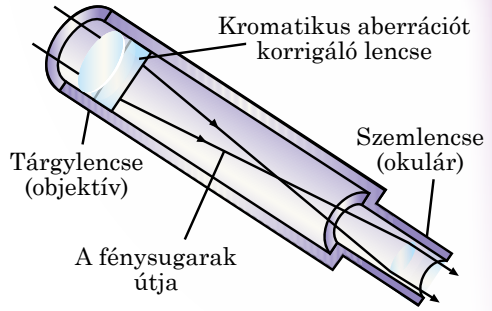
A nagy és közepes méretű reflektorokban a megfigyelés kényelmének érdekében a fényt még egy (másodlagos) siktükör is visszaveri a cső falára, ahol az okulár (szemlencse) található (2.5. ábra). A reflektorokat általában az ég fényképezésére, foto-elektromos és spektrális megfigyelésekre használják.

A tükör-lencsés teleszkópokban a képet összerakható tárgylencse segítségével kapják, amely tükröt és lencsét is tartalmaz. Ez lehetővé teszi az optikai torzulások jelentős csökkenését a tükrös vagy lencsés rendszerekhez képest.

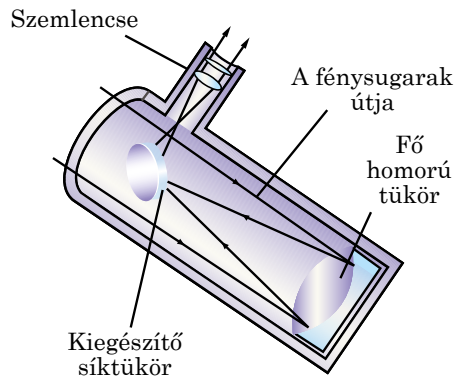
A Schmidt-rendszerű (Észtország) teleszkópokban a fő gömbtükör okozta optikai torzulást elé helyezett speciális korrekciós lemez segítségével küszöbölik ki. A Makszutov-rendszerű (Ukrajna) teleszkópokban a fő gömbtükör vagy ellipszis alakú tükör okozta torzulásokat a tükör elé helyezett meniszkusz (homorú-domború) lencse segítségével javítják (2.6. ábra).

A **meniszkusz** egy olyan lencse, amelynek a felületi görbületi sugarai csak kissé térnek el egymástól. Az ilyen lencse alig hat a sugarak általános menetére, de láthatóan javít az optikai kép hibáin.

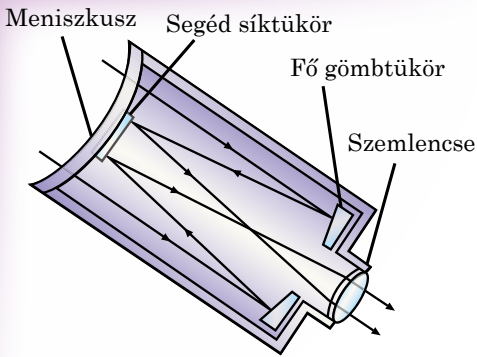
A teleszkóp fő optikai paraméterei a nagyítás, felbontóképesség és a behatoló erő.



2.4. ábra. A fénysugarak útvonala a refraktor-teleszkópon belül



2.5. ábra. A fénysugarak útvonala a reflektor-teleszkópon belül



2.6. ábra. A fénysugarak útvonala a tükrös-lencses meniszkuszos távcsőn belül

fókusz távolságú (néhány cm-től 6 mm-ig). A Föld légkörének nyugtalansága következtében a kapott kép sziporkázik és eltorzul, részletei elmosódnak. Ezért a nagy távcsövekben is ritkán állítanak be 500-nál nagyobb nagyítási mértéket.

Az optikai távcső ψ **felbontása** alatt azt a két csillag közötti legkisebb szögtávolságot értik, amelyeket a távcsőben külön (felbontva) lehet megfigyelni. Elméletileg a vizuális távcső felbontását (ívmásodpercekben) a sárgászöld sugarak esetében – amelyekre az emberi szem a legérzékenyebb – az alábbi képlet segítségével lehet meghatározni:

$$\psi = \frac{140'}{D},$$

ahol D – a távcső tárgylencséjének átmérője milliméterben. A gyakorlatban a légtömegek folyamatos mozgása miatt a távcsövek felbontási képessége csökken. Ennek következtében a földi távcsövek közel 1"-es felbontási képességet biztosítanak, és csak néha, kedvező légköri körülmények között sikerül tizedmásodperces felbontást elérni.

A távcsöveknek ugyancsak fontos jellemzője a **behatoló erő** (m), amely az adott távcsővel, ideális légköri körülmények között megfigyelhető látszólagos fényesség (magnitúdó) határértékében nyilvánul meg. A D (mm) átmérőjű tárgylencsével rendelkező távcső m behatoló ereje, vizuális megfigyelés esetén (magnitúdóban kifejezve), a következő képlet alapján határozható meg: $m = 2,0 + 5 \lg D$.

1995 óta két egyforma 10 méteres távcső üzemel a Mauna Kea csillagvizsgálóban: Keck I és Keck II. A távcső minden egyes tükrre 36 szegmensből áll. A távcsövek alkotta kép minőségéért az ún. adaptív optika felelős, amely a tükrök minden egyes szegmensét irányítja. Felbontási képességét tekintve az ilyen távcsövek megközelíti az űrtávcsövet. Az obszervatórium a Csendes-óceán fölött 4205 m-rel található, a Hawaii-szigeteken.

Jelentős potenciállal rendelkezik a *VLT* (angolul *Very Large Telescope* – igen nagy távcső), amely az európai országokhoz tartozik. Chile északi részén, a Paranal-hegyen (magassága 2635 m) van felállítva (2.7. ábra).

A *VLT* négy távcsőből áll, amelyek mindegyike 8,2 m átmérőjű. A szélső távcsövek közötti távolság 200 m, ami lehetővé teszi, hogy az egész komplexum **optikai interferométer** módban működjön. Ez azt jelenti, hogyha a távcsövek ugyanarra a csillagra vannak irányítva, akkor az általuk összegyűjtött sugárzás összeadódik, az együttesen működő távcsövek felbontási képessége pedig egy 200 m átmérőjű tükrök használatával egyenértékű.

A látószög, amely alatt az optikai műszer által alkotott kép látható, és az objektum szabad szemmel történő megfigyelésekor mért szögnagyság arányát az optikai rendszer **nagyításának** (G) nevezzük. A távcső nagyítását az alábbi képlet segítségével határozhatjuk meg:

$$G = \frac{F_{ob}}{F_{ok}},$$

ahol F_{ob} és F_{ok} – az objektív és az okulár gyújtótávolsága.

Jelentősebb nagyítás elérése érdekében a távcsőben található objektívnek bifokálisnak kell lennie (néhány méteres fókusz távolsággal), az okulár pedig rövid

Világszerte közel húsz olyan teleszkóp van, amely 6 m-nél nagyobb tükörrel rendelkezik.

A rádióhullámok űrbéli forrásainak tanulmányozásával a rádiócsillagászat foglalkozik. 1931-ben vette kezdetét, amikor véletlenül a Tejút felől észleltek rádióhullámokat. 15 évvel később a Hattyú csillagképben felfedezték az első rádióhullám-pontforrást, egy gyenge galaxist, amelyet később sikerült optikai tartományban is megfigyelni.

A legtöbb égitesttől származó sugárzás, amely eléri a Földet, nagyon gyenge. Az űrbéli rádióhullámok kimutatására és észlelésére **rádióteleszkópokat** használnak.

A rádióteleszkópok antennából és érzékeny vevőrendszerből állnak. A vevőrendszer vagy radiométer felerősíti az antenna által fogott rádióhullámokat és a továbbiakban könnyen feldolgozható formába alakítja át. Az antenna fő feladata, hogy a lehető legtöbb energiát gyűjtse össze az objektumról érkező rádióhullámokból. Antenna gyanánt egységes fém vagy paraboloid alakú rácsszerű tükröt használnak. A rádióteleszkóp antennája nagyfokú irányítottságával eltér a rádiókommunikációs antennától, azaz képes az égbolt kis részén szelektálni a rádióhullámokat. A paraboloid gyűjtőpontjában található az érzékelő, az a készülék, amely összegyűjti a tükör által ráirányított rádiósugárzást. Az érzékelő a vevőkészülékre továbbítja a kapott energiát, ahol a jel felerősödik, megtörténik az észlelés és regisztrációja.

A vevőkészülék bemenetére érkező rádiójel teljesítménye egyenesen arányos az antenna területével. Ezért a nagyobb méretű antenna ugyanazzal a vevőkészülékkel párosítva érzékenyebb, tehát lehetővé teszi a gyenge, alacsony teljesítményű sugárzást kibocsátó források észlelését. A legnagyobb rádióteleszkópok antennái több száz méteresek. Németországban, Bonn közelében található egy nagy rádióteleszkóp, amely 100 m átmérőjű, fém forgó reflektorral rendelkezik. Az Arecibóban (Puerto Rico), egy szunnyadó vulkán kráterében elhelyezett mozdulatlan antenna átmérője 305 m (2.8. ábra). A sugárzás érzékelési irányának megváltoztatása céljából ebben a teleszkópban átrendezik az érzékelőt.

A rádióteleszkópok külön tükrökből is felépülhetnek, amelyek mindegyike egy érzékelőre fókuszálja a felfogott sugárzást. Ha a forrás rádióhullámait egyszerre két vagy több (egymástól bizonyos távolságra helyezett) antenna is fogja, akkor – a jelek összeadása után – a rádióhullámok interferenciája következtében jelentősen megnő a teleszkópok felbontási képessége. Ezt az eszközt **rádióinterferométernek** nevezzük. A különösen hosszú alapú rádióinterferométerek több ezer kilométer távolságra lévő rádióteleszkópokat kötnek össze. A segítségükkel sikerült 0,0001"-es szögfelbontást elérni.

Ilyen például a *VLA* (angolul *Very Large Array* – igen nagy tömb) rádióteleszkóp-interferométer, Új-Mexikó, USA (2.9. ábra).

A rádióhullámok szabadon átjutnak a hatalmas csillagközi gáz és porfelhőkön és a Föld légkörén. Ezért a rádiócsillagászat módszerei nagyon fontosak, például a Tejútrendszer középső részének és más galaxisok tanulmányozásában, mert az optikai hullámok teljesen elnyelődnek.



2.7. ábra. VLT teleszkóp



2.8. ábra. Hatalmas rádióteleszkóp egy kráterben (Puerto Rico)



2.9. ábra. Rádióteleszkóp-interferométer, Új-Mexikó, USA

Harkivban, Ukrajna Nemzeti Tudományos Akadémiájának Rádiócsillagászati Intézetében található a világ legnagyobb dekaméteres teleszkópja, az UTR-2. Csillagászok az UTR-2 segítségével a világon először mutatták ki a csillagközi térben a szén spektrális vonalait (a szerves élet kialakulásának fő „építőelemeit”), katalogizálták a távoli világűr sugárzásának forrásait, kidolgozták a gravitációs lencsék elméletét, amely szerint a fény elhajlik a távoli csillagoktól és galaxisoktól, tanulmányozták a Nap és a Jupiter rádiósugárzásának mechanizmusait.

2. Neutrínó- és gravitációs hullámérzékelők. Mint tudjuk, a csillagok mélyében, ahol a hélium szintézise történik, a reakciókat a protonok neutronná való átalakulása kíséri, ami neutrínók kibocsátásához vezet. A neutrínók könnyen keresztülhatolnak a csillagon, és kijutnak a csillagközi térbe.

A neutrínó kimutatására tett próbálkozásokat 1955-ben az amerikai **Raymond Davis** (1914–2006) kezdte el. 1967-ben Dél-Dakota államban egy elhagyatott bányában, 1455 m mélyen összeállítottak egy készüléket (vízszintes, közel 14,4 m hosszú és 6 m átmérőjű cylinder alakú tartály), amely 400 000 l (615 t) szén-tetrakloridot (C_2Cl_4) tartalmazott. Ebben a kémiai vegyületben minden negyedik klóratom ^{37}Cl izotóp. Ezzel a „teleszkóppal” a megfigyelés rendje a következő: minden 100. üzemelési nap után 20 000 l gáz állapotú héliumot eresztnek át a tartályon, amely képes magával ragadni a tartályban keletkezett argonizotópokat (^{37}Ar). Számítások szerint minden pillanatban több tucat ilyen izotópnak kell lennie. A gázkeveréket (egy-egy argonatomot tartalmazó hélium) 77 K-re hűtött szénszűrőkön eresztik át. A mérések eredménye a következő: a tartályban 2–3 naponta egy ^{37}Ar izotópatom keletkezik.

A **neutrínó-„teleszkóp”** másik változata a galliumos vagy lítiumos érzékelő. A nehézség abban áll, hogy a megbízható eredmények érdekében az érzékelő több tíz tonna galliumot vagy lítiumot kell hogy tartalmazzon, miközben ezeknek a fémeknek a kitermelése világszerte nagyon alacsony. Galliummal töltött detektorok üzemelnek például az olasz Alpokban a Mont Blanc alatt és az Elbrusz közelében található Andirchi-hegység mélyén (Észak-Kaukázus).

Léteznek ún. **víz alapú neutrínódetektorok**, amelyekben közönséges vizet (H_2O) vagy nehézvizet (D_2O) alkalmaznak (benne minden hidrogénatom a protonon kívül egy neutron is tartalmaz). A víz alapú detektorok működési elve a következő. A neutrínó, miközben áthalad a közönséges vízrétegen, gerjeszti a H_2O molekulákban található elektronokat vagy pedig reakcióba lép a D_2O molekula neutronjával, miután proton és elektron keletkezik. Az energiafőlölség sugárzás formájában távozik (a fizikából ismert *Cserenkov-sugárzás*). Ennek a sugárzásnak a detektálása nem csak a neutrínók mennyiségének meghatározását teszi lehetővé, hanem a neutrínó mozgásirányát is; tehát a sugárzás forrásának iránya is meghatározható.

1916-ban kiderült, hogy a természetben a gravitációs mezőnek léteznek olyan gyenge perturbációi, amelyek, mint az elektromágneses hullámok is, szintén keresztirányúak és ugyancsak fénysebességgel terjednek. A gravitációs hullám hatására a próbatöltések (azaz próba anyagi részecskék) eloszlása, a hullám energiájának függvényében, periodikusan deformálódik.

Tehát miközben a gravitációs hullám átmegy egy bizonyos tömegeloszláson, a nehézségi erő perturbációinak kialakulásához vezet. Ezért a legegyszerűbb **gravitációs hullámdetektor** két, rugóval összekötött gömb lehet. Ha a golyók középpontját összekötő tengelyre merőlegesen esik a gravitációs hullám, akkor a golyók közötti távolság felváltva növekedni és csökkenni fog.

Az anyag bármely aszimmetrikus mozgása lehet gravitációs hullámforrás. Ez lehet egy csillag, ha összezugsugorodik vagy tágul például a forgástengelye mentén. Gravitációs hullámforrások a kettős csillagok, valamint az a csillag, amely hirtelen összenyomódik (összeomlik), ha csak bizonyos oknál fogva (forgás, mágneses erők) az összeomlás nem gömbszimmetrikus.

Az amerikai **Joseph Weber** (1919–2000) 1958 óta próbálkozott detektor segítségével gravitációs hullámokat regisztrálni. Ez egy 1,54 m hosszú, 0,6 m átmérőjű és 1,5 t tömegű alumíniumhenger volt, amelyet speciális, vékony fonalra függesztettek egy acél keretben és érzékeny akusztikus szűrőkkel körülvett vákuumkamrába helyeztek. A henger gravitációs hullám hatása alatt történő nyújtását és összenyomását a szenzorok különös pontossággal tudják rögzíteni.

A földkéreg ingadozása vagy a légkör elektromos kisülései okozta hibák elkerülése végett Weber egymástól 1000 km távolságra két egyforma detektort helyezett el. A rendszer csak azokat a jeleket rögzíti, amelyeknek a kezdete 0,2 s pontossággal megegyezik. Ezek a detektorok valójában ötnaponta egy impulzust regisztráltak. Ugyanakkor a mai napig egy laboratórium sem támasztotta ezt alá, ezért a Weber által regisztrált jelek természete ismeretlen marad.

Napjainkban kifejlesztették a gravitációs szilárdtest-antennák második generációját, amelyekben öt tonnás alumínium hengereket hűtenek le 2 K-ig, a szenzorok pedig képesek 2×10^{-17} cm-nél kisebb amplitúdójú kilengéseket rögzíteni. Az USA-ban üzemel a LIGO nagy lézer-interferenciás gravitációs obszervatórium, amelyben az egyik interferométer alapja 4 km hosszú és Louisiana államban található, a másik ugyanekkor pedig Washington államban. A készülékeket számítógépes hálózat köti össze. Tervben van ugyanezzel a céllal más országokban is nagy interferométerek építése, valamint műholdas gravitációs antennák elhelyezése, amelyeknek a bázisa elérné a több százmillió kilométert.

2016. november 11-én bejelentették a gravitációs hullámok kísérleti felfedezését, amelyeknek a létezését még Albert Einstein megjósolta.

Gravitációs hullámnak nevezzük a változó gravitációs mező terjedését a térben. Úgy vélik, hogy a gravitációs hullámok tanulmányozása segít majd fényt deríteni a Világegyetem történetére és még többre is.

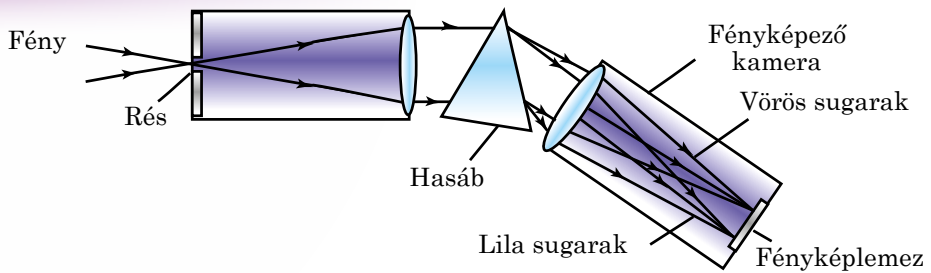


KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Milyen alapvető feladatokat oldanak meg a csillagászatban teleszkópok segítségével?
2. Hogyan határozzuk meg a teleszkóp optikai rendszerének a nagyítását?
3. Mit értenek a teleszkóp felbontási képességén és behatoló erején?
4. Miben különböznek a refraktor, reflektor és a tükrös-lencses (Schmidt-kamra) teleszkóp optikai rendszerei?
5. Miben különbözik az optikai teleszkóp és a rádióteleszkóp; a rádióinterferométer és a teleszkóp?
6. Nevezetek meg néhány csillagászati obszervatóriumot!

11. §. SZÍNKÉPELEMZÉS A CSILLAGÁSZATBAN. A CSILLAGÁSZATI KUTATÁSOK MÓDSZEREI

1. Színképtípusok. Amikor 1666-ban Isaac Newton fénynyalábot bocsátott át háromoldalú hasábon, észrevette, hogy a fény nemcsak megtörik, hanem színekre bomlik. A képernyőn kapott, egymásba simán átmenő hét alapszínből álló sávot **színképnek (spektrumnak)** nevezték el.



2.10. ábra. Résspektrográf vázlatosan

A színek megfigyelésére és vizsgálatára **spektroszkóp** elnevezésű eszközt használnak. Az égitestek színeinek észlelésére és rögzítésére speciális színek-elemző optikai eszközt, **spektrográfot** alkalmaznak.

A meglehetősen fényes égitestek színeit résspektrográfokkal fényképezik, ami kollimátorból, hasázból és fényképező kamerából áll (2.10. ábra). Az égitest színeinek fényképfelvételét **spektrogramnak** nevezzük. Szintén spektrogramnak nevezik az égitest sugárzás-intenzitásának a hullámhossztól és -frekvenciától való függését ábrázoló grafikont.

Bármilyen fénylő testnek **kibocsátási (emissziós) színeke** van. A színek lehetnek folytonosak, vonalasak és sávok.

54 A **folytonos színek** esetében a fény hullámhossz szerinti felbontása folyamatos, a vöröstől az ibolyáig folytonos átmenetben láthatók a színek (2.11. a ábra)

A folytonos színek – folytonos sáv, amelynek a színei folyamatosan mennek át egymásba. Minden fénylő szilárd test – olvasztott fémek, igen nagy nyomáson lévő gázok és gőzök – folytonos színeképet produkál. Ilyen színeképet ad például az ívfénylő lámpa vagy az égő gyertya.

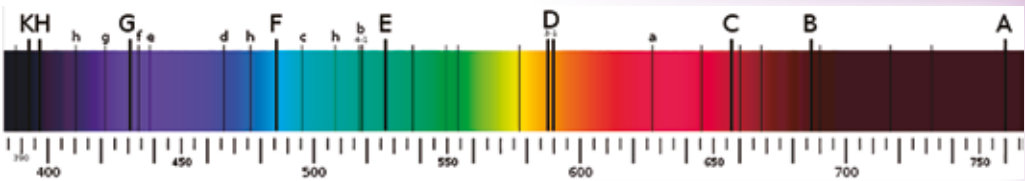
Más kinézetű a színeképe, ha a fényforrásul izzásig hevített gázokat vagy gőzöket használnak a normálistól alig eltérő nyomáson atomi állapotban.

Ebben az esetben **vonalas (atomi) színekéről** beszélünk. Ez külön színes monokróm vonalokból áll, amelyek nem olvadnak egymásba, és sötét közök választják el őket egymástól (2.11. b ábra). Megállapították, hogy magas hőmérsékletre hevített állapotban a gáz minden kémiai eleme atomokból áll és a csak rá jellemző vonalas színeképet sugároz jellegzetes, mindig bizonyos helyen lévő színes vonalakkal.

A **sávos színek** esetében sávok látszanak a színeképeben. Ez a vonalas színeképe egy speciális fajtája, ahol a vonalak olyan sűrűn követik egymást, hogy azok sávoknak látszanak a megfigyelő számára. Vagyis a sávos (molekuláris) színeképe különálló, sávokká összeolvadó, egyik oldalon éles, a másikon elmosódó vonalokból állnak (2.11. c ábra). Ilyen színeképet a gázok és gőzök molekulái képeznek.



2.11. ábra. Színeképek: a) folytonos, b) vonalas, c) sávos



2.12. ábra. Nap-színkép és Fraunhofer-vonalakkal

Az emissziós színképek mellett léteznek elnyelési színképek (2.12. ábra).

Az izzó gázokon és gőzökön áthaladó fehér fény nyomán létrejövő sötét vonalakkal vagy sávokkal tagolt folytonos színképet **elnyelési (abszorpciós) színképnek** nevezzük. Az elnyelési színképek létrejöttének vizsgálata megmutatta, hogy **az anyag azokat a hullámhosszú sugarakat nyeli el, amelyeket az adott feltételek mellett maga is kibocsáthat (Kirchhof-törvény).**

Így minden kémiai elem esetében a kibocsátási vonal színkép az elnyelési színkép fordítottja. Ez azt jelenti, hogy az elnyelési színkép sötét vonalainak elhelyezkedése pontosan megfelel a kibocsátási színképben lévő színes vonalak helyének.

A színképek tartalmazzák a legfontosabb információt a kibocsátásról (sugárzásról). A színkép általános képe és a benne lévő energia megoszlása a forrás hőmérsékletétől, vegyi összetételétől és fizikai tulajdonságaitól, valamint mozgási sebességétől függ. A testek kémiai szerkezetének és fizikai állapotának kibocsátási és elnyelési színképes vizsgálati módszerét **színképelemzésnek (spektrálanalízisnek)** nevezzük.

2. Az égítetek kémiai összetétele. Joseph Fraunhofer német fizikus 1814-ben a Nap színképének a maga készítette diffrakciós ráccsal történő vizsgálata közben arra lett figyelmes, hogy a Nap folytonos színképe sok sötét vonalat tartalmaz. A tudós megállapította, hogy ezek a vonalak (amelyeket később róla neveztek el) mindig a Nap színképének bizonyos helyén vannak jelen. A Fraunhofer-vonalak különböző anyagok gőzeinek elnyelési vonalai, amelyek a folytonos színkép forrásának – a Nap fényes felszínének (a fotoszféra és a spektrális készülék között) – közelében található. A Napot gázburok veszi körül, amelynek alacsonyabb a hőmérséklete és kisebb a sűrűsége, mint a fotoszférának. Vagyis a Nap színképe ezeknek a gőzöknek az elnyelési színképe.

A Fraunhofer-vonalak részletes elemzése megmutatta, hogy a Napon minden földi elem megtalálható. Így fedeztek fel egy új kémiai elemet, a héliumot, amelyet csak 26 évvel később mutattak ki a Földön.

Az égítetek színképeiben megfigyelhető elnyelési vonalak hullámhosszainak különböző anyagok laboratóriumban kapott vagy elméletileg kiszámított színképeivel történő összehasonlítása révén meghatározható az igen nagy távolságra lévő sugárzó égítetek kémiai összetétele.

A színképelemzés nem csak a Nap, hanem más objektumok, így csillagok vagy ködök kémiai összetevőinek meghatározását is lehetővé teszi. A színképek elemzése a világúri objektumok fizikai természetének az asztrofizikában alkalmazott fő vizsgálati módszere.

3. Hőmérséklet. Wien és Stephan-Boltzmann törvényei. Minden test, még a gyengén felmelegített testek is elektromágneses hullámokat (**hőmérsékleti sugárzás**) bocsátanak ki. A 10^3 K-t nem meghaladó hőmérsékleteken főként infravörös sugarak és rádióhullámok kibocsátása történik. További hevítés hatására megváltozik a hőmérsékleti sugárzás színképe – megnövekszik a kisugárzott energia átlagmeny-

nyisége és megjelennek a rövid hullámhosszú sugarak, köztük látható (a vöröstől az ibolyáig terjedő) ultraibolya és röntgensugarak.

Hőmérsékleti sugárzás esetén a testet alkotó atomok és molekulák hőmérsékleti mozgásának belső energiája a kisugárzott elektromágneses hullámok energiájába megy át. Fényelnyeléskor ellenkező folyamat megy végbe, az elektromágneses energia a test belső energiájába megy át.

A hőmérséklet növekedésével az abszolút fekete test sugárzási maximuma a színekép rövidhullámú részébe tolódik el. Az energiamegoszlás maximumának megfelelő λ_{max} hullámhossz T abszolút hőmérséklettel kapcsolatos korrelációját **Wien-féle eltolódási törvénynek** nevezik: $\lambda_{max} \cdot T = b$, ahol b – Wien-állandó ($b \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$). Ez a törvény az elektromágneses sugárzásnak nem csak a látható, hanem bármilyen más tartománya esetében is teljesül.

A Nap spektrogramjában a legnagyobb sugárzás-intenzitás a $\lambda = 480 \text{ nm}$ hullámhosszra esik, ezért közelít a Nap fotoszférájának hőmérséklete a 6000 K -hez.

A hőmérséklet növekedésekor nem csak a sugarak színe, hanem teljesítménye is változik. Kísérletekre és elméleti számítások eredményeire alapozva megállapították, hogy az abszolút fekete test sugárzásának teljesítménye a hőmérséklet negyedik hatványával arányos (Stephan–Boltzmann-törvény). Az abszolút fekete test felületének minden négyzetmétere 1 sec alatt minden irányban valamennyi hullámhosszon $\varepsilon = \sigma T^4$ energiát sugároz, ahol ε – a felhevített test egységnyi felülete általi sugárzás teljesítménye; T – abszolút hőmérséklet; σ – Stephan–Boltzmann-állandó, amely egyenlő: $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

56

Ismerve a csillagról a földfelszínre érkező energia mennyiségét, a Stephan–Boltzmann-törvény alapján meghatározható a hőmérséklete. Mind a Wien-féle eltolódási törvény, mind a Stephan–Boltzmann törvény érvényes az abszolút fekete test esetében.

Első megközelítésben elfogadható, hogy a csillagok, mindenekelőtt a Nap, abszolút fekete testként sugároznak.

4. Doppler-effektus. Az asztrofizikában széles körben használják a Doppler-effektust, ami a sugárzó forrásnak a megfigyelőhöz viszonyított mozgása során jön létre. A Doppler-effektus lényege a következő: ha a sugárzó forrás a megfigyelő látósugara szerint v_r – sugársebességnek nevezett – sebességgel mozog, akkor a forrás által sugárzott λ_0 hosszúságú hullám helyett a megfigyelő a λ hosszúságú hullámot ész-

leli, tehát $\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v_r}{c} \right)$, ahol c – a fény sebessége. A v_r sebesség értéke pozitív a fényforrásnak a megfigyelőtől történő távolodása esetén ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$), és negatív, ha hozzá közeledik ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$).

A Doppler-effektus gyakran előfordul az akusztikában. Például ha olyan helyen tartózkodunk, amely mellett vonat halad el, azt észleljük, hogy amíg közeledik, a hang szintje magasabb lesz, de amikor elhalad, a hang magassága azonnal csökken. Hasonló jelenség figyelhető meg az optikában is: a közeledő forrás fénye kékebb lesz (növekszik a frekvencia), míg a távolodó forrás fénye vörösebbé válik (csökken a frekvencia). Ez a változás megjelenik a színeképvonalak helyzetén a színeképben: vagy a kék, vagy a vörös tartomány felé tolódnak el.

A színeképvonalak eltolódásának meghatározása érdekében a vizsgált csillag színeképét ugyanarra a fényképlemezre rögzítik, mint annak a laboratóriumi forrásnak színeképét, amelyben ismert színeképvonalak találhatóak. Ezt követően precíziós mikrométerekkel ellátott mikroszkópokkal megméri az objektum vonalainak eltolódását a hullámhosszok laboratóriumi rendszeréhez viszonyítva, és így kapják

meg a $\Delta\lambda$ egységet. Ezután a $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c}$ felhasználásával meghatározzák a v_r sugársebességet.

Ez a Doppler-képlet csak a 0,1 fénysebességhatárt nem meghaladó v_r sebességek esetében alkalmazható. A fénysebességhez közeli sebességgel mozgó források esetében figyelembe kell venni a relativitáselmélet törvényeit.

A színekvonalak elmozdulását 1842-ben elméletileg Christian Doppler jelezte előre.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mi a színekép? Milyen jelenségek bizonyítják, hogy a fény bonyolult szerkezetű?
2. Nevezd meg a három fő színeképtípust, és jellemezd őket! Mi a különbség közöttük?
3. Mi a színeképelemzés? Hogyan alkalmazzák a csillagászatban?
4. Mi a spektrográf rendeltetése, és milyen a szerkezete? Mi a spektrogram?
5. Mondjátok el, és magyarázzátok meg Kirchhoff törvényét!
6. Mondjátok el, és írjátok le a Wien-féle eltolódási törvényt és a Stephan–Boltzmann-törvényt!
7. Mi a Doppler-effektus lényege? Hogyan tolódnak el a vonalak a színeképben, és milyen eközben a sebesség előjele? Hol alkalmazzák a Doppler-effektust a csillagászatban?



OLDJUK MEGY EGYÜTT!

57

1. feladat. Magyarázzátok meg, hogy a szabad szemmel egynek tűnő csillag teleszkóppal történő megfigyelés esetén miért válhat két egymáshoz közel elhelyezkedő csillaggá, azaz miért lehet kettős csillagrendszer!

Felelet. Az emberi szem felbontó képessége körülbelül $1'$. A teleszkóp felbontó képessége arányos a tárgylencse átmérőjével, miközben a teleszkóp tárgylencséjének átmérője sokkal nagyobb a szem pupillájának átmérőjénél.

2. feladat. Milyen szögsebességgel kell mozognia az égitestnek, hogy mindig a mozdulatlanul rögzített, az éggömbnek az égi egyenlítő pontjára irányított teleszkóp látómezejében legyen?

Felelet. A mozgásnak meg kell felelnie az éggömb egyenlítőn megvalósuló kerítésének, vagyis $\omega = 2\pi : T = 6,28 : 86\,400 = 7,2 \cdot 10^{-5}$ rad/s.

3. feladat. Milyen nagyítás szükséges az iskolai teleszkópban ahhoz, hogy a Marsnak szembenálláskor ugyanolyan szögátmérője legyen a teleszkóp szemlencséjében, mint a szabad szemmel vizsgált Holdnak? A Mars szögátmérője $20''$.

Felelet. A hold szögátmérője $30' = 1800''$. A teleszkóp nagyításának $\frac{1800}{20} = 90$ -szeresnek kell lennie.



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

2.1. Magyarázzátok meg, milyen alapvető különbségek vannak a reflektor- és a refraktor-teleszkópok között?

2.2. Nevezzétek meg a teleszkóp két fő részét, és magyarázzátok meg a rendeltetésüket!

2.3. Miért észleljük a Földről megfigyelve úgy, hogy a csillagok az éjszaka folyamán elmozdulnak az égbolton?

2.4. Mit tanácsolnátok azoknak a csillagászoknak, akik γ -sugarak, röntgensugarak és ultraibolya sugárzás felhasználásával akarják vizsgálni a Világegyetemet?

2.5. Soroljátok fel a rádióteleszkópok előnyeit!

2.6* Képzeld el, hogy teleszkóppal vizsgáljuk a Napot és Holdat. Hogyan fog kinézni, hogy a fordított képüket látjuk? Melyik oldalra fognak mozogni ezek az égitestek a teleszkóp látómezejében?

2.7* Miért látható a teleszkópban több csillag, mint szabad szemmel? Miért nő jelentősen a fényessége a szabad szemmel megfigyelt csillagoknak, ha teleszkópban szemléljük őket?

2.8. Miért van az, hogy az ugyanabban a teleszkópban szemlélt különböző bolygók és a Hold fényessége a nagyítás növelésével egyre csökken?

2.9. Miért nem fűtik azokat a helyiségeket, amelyekben teleszkópok vannak elhelyezve?

2.10* Milyen távolságból figyeljük a Holdat világos pont alakjában, azaz $1'$ szögben? A Hold átmérője 3473,4 km.

2.11* Milyen távolságból megfigyelve tűnik a Nap világos pontnak? A Nap átmérője 1 390 600 km. A Naprendszer mely bolygóról megfigyelve tűnik a Nap csilagnak!

2.12* Milyen távolságból tűnne a Föld–Hold rendszer a megfigyelő számára egy égitestnek? Természetesen a megfigyelés szabad szemmel történik. (A Föld átmérője 6378,2 km, a Holdé 1736,7 km.) A Naprendszer mely bolygóról megfigyelve tűnne a Föld–Hold rendszer egy testnek?

2.13. Miért építik újabban az obszervatóriumok többségét hegyekben?

2.14* Az űrhajó 200 km magasságban repül Ukrajna fölött. Láthatják-e az űrhajósok szabad szemmel az 500 m széles Dnyepert?



ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!

58

Ellenőrző kérdések

1. Milyen alapvető feladatok megoldására szolgálnak a teleszkópok a csillagászatban?
2. Miben különböznek az optikai teleszkópok a rádióteleszkóptól? Mi a különbség a rádióinterferométer és a rádióteleszkóp között?
3. Miért helyezik el az infravörös teleszkópokat magashegyi aszályos területeken?

Amit tudok, és amire képes vagyok

● Tudom, hogy mire használják a teleszkópokat, és hogyan készítik őket

1. A teleszkóp melyik jellemzője a legfontosabb a gyengén fénylő csillagok megfigyelésénél: a szemlencse átmérője vagy a tárgylencse átmérője?
2. Miért láthatók ugyanabban a teleszkópban a csillagok fényes pontokként, míg a bolygók korongokként?
3. Készítsetek refraktor-teleszkópot +11 dioptriás szemüveglencse felhasználásával, a szemlencsét alakítsátok ki fényképezőgép objektívjéből vagy +10 dioptriás szemüveg lencséből!
4. Milyen teleszkópok használata zavarhatja a mobiltelefonos hálózat működését?

● Tudok csillagászati feladatokat megoldani

5. A távcsőnek, akár csak a teleszkópnak van tárgylencsége és szemlencsége. Miért van az, hogy a távcsőben az ábrázolás egyenes, míg a teleszkópban fordított?
6. Miért nyerhető több információ világtűri megfigyeléssel, mint földi teleszkópokkal?
7. Magyarazzátok meg a Fraunhofer-vonalak kialakulásának mechanizmusát a Nap színeképeiben!
8. A 434,00 nm hosszú hidrogénvonalak a csillag spektrogramjában 434,12 nm-rel egyenlő. Irányunkban vagy tőlünk elfelé mozog a csillag, és milyen sebességgel?
9. Az űrhajó $v = 10$ km/s sebességgel távolodik a Földtől. Az űrhajó antennája által sugárzott elektromágneses hullámok ν_0 frekvenciája 30 MHz-cel egyenlő. Határozzátok meg a $\Delta\nu$ frekvenciának az antenna által észlelt Doppler-féle eltolódását!



TESZTFELADATOK

1. A teleszkóp olyan optikai eszköz, amely:
 - A közelíti hozzánk az égitesteket
 - B nagyítja az égitesteket
 - C növeli az égitest szögátmérőjét
 - D közelít bennünket a bolygóhoz
 - E veszi a rádióhullámokat
2. Miért építik hegyekben a nagy csillagászati obszervatóriumokat?
 - A hogy közelebb legyen a bolygókhoz
 - B a hegyekben tovább tart az éjszaka
 - C a hegyekben kevesebb a felhő
 - D a hegyekben átlátszóbb a levegő
 - E hogy növeljék a fényakadályokat
3. Az alábbi teleszkópok közül melyekben látható a legtöbb csillag?
 - A az 5 m átmérőjű tárgylencsés reflektorban
 - B az 1 m átmérőjű tárgylencsés refraktorban
 - C a 20 m átmérőjű rádióteleszkópban
 - D az 1000-szoros nagyítású és 3 m átmérőjű tárgylencsés teleszkópban
 - E az 500-szoros nagyítású és 3 m átmérőjű tárgylencsés teleszkópban
4. Hol található a világ legnagyobb rádióteleszkópja a dekaméteres hullámok vételére?
 - A Japánban
 - B az USA-ban
 - C Kínában
 - D Ukrajnában
 - E Oroszországban
5. Miért részesítik előnyben a világűri testek megfigyelésével foglalkozó csillagászok a nagy átmérőjű tárgylencsés rendelkező teleszkópokat?
 - A az ilyen teleszkóp nagy nagyítást ad
 - B a nagy tárgylencse több fényt gyűjt össze, ezért az ilyen teleszkópban távolabbi csillagok láthatók
 - C az ilyen teleszkópban láthatók a színek infravörös tartományában energiát sugárzó világűri testek
 - D az ilyen teleszkópban láthatók a színek ultraibolya tartományában energiát sugárzó világűri testek
 - E a nagy tárgylencse éles képet ad és növeli a teleszkóp felbontó képességét
6. Egy teleszkóppal elérhető-e különböző nagyítás?
 - A elérhető, ha különböző fókusz távolságú szemlencsét alkalmaznak benne
 - B nem érhető el, mert a teleszkóp stacionárius eszköz, amely mindig egy nagyítást ad
 - C csak a világűrben érhető el
 - D elérhető, ha a teleszkópba szemüveggel néznek
 - E csak a hegyekben található csillagászati obszervatóriumokban érhető el
7. Miért látható több csillag a teleszkópban, mint szabad szemmel?
8. Miért nyújtanak több információt a világűri megfigyelések, mint a földi teleszkópok?
9. Milyen teleszkópokban élesebb a kép, a nagy nagyításúakban vagy a nagy átmérőjű tárgylencsés rendelkezőkben?
10. Miért láthatók ugyanabban a teleszkópban a csillagok fényes pontokként, míg az égitestek korongokként?
11. Jelenleg a világűrben nemzetközi állomást építenek, amelyben Ukrajnának lesz úrblokkja. Milyen csillagászati eszközöket tudnátok javasolni az ukrán blokkba a Világegyetem megfigyelésére?
12. Az égitestek milyen teleszkópos megfigyelései végezhetőek borús időben?

3. fejezet

NAPRENDSZERÜNK

A Világegyetem olyan valószínűtlenül nagy, hogy elképzelni sem tudjuk, mi rejtőzik végtelen mélységeiben. A mi Naprendszerünk a Világegyetemhez mérve mindössze parányi részecske. Mi, akik a Föld nevű, nem nagy bolygón lakunk, a Naprendszert hatalmasnak és ismeretlennek látjuk a csillagászat minden eddig elért eredménye ellenére.

12. §. A FÖLD ÉS A HOLD

60

1. A Föld – a Naprendszer Naptól számított harmadik bolygója. A világűrből nézve bolygónkat egy gyönyörű, kék gömbnek látjuk. A felhőtakarón át előtűnnek a kontinensek és óceánok.

A Föld 29 785 m/s átlagsebességgel elliptikus pályán kering a Nap körül (amely nagyon közeli a kör alakhoz) 149,6 millió km átlagos távolságban, közel 365,24 napos keringési periódussal (csillagév).

A **Föld alakja** – geoid. A Föld sugarának átlagértéke 6371,032 km, egyenlítői sugara – 6378,16 km, a pólusoknál – 6356,777 km. Bolygónk felszínének területe 510 millió km², térfogata – 1,083 · 10¹² km³, átlagsűrűsége – 5518 kg/m³. A Föld tömege 5976 · 10²¹ kg. **Felszíni hőmérséklete** széles határok között változik: –90 °C-tól az Antarktison és +70 °C-ig a sivatagban. A Föld atmoszférája levegőből áll. Felszínének több mint 70%-át víz borítja.

A Föld forgástengelyének hajlásszöge az ekliptika síkjához 66°33'22". Bolygónk tengelyforgási periódusa 23 h 56 min 4,1 s. A tengely körüli forgás következtében váltakoznak a nappalok és az éjszakák; a tengely és az ekliptika által bezárt szög változása a Föld Nap körüli keringésével együtt eredményezi az évszakok változását.

A megközelítőleg gömb alak és a légkör létezése a Föld gravitációs terének köszönhető. A Földet körülvevő gázburkot **atmoszférának** nevezzük. A Föld légkörenek teljes tömege 5,15 · 10¹⁵ t, levegőből, azaz olyan gázkeverékből áll, amit főleg nitrogén (78,08%), oxigén (20,95%), argon (0,93%), szén-dioxid (0,03%) és egyéb gázok, így vízgőz, nemesgázok és más gázok alkotnak. Az atmoszféra óvja az élőlényeket a kozmikus sugárzás végzetes hatásától.

A **Föld atmoszférája** a következő rétegekre oszlik (3.1. ábra): *troposzféra* (15 km-ig), *sztratoszféra* (15-100 km), *ionoszféra* (100-500 km). A troposzféra és a sztratoszféra között egy vékony átmeneti réteg, a *tropopauza* található. A sztratoszféra alsó részén a napsugárzás hatására alakul ki az *ózonréteg*, amely védelmezi az élő szervezeteket a kozmikus sugárzástól. Feljebb helyezkednek el a *mezo-*, *termo-* és *exoszféra*.

A légkör, mint a globális ökoszisztéma eleme, a következő feladatokat látja el: akadályt képez a kozmikus sugárzásnak az élőlényekre gyakorolt végzetes hatásával és a meteoritbecsapódásokkal szemben; szabályozza a hőmérséklet évszakos és napi ingadozásait; szabályozza a hőcserét a Föld és a kozmikus tér között; a vízkör-



3.1. ábra. A Föld atmoszférája

forrás közvetítő közege, és fenntartja a sugárzások egyensúlyát; a fotoszintézishez és az élőlények légzéséhez szükséges gázok forrása; egy sor összetett exogén folyamatot hoz létre – a kőzetek erózióját, a természetes vizek munkáját, a permafrost kialakulását, gleccserek képződését.

A Föld mágneses és azzal szorosan összefüggő elektromos térrel rendelkezik. Bolygónk mágneses tere a külső mag folyékony fémrétegében keletkezik.

Mivel a Föld felszíni formáit és az élet feltételeit már ismeritek, hosszabban térünk ki bolygónk belső felépítésére (3.2. ábra). A Föld és a többi Föld-típusú bolygó belső felépítése egy közel egységes modellnek felel meg.

A **szeizmográfok** által földrengések idején rögzített adatok alapján megállapították, hogy bolygónk belső tartományai függőlegesen több rétegre tagolódnak. Kémiai összetevőik és fizikai jellemzőik alapján három gömbhéj alakú réteget különböztetünk meg: **szilárd kéreg**, **köpeny** és **mag**. A legvékonyabb a külső réteg – a szilárd, kőzetekből álló kéreg. Átlagos vastagsága 35 km (az óceánok alatti kéreg – 10 km, a kontinentális kéreg – 70 km). A földkéreg kémiai összetételében szerepel oxigén (46,6%), szilícium (27,7%), alumínium (8,1%), vas (5%), kalcium (3,6%) és más kémiai elemek. A földkéreg össztömege a Föld tömegének 0,8%-ával egyenlő. A Föld kérgét éles határ választja el a köpenytől.

A mag – a Föld mélyebb rétegei közül a legnagyobb sűrűségű. Bolygónk felszínétől a középpontjáig haladva növekszik a nyomás, a sűrűség és a hőmérséklet. A Föld középpontjában a nyomás $3,6 \cdot 10^{11}$ Pa, a sűrűség közel $12,5 \cdot 10^3$ kg/m³ és a hőmérséklet – 5000 – 6000 °C.

A mag sugara a Föld sugarának 55%-ával egyenlő, a tömege – bolygónk tömegének 30%-ával. A földmag külső és szilárd,



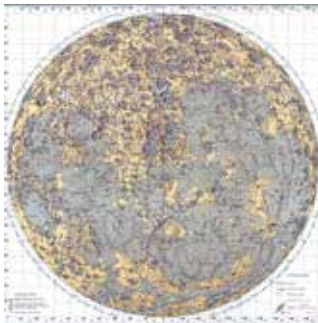
3.2. ábra. A Föld belső szerkezete

1270 km sugarú belső magra osztható. Az átmeneti zóna a mag külső és belső részei között nagyon vékony, közel 5 km. A kutatások során a geológusok megállapították, hogy a Föld szilárd központi magja 1–1,5 milliárd évvel ezelőtt alakult ki. A tudósoknak sikerült meghatározniuk a földmag növekedési sebességét: egy év alatt a sugara körülbelül egy milliméterrel növekszik.

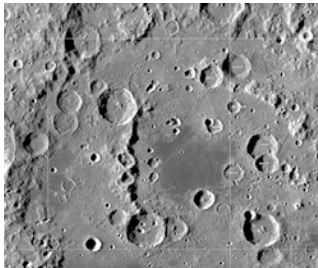
2. A Hold – Földünk egyetlen természetes kísérője, egy 3475 km átmérőjű kőgolyó. A Hold tömege 81-szer kisebb a Föld tömegénél. Átlagos sűrűsége a Föld sűrűségének 0,6-ével egyenlő, és rajta a szabadesés gyorsulása 6-szor kisebb a földinél, azaz a Hold felszínén a tárgyak súlya 6-szor kisebb, mint a Földön. A szoláris középnap a Holdon egy szinodikus hónapig (29,5 földi nap) tart. A Holdon nem található cseppfolyós víz, és gyakorlatilag nincs légköre. Egy teljes holdi nap alatt, amely közel 15 napig tart, a felszín felmelegszik +130 °C-ra, majd éjjel lehűl –170 °C-ra. Mivel a magas hőmérséklet következtében a gázmolekulák sebessége meghaladja a Hold felszínére vonatkozó második kozmikus sebességet (2,38 km/s), világűri kísérőnk mélyebb rétegeiből felszabaduló, vagy a meteoritok becsapódásakor keletkező gázok rövid idő alatt elhagyják a Holdat, de azok a napszélből folyamatosan pótlódnak. Védelmesz, állandó gázlégkör nélkül a Hold ki van téve a Napból érkező teljes elektromágneses sugárzás hatásának és a különböző méretű meteoritestek becsapódásának.



3.3. ábra. A Hold teleszkóppal látható képe



3.4. ábra. A Hold látható féltékén teleszkóppal megfigyelhető legnagyobb domborzati formák térképe a XX. sz. 60-as éveiből



3.5. ábra. Kráterek a Hold felszínén

Szabad szemmel a Hold felszínén világos és sötét területeket figyelhetünk meg. A sötét és viszonylag egyenletes felületű területeket **tengereknek** nevezték el, ezek alkotják a Hold területének 16,9%-át. A világosabb hegyes területek – **terra-vidékek** –, akár a kontinensek, foglalják el a felszín fennmaradó hányadát, és jellemző felszíni struktúráik a lánchegységek, gyűrűs hegyek és kráterek (3.3. ábra).

Az első részletes térképet a Hold felszínéről 1647-ben készítette **Jan Heweliusz** (1611–1687) lengyel csillagász. Ebből a korból maradtak fenn a tengerek elnevezései – Nyugalom tengere (Mare Tranquillitatis), Veszélyek tengere (Mare Crisium) stb. A tengerek széléinél húzódó lánchegységeket ismert földi hegyvonulatokról nevezték el – Appenninek, Kaukázus, Kárpátok stb. Az Appenninek legnagyobb magassága 6 km, a Kárpátoké csupán 2 km.

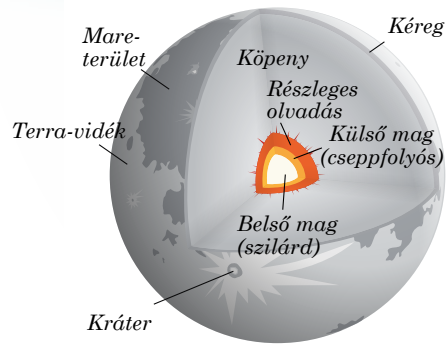
Az űrkutatás eredményei jelentős mértékben kibővítették tudásunkat a Holdról. 1959-ben a Luna-3 űrszonda első alkalommal készített képeket a Hold ellenettes, sötét, számunkra láthatatlan oldaláról. 1965-ben megjelent a Hold első teljes térképe (3.4. ábra).

A legnagyobb számban előforduló felszíni alakzatok a Holdon a kráterek (3.5. ábra). Átmérőjük a szinte mikroszkopikus kicsinységűtől akár 100 km-ig terjed. A nagy és közepes méretű krátereket kiemelkedő tudósok tiszteletére nevezték el: Ptolemaiosz, Arkhimédész, Platón, Kopernikusz, Tycho Brahe, Schmidt stb.

Földünk természetes kísérőjének felszínét közel 10 m vastagságban borítja a regolit. **Regolit** – a Hold talaja, nem más, mint összemorzsolódott kőzet, amely a felszínen por finomságú, mélyebben azonban egyre nagyobb szemcsékből áll. A holdi regolit összetevői még a gömb alakú üveg mikrorészecskék. A regolitnak nagyon kicsi a sűrűsége (a felső rétegé 1200 kg/m³), és na-

gyon gyenge a hővezető képessége (20-szor kisebb, mint a levegő esetében), ezért akár körülbelül 1 m mélységben gyakorlatilag már nem érzékelhetőek a hőingadozások.

Kémiai összetételük alapján a holdközetek nagyon hasonlóak a földi bazaltos kőzetekhez. A tengerek kőzeteiben magasabb a vas- és titán-oxid tartalom, a kontinensek kőzeteiben kiemelkedő az alumínium-oxid mennyisége. Nemrég egy Holdat vizsgáló űrszonda¹ vízjég jelenlétét mutatta ki a poláris területeken – a kráterek árnyékos részeiben a Hold déli és északi pólusain. Mivel a Hold egyenlítőjének dőlésszöge az ekliptikához viszonyítva mindössze $1,5^\circ$, a sarki területeken még a sekély kráterek alját sem világítják meg soha a Nap sugarai. Az állandó -200°C hőmérsékleten a sarki kráterek alját regolit és jég keveréke borítja.



3.6. ábra. A Hold belső szerkezete

A Hold belső szerkezetének (3.6. ábra) tanulmányozása céljából a Földről oda-szállított szeizmográfok segítségével rögzítették a meteorbecsapódások által okozott rengéseket. A regolitréteg alatt helyezkedik el a kéreg, melynek vastagsága a látható (Föld felé forduló) oldalon 60 km, az ellentétes oldalon – 100 km. A kéreg alatt található a közel 1000 km vastagságú köpeny. Az 1600 km-nél mélyebben elhelyezkedő zóna a földköpenyre emlékeztet, vastagsága 430 km, hőmérséklete közel 1800 K.

A legutóbbi kutatások alapján megerősítették, hogy a Hold közepében egy közel 300 km sugarú belső mag található, melynek tömege a kísérőnk tömegének 3%-ával egyenlő.

A Föld számára nagy jelentősége van a Hold létezésének. Bolygónkra gyakorolt legfontosabb hatása abban nyilvánul meg, hogy már több mint 4 milliárd éve stabilizálja az éghajlatot. A Hold nélkül Földünk forgástengelye sokkal erősebben billegne. Mivel bolygónk egyenlítője $23,5^\circ$ szöget zár be a keringési pályájával, amelyen a Nap körül kering, ennek köszönhetően léteznek a különböző évszakok. Ha nem lenne a Hold, a Föld dőlésszöge 85° -ra változna. Ez azt jelenti, hogy a Föld tengelye majdnem a pályája síkjában lenne. Az Uránusz a maga 97° dőlésszögével úgy kering a Nap körül, hogy fél évig az északi félgömbje fordul a Nap felé, majd újabb fél évig a déli félgömbje. Ha ez így lenne a Földön is, teljesen más lenne az éghajlat. A hőmérséklet valószínűleg extrém értékeket venne fel. Sokkal erősebbek lennének a szelek is.

A kutatók kimutatták, hogy a Föld gyorsabban taszítja el magától a Holdat, mint bármikor az utolsó 50 millió év alatt. A Hold az apályok és dagályok következtében távolodik a Földtől, és ez magára a bolygóra is hatással van.

A Hold gravitációja hozza létre a dagályok és apályok napi ciklusát. Ez a folyamat lassítja a bolygó tengelyforgását, és arra kényszeríti a Holdat, hogy távolodjon a Földtől évenkénti közel 3,8 cm-rel. Ha feltételezzük, hogy a Hold távolodási üteme mindig azonos volt, akkor a keringési pálya távolodásából megállapítható a Hold kora – közel 1,5 milliárd év. Viszont ez csak közelítő érték, mert egyes holdkőzetek ennél magasabb korról rendelkeznek – 4,5 milliárd évesek –, ami inkább a Föld életkorával egyezik meg.

A Hold tehát egyre növekvő sebességgel távolodik Földünktől, de ennek pontos okát teljesen még ma sem ismerjük. Az egyik lehetséges ok az lehet, hogy az Atlanti-óceán északi része napjainkban sokkal szélesebb, mint 50 millió évvel ezelőtt. Ezért nagyon nagy hullámok és magas dagály alakul ki, amelyek erősebben taszítják a Holdat.

¹ 2009-ben a Chandrayaan-1 indiai űrszonda, fedélzetén a NASA speciális spektrométerével bizonyítékot talált arra, hogy a Hold felszínén jelentős mennyiségű víz található.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Nevezzék meg a Föld fő jellemzőit!
2. Jellemezzék a Föld szerkezetét!
3. Jellemezzék a Föld légkörének szerkezetét! Mi az atmoszféra szerepe?
4. Jellemezzék a Föld kísérőjét, a Holdat!
5. Milyen sajátosságai vannak a Holdnak?



TUDJÁTOK-E, HOGY...

2011-ben a német Légügyi- és Űrhajózási Központban megalkották a Hold legteljesebb, részletes 3D-térképét, amely bemutatja kísérőnk felszínének több mint 98%-át. A térbeli modell létrehozásához, amely a domborzat számtalan részletébe nyújt betekintést, a tudósok több mint 70 ezer, az LRO amerikai műhold által 50 km magasságból készített sztereografikus felvételt dolgoztak fel. Számtalan szomszédos képkockát pixelenként illesztettek össze, figyelembe véve a műhold pozícióját a felvétel készítésének pillanatában, valamint a látóirányt. Végül 40 számítógép két hét komputeridő eltelte után 100 milliárd pontból összeállította a Hold domborzatának digitális térképét.

13. §. FÖLD-TÍPUSÚ BOLYGÓK

1. A Merkúr – a Naphoz legközelebbi bolygó (3.7. ábra). A Földről nagyon nehéz tanulmányozni, mert állandóan a Nap sugaraiban „rejtőzködik”. Méreteit és

tömegét tekintve jobban hasonlít a Holdra, mint a Földre. Szinte alig van légköre, ezért a felszínét nappal nem védi semmi a Nap perzselő sugaraitól, éjszaka pedig a világűr dermedt hidegétől. Nappal a hőmérséklet a bolygó felszínén eléri a +430 °C-ot, éjjelente azonban –200 °C-ra csökken. Ez az óriási hőmérsékletingadozás lassan megy végbe, mert a szoláris középnappal a Merkúron 176 földi nappal egyenlő. **Keringési ideje** 88 földi nap.

A Merkúr gömb alakú; egyenlítői sugara ($2439,7 \pm \pm 1,0$) km (**átmérője** 4900 km), amely a Föld sugaránál körülbelül 2,6-szer kisebb. Az egyenlítői és poláris lapultsága jelentéktelen. A bolygó mértani középpontja nem esik egybe a tömegközéppontjával – az eltérés közel 1,5 km. A Merkúr felszínének területe 6,8-szer kisebb a

Földénél, a térfogata – 17,8-szer.

A Merkúr tömege $3,30 \cdot 10^{23}$ kg, azaz körülbelül 18-szor kisebb a Föld tömegénél. Átlagos sűrűsége megközelíti a Földét, értéke $5,43 \text{ g/cm}^3$. A szabadesés gyorsulása a felszín közelében $3,70 \text{ m/s}^2$ (a földi érték 0,38 része). **Közepes távolsága a Naptól** – 58 millió km. A bolygó mágneses tere nagyon gyenge, indukciója 300-szor kisebb a földinél. **Természetes kísérői** nincsenek.

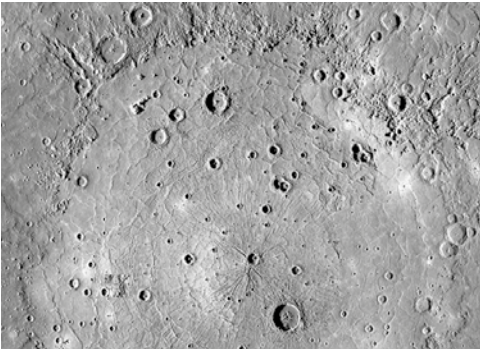
A Merkúr teljes felszínét kráterek ezrei borítják, amelyek a felszínt eltaláló meteoritok nyomai. A krátereket a világkultúra jelentős képviselőiről nevezték el: Beethoven, Homérosz, Sevcsenko. Kivételt képez a sugaras Kuiper-kráter, mely Gerard Kuiper, az ismert bolygókutató tiszteletére kapta a nevét és a kis Hun Kal-kráter, amelyhez a hosszúsági rendszer kapcsolódik: a kráter a 20° délkörön fekszik, nevének jelentése ősi maja nyelven – hús.

A Merkúr forgási tengelye merőleges a keringési pályájára, ezért a poláris kráterek alját soha nem világítja meg a Nap. Ezekben a helyeken sziklákkal kevert vízjég található. A hegyek magassága a Merkúron mindössze 2–4 km.

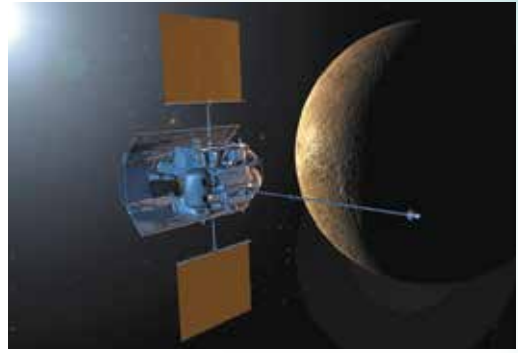
A Merkúron több száz kilométeren át elnyúló, 2–3 km magas, sziklafalhoz hasonló gerinceket és krátereket fedeztek fel (3.8. ábra). Valószínűleg akkor jöttek létre, amikor a fiatal bolygó kihűlt és összehúzódott. A 3.8. ábrán balra fent



3.7. ábra. Merkúr



3.8. ábra. A Merkúr jellegzetes domborzata



3.9. ábra. A Messenger űrszonda, amely a bolygó tanulmányozását végezte

látható nagy kráter a Sevcsenko, a felvétel egy közel 500 km szélességű felszínrészletet mutat be.

A Merkúr felszíne közelében hélium- és hidrogénatomokat, valamint argon- és nátriumatomokat mutattak ki. Forrásuk a napszél és a bolygó anyaga, amely folyamatosan ki van szolgáltatva a Nap melegének és sugárzásának.

A Merkúr a legkisebb a Föld-típusú bolygók közül. Napjainkig mindössze két űrszonda tanulmányozta. Az első a Mariner-10 volt, amely 1974–1975-ben háromszor repült el a bolygó közelében. A küldetés eredményeként néhány ezer 1 km/pixel közepes felbontású felvétel készült, amelyek a bolygó felszínének közel 45%-át mutatják be.

Az ezt követő földi kutatások lehetőséget nyújtottak a Merkúr felszínének és légkörének alaposabb megismerésére, valamint rámutattak a vízjég létezésének lehetőségére a poláris kráterekben.

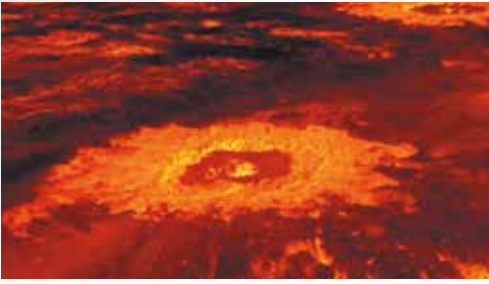
2008–2015-ben a bolygót a NASA Messenger űrszondája tanulmányozta (3.9. ábra). A szondát 2004-ban indították. A Messenger összetett útvonalon repült, több gravitációs manővert végezve a Föld, a Vénusz és a Merkúr közelében. A Merkúr közelében háromszor repült el, majd 2011 márciusában bolygó körüli pályára állt. A Messenger feltérképezte a bolygó teljes felszínét, és sok más értékes információt is szolgáltatott a Naphoz legközelebbi égitestről. Az űrszonda felbecsülhetetlen szolgálatot tett a Merkúr tanulmányozásában.

2. A Vénusz – a Naprendszer második bolygója (3.10. ábra). Csaknem akkora méretű, mint a Föld, és a tömege egyenlő a Föld tömegének több mint 80%-ával. A Vénusz a reggeli és az esti égbolton nagyon fényes csillagként¹ jelenik meg. Sűrű légköre sokáig elfedte felszínének titkait. A tudósok még a XX. sz. közepén is úgy gondolták, hogy a bolygót trópusi erdők borítják. De a Vénuszra érkező űrszondák zord, élettelen, izzó pusztaságról készítettek felvételeket. A felszíni hőmérséklet 470 °C körüli, és alig változik a nap folyamán. A sűrű felhők kevés napfényt engednek át, és még akkor is szürkülethez hasonló rajta a megvilágítás, amikor a Nap magasan a horizont felett jár. A bolygón nincs víz, és gyakorlatilag oxigén sem található. **Átmérője 12 100 km. Átlagtávolsága a Naptól – 108 millió km. Keringési ideje (egy év) – 224,7 földi nap,**

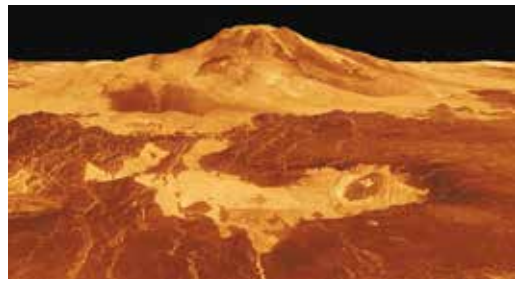


3.10. ábra. A Vénusz képe valódi színekben

¹ A Vénusz a Hold után az éjszakai égbolt legfényesebb égiteste. Mivel mindig a nappal kezdetén vagy végén ragyog fel az égbolton, Esthajnalcsillagnak, Hajnalcsillagnak vagy Esti csillagnak is nevezik.



3.11. ábra. A Vénusz felszíne



3.12. ábra. Maat-hegy – a Vénusz legnagyobb, már kialudt vulkánja

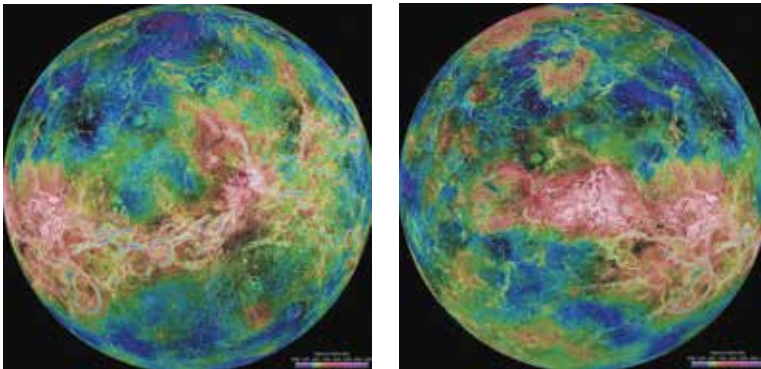
a **tengelyforgási idő** (egy nap) – 243 földi nap, a **szoláris középnap** – 117 földi nap. A Vénusz az égbolt harmadik legfényesebb objektuma a Nap és a Hold után. Az emberiség már ósidók óta ismeri. A bolygó keringési pályája csaknem szabályos kör alakú, amelyen 35 km/s sebességgel mozog. Tengelyforgási iránya ellentétes a keringési irányával (retrográd). **Természetes kísérővel** nem rendelkezik.

A Vénusz felszínének nagyobb részét sima vulkáni síkságok alkotják. Legmagasabb hegysége a Maxwell Mountains – 11 km-re emelkedik ki a Vénusz átlagszintjéből (3.11. ábra). A legnagyobb krátereket és különböző felszíni formákat a történelemből vagy mitológiából ismert nők tiszteletére nevezték el: Ahmatova, Vojnich, Duncan, Orlova, vagy egyszerűen női neveket kaptak: Antonina, Valentina, Zoja, Irina, Nanah, Olga. A nagy fennsíkok-kontinensek nevei: Aphrodite Terra, Ishtar Terra, Lakshmi Planum.

Közel 500 millió évvel ezelőtt a Vénuszon globális geológiai katasztrófa következett be. Több százezer működő vulkán hatalmas lávamennyiséggel öntötte el a bolygó felszínét. A legmagasabb, már kialudt vulkán a Maat-hegy (3.12. ábra), amely az igazság és a rend egyiptomi istennőjéről kapta a nevét, csaknem 8 km-re magasodik a környező síkság fölé.

A bolygó domborzatának tanulmányozásához rádiólokációs módszert alkalmaztak. A Magellan űrszonda 1990–1994-ben a felhőzetten áthatoló radarhullámokkal tapogatta le a Vénusz felszínét. Az adatok alapján állították össze a bolygó domborzati térképét, és lehetőség nyílt háromdimenziós képek alkotására a felszín részleteiről (3.13. ábra).

A Vénusz atmoszférája főleg szén-dioxidból áll. A nyomás a bolygó felszínén a földi légkör nyomásánál 95-ször nagyobb. A jellegzetes kémiai összetétel és a nagy sűrűség miatt a Vénusz légköre hatalmas „üvegházként” viselkedik. Az extrém



3.13. ábra. A Vénusz domborzati térképe, amelyet a Magellan űrszonda rádiólokációs felvételei alapján állítottak össze (bal és jobb félgömb)

magas felszíni hőmérsékletet az üvegházhatás okozza. A Vénusz felhőzete réteges. A felhők 48 és 70 km magasságban helyezkednek el, és kénsavcseppeket tartalmaznak. A szélesebbesség a felszínen közel 1 m/s. A légkörben gyakran cikáznak villámok.

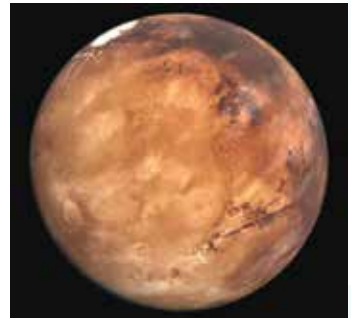
A Vénusz mágneses tere nagyon gyenge a lassú retrográd forgás következtében. Indukciója 104-szer kisebb a Földön mérhető értéknél. Magnetoszférája gyakorlatilag nincs, ezért a Naptól érkező töltött részecskék áramlata utközik a bolygó atmoszférájával, magával ragadja az anyagát, és létrehoz egy ionnyalábot. A SOHO űrszonda megállapította, hogy ez a nyaláb 45 millió km hosszan húzódik a világűrben, azaz eléri a Földet.

3. A Mars – a negyedik bolygó a Naptól számítva (3.14. ábra). A megfigyelő számára élénkpiros színű csillagként látható az égbolton. Amatőr teleszkópok segítségével megfigyelhetők a Mars poláris sapkái és egyes nagyobb, sötét vonalakból és foltokból álló felszíni objektumok. A tudósok véleménye szerint ezek folyók, tavak és tengerek. A Mars és a Föld 15–17 évente rendszeresen megközelítik egymást, ezt nevezik nagy szembenállásnak. Ilyen alkalmakkor a Mars egész éjjel látható az égbolton, és különlegesen élénk narancsvörös színben ragyog.

A Mars – kis bolygó, nagyobb a Merkúrnál, de csaknem kétszer kisebb a Földnél (átmérője 6800 km). A Mars egyenlítői sugara 3 396 km, és az átlag poláris sugár 3 379 km (mindkét értéket nagy pontossággal határozta meg a *Mars Global Surveyor* űrszonda, amely 1999-ben kezdte meg küldetését a bolygó körüli pályáján). A Mars tömege $6,418 \cdot 10^{23}$ kg, amely érték tízszer kisebb a Föld tömegénél, és a szabadesés gyorsulása a felszínén – $3,72 \text{ m/s}^2$. Ez azt jelenti, hogy a Marson minden test csak a földi súlya harmadával rendelkezik. **Közepes távolsága a Naptól** 228 millió km. **Felszíni hőmérséklete** $-70 \text{ }^\circ\text{C}$ -tól $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig változik. **Keringési ideje** – 687 földi nap (1,9 földi év), **tengelyforgási ideje** – 24 h 39 min. A Mars a földinél 500-szor gyengébb mágneses térrel rendelkezik. Van két **holdja** – a Phobos (gör. – *félelem*) és a Deimos (*rémület*).

Az űrszondák által a Mars felszínéről készített felvételek bebizonyították, hogy nem más, mint halott pusztaság, amelyet főként vörös homok és kövek borítanak. A Mars felszínének vörös színe a talaj magas vas-oxid tartalmával magyarázható (3.15. ábra).

A Mars felszínén a ritka légkör miatt nagyon szélsőséges a napi hőingadozás: nappal az egyenlítőn a hőmérséklet néha $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig emelkedik, majd éjjel $-65 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra csökken. Télen a Mars felszínén hó és dér figyelhető meg, de a víz folyékony állapotban nem létezhet. A nyomás a bolygó felszínén 100–170-szer kisebb, mint a Földön. Az alacsony nyomás következtében a víz forráspontja $+2 \text{ }^\circ\text{C}$, így azonnal elpárolog.

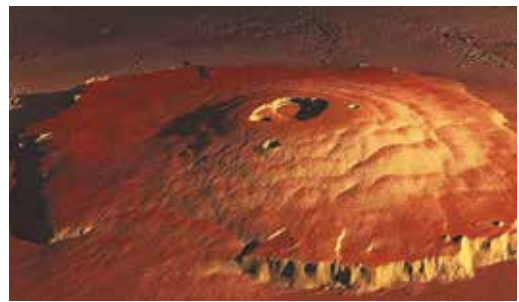


3.14. ábra. A Mars fotója

67



3.15. ábra. A Mars felszíne



3.16. ábra. Az Olympus Mons tűzhányó a Marson

A Marson nagyon sok becsapódási kráter figyelhető meg. Ez arról tanúskodik, hogy a bolygó számtalan katasztrófát élt át, amelyek megváltoztatták a felszíni feltételeket. A Mars krátereit azoknak a tudósoknak a tiszteletére nevezték el, akik a vörös bolygót, valamint a Naprendszer többi bolygóját tanulmányozták. A Mars felszíne jól láthatóan aszimmetrikus. A déli félgömb felszíne idősebb, jellemzően kráterekkel, hegyekkel borított felföld, amely átlagosan 5 km-rel magasabb az északi félgömbnél. A Mars felszínéről készített felvételeken jól kivehető a számos kisebb és nagyobb kanyon. Szélességük helyenként elérheti a 600 km-t, mélységük átlagosan 5 km. A legmehökkentőbb alakzat a Valles Marineris kanyonrendszer, amely a maga 200 km szélességével és 7 km mélységével csaknem 5000 km hosszan nyúlik el a bolygó egyenlítőhöz közeli térségében.

A Mars belső erőinek hatására alakultak ki az elképesztő méretű, mára már kialudt vulkánok. A legnagyobb az ősi pajzsvulkánok közül (és az egész Naprendszerben) az Olympus Mons (3.16. ábra), amely 27 km-rel magasodik a Tharsis-hátság fölé. Alapjának átmérője eléri a 600 km-t. Ezek a képződmények közel 400 millió éve alakultak ki.

A Mars híres poláris sapkáit közel 3 km vastagságú, porral keveredett jég rétegek alkotják. A poláris sapkák felső rétege szárazjégből (fagyott szén-dioxid gáz – CO_2) áll, kevés vízzel (H_2O) szennyeződve. A hőmérséklet a sarki területeken akár -110°C alá is ereszkedhet. Amikor az egyik féltekén beköszönt a tél, a megfelelő poláris sapka elkezd növekedni, és eléri az 57° szélességet az északi, és a 45° szélességet a déli féltekén. Tavasszal a sapkák olvadni kezdenek. Az ősz beköszönésével, amikor elkezdődik a sarki sapkák kialakulása, kékesfehér felhők figyelhetők meg a bolygó légkörében.

A kiszáradt folyómedrek által szabdalt, rejtélyes völgyek (3.17. ábra) a víz és a szél eróziója következtében alakultak ki, koruk több mint egymilliárd évesre tehető. 1999-ben hozták nyilvánosságra azoknak a kutatásoknak az eredményeit, amelyek bizonyítják, hogy a Marson egykor létezett egy vízóceán. Ezt a *Mars Global Surveyor* űrszonda által készített felvételen látható domborzati sajátosságok elemzése során sikerült megállapítani. Addig létezhetett óceán és jelentős mennyiségű víz a Marson, ameddig elég magas volt a bolygó felszíni hőmérséklete. A Mars kezdetben közel egymilliárd éven át fokozatosan lehűlt. Vékony atmoszférája nem akadályozta meg, hogy a víz egy része „eltűnjön” a bolygóközi térben. A hőmérséklet csökkenése következtében a homokkal keveredett fagyott víz létrehozta a felszín alatti jég réteget, a krioszférát, amelyben a felhalmozódott víz mennyiségét egyenértékűnek becsülik azzal a vízmennyiséggel, amely közel 1 km vastag rétegben boríthatná be a bolygót.

A Mars légköre nagyon kis sűrűségű és főként szén-dioxid alkotja. A szélesebbség a bolygó felszínén nem haladja meg a 15 m/s értéket. A Mars az egyetlen bolygó, amelyen globális méretű porviharokat figyelhetünk meg. Ezek a viharok üvegházhatást okoznak, mivel a porfelhők nem engedik át a napfényt a felszínig. A bolygó felszíne ennek következtében erősen lehűl, a por és a légkör környező része viszont felmelegszik. A Mars légkörében nagyon gyakori a portölcsérek – úgynevezett porördögök – kialakulása, amelyek akár 8 km magas oszlopokat is alkothatnak. A felhők szilikát- és jégporból állnak – ez a por olyan magasra is emelkedhet az atmoszférában, hogy elfedi akár az Olympus Monst is.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Miért nincs állandó légköre a Merkúrnak?
2. A Földhöz viszonyítva melyik bolygó kering a tengelye körül ellentétes irányban?
3. Nevezd meg azokat a Föld-típusú bolygókat, amelyeken megfigyelhető az évszakok váltakozása!



3.17. ábra. Kiszáradt folyómedrek a Marson

4. A Vénusz távolabb kering a Naptól, mint a Merkúr. Miért magasabb ennek ellenére a felszíni hőmérséklet a Vénuszon?
5. Mivel bizonyítható, hogy a Marson valaha létezett cseppfolyós halmazállapotú víz?
6. Nevezd meg azokat a Föld-típusú bolygókat, amelyekeken létezhet élet!

14. §. ÓRIÁSBOLYGÓK

1. A Jupiter – a Naprendszer ötödik, és egyben legnagyobb bolygója (3.18. ábra). Tömege 2,5-szer nagyobb a többi bolygó együttes tömegénél és 318-szor nagyobb a Föld tömegénél. A Jupiter gázbolygó; különösen sűrű légréteggel rendelkezik, amely főként hidrogénből és héliumból áll. A bolygó **átmérője** – 43 000 km. Távolsága a Naptól 4,95 és 5,45 CsE (740–814 millió km) között változik, közepes távolsága a Naptól 5,203 CsE (778,57 millió km). Keringési ideje 11,86 földi év. Mivel a Jupiter pályájának excentricitása 0,0488, a legnagyobb és legkisebb naptávolsága között 76 millió km a különbség. A Jupiter a Naprendszer bármely más bolygójánál nagyobb sebességgel forog a tengelye körül. Tengelyforgási periódusa az egyenlítőn – 9 h 50 min 30 s, a középszélességeken – 9 h 55 min 40 s. A gyors forgás következtében a Jupiter egyenlítői sugara (71 492 km) nagyobb a poláris sugaránál (66 854 km). A Föld és a Jupiter közötti távolság 588 és 967 millió km között váltakozik. **Felszíni hőmérséklete** –140 °C. A földi megfigyelések során, szembenállás idején a Jupiter látszólagos fényessége akár –2,94^m is lehet. A Hold és a Vénusz után a harmadik legfényesebb égitest az éjszakai égbolton. **A Jupiternek 79 holdja van.**



3.18. ábra. Jupiter.
A Hubble űrteleszkóp felvétele (2014. április)

69

A Jupiter átlagsűrűsége alapján megállapították, hogy a bolygó anyaga főként hidrogénből és jóval kevesebb héliumból áll, ezért jobban hasonlít a csillagokra, mint a többi bolygóra. A Föld-típusú bolygókkal ellentétben a gázóriások nem rendelkeznek szilárd felszínnel. Az, amit megfigyelünk, nem más, mint a légkörben úszó felhőzet felső rétege. Az óriásbolygók gyors tengelyforgása következtében és az erős szelek hatására a felhők az egyenlítővel párhuzamos sávokba húzódnak szét. A hidrogénvegyületek – az ammónia-, metán- és más összetevőknek köszönhetően – különböző magasságokban különböző színű felhők formájában kondenzálódnak. A Jupiter atmoszférájának sötét és világos sávjaiban eltérő a nyomás. A világos sávok a magasnyomású területek, a sötétebbek nyomása alacsonyabb. A magasabb hőmérsékletű gázok felfelé áramlanak, és, elérve a felhő felső határát, lehűlnek. Ezután a vörösesbarna színű övezetben a gázok lefelé hullnak.

A Jupiterre, ahogy a többi óriásbolygóra is, jellemzőek az ovális világos és sötét foltok. A legnagyobb és legfeltűnőbb alakzat a Nagy Vörös Folt (3.19. ábra), amelyet mintegy 300 évvel ezelőtt figyeltek meg először. Ez egy hatalmas, a földi hurrikánokhoz hasonló vihar, amely folyamatosan változtatja az alakját, méretét és színét.

A Jupiter poláris felhőiben a földi sarki fényhez hasonló jelenség figyelhető meg (3.20. ábra).

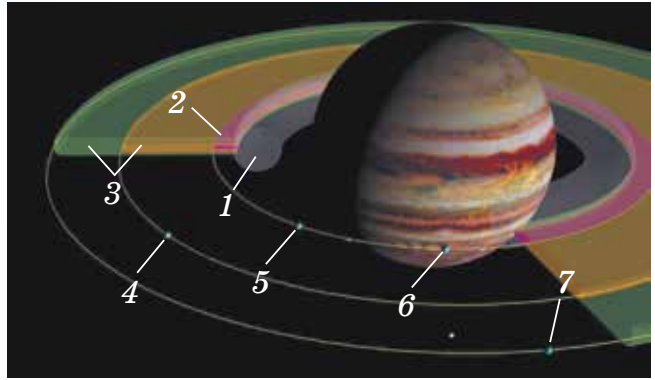
A Jupiter belső szerkezete réteges; a rétegek sűrűsége a mag felé közeledve egyre nagyobb. Az 1500 km vastagságú légkör alatt közel 7000 km vastagságú, kisebb sűrűségű folyékony molekuláris hidrogénből álló



3.19. ábra. Nagy Vörös Folt a Jupiteren



3.20. ábra. Jupiter. A Hubble űrteleszkóp és a Chandra röntgenteleszkóp felvételeiből összeállított kép



3.21. ábra. A Jupiter gyűrűinek szerkezete: 1 – halo gyűrű; 2 – középső (fő) gyűrű; 3 – kettős külső gyűrű; 4 – Amalthea; 5 – Adraszteia; 6 – Métisz; 7 – Thébé

réteg található. A bolygó sugarának 0,88 részével megegyező mélységben, ahol a nyomás $0,69 \cdot 10^{11}$ Pa, a hőmérséklet 6200 °C, a folyékony molekuláris hidrogén sűrűsége jelentősen megnövekszik, majd újabb 8000 km-rel mélyebben átalakul folyékony fémes hidrogénné. A hidrogén és hélium mellett a rétegek kis mennyiséget tartalmaznak a nehezebb kémiai elemekből is. A Jupiter közepében szilárd, kőzetekből, hidrogénvegyületekből, szilícium-, magnézium- és vas-oxidból álló mag található. A belső mag átmérője $25\ 000$ km, anyaga fém-szilikát, részben tartalmaz vizet, ammóniát, metánt, és hélium veszi körül. A középpontban a hőmérséklet $23\ 000$ °C, a nyomás $50 \cdot 10^{11}$ Pa. Ez a magas hőmérséklet és nyomás a bolygó lassú gravitációs összenyomásával magyarázható.

A bolygó sugarának 0,77 részével megegyező mélységben kezdődik az a réteg, ahol a hidrogén fémes tulajdonságokra tesz szert. Olyan erősen összenyomódik ($4 \cdot 10^{11}$ Pa), hogy az elektronok elszakadnak az atomoktól, és szabadon mozognak. Ez a jelenség hozza létre a Jupiter mágneses terét, amely a felhők határán a Föld mágneses terénél 12-szer nagyobb indukcióval rendelkezik.

1979-ben a Voyager-1 és a Voyager-2 űrszondák felfedezték a Jupiter gyűrűit (3.21. ábra). A gyűrűket nagyon apró porrészecskék ($0,2$ – 200 μm) alkotják. Ezek a részecskék fokozatosan a Jupiter légkörébe hullnak, és a helyüket új porrészecskék foglalják el, amelyek a kis holdak, főleg az Amalthea meteorokkal való ütközései során keletkeznek.

A Jupiter gyűrűrendszere halvány, és főleg a holdakról származó porrészecskékből áll. A részecskékből álló, vastagabb gyűrűje *halo gyűrű* néven ismert (ang. *halo ring*). A viszonylag fényes, nagyon vékony középső (fő) gyűrű és a széles, halvány kettős külső gyűrű, a „pókháló gyűrűk” (*gossamer ring* – a gyűrűk vékonyak és átlátszóak, akár a pókháló) arról a két holdról kapták a nevüket, amelyek az anyagukat szolgáltatják – Amalthea és Thébé.

A porrészecskék mérete a gyűrűkben különböző, de a legnagyobb keresztmetszettel a közel 15 μm sugarú, nem gömb alakú részecskék rendelkeznek, amelyek minden gyűrűben megtalálhatók, kivéve a halo gyűrűt. A gyűrűrendszer össz tömege nem ismert, de feltételezhetően a Jupiter végleges kialakulása óta létezik.

2. A **Szturnusz** – a második legnagyobb gázóriás, látványos gyűrűrendszerrel (3.22. ábra). A bolygó észrevehetően lapult a pólusoknál. Egyenlítői sugara $60\ 300$ km, poláris sugara – $54\ 400$ km.

A felhőzet felső határának egyenlítői átmérője – $120\ 536$ km, a poláris – néhány száz kilométerrel kisebb. Ennek oka az, hogy a Naprendszer bolygói közül a Szturnusz sűrűsége a legkisebb ($0,7$ g/cm³). Mivel a Szturnusz pályájának excentricitá-

sa 0,056, a legnagyobb és legkisebb naptávolsága között 162 millió km a különbség.

A közepes távolsága a Nap és a Szaturnusz között 9,58 CsE (1430 millió km). A **felszíni átlaghőmérséklet** $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. A Szaturnusz 9,69 km/s átlagsebességgel mozogva körülbelül 29,46 év (10 759 nap) alatt tesz meg egy teljes fordulatot a Nap körül. A Föld és a Szaturnusz közötti távolság 8,0 CsE és 11,1 CsE (1195–1660 millió km) között váltakozik, az átlagtávolság szembenállás esetén közel 1280 millió km. A Szaturnusz és a Jupiter csaknem pontos rezonanciában (2 : 5) kering. A Szaturnusz tengelyforgási idejét 10 h 34 min 13 s értékben állapították meg. A bolygó belső részeinek forgási sebességét nem ismerjük. A **természetes kísérők száma 62**, közülük legnagyobb a Titán.

A Szaturnusz gyűrűit (3.23. ábra) még Galileo Galilei fedezte fel 1610-ben, amikor a bolygó két oldalán számára érthetetlen függelékeket vett észre, bár akkor még nem tudta azonosítani őket. Azonban a vékony, lapos gyűrűt, amely nem érintkezik a bolygóval, csak 1656-ban fedezte fel Christian Huygens. A Földről teleszkóp segítségével több gyűrűt láthatunk, sötét közökkel elválasztva.

Aristarkh Belopolsky (1854–1934) 1895-ben spektroszkópiai megfigyelések alapján megállapította, hogy a gyűrűk nem egy tömbből állnak, hanem apró, különálló testek alkotják őket.

Az űrszondák felvételeiből láthatjuk, hogy a Szaturnusz nagy gyűrűit hatalmas mennyiségű gyűrű alkotja, amelyek jégreszcsekből, piszkos vízjégtömbökből, porból, különböző méretű közettörmelék-darabokból állnak. Ezek az apró testek holdakként keringenek a Szaturnusz körül, olyan közel egymáshoz, hogy távolról a bolygó szilárd gyűrűjének tűnnek. A gyűrűk vastagsága nem haladja meg a 2 km-t, egy különálló gyűrű vastagsága általában 30 m feletti. A tudósok úgy vélik, hogy a Szaturnusz légkörében 94% hidrogén és 6% hélium van (térfogat szerint). Tömege 95-ször nagyobb a Föld tömegénél, a mágneses tér indukciója kisebb a földi értékénél.

A gyűrűk síkja a Szaturnusz egyenlítőjének síkjában helyezkedik el, amely 27° -os szöget zár be a keringési pálya síkjával. Egy Szaturnusz-keringés folyamán a gyűrűrendszer síkja a Földről nézve kétszer vonalnak látszik. Mivel a vastagságuk kicsi, kisebb teleszkópok segítségével ilyen alkalmakkor nem figyelhetők meg. A gyűrűrendszer külső átmérője 272 ezer km, a belső 144 ezer km. A gyűrűk össztömege megközelítőleg egyenlő a Szaturnusz tömegének $3 \cdot 10^{-8}$ részével.

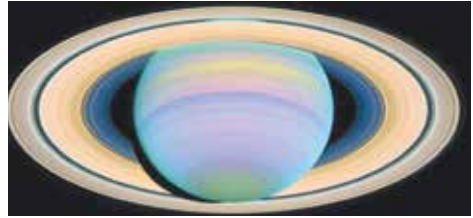
3. Az **Uránusz** – mérete alapján a harmadik óriásbolygó. A bolygó nagyon szép zöldeskék árnyalatokkal rendelkezik (3.24. ábra). Színeit a légkör összetételének és hőmérsékletének köszönheti.

A $-217\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten az Uránusz hidrogén-hélium atmoszférájának felső rétegeiben metánköd keletkezik. A metán nagy mennyiségben nyeli el a vörös fény sugarakat, és visszaveri a kék és zöld színűeket. Ezért a bolygó szép türkiz árnyalatokra tesz szert. Az Uránusz légkörében egyetlen légköri zavar sem érzékelhető.

Az Uránusz nagyon ritkán észrevehető szabad szemmel is, elég sötét és lassan mozog, ezért régebben távoli csillagnak vélték. Forgástengelye annyira megdőlt,



3.22. ábra. Szaturnusz



3.23. ábra. A Szaturnusz és gyűrűi ultraibolya fényben (a színek kiemelik a gyűrűk kémiai összetételének eltéréseit)



3.24. ábra. A déli gyűrű és egy fényes felhő az Uránusz északi részén (2005)

szecskekből állnak.

Az Uránusz 14,5-szer nagyobb tömegű a Földnél, így a Naprendszer óriásbolygói közül a legkönnyebbnek tekinthetjük. A bolygó sűrűsége $1,270 \text{ g/cm}^3$. Az Uránusz főként jégből áll – víz-, ammónia- és metánjég alkotja. A jégréteg tömege a különböző becslések szerint 9,3–13,5 földtömegeg megegyező.

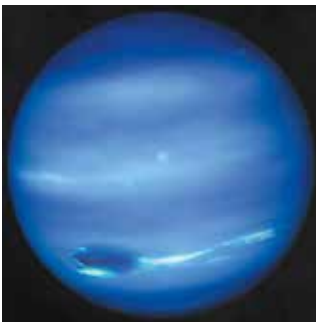
A hidrogén és hélium csak kis részét biztosítja az Uránusz tömegének (0,5–1,5 földtömeg), illetve egy tömegrészt (0,5–3,7 földtömeg) képviselnek a bolygó magját alkotó kőzetek.

Az Uránusz mágneses tere érdekes sajátossággal rendelkezik. Mivel a bolygó forgástengelye csaknem egybeesik a keringési síkjával, és a mágneses tengelye 60° -kal eltér a forgási tengelytől, a napszél lökéshullám-frontja erősen eltolja, a bolygó mögé csavarja és spirálba rendezi a mágneses erővonalakat. A mágneses tér indukciója hasonló a földi magnetoszféra indukciójához.

4. A Neptunusz – a harmadik legnagyobb tömegű bolygó a Naprendszerben, amely közel szabályos kör alakú pályán kering a Nap körül. A Neptunusz az első bolygó, amelyet nem megfigyelés útján, hanem matematikai számításoknak köszönhetően fedeztek fel 1846-ban.

A csaknem a Naprendszer peremén elhelyezkedő bolygóhoz nagyon kevés napenergia jut el. Ennek ellenére az égitest nagyon aktív. A Neptunusz fotóin jól láthatóak a felhők, amelyek időnként megjelennek, majd eltűnnek a légkörben. A bolygó légkörének legjellegzetesebb képződménye a Nagy Sötét Folt (3.25. ábra), amely szerkezete alapján nagyon hasonló a Jupiter Nagy Vörös Foltjához. A szél sebessége a Neptunusz légkörében rekordértéket – 640 m/s – is elérhet. Az atmoszféra hidrogénből, héliumból és metánból áll. A bolygó belseje réteges szerkezetű, részben jelentős mennyiségű jég alkotja. A Neptunusz a jégóriások közé tartozik.

A Neptunusz tömege 17,2-szer, egyenlítői átmérője 3,9-szer nagyobb a földinél (tömege – $1,0243 \cdot 10^{26} \text{ kg}$, egyenlítői sugara – $24\,764 \text{ km}$). A bolygó elliptikus, közel kör alakú pályán (excentricitása 0,009) kering a Nap körül. Közepes távolsága a Naptól 30-szor nagyobb,



3.25. ábra. A Neptunusz és a Nagy Sötét Folt (balra). A Voyager-2 felvétele

hogy szinte a bolygó keringési síkjában fekszik. Az Uránusz tengelyforgása retrográd. Csaknem teljesen kör alakú pályán kering a Nap körül (excentricitása 0,047); 19-szer távolabb van a Naptól, mint a Föld, azaz 2871 millió km-re. **Átmérője** – 51 000 km. Átlagos **felszíni hőmérséklete** $-200 \text{ }^\circ\text{C}$. Keringési pályája $0,8^\circ$ szöveget zár be az ekliptikával. 84,01 földi év alatt kerüli meg a Napot. Tengelyforgási periódusa közel 17 óra. **Természetes kísérőinek száma 27, 11 sötét gyűrűje van.** A bolygó összetételében nagy mennyiségű jeget mutattak ki, ezért tartják jégóriásnak.

Az Uránusz gyűrűit 1977-ben fedezték fel. A Voyager-2 1986-os felvételei bizonyították a létezésüket. A bolygót 11 keskeny gyűrű veszi körül, amelyek az egyenlítő síkjában helyezkednek el, 42–51,4 ezer km (vagy 1,65–2,02 sugár) távolságban a bolygó középpontjától. A gyűrűk jellemző szélessége 1–8 km, egyedül a legnagyobb esetében éri el a 22–93 km-t. A gyűrűk vastagsága nem haladja meg az 1 km-t. Az Uránusz gyűrűi finom porszemcsékből és apró, sötét, szilárd részecskékből állnak.

mint a Földé, és körülbelül 4497 millió km-rel egyenlő. Ez azt jelenti, hogy a fény a Naptól a Neptunuszig valamivel több, mint 4 óra alatt jut el. A Napot 164,8 földi év alatt kerüli meg. Tengelyforgása elég gyors – egy nap a Neptunuszon mindössze 16 óra. A szabadesés gyorsulása a bolygó felszínén átlagosan 1,14-szer nagyobb a földinél, a Naprendszer bolygói közül csak a Jupiteren nagyobb. A Neptunusz közepes sűrűsége ($1,66 \text{ g/cm}^3$) csaknem háromszor kisebb a Földénél. A bolygó rendelkezik mágneses térrel, amelynek erőssége a pólusoknál körülbelül kétszer nagyobb, mint a Földön. Az effektív hőmérséklet a Neptunusz felszínén megközelítőleg 38 K. A bolygó magjának közepében a hőmérséklet eléri a 7000 K értéket $7-8 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$ nyomás mellett. **Természetes kísérőinek száma 14, gyűrűinek száma 4.**



3.26. ábra. Felhők a Neptunuszon

A Neptunusz gyűrűinek létezésével kapcsolatos feltevéseket 1984-ben hozták nyilvánosságra, a bolygó állócsillagokhoz viszonyított mozgásának megfigyeléseit követően. A Voyager–2 űrszonda által 1989-ben készített felvételeken három zárt és egy nyitott gyűrű látható. A gyűrűk a Neptunusztól 1,7–2,5 bolygósugárnyi távolságra helyezkednek el. A szélességük rendre 1700, 15, 5000 és 50 km. Apró szilikát-porszemcsékből állnak, amelyek a napfény 6%-át verik vissza.

A Neptunusz légköre hidrogénből (körülbelül 67%), héliumból (31%) és metánból (2%) áll. A felső rétegekben 80% hidrogén és 19% hélium. Ezekon kívül megfigyelhető még néhány vegyület: acetilén C_2H_2 , diacetilén C_4H_2 , etilén C_2H_4 és etán C_2H_6 , valamint szén-monoxid gáz CO és molekuláris nitrogén N_2 .

A legkiterjedtebb, fő felhőréteg (3.26. ábra) a légkör közel 3 atmoszféra nyomású szintjén helyezkedik el, és a felhőzete fagyott kén-hidrogénből H_2S és ammóniából NH_3 áll. A hőmérséklet ezeken a területeken közel 100 K ($-173 \text{ }^\circ\text{C}$). A fő felhőréteg fölött, a hideg, átlátszó atmoszférában ritka, fehér, fagyott metánból CH_4 álló felhők képződnek. Ezek a felhők 50–150 km magasságig emelkednek, és árnyékot vetnek a fő felhőrétegre, ahogyan a Voyager–2 felvételén látható.

Az első felhőréteg alatt, közel 20 atmoszféra nyomáson és 200 K hőmérsékleten ($-70 \text{ }^\circ\text{C}$) egy ammónium-hidroszulfidból NH_4SH álló második felhőréteg található. A légkör mélyebb rétegeiben vízjég-felhők figyelhetők meg.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Nevezzék meg az óriásbolygók és a Föld-típusú bolygók fő fizikai jellemzői közötti eltéréseket!
2. Milyen sajátosság tapasztalható az óriásbolygók tengely körüli forgásában?
3. Jellemezzék az óriásbolygók szerkezetének sajátosságait!
4. A Naprendszer melyik bolygója nehezebb, mint a többi bolygó és a Hold együttevé?
5. Mit értünk a bolygók gyűrűin? Miért nem láthatjuk időnként a Szaturnusz gyűrűit még teleszkóppal sem? Milyen megfigyelések igazolják, hogy a Szaturnusz gyűrűi nem tömörek?

15. §. A BOLYGÓK HOLDJAI

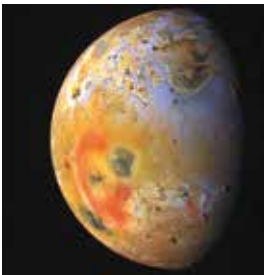
2019 márciusáig a Naprendszerben a nagy bolygók 185 és a törpebolygók 9 holdját fedezték fel. Ismertek még egyes aszteroidák holdjai is. Hét kísérő, közöttük a Hold, 2500 km-nél nagyobb átmérőjű; a Titán (a Szaturnusz holdja) és a Ganymedes (a Jupiter harmadik holdja) 1,5-szer nagyobbak a Holdnál, és kis mértékben még a Merkúrnál is. A Titán az egyetlen hold, amelynek kiterjedt, főleg nitrogénből álló légköre van.

A kisebb, néhányszor tíz kilométer átmérőjű holdak általában szabálytalan formájú, kőzet- vagy jégtestek. Felszínüket kráterek és finom szemcsésű por borítja. A közepes méretű (néhány száz kilométeres átmérőjű) holdak általában gömb alakúak és kicsi a sűrűségük. Külső megjelenésük alapján leginkább a Holdra emlékeztetnek. A 7 legnagyobb holdat sokfélesége teszi különlegessé. Szerkezetük alapján hasonlítanak a Föld-típusú bolygókhoz. A Jupiter legnagyobb holdjait még 1610-ben fedezte fel Galilei. Azonban a legtöbb ismeretre az óriásbolygók nagy holdjaival kapcsolatban az űrszondák segítségével tettünk szert. Az automatikus bolygóközi szondák segítségével készülhettek pontos közeli felvételek a Mars és az óriásbolygók holdjairól. A felvételeken jól látható számos felszíni alakzat: kráterek, hasadékok, egyenetlenségek. A Jupiter és a távolabbi bolygók holdjainak felszínét több tíz kilométer vastag rétegben jég és por borítja. A Jupiter Ió nevű holdjának felszínén több működő vulkánról készült felvétel. Minden hold felszínét becsapódási (meteorbecsapódásokból származó) kráterek borítják. Sok hold, akár a mi Holdunk is, kötött tengelyforgású, azaz mindig ugyanazzal az oldalával fordul a bolygója felé. Tengelyforgásuk periódusa megegyezik a bolygó körüli keringési periódusukkal. A Jupiter négy legnagyobb holdját binokulárral is megfigyelhetjük. Teleszkópos megfigyelés esetén jól láthatjuk, ahogy néhány óra leforgása alatt elmozdulnak, időnként elhaladnak a Föld és a Jupiter között, majd a Jupiter mögé vagy az árnyékába kerülnek.

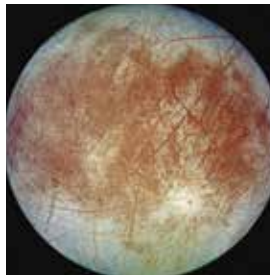
A nagy holdak szerkezeti modellje feltételezi, hogy három réteggel rendelkeznek: kéreggel, köpennyel és maggal. A sugár 0,3–0,6 részével megegyező méretű, vasvegyületekből álló maggal rendelkezik az Ió (3.27. ábra, amelyen vörös gyűrűvel keretezett nagy sötét folt látható, ami a Pillan Patera 1997-es hatalmas kitörésekor keletkezett), az Europe (3.28. ábra) és a Ganymedes.

Hasonló méretű vagy még nagyobb kőzetmaggal rendelkezik a Triton és a Callisto (3.29. ábra). Az Ió szilikátos (kőzet-) kérge 30 km vastagságú. Alatta 100 km mélységben folyékony magma található, amelynek hőmérséklete eléri a 2000 K fokot. Ez a magma táplálja az Ió számos tűzhányóját. Más holdakat különböző vastagságú jégréteg borít, amely alatt kőzetköpeny helyezkedik el.

A Triton és a Ganymedes felszínén tektonikus tevékenység nyomai észlelhetők: törések, gyűrődések, repedések, kis hegygerincek. A Callistót számos becsapódási krátere különbözteti meg a többi holdtól. Az Europe jégpáncélját keskeny, világos és sötét barázdák szövevénye borítja. Ezek repedések a vastag jégkéregben, amelyeket a Jupiter árapály hatása okoz. A jégpáncél repedéseinek többéves kutatása azt mutatja, hogy a jégtömegek jelentéktelen mértékben elmozdulnak egymáshoz viszonyítva. Ez arra utal, hogy a jég alatt víz van. Az Europe jégpáncéljának egyes pontjain a Galileo űrszonda a friss jégbe fagyott régi jégtáblák különleges, kaotikus felhalmozódását örökítette meg. Ezeket a szerkezeteket kaotikus területeknek



3.27. ábra. Ió – a Jupiter holdja. A Galileo űrszonda felvétele



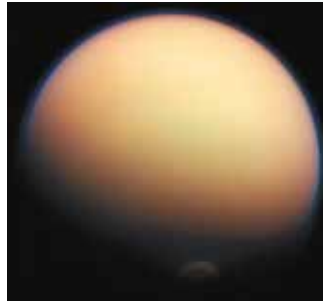
3.28. ábra. Europe – a Jupiter holdja



3.29. ábra. Callisto – a Jupiter holdja



3.30. ábra. Kaotikus területek a Jupiter Europe holdján



3.31. ábra. A Szaturnusz Titán nevű holdja és a Titán légkörének felső rétegei (a Cassini felvétele)



(chaos) nevezik (3.30. ábra). Kialakulásuk arról tanúskodik, hogy időről időre a jég olvad, de aztán újra befagy. A jégtáblák nem érkezik elolvadni, és belefagynak a friss jégbe. Az Europe jeges felszíne fiatal, erről tanúskodik a becsapódási kráterek elenyésző mennyisége.

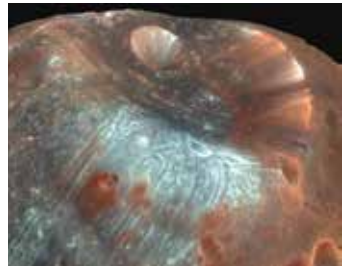
Az Ión nincsenek nagyobb mennyiségű víz jelenlétére utaló jelek, sem a belsejében, sem a felszínén. A holdon számos vulkánkitörés ment végbe. A vulkánok által kilökött és a felszínen leülepedett kénvegyületek a fehértől az élénkpirosra át a feketéig terjedő színeket biztosítanak a holdnak. Az anyagok színét a hőmérsékletük határozza meg. A vulkánok kráteréből a gázok 200 km magassáig lövellnek ki, 1 km/s sebességgel. Gázvezérek kialakulását figyelték meg a Triton poláris sapkája fölött is. Sötét színű anyag lövell ki a felszínéből akár 8 km magasságot elérve.

A legkiterjedtebb és legsűrűbb légkörrel a Szaturnusz holdja, a Titán rendelkezik (3.31. ábra). Légköre 60%-kal sűrűbb, mint a Föld atmoszférája, és közel 85%-ban nitrogént tartalmaz. A felszíni nyomás 1,5-szerese a földinek. A metánfelhők és a köd lehetetlenné teszik a Titán felszínének teleszkópos megtekintését.

A Neptunusz Triton nevű holdja is rendelkezik nitrogénnel és metánnal álló, ritka légkörrel (a földi légkör 10^{-5} része). Szintén nagyon kis sűrűségű, molekuláris oxigénnel álló légkör (a földi légkör 10^{-9} és 10^{-11} része) veszi körül a Jupiter holdjait – a Ganymedest és az Európát.

A holdak légköre a következőképpen keletkezik: a napfény, a kozmikus sugarak és mikrometeoritok vízmolekulákat ütnek ki a jeges felszínből, amelyek az ultraibolya sugárzás hatására hidrogén- és oxigénatomokra bomlanak. A hidrogénatomok azonnal elhagyják az atmoszférát, az oxigénatomok molekulákká egyesülnek. A Callisto ritka, szén-dioxid gázból, míg az Ió szintén nagyon ritka (a földi légkör 10^{-9} része), kén-oxidokból és vulkáni gázokból álló légkörrel rendelkezik.

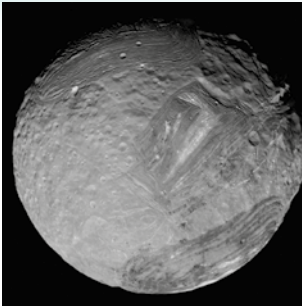
Néhány nagy hold saját mágneses térrel is rendelkezik. A Föld-típusú bolygók közül a Föld mellett csak a Marsnak vannak holdjai. Két holdját ismerjük. **Asaph Hall** (1829–1907) amerikai csillagász fedezte fel őket 1877-ben. Kisméretű, szabálytalan alakú, sziklás égitestek, méreteik a következők: Phobos – 27×19 km (3.32. ábra), Deimos – 16×11 km (3.33. ábra).



3.32. ábra. Phobos – a Mars holdja és a Stickney-kráter, a Mars Reconnaissance Orbiter felvétele (2008)



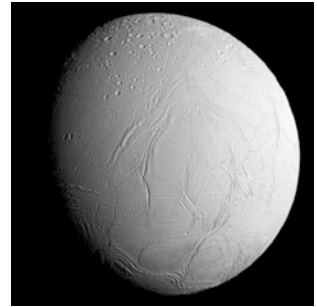
3.33. ábra. Deimos – a Mars holdja



3.34. ábra. Miranda – az Uránusz holdja. A Voyager–2 űrszonda felvétele



3.35. ábra. Mimas – a Szaturnusz holdja, a Cassini űrszonda felvétele (2005). A nagy kráter átmérője több, mint 100 km



3.36. ábra. Enceladus – a Szaturnusz holdja, a Cassini-Huygens űrszonda felvétele (2005)

A 3.34–3.36. ábrákon a Naprendszer bolygóinak néhány holdja látható.

Több bolygó holdjára jellemző az érdekes mozgás. Például a Phobos háromszor gyorsabban kering a Mars körül, mint ahogy a Mars forog a tengelye körül. Ezért – a Marsról megfigyelve – ez a belső hold egy marsi nap alatt kétszer kel fel és nyugszik le, kétszer megy át minden fázisváltozásán a csillagok napi mozgásának irányával ellentétes irányban száguldva át az égbolton. A Mars holdjai nagyon közel helyezkednek el a bolygó felszínéhez. A Phobos esetében ez a távolság kisebb a bolygó sugaránál. A Jupiter és a Szaturnusz távoli holdjai nagyon kicsik és szabálytalan formájúak. Néhány közülük a bolygó forgási irányával ellentétes irányban kering. Az Uránusz holdjainak keringési síkjai közel helyezkednek el a bolygó egyenlítőjéhez és csaknem merőlegesek a bolygó keringési síkjára.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Nevezd meg a Naprendszer legnagyobb holdjait! Sorold fel a legjellemzőbb tulajdonságaikat!
2. Mivel magyarázható az Ió különleges színezete?
3. Miről tanúskodik a Jupiter holdjainak felszínén megfigyelhető számos kráter?
4. Mely holdak rendelkeznek saját légkörrel?
5. Mi teszi lehetővé a Titán viszonylag sűrű légkörének létezését?

16. §. TÖRPEBOLYGÓK ÉS A NAPRENDSZER APRÓ ÉGITESTEI

1. Törpebolygók. A Kuiper-öv és az Oort-felhő. 2006 augusztusában a Nemzetközi Csillagászati Unió kongresszusán elfogadták a bolygók új meghatározását, és első ízben vezették be a **törpebolygó** fogalmat.

Törpebolygónak nevezik az olyan égitesteket, amelyek közvetlenül egy csillag körül keringenek, valamint rendelkeznek akkora tömeggel, hogy félgravitációs vonzás alakuljon ki rajtuk, amely hidrosztatikus egyenlőséget hoz létre a felszínükön (gömbhöz közeli alakkal rendelkeznek), és nem egy másik bolygó holdjai.

2006 augusztusáig a Plutót, amelyet **Clyde W. Tombaugh** (1906–1997) fedezett fel 1930-ban, a Naprendszer kilencedik bolygójaként tartották számon.

Viszont a dinamikai és fizikai tulajdonságai alapján gyökeresen különbözött a többi bolygótól. 1978-ban felfedezték a Pluto holdját, a Charont. A hold átmérője 1205 km, alig több a Pluto átmérőjének felénél, tömegeik aránya 1 : 8. Egyes csillagászok a holdakhoz sorolták a Charont, míg mások a Pluto–Charon rendszert kettős bolygónak tartották.



3.37. ábra. A Föld és egyes törpebolygók méreteinek összehasonlítása

A Nemzetközi Csillagászati Unió döntése alapján a kettős bolygó és a bolygó-hold rendszer (például Föld–Hold) közötti eltérés a baricentrum – a közös tömegközéppont elhelyezkedésében van. Az első esetben ez a nyílt világűrben van, a második esetben a központi bolygó közepében, amely körül a holdak keringenek.

77

Világossá vált, hogy a Pluto csak egy a Kuiper-öv abban az időben már ismert nagyobb objektumok közül, és legalább egy az objektumok (Eris) közül biztosan nagyobb égitest a Plutónál (3.37. ábra).

A Kuiper-öv – egy sziklás-jeges objektumok alkotta lapos övezet a Neptunusz pályáján túl, több milliárd kilométernyire a Naptól. E jeges világ legismertebb képviselői a Pluto és az Eris (de rajtuk kívül még több száz jeges törpebolygó is lehet ezen a területen). A Kuiper-öv és az Oort-felhő a Nap körül keringő apró testek „otthona”.

Az említett területekről ismert aszteroidák és üstökösök lényegesen kisebbek a Holdnál. A Kuiper-öv egy gyűrű, amely a Neptunusz pályáján túl a Naptól számított körülbelül 30–60 CsE között helyezkedik el.

Az Oort-felhő egy hatalmas, az egész Naprendszert körülölelő, gömb alakú térrész a Naptól számított 50–100 ezer CsE közötti távolságban (körülbelül 1 fényév). Ez a távolság csaknem a negyede a Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri távolságának. A Kuiper-öv és a szórt korong, a másik két Neptunuszon túli objektumcsoport ezerszer kisebb az Oort-felhőnél. Az Oort-felhő (két régióra osztható: a korong alakú belső Oort- vagy Hills-felhőre és a gömb alakú külső Oort-felhőre) külső kiterjedése meghatározza Naprendszerünk gravitációs határát, amit jelenleg 2 fényévre becsülnék.

A Kuiper-övhöz tartozó egyes törpebolygóknak van vékony atmoszférájuk, de az megsemmisül, ha a bolygók pályájuk Naptól legtávolabbi pontjához érnek. Néhány törpebolygó a Kuiper-övben még apró holddal is rendelkezik. Az aszteroidák körül a tér egyetlen pontjában sem léteznek ismert gyűrűk. A Kuiper-öv és az Oort-felhő elnevezésüket **Gerard Kuiper** (1905–1973) és **Jan Hendrik Oort** (1900–1992) csillagászok tiszteletére kapták, akik már az 1950-es években megjósolták a létezésüket.

A bolygók és a törpebolygók tehát két teljesen eltérő csoportot alkotnak a Naprendszer égitestei között. A Plutón kívül a törpebolygókhoz sorolják még a Charont,



Gerard Kuiper



Jan Hendrik Oort

az „egykori” Ceres, Vesta és Pallas kisbolygókat (aszteroidákat), amelyek a Mars és a Jupiter pályája között keringenek, valamint a Kuiper-övhez tartozó égitesteket – az Erist, a Sednát és más, a Plutón túl keringő objektumokat.

A csillagászok szerint a Kuiper-övben még több tíz törpebolygó lehet, de a felfedezésük még várat magára.

2. Aszteroidák (kisbolygók). Azokat az égitesteket, amelyek a Nap körül keringenek és nem törpebolygók vagy holdak, a Naprendszer **apró égitesteinek** nevezük. Ehhez a típushoz tartozik a Mars és a Jupiter közötti kisbolygó-övezetben keringő aszteroidák többsége, valamint a transzneptun, azaz a Kuiper-övhez tartozó égitestek, az üstökösök és minden más, a Nap körül keringő test.

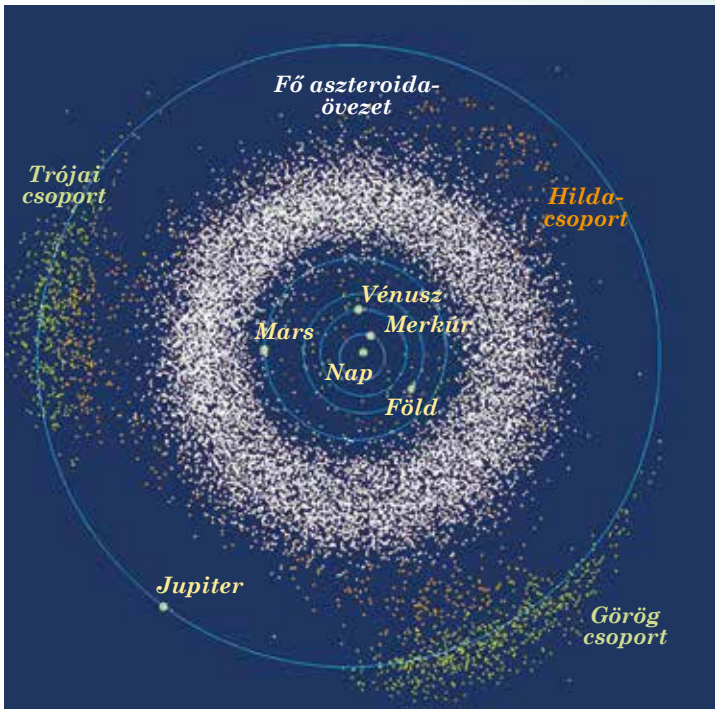
1801 után a Mars és a Jupiter pályái között felfedeztek néhány törpebolygót és számtalan kisbolygót.

Aszteroida (kisbolygó) – a Naprendszerhez tartozó apró, szilárd, szabálytalan formájú égitest, amely a Nap körüli (heliocentrikus) pályán kering.

A XX. sz. elejére közel 500, néhányszor tíz kilométer átmérőjű kisbolygót fedeztek fel. Napjainkban a Kisbolygók Központjának adatbázisában közel 100 millió aszteroida szerepel, közülük több mint 600 ezer ismert keringési pályával és állandó sorszámmal rendelkezik. Közel 18 ezer aszteroidának hivatalosan jóváhagyott neve is van. A kutatók feltételezik, hogy a fő aszteroida-övezetben 1,1–1,9 millió, 1 km-nél nagyobb átmérőjű égitest található.

Az aszteroidákat a protoplanetáris lemez maradványainak tartják, amely a Naprendszer kialakulásakor keletkezett. Az össztömegük a Föld tömegének mindössze 0,1 részével egyenlő. Évente fedeznek fel új aszteroidákat. A kisbolygók jelentős része (98%) az ekliptikához közeli síkban kering, kis excentricitású pályán, 2,2–4,5 CsE távolságban a Naptól, a Mars és a Jupiter keringési pályája között. Az aszteroidák a Nap körül abban az irányban keringenek, mint a többi bolygó. Azt a térrészt a Mars és a Jupiter között, amelyben az aszteroidák többsége található, **fő aszteroida-övezetnek** nevezzük (3.38. ábra).

Az egyik elmélet szerint az aszteroidák a valaha létezett számtalan planetezimál (planetezimál – a Naprendszer keletkezése idejéből változatlanul megmaradt, a csillag körüli pályán keringő apró égitest, amelynek azonban elég erős a gravitációs tere ahhoz, hogy más égitesteket magához vonzzon; egymással összeütközve hozzák létre a nagybolygókat) maradványai. Bolygóvá alakulásuk folyamata az óriási Jupiter gyors forgása által keltett gravitációs zavaró hatások miatt szakadt meg. Az óriásbolygó hatására az anyag nem tudott egyesülni, hanem szétszóródott. Az óriásbolygók gravitációs zavaró hatásai megváltoztatják az aszteroidák keringési pályáját, így gyakran összeütköznek egymással, a bolygókkal és holdjaikkal. Egy másik feltevés szerint a kisbolygók egy feltételezett bolygó megsemmisülése következtében jöttek létre, amely a Mars és a Jupiter között keringett.



3.38. ábra. A kisbolygó-övezetek elhelyezkedése a Naprendszerben

1951-ben Gerard Kuiper (született Gerrit Pieter Kuiper) holland csillagász megjósolta egy aszteroida-övezet létezését a Neptunuszon túl. Az elméleti számítások szerint az övezet a Naptól 35–50 CsE távolságra található. Lehetséges, hogy annak a csillagközi gáz- és porfelhőnek a maradványai, amelyből kialakult a Naprendszer. A Kuiper-övet alkotó égitestek össztömegét a Föld tömegéhez hasonlóknak tartják.

Egy aszteroida felszínéről elsőként a Galileo űrszonda készített felvételeket. A Jupiter felé közeledve lefotózta a Gaspra és az Ida kisbolygókat, valamint az Ida apró holdját, a Dactylt (3.39. ábra).

Az első sikeres leszállást egy aszteroida felszínére a *NEAR* űrszonda valósította meg 2001. február 12-én. Az Eros kisbolygó szabálytalan formájú, sziklás égitestnek bizonyult, méretei $33 \times 13 \times 13$ km, sűrűsége 2700 kg/m^3 , ez az érték megközelelti a földkérget alkotó kőzetek sűrűségét. A kisbolygó felszínét finom por, kráterek és sziklák (100 km átmérőig) borítják.

Napjainkban a Naprendszerben 100 CsE távolságig közel 1 millió, 1 km-hez közelítő méretű apró égitest található. Az aszteroidák keringési pályájának excentricitása az óriásbolygók gravitációs hatása következtében 0,8-ig növekszik. Ennek következtében egyes kisbolygók bejuthatnak a Mars, a Föld, sőt akár a Merkúr keringési pályájáig. Ilyen égitestek 20 millió évente ütközhetnek a Földdel. Legalább 200 ezer, 100 m és annál nagyobb átmérőjű aszteroida létezik, amelyek keringési pályája keresztezheti a Földét. Az ütközésre egy ilyen égitesttel körülbelül 5 ezer évente egyszer van esély, de az ütközés következtében a Földön egy közel 1 km átmérőjű kráter keletkezne.



3.39. ábra. Az Ida kisbolygó és Dactyl nevű holdja

2015. október 31-én, kijevi idő szerint körülbelül 19:00 órakor a Földhöz veszélyesen közel a haladt el egy aszteroida (486 ezer km, azaz 1,3-szeres holdtávolságra). Ezért több országban, köztük Ukrajnában is a veszélyes kisbolygókat figyelő szolgálatokat hoztak létre, hogy egy esetleges, a Földet fenyegető veszélyhelyzetben még időben megváltoztathassák az aszteroida pályáját vagy megsemmisíthessék. Kezdetben az aszteroidáknak mitológiai istennők neveit adták, majd női neveket. Amikor ezek elfogytak, a kisbolygókat különböző országokból származó ismert tudósokról kezdték elnevezni. A kisbolygók között több olyan is van, amelynek elnevezése kapcsolatban van Ukrajnával – Zsitimir, Odessza, Herszon, Kobzar, Szkovoroda, Vszehvatszkij, Csurjumov, Jackiv. A legismertebb aszteroidák: Pallas, Juno, Vesta, Eros, Amor, Hidalgo, Icarus.

3. Meteoritok. A bolygóközi térben hatalmas mennyiségű, különböző formájú, méretű és kémiai összetételű, kőzet- és vasobjektum kering. Ezeket a testeket **meteoroidoknak** nevezzük. Ha egy ilyen test kozmikus sebességgel haladva belép a Föld atmoszférájába, a levegővel való súrlódás következtében felmelegszik, olvadni, izzani és világitani kezd – az égen vakító fényű tűzgolyó jelenik meg. Ezt a jelenséget nevezzük bolidának (gör. βολις – eldobott lándzsa). Éjjel a boida ragyogó fénybe borítja a környezetét akár több tíz vagy 100 km körzetben. A nagyon fényes bolidák nappal, teljes megvilágítás mellett is láthatóak. A tűzgömb a mozgáspályája teljes hosszában nyomot hagy maga mögött, amely a levegő ionizált molekuláinak fénylésével kezdődik, és porcsóvával fejeződik be. A por a meteoroid megsemmisülése közben keletkezik, mivel a légkörben hatalmas sebességgel mozgó test több ezer fokra melegszik fel. Az anyaga a felszínen folyamatosan olvad, és részben elpárolog: elsodorják a légáramlatok és apró cseppek formájában szóródik szét. Ezek a jelenségek alkotják a boida porból álló nyomatát. A hirtelen összesűrűsödő levegő a meteor körül lökéshullámot kelt. Ennek következtében hangjelenségek – hangrobbanás és morajlás – figyelhetők meg.

A teljes megsemmisüléstől megmenekült meteor maradványa lezuhan a Föld felszínére. Ez a meteorit. A **meteoritok** a Naprendszer égitestjeinek törmelékei. Az akár több tíz vagy százezer tonna kezdeti tömeggel rendelkező meteorit úgy halad át a teljes légkörön, hogy megtartja kozmikus, azaz néhány kilométer per másodperc sebességét. Az ütközés eredményeként robbanás megy végbe, és meteoritkráter keletkezik. A kráter mérete néhány métertől akár 100 km-ig terjedhet. A legismertebb az arizonai Barringer kráter (3.40. ábra), amelynek átmérője 1200 m, mélysége 180 m, és közel 50 m magas felgyűrt pereme van. Feltehetően 30 ezer évvel ezelőtt keletkezett. Napjainkig több mint 180 asztróblémát – **csillagsebet** (ahogy jelképesen nevezik őket a tudósok) – fedeztek fel, amelyek a Föld minden kontinensén megtalálhatók. Ukrajna területén Vinnica közelében van egy csillagseb, amelyet **illineci asztróblémának** neveznek. Néhány millió évvel ezelőtt egy meteorit becsapódása 5 km átmérőjű, gigantikus krátert hozott létre.

A Bovtinszkij krátert 2002-ben fedezték fel Kropivnickij közelében. A kráter átmérője 24 km, mélysége több mint 500 m. A robbanáskor szétszóródó kőzetek egész Közép-Ukrajnát lefedik, eléri a Krímet, Romániát és Oroszországot.

A meteoritok összetételük alapján három csoportba sorolhatók: kő-, kő-vas- és vasmeteoritok. A kőmeteoritok kémiai összetétele közeli a földi kőzetekéhez: vas-, szilícium- és magnézium-oxidokat tartalmaznak. A kőmeteoritok közel 90%-a tartalmaz kondrákat, azaz mikroszkopikustól akár centiméteresig terjedő méretű apró gömböket. Az ilyen meteoritokat **kondritoknak**, a többi kőmeteoritot **akondritoknak** nevezzük.

A legnagyobb meteoritot 1920-ban fedezték fel Délnyugat-Afrikában, egy Hoba nevű kis farm közelében. Ez egy közel 60 t tömegű vasmeteorit. A Fejedelemnő (Knyahinya) meteoritot 1866-ban találták Kárpátalja területén, tömege 500 kg, egy része a 3.41. ábrán látható.



3.40. ábra.

Az arizonai meteoritkráter (USA)



3.41. ábra.

A Knyahinya meteorit darabja

Ukrajnában összesen 43 meteoritot találtak. Az utolsót – egy 9,5 kg tömegű Verhnyij Szaltiv nevű vasmeteoritot – 2001-ben találták Harkiv területen egy régi kazár településen végzett ásatáson.

4. Üstökösök. Az üstökösöket már az ókorban is ismerték, és erős fényük, hosszú csóvájuk miatt bajt hozó égitesteknek tartották őket. Az első kínai feljegyzések az üstökösökről még az i. e. III. évezredből származnak. A Naptól távol levő üstökösök halvány, ködszerű objektumként láthatók. A Naphoz közeledve fényesebbé válnak, megnövekednek, megjelenik a csóvájuk, amely a Nappal ellentétes irányba mutat.

Az emberiség története során közel 3500 üstökösöt figyeltek meg. 1000 ilyen apró égitestet katalogizáltak, ezeknek ismertek a pályaelemeik. Csaknem minden üstökös nyújtott, és az egyhez közelítő excentricitású keringési pályán mozog. Megkülönböztetünk **rövid periódusú** (200 évnél kisebb keringési periódusú) és **hosszú periódusú** üstökösöket. Az első periodikus üstökösöt **Edmond Halley** (1656–1742) fedezte fel.

81

Halley 24 fényes üstökös pályaelemeit számította ki. Saját üstökös-katalógusát elemezve a tudósak feltűnt az 1531-ben, 1607-ben és 1682-ben megfigyelt üstökösök pályaelemei közötti hasonlóság, és feltételezte, hogy ezek az esetek egy és ugyanazon üstökös visszatérései, amely erősen nyújtott pályán, közel 76 éves periódussal kering a Nap körül. Halley előrejelzéseinek megfelelően az üstökösöt 1758-ban is megfigyelték. Így elnevezték **Halley-üstökösnek** (3.43. ábra). Keringési pályájának fél nagytengelye $a = 17,94$ CsE, és a Föld keringési irányával ellentétes irányban mozog. Az üstökösök fő szerkezeti elemei (3.42. ábra): mag, kóma, fej vagy üstök és csóva.

Az **üstökös magja** – kisméretű, szilárd, jeges test, amely magas olvadáspontú részecskéket és szerves anyagokat is tartalmaz. Az üstökösök magjának 80%-át vízjég alkotja, valamint fagyott szén-dioxid, szén-monoxid, metán, ammónia, és a



3.42. ábra. Az üstökös felépítése



3.43. ábra. A Halley-üstökös (1985)

jégbe fagyott fémrészecskék. Az üstökösök jegében más, összetettebb anyagok is előfordulnak, még aminosavak is. Az űrszondák mérései alapján, például a Halley-üstökös magja egy 16×8 km méretű, szabálytalan formájú, tömör test, tömege $3 \cdot 10^{14}$ kg, sűrűsége 600 kg/m^3 .

A Naphoz közeledve (néhány CsE távolságban) megjelenik az üstökös feje. A napsugárzás hatására a víz, a megfagyott gázok és más illékony anyagok párologni kezdenek és kiáramlanak a magból, a korábban beléjük fagyott szilikátok, szulfidok és szerves vegyületek részecskéit is magukkal rántva. Az így kiáramló porok és gázok hatalmas, rendkívül ritka légkört alkotnak az üstökös körül. A fej látható mérete a Naphoz közeledve elérheti a 10^4 – 10^6 km-t is. A porrészecskék hamar elszakadnak a gázoktól, és a Nap sugárzásának nyomása, valamint a napszél hatására egy óriási csóvát alkotnak, ami a Nappal ellenkező irányba mutat. A fényes üstökösök csóvái akár a több száz kilométeres hosszúságot is elérhetik. Például a Hyakutake (C/1996 B2) hosszú periódusú üstökös – 1996-ban fedezte fel Yuji Hyakutake japán csillagász – csóvája közel 300 millió km hosszúságú. A részecskék sűrűsége az üstökösök csóvájában nagyon kicsi, hasonló a bolygóközi környezethez.

Formájuk szerint a csóvákat több alapvető csoportba sorolhatjuk:

1. A meglehetősen egyenes csóva, amelyet főleg a kómából a napszél által kisdort gázzészecskék alkotnak, a Nappal ellentétes irányban helyezkedik el.

2. A csóva enyhén görbült, és néhányszor tíz mikrométer nagyságú porszemcsék alkotják.

3. A nagyobb porszemcsékből álló csóva erősen görbült a mágneses tér hatására.

4. „Ellencsóva” – porréteg, mely az üstökőspálya síkjában terül el, és ha a Föld az üstökös pályasíkjának közelében helyezkedik el, ennek a rétegnek az élére látunk, így az egy finom sugár formájában láthatóvá válik.

Az üstökös visszatérései a Naphoz nem múlnak el nyomtalanul. A mag minden alkalommal elveszíti tömegének $1/1000$ -ét. Ezért például a Halley-üstökös becsült élettartama közel 20 000 év. De az üstökösök hamarabb is megsemmisülhetnek, mivel rombolják őket a felmelegedés következtében jelentkező belső feszültségek, valamint a Nap és a Jupiter árapály hatásai. Elpusztulhatnak az üstökösök bolygókkal vagy meteoroidokkal történő ütközések során is. Hivatalosan több mint 30 olyan üstököst tartanak nyilván, amelyek a megfigyelők szeme láttára estek szét alkotóelemeikre. Így járt a Shoemaker-Levy üstökös, amely 1992-ben túlságosan megközelítette a Jupitert. A bolygó árapályereje 22 darabra tépte, amelyek végül, megkerülve a Jupitert, 2 év múlva a bolygó légkörébe csapódtak körülbelül 60 km/s sebességgel (3.44. ábra). A becsapódások nyomai hónapokig megfigyelhetőek voltak, sötét, örvénylő képződmények formájában, amelyek méretét a Földéhez hasonlónak tartják.

Fennáll a valószínűsége annak, hogy a Föld is ütközhet üstökös magokkal.

Az ukrán **Olena Kazimircsak-Polonszka** (1902–1992) csillagász, az égi mechanika tudósa, a fizika-matematikai tudományok doktora legfőbb tudományos munkáit az üstökösök mozgásának szentelte. Különös figyelmet fordított a rövid periódusú üstökösökre: megállapította, hogy az ilyen üstökösök mozgásának jellemző törvényszerűsége a nagy bolygók megközelítése (főleg a Jupiteré). 35 rövid periódusú üstökös mozgását tanulmányozta különböző



3.44. ábra.

A Shoemaker-Levy üstökös darabjainak a Jupiterre hullása



Olena Kazimircsak-Polonszka

bolygócsaládokból, és megállapította az üstökösök pályáinak változási típusait. Megalapozta a rövid periódusú üstökösök nagybolygók általi befogásával kapcsolatos elméletet, kiszámította az üstökösök pályájának általános törvényszerűségeit. 1978-ban a krími asztrofizikai obszervatóriumban felfedezett 2006. számú kisbolygó a Polonszka nevet kapta. A Szaturnusz és az Uránusz között száguld a világűrben a Kazimircsak-Polonszka aszteroida-öv.

5. Meteorok és meteorrajok. A Nap körüli mozgásuk folyamán az üstökösök egyszer széthullnak. Keringési pályájuk mentén hosszú törmeléksáv terül el, amely a Föld pályáját is keresztezheti. A Föld légkörébe belépő, hatalmas kozmikus sebességgel rendelkező részecskék elégnék, fénylő nyomot hagyva maguk után (a népnyelv szerint: hullócsillag). Ezt nevezzük **meteorjelenségnek** vagy röviden **meteornak** (3.45. ábra). Magát a részecskét, amíg a világűrben tartózkodik, **meteoroidnak** nevezzük, ha elérte a földfelszín, **meteoritnak**.

A meteorjelenség előidézésére képes meteoroidok mérete a néhány mikrométeres porszemcséktől (ezek csak teleszkóppal megfigyelhetők) a több centiméteres testekig (nagyon fényes meteorjelenséget hoznak létre) terjed. Egyes becslések szerint a Föld atmoszférájába évente belépő meteoranyag tömege 50 ezer tonna.

A Földdel találkozó meteoroidok közel 1%-a a csillagközi térből érkezik. A meteoroidok 11–72 km/s sebességgel lépnek be a földi atmoszférába, ahol a levegő egyre nagyobb mértékű, gyorsan növekedő ellenállásával, fékező hatásával szembe-sülnek. A meteorit felszíne több ezer fokra hevül, és átalakul izzó gázzá, amely ionizálja a környező levegőmolekulákat. Ennek eredményeként láthatja a földi megfigyelő a fényes meteornyomot.

A meteorit fénylése 120 km magasságnál kezdődik és 60–80 km-rel a Föld felszíne fölött ér véget, mire a test teljesen elpárolog a földi atmoszférában. A meteor teljes repülésének ideje a másodperc tizedrészétől néhány másodpercig tarthat. A meteorjelenség megfigyelési ideje a meteoroid sebességétől függ.

A meteorok anyagának természetét és tulajdonságait vizuális, fotografikus, spektroszkopikus és rádiólokációs módszerek segítségével tanulmányozzák. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a teljes meteoranyag felosztható véletlenszerű (sporadikus) meteorokra és rajmeteorokra.

Azok a meteorok, amelyek az év egy bizonyos időszakában jelennek meg, és túlcátnyian hullanak óránként, meteorzáport vagy csillagesőt hoznak létre. Meteorzápor akkor tapasztalható, ha a Föld keresztezi egy meteorraj keringési pályáját. A meteorrajt alkotó meteorok mindegyike közel párhuzamos vonalak mentén mozog, de mi úgy látjuk, hogy egy pontból indulnak ki. Ezt a pontot **radiánsnak** (kisugárzási pontnak) nevezzük (3.46. ábra).

A meteorrajok elnevezése annak a csillagképnek a latin neve alapján történik, amelyben a radiáns fekszik, például Draconidák, Orionidák. A meteorrajok között megfigyelhetünk olyanokat, amelyek intenzitása évről évre változatlan. Ez azt jelenti, hogy a meteoroidrészecskék a raj keringési pályáján csaknem egyenletesen oszlanak el. A legismertebb ilyen raj a Perseidák, amely minden év augusztusában figyelhető meg.

33 évente egyszer jelentős meteorzápor észlelhető, amelynek radiánsa az Oroszlán csillagképben van – ilyenkor találkozunk a Föld a raj legsűrűbb részével. Ez a Leonidák nevű meteorraj (3.47. ábra), amely október közepén figyelhető meg. A meteorraj keringési pályája gyakorlatilag megegyezik az 1866 I üstökös pályájával. Tehát megállapítható a meteorrajok eredete. A darabokra hulló üstökösből meteorraj keletkezik.



3.45. ábra. Fényes meteor



3.46. ábra. A meteorraj radiánsa



3.47. ábra. A Leonidák meteorraj által létrehozott meteorzápor 2001-ben Japánban. Az ábrán 34, kevesebb, mint 2 perc alatt készült fotóból összeállított kép látható



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mit nevezünk törpebolygónak? Milyen törpebolygókat ismertek?
2. Milyen égitesteket nevezünk apró testeknek?
3. Miért nincs légköre az aszteroidáknak? Milyen a kisbolygók többségének alakja és mérete? Van-e esély arra, hogy a Föld összeütközik egy aszteroidával?
4. Véleményetek szerint mi az oka a Mars és a Jupiter közötti kisbolygó-övezet kialakulásának?
5. Hogyan lehet különbséget tenni a csillagos égbolton egy csillag és aszteroida között?
6. A legnagyobbak közé tartozó melyik meteoritkráter található Ukrajna területén?
7. Miért mutat az üstökösök csóvája a Nappal ellentétes irányba? Mit nevezünk az üstökös magjának és csóvájának? Milyen összefüggés van az üstökösök, meteorok és aszteroidák között?

17. §. A NAPRENDSZER ÉS A VILÁGEGYETEM FELDERÍTÉSE ŪRSZONDÁK SEGÍTSÉGÉVEL

1. A Világegyetem kutatása modern módszerekkel. A közelmúltig a légkörön kívüli csillagászat csak sok tudós-csillagász álma volt. Napjainkra azonban a tudomány fejlett ágazatává vált. Az űrteleszkópok által kapott eredmények, a legkisebb túlzás nélkül, több, a Világegyetemről alkotott elképzelésünket gyökeresen megváltoztatták.

Hatalmas, a világűrrel kapcsolatos információmennyiség található teljes terjedelmében a földi atmoszféra határain túl. Az infravörös és ultraibolya tartomány, valamint a kozmikus eredetű röntgen- és γ -sugárzás megfigyelése lehetetlen a Föld felszínéről. Ahhoz, hogy ezekben a tartományokban tanulmányozzuk a Világegyetemet, a megfigyeléshez használt eszközöket ki kell vinni a nyílt világűrbe.

Egy kozmikus obszervatórium működéséhez különböző szakemberek közös erőfeszítéseire van szükség. Az űrmérnökök készítik fel a teleszkópokat a felbocsátáshoz, pályára állítják őket, felügyelik az összes műszer zavartalan energiaellátásához és hibátlan működését. Mivel a vizsgálandó objektumok több órán át megfigyelhetők, nagyon fontos, hogy a Föld körül keringő eszköz tájolása mindig megfelelő legyen, a teleszkóp tengelye szigorúan a megfigyelt objektumra legyen irányítva.

A csillagászok összegyűjtik a megfigyelésekre benyújtott kérelmeket, kiválasztják közülük a legfontosabbakat, elkészítik a megfigyelés programját, felügyelik az

eredmények megszerzését és megfelelő feldolgozását. Az űrteleszkópok által szolgáltatott adatok adott ideig kizárólag a megfigyelési program szerzői számára elérhetőek. Később átkerülnek a számítógépes hálózatokba, és bármelyik csillagász felhasználhatja őket a kutatásaihoz az internet segítségével.

A világűr kutatásának kezdete óta több tudományos célú küldetést valósítottak meg a világűrben, amelyek jelentős szerepet játszottak a Világegyetemről alkotott elképzeléseink fejlődésében. Tekintsünk át néhányat közülük.

2. Űrteleszkópok és űrobszervatóriumok. 1946-ban **Lyman Spitzer** (1914–1997) amerikai asztrofizikus publikálta *A földön kívüli obszervatórium csillagászati előnyei* (ang. *Astronomical advantages of an extra-terrestrial observatory*) című cikkét. Írásában kiemelte az űrteleszkóp két fő előnyét: 1) a szögfelbontását csak a diffrakció befolyásolja, nem a turbulens áramlatok az atmoszférában; 2) az űrteleszkóp megfigyeléseket végezhet az infravörös, ultraibolya, röntgen- és γ -tartományokban is, amely sugárzások elnyelődnek a földi atmoszféra által.

1959 októberében a földlakók első alkalommal pillanthatták meg a Hold túlsó oldalát.

1962-ben Nagy-Britannia felbocsátotta az Ariel orbitális teleszkópot a Nap megfigyelésére. 1966-ban a NASA indította a világűrbe az OAO-1 (ang. *Orbiting Astronomical Observatory*) csillagászati műholdat. A küldetés sikertelen volt, mivel az akkumulátorok a start után 3 nappal felmondták a szolgálatot. 1968-ban bocsátották fel az OAO-2 műholdat, amely a csillagok és galaxisok ultraibolya sugárzását tanulmányozta 1972-ig, felülmúlva a várható élettartamát.

1967-ben az OSO-3 amerikai napkutató műhold felfedezte a Galaktika γ -sugárzását, és az 1975–1982-es években az európai COS-B műhold megalkotta a Tejútrendszer első γ -sugár térképét. A XX. sz. 70–80-as éveiben több tíz műhold és orbitális űrállomás dolgozott föld körüli pályán, csillagászati kutatásokat végezve különböző színektartományokban.

Az OAO és OSO küldetések megmutatták az orbitális teleszkópokban rejlő lehetőségeket. Ezért a NASA a XX. sz. 70–90-es éveiben megtervezett és megépített 4 nagy űrobszervatóriumot, amelyek mindegyike egy adott tartományban vizsgálja a Világegyetemet.

Az infravörös sugárzás tanulmányozása a csillagászatban azzal vette kezdetét, hogy egy orbitális teleszkóp segítségével pontosan megmérték a Naprendszer bolygónak felszíni és légköri hőmérsékletét.

Így fedezték fel a Mars, a Vénusz és a Jupiter atmoszférájában a szén-dioxid gáz jelenlétét. Az óriásbolygók infravörös megfigyelése lehetőséget adott a légkörük szerkezetének megismerésére, és a holdakon lévő jég felfedezésére.

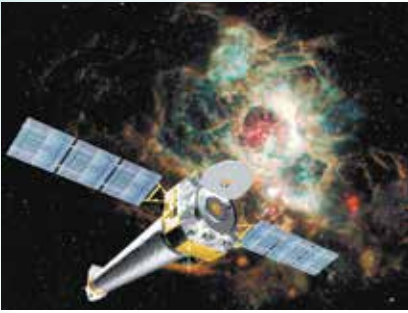
Az infravörös csillagászat szenzációs felfedezésének számít a víz, amelyet nagy mennyiségben mutattak ki a világűrben. A víz megtalálható a gáz- és porfelhőkben, üstökösökben és a kisbolygókban is.

Az első infravörös obszervatóriumot 1983 januárjában állították pályára egy közös amerikai–európai projekt, az IRAS keretein belül. Az IRAS komplexum fő műszere az 57 cm-es tükörátmérőjú teleszkóppreflektor volt.

Mivel a földi atmoszféra az ultraibolya sugárzást jelentősen gyengíti, az érzékelő berendezéseket a Föld műholdjain kell elhelyezni. Az 1999-ben végzett megfigyelések nagyon érdekes tudományos eredményeket hoztak. Kiderült, hogy a Galaktikában elterjedtek a csillagközi gáz nagyon magas (félmillió fokig) hőmérsékletű tömegei, amelyek



3.48. ábra. Az IRAS infravörös obszervatórium



3.49. ábra. A Chandra
obszervatórium

400 kozmikus gamma-forrást fedezett fel, tízszer többet, mint amennyi azelőtt ismeretes volt. Észlelt több mint 2,5 ezer gamma-kitörést – korábban mindössze 300 szerepelt a feljegyzésekben.

A γ -sugárzás forrásai a Nap kitörései, az aktív galaxismagok, kvazárok. A röntgenobszervatóriumok segítségével tanulmányozzák a szupernóvákat, csillagködöket, neutroncsillagokat, a napkoronát és a napkitöréseket.

A Világegyetem vizsgálatát a röntgentartományban végző harmadik nagy űrobszervatóriumot 1999-ben állították pályára. Az orbitális obszervatórium által szolgáltatott információk arról tanúskodnak, hogy a Világegyetemben nem kevesebb, mint 300 millió fekete lyuk létezik. A Chandra röntgenobszervatórium (3.49. ábra) elsőként rögzítette egy olyan csillag pusztulását, amely túl közel került egy fekete lyukhoz. 2004-ben először észlelt olyan nagy teljesítményű röntgenforrásokat, amelyek több száz naptömeeggel megegyező tömegű, új típusú fekete lyukak lehetnek.

3. A Kepler űrtávcső kutatási eredményei. A Kepler orbitális teleszkóp – a NASA űrteleszkópja (3.50. ábra), amely exobolygók után kutat, és Johannes Kepler tiszteletére nevezték el.

A teleszkópot 2009. március 7-én indították a Kennedy Űrközpontból, Floridából. A Kepler missziót 3,5 évre tervezték. A küldetés ideje alatt közel 100 ezer, a Naphoz hasonló csillagot kellett megfigyelnie, amelyek körül keringhetnek exobolygók. A berendezés fedési módszerrel kutat a naprendszeren kívüli bolygók után. (Amikor a bolygó elhalad a csillag korongja előtt, eltakarja a megfigyelő elől fényének egy részét. Kielemezve a csillag fényváltozásait, a csillagászok nem csak megtalálni tudják a bolygókat, hanem következtetni tudnak a méretükre is.) A Kepler közel 1 CsE sugarú pályán kering a Nap körül. Gyakorlatilag követi a Földet a pályáján, hogy az ne zavarja a megfigyelésben.

Az indítás pillanatáig a csillagászok közel 350 exobolygót fedeztek fel, azonban 2011. december 22-re ez a szám megváltozott – 716 exobolygó 584 bolygórendszerben. A többségük a Jupiterhez hasonló gázóriás. Ezekben a bolygókon nem fejlődhetnek ki a földiekhez hasonló élő szervezetek, ezért a tudósokat különösen érdekli, hogy mennyire gyakoriak a földszerű bolygók a csillagok körüli lakható zónán belül, ahol a földihez hasonló élet volna lehetséges. Ellentétben a földi teleszkópokkal, a Kepler kisebb, élet kialakulására alkalmas bolygókat is képes felfedezni.



3.50. ábra.
A Kepler űrteleszkóp

5-10 ezer fényévre található a Tejút központi síkjától. Ez a gáz rendkívül gyorsan felmelegszik a szupernóvák robbanásai következtében.

A második nagy űrobszervatórium a Compton gammaobszervatórium lett, amelyet **Arthur Compton** (1892–1962) Nobel-díjas fizikus tiszteletére nevezték el.

1991. április 5-én állították pályára az Atlantis űrsikló segítségével. Az űrobszervatórium elsőként vizsgálta γ -sugarakban az égbolt képét, valamint a Napot, kvazárokat, pulzárokat, szupernóvákat és fekete lyukakat. Tízéves küldetése alatt az obszervatórium több mint



Edwin Hubble



3.51. ábra. A Hubble űrteleszkóp

2015. január 20-ára 1900 exobolygót sikerült felfedezni 1202 bolygórendszerben, amelyek közül 480-ban egynél több bolygó van. A NASA exobolygó-archívuma 1795 naprendszeren kívüli bolygót ismer el felfedezettként. A Kepler-program szerint napjainkban 4175 égitestet tartunk számon, amelyek potenciális exobolygók, de a státuszuk hivatalos véglegesítéséhez szükséges a földi teleszkópokkal történő ismételt észlelés (a statisztika alapján ez az esetek 90%-ában sikerül).

Edwin Hubble (1889–1953) űrteleszkópjának (3.51. ábra) optikája megközelíti az ideális optikai rendszert. Az atmoszférán túl a teleszkóp 2,4 m átmérőjű tükrre 0,06" felbontást tesz lehetővé.

Az exobolygók teljes száma a galaxisunkban elérheti a több százmilliárdot, ha nem vesszük figyelembe az „árva bolygókat”, amelyekből a Tejútrendszerben vélhetően akár trillió is létezik (rendszerint külön számítják őket, de számítások alapján fedezik fel, hasonlóan a WISE 0855-0714 szubarna törpéhez). Az átlagos, csillag körül keringő bolygók száma valószínűleg közel 100 milliárd, közülük 5-20 milliárd vélhetően „földszerű”. A jelenlegi becslések szerint a naphoz hasonló csillagok 22%-a körül keringenek a Földhöz hasonló bolygók, amelyek a csillaguk lakhatósági zónáján belül helyezkednek el.

4. A Hold felszínének közvetlen tanulmányozása. 1969. július 16-án az amerikai Apollo-11 űrhajó, fedélzetén a háromtagú legénységgel – Neil Armstrong, az űrhajó parancsnoka; Edwin Aldrin, a holdkomp pilótája és Michael Collins, az űrhajó pilótája – elindultak, hogy megvalósítsák az első Holdra szállást.

Armstrong 1969. július 20-án, greenwichi idő szerint 2 h 56 min 20 s-kor lépett a Hold felszínére. A Holdra lépve hangzott el Armstrong híres mondata: „Kis lépés ez az embernek, de hatalmas ugrás az emberiségnek.” A holdkompon kívül elhelyezett kamera közvetítette Armstrong kilépését a Hold felszínére. 15 másodperccel később kilépett Aldrin is, aki azonnal kipróbált több mozgásformát a felszínen. Az űrhajósok összegyűjtötték a szükséges anyagmintákat, geológiai méréseket végeztek, műszereket és egy televíziós kamerát állítottak fel. A Holdon tartózkodó űrhajósok láthatták az égbolton a Földet (3.52. ábra). Az Apollo-program űrhajói a következő három évben 6 sikeres küldetést hajtottak végre a Holdon (12 űrhajós tanulmányozta a leszállás helyét, több mint 360 kg felszíni mintát gyűjtöttek). Holdkőzeteket a szovjet Luna űrszondák is hoztak a Földre.

Az első mechanizmus a Holdon a szovjet Lunohod-1 (3.53. ábra) volt. 1970-ben indították, rádióhullámok segítségével irányították a Földről. Ez volt az első mesterséges objektum, amely a Hold felszínén közlekedett. A tervezett 90 nap helyett



3.52. ábra. A Föld látványa a Hold felszínéről



3.53. ábra. A Lunohod-1



3.54. ábra. A Chang'o-4 kínai űrszonda a Hold felszínén

a Lunohod-1 csaknem egy évig dolgozott, és 10,5 km-t tett meg. Sokáig ismeretlen volt az a hely, ahol utoljára megállt. 2005-ben „került elő” a Lunohod-1 egy, a NASA holdkörüli pályán keringő szondája által készített felvételen.

A XXI. sz. elején fellendültek a Hold tanulmányozását célzó programok. Egy Hold körül keringő űrállomás létrehozásával kapcsolatos terveket jelentett be több ország, köztük az USA, Kína, India, Oroszország, Japán. A Nemzetközi Űrkonzorcium 2010-ig tervezte ennek megvalósítását.

2019. január 3-án a Chang'o-4 (3.54. ábra) kínai űrszonda sima leszállást hajtott végre a Hold túlsó oldalán. Ez az első olyan berendezés, amely a Hold kevésbé ismert, a Földről nem látható oldalára érkezett. A leszállás a Hold déli pólusa közelében, az Aitken-medence Kármán Tódor kráterében történt. A berendezés azonnal elküldte a Földre a leszállóhely képét, majd megkezdte természetes kísérőnk tudományos vizsgálatát. Az űrszonda élő szervezetek fejlődését is tanulmányozni fogja a csökkent gravitációs feltételek mellett (a landoló egysége növényi magokat is vitt magával, amelyek 2019. január 15-én kikeltek; ez óriási eredménynek számít).

A SpaceX vállalat küldetést tervez természetes kísérőnk körül, a NASA az *Exploration Mission 1* kidolgozását végzi. A tervek között szerepel az *Exploration Mission 2* emberes expedíció Holdra küldése, valamint egy holdbázis építésének megkezdése, amely nem csak a Hold meghódítását szolgálja majd, hanem megkönnyíti majd az űrrepüléseket a Mars és a Naprendszer más bolygói felé.

5. A Rosetta-küldetés. A Rosetta űrszonda 2004. március 2-án indult útjára a Guyana Űrközpontból (Kourou, Francia-Guyana) a Csurjumov-Heraszimenko üstökös magja felé. Az üstököst a felfedezői, Klim Csurjumov és Szvitlana Heraszimenko ukrán tudósok tiszteletére nevezték el (3.55. ábra).

A 67P/Csurjumov-Heraszimenko üstökös a rövid periódusú üstökösök közé tartozik, keringési periódusa körülbelül 6 év és 7 hónap. Felfedezése óta már 7 alkalommal tért vissza a Földhöz. Mielőtt az üstökös hetedszer is megjelent a Nap közelében, útnak indult felé a Rosetta űrszonda.



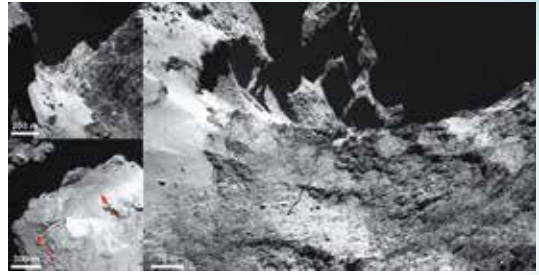
3.55. ábra. Klim Csurjumov és Szvitlana Heraszimenko (1975)

2014 májusában a Rosetta 2 m/s-ra csökkentette sebességét az üstökös magjához viszonyítva, és 25 km-re megközelítette. Az űrszonda műszerei teljes készületségre kapcsoltak, majd megkezdték a mag és a mag körüli területek módszeres tanulmányozását (3.56. ábra).

2014 novemberében került sor a küldetés legösszetettebb és legfontosabb szakaszára – az űrszonda Philae leszállóegységének leválására, majd leszállására az üstökös felszínén az 5 kiválasztott biztonságos terület egyikén. A Philae egy közel 21 kg tömegű, egyedülálló tudományos konténer. 10 különböző



3.56. ábra. A Rosetta űrszonda a Csurjumov-Heraszimenko üstökös mellett



3.57. ábra. Az első felvételek a Csurjumov-Heraszimenko üstököséről

műszerrel van felszerelve, közöttük egy spektrométer az α -sugárzás, a protonok és a röntgensugarak észlelésére az üstökös anyagának tanulmányozása során.

A Philae landolási műveletét a Földtől 500 millió km távolságban hajtotta végre. Végül november 12-én, kijevi idő szerint 18 h 2 perckor, az emberiség történelme során először, 10 év utazás után a világűrben egy ember által készített űreszköz leszállást hajtott végre egy üstökös felszínén.

A küldetése alatt a Rosetta soha nem közelítette meg jobban az üstököst 1,9 km-nél. Az űrszonda végül irányított manőver során az üstökösbe csapódott, közben részletes felvételeket küldve a Földre az égitestről (3.57. ábra). Fontos tudományos következtetéseket vontak le a Philae egység által szolgáltatott adatokból is. Ez a küldetés volt a történelemben az első „találkozás” egy üstökössel.

89

6. A Mars felszínének kutatása. 2012. augusztus 6-án landolt a Marson az amerikai Curiosity marsjáró (3.58. ábra). A marsjáró fedélzetén több műszer is helyet kapott, amelyek segítségével más feladatai mellett elemzi a marsi talajmintákat.

Az expedíció fő célja volt annak tisztázása, hogy léteztek-e valaha a Marson az élet kialakulásához szükséges feltételek.

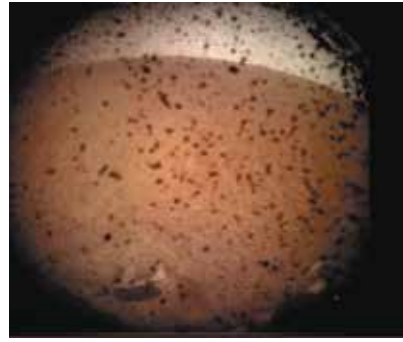
Az amerikai kutatóberendezés hossza kicsit kevesebb, mint 3 m, tömege 900 kg. A marsi laboratórium mozgékonyosságát három pár kerék biztosítja, amelyek mindegyike külön meghajtással rendelkezik.

A marsjáró képes legyőzni 75 cm magas akadályokat, 360°-os fordulatot tenni egy helyben, miközben fényképezi a bolygó felszínét. A bolygót bárki tanulmányozhatja az internet segítségével a következő elérhetőségen: <http://mars.nasa.gov/multimedia/interactives/billionpixel/>.

2018. november 26-án a NASA amerikai űrhajózási hivatal InSight űrszondája sikeres leszállást hajtott végre a Mars felszínén (3.59. ábra). Májusban indult Kaliforniából, és fél év alatt tette meg az 548 millió km távolságot. A küldetés legfontosabb műszerei a szeizmométer és a hővezetést mérő készülék, ami a Mars belsőjéből érkező hőáramlatok erősségét tudja megmérni. A berendezés 19 795 km/h



3.58. ábra. A Curiosity marsjáró és a Mars felszíne



3.59. ábra. Az InSight űrszonda és a Mars fotója

sebességgel lépett be a Mars atmoszférájába, majd elhelyezkedett az egyenlítő közelében fekvő Elysium-síkság egyik kráterében.

Az InSight 24 hónapot tölt majd a Marson, azaz körülbelül egy marsi évet. Küldetése alatt válaszokat ad a kérdésekre a Mars, illetve a belső Naprendszer kőzetbolygónak kialakulásával kapcsolatban.



TUDJÁTOK-E, HOGY...

A hobbi csillagászok is kereshetnek exobolygókat a <http://www.planethunters.org/> weboldalon. Az internet segítségével lehetőség nyílik megtekinteni a Kepler teleszkóp által kapott adatokat, amelyeken elemezhetők a „fénylő pontok” fényességének változásai, és azok alapján kimutathatók a távoli csillagok mellett keringő exobolygók.

Új, különleges ultraibolya, infravörös és optikai teleszkópokat állítanak Föld körüli pályára. Folyamatosan növekszik a teleszkópok főtükreinek átmérője, fejlődik a fényérzékelő rendszerük, növekszik a műszerek fényérzékenysége, új módszerekkel stabilizálják őket a keringési pályán. A légkörön túli csillagászat következő lépése lehet több tervezet megvalósítása, mint például a 8 m vagy nagyobb átmérőjű főtükörrel rendelkező teleszkópok építése, valamint csillagászati obszervatórium létesítése a Holdon, amelyek újabb „építőelemeket” jelentenek majd a Világegyetem kozmológiái képében.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

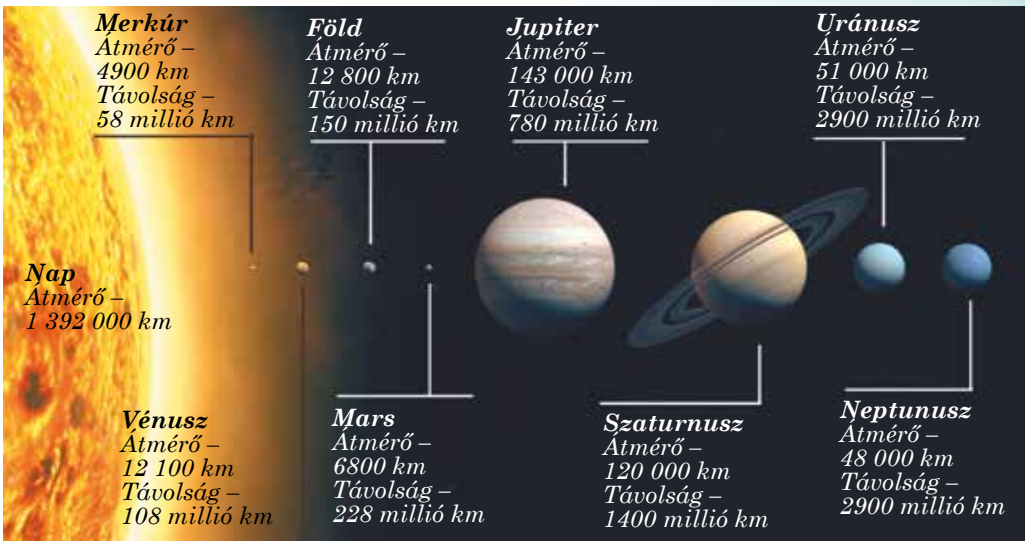
1. Mit értünk a légkörön túli csillagászat kifejezésen?
2. Milyen űrteleszkópokat ismertek?
3. Mit tudtok a Rosetta küldetéséről?
4. Mit tudtok a Curiosity marsjáróról és felfedezéseiről a Marson?
5. Nevezetek meg olyan alapvető internetes csillagászati webhelyeket és portálokat, amelyekről tudomást szerezhettek a világűrrel kapcsolatos legújabb tudományos kutatásokról és felfedezésekről!

18. §. FELTEVÉSEK ÉS ELMÉLETEK A NAPRENDSZER KIALAKULÁSÁRÓL

1. A Naprendszer felépítésének sajátosságai. A Naprendszer felépítésének jellegzetességei, amelyeket a csillagászati kutatások alapján tártak fel, a következők.

1. A Naprendszer össztömegének legnagyobb része (99,87%-a) a Napban összpontosul, amely egy átlagos csillag. A rendszer többi alkotóelemére a Nap tömegének mindössze 1/750 része jut (3.60. ábra). Tehát a Naprendszert a Nap gravitációs tere tartja egyben.

2. A bolygók és aszteroidák keringési pályái megközelítőleg egy síkban helyezkednek el, amely 7°15' szöget zár be a Nap egyenlítőjével. A bolygók keringési pályái majdnem kör alakúak, vagyis az excentricitásuk csak kis mértékben tér el a nullától.

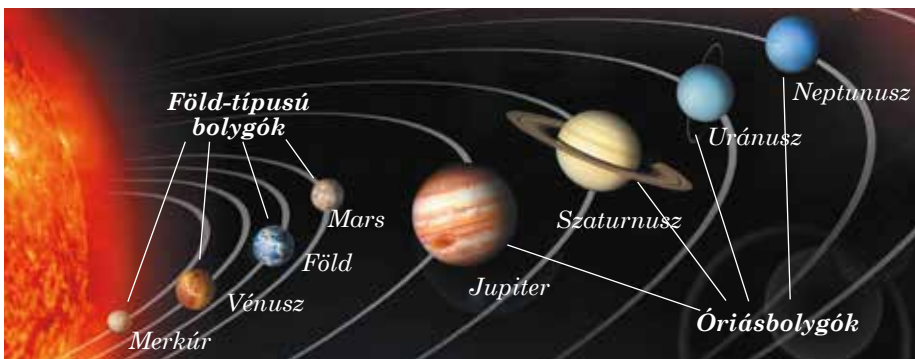


3.60. ábra. A Nap és a bolygók méretének összehasonlítása

3. Minden bolygó és aszteroida egy irányban kering a Nap körül. A Nap tengelyforgási iránya megegyezik a körülötte keringő égitestek keringési irányával. A bolygók a saját tengelyük körül a Nap körüli keringési irányukkal megegyező irányban forognak. Kivételt képeznek a Vénusz és az Uránusz, amelyek tengelyforgása retrográd (azaz a többi bolygóval ellentétes irányban forognak). Az Uránusz forgástengelye ráadásul csaknem a bolygó keringési síkjában helyezkedik el. A többi bolygó forgástengelyének dőlésszöge a keringési pályájuk síkjához viszonyítva nem haladja meg a 60°-ot.

4. A bolygókat két csoportra osztják: Föld-típusú bolygókra és óriásbolygókra (3.61. ábra). A **Föld-típusú bolygók** – szilárd testek, viszonylag kis mérettel és tömeggel, de nagy átlagsűrűséggel rendelkeznek, lassan forognak a tengelyük körül és kevés holdjuk van (vagy nincs egy sem). A Nap közelében helyezkednek el. Az **óriásbolygók** – a Jupiter, a Szaturusz, az Uránusz és a Neptunusz – jelentősen nagyobb tömeggel és méretekkkel rendelkeznek, mint a Föld-típusú bolygók, gyorsan forognak a tengelyük körül, kisebb az átlagsűrűségük és sokkal több holdjuk van. Az óriásbolygók ezenkívül nagyon sűrű légkörrel rendelkeznek, amely főként hidrogénből és héliumból áll.

5. Az impulzusnyomaték (*mvr*) egyenletesen oszlik meg a Nap és a bolygók között. A Naprendszer teljes impulzusnyomatékának 98%-a a tömeg 0,2%-át adó



3.61. ábra. Föld-típusú bolygók és óriásbolygók

bolygók pálya-impulzusmomentuma formájában van jelen. A tömeg 99,8%-át kitevő Nap ugyanakkor igen lassan forog, így csak a teljes impulzusnyomaték 2%-át tartalmazza.

6. A bolygók holdjainak keringési pályája megközelítőleg kör alakú. A legtöbb hold olyan irányban kering a bolygója körül, mint a bolygó a Nap körül. A nagy holdak keringési pályájának síkja kis szöget zár be a bolygójuk egyenlítőjének síkjával.

Ezeket a sajátosságokat figyelembe kell venni, ha meg akarjuk alkotni a Naprendszert elemeit képező testek évmilliárdokkal ezelőtti kialakulásának modelljét (elméletét).

2. A Naprendszer eredete. A Naprendszer eredetével kapcsolatos elmélet megalkotásához ismernünk kell az égitestek korát. A legújabb adatoknak megfelelően a Föld legrégebbi kőzeteinek becsült kora 4,64 milliárd év. A Holdról ideszállított kőzetek kora 2 és 4,5 milliárd évesre tehető. A vas- és kőzetmeteoritok körülbelül 0,5 – 5 milliárd évesek. A Nap és az egyes csillagok kora a csillagok szerkezetének és fejlődésének elmélete alapján határozható meg. A Nap esetében ez 5 milliárd év, ami megegyezik a rendszert alkotó többi égitest korával. Ez utóbbi megállapítás arra enged következtetni, hogy a Nap és a bolygók ugyanazon gáz- és porfelhőből alakultak ki.

A Nap és a bolygók egy gázfelhőből való kialakulásának ötletét elsőként **Immanuel Kant** (1724–1804) terjesztette elő 1755-ben, majd **Pierre-Simon de Laplace** (1749–1827) fejlesztette tovább 1796-ban. A feltevés szerint a Naprendszer egy forgó, forró csillagközi gáz- és porfelhőből alakult ki, amely a gravitáció hatására sűrűsödésnek indult, középpontjában kialakult az ősi Nap, majd a megmaradt anyag egy korongba tömörült, ahol létrejöttek a bolygócsírák, s belőlük a ma ismert bolygók. Vizont ez a feltevés több ellentmondás miatt nem nyert megerősítést. **James Jeans** (1877–1946) 1919-ben előterjesztett egy újabb feltevést, amely szerint a bolygók anyagát a Napból „szakította ki” egy, a közelében elhaladó csillag, s ez a Napból származó anyag esett szét kisebb részekre, amelyekből idővel kialakultak a bolygók.

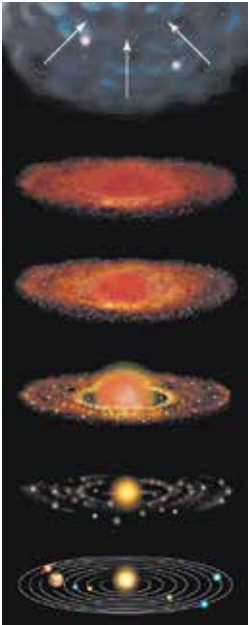
A meteoritok és földi kőzetek fizikai-kémiai vizsgálatai azt mutatták, hogy ezek a testek nem gázsűrűsödésekből, hanem szilárd anyagokból alakultak ki. **Otto Schmidt** (1891–1956), aki bizonyos ideig Kijevben is tanult és dolgozott, 1944-ben kezdte el kidolgozni a bolygók kialakulásával kapcsolatos elméletét, melyben feltételezi, hogy a bolygók a protoplanetáris korong szilárd részecskéiből alakultak ki. Elmélete a mai napig fejlődik.

A Naprendszer kialakulásának és korai fejlődésének több alapvető szakaszát különíthetjük el.

1. Közel 4,6 milliárd évvel ezelőtt a Naprendszer kialakulásának helye közelében egy szupernóva-robbanás következett be. A robbanás következtében keletkező lökéshullám szétterjedt a kozmikus térben, s a hatására a hidrogénből, héliumból és más, különböző összetételű fém- és nemfém-összetételű elemek ritkán előforduló izotópjából álló gáz- és porfelhő sűrűsödni kezdett. Az egyre gyorsabb forgás következtében anyagcsomók kezdtek kialakulni a felhőben, amelyek már magukba foglalták a szupernóva szétszóródott anyagát is.

A gravitáció hatására folytatódott a sűrűsödéseket tartalmazó gáz- és porfelhő összehúzódása, s végül lapos, korong alakot vett fel. Végül a felhő középpontjában kialakult legnagyobb gázsűrűsödésből létrejött a korai Nap.

2. A koronggá lapult szoláris felhőben a finom porszemcsék fokozatosan elkezdtek apró csomókba tömörülni, megkötve a környező gázrészecskéket. A parányi, néhány milliméteres tömörülésekből egyre nagyobb, végül akár kilométe-



3.62. ábra.
A Naprendszer
kialakulása

res nagyságú anyagcsomók – planetezimálok – jöttek létre. Az ütközések során, a sebességüktől és a méretüktől függően összeálltak vagy szétarabolódtak. Néhány tízmillió év alatt több száz darab 100–1000 km-es nagyságrendű bolygócsíra állt össze belőlük, amelyek ezután további ütközésekkel létrehozták a bolygókezdeményeket, majd a mai bolygókat. A felragyogó Nap „szétfújta” a közelben lévő ősbolygók anyagának jelentős részét. A belső területekről a könnyű elemek (hidrogén, hélium) a Naprendszer külső pereme felé sodródtak ki. Ezért a Nap közelében keletkező planetezimálok teljes egészükben sziklás ásványokból és fémvegyületekből alakultak ki, majd belőlük jöttek létre a Föld-típusú belső bolygók.

A középső hideg területeken levő részecskéket jég borította be, a jövődöbéli óriásbolygók magja gyorsan növekedett, befogva a környező gázt. A szoláris felhő leghidegebb külső területein a lecsapódó anyag csaknem teljesen jeges volt. Számtalan jeges planetezimálból és bolygócsírából keletkezett üstökösrag és jeges aszteroida. A Föld-típusú bolygók közel 100 millió év múlva érték el végleges méreteiket.

3. A következő gravitációs összenyomódás megemelte a hőmérsékletet a bolygókezdemények belsejében, egészen a vas olvadáspontjáig. Ennek következtében a nehéz összetevőik elkezdtek kiválni és a bolygók magja felé mozogni, a legkönnyebb elemek pedig a felszínre emelkedtek. Több milliárd éven át zajlott a kéreg – a Föld-típusú bolygók külső rétege – kialakulása. A Föld felmelegedését gázok és vízgőz kiválása kísérte. A vízgőz fokozatosan lecsapódott, létrehozva a tengereket és óceánokat, a gázokból kialakult az atmoszféra. A kezdeti fejlődési szakaszokban a légkör jelentősen eltért a maitól.

A bolygók holdjai, amelyek a bolygók keringési irányával megegyező irányban mozognak, ugyanazon folyamatok eredményeként jöttek létre, mint a bolygók. A bolygók befogták az ellentétes irányban mozgó holdakat.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Magyarázzátok meg röviden Kant, Laplace, Jeans és Schmidt feltevéseit a Nap és a bolygók eredetéről!
2. Nevezzétek meg a Naprendszer eredetének és korai fejlődésének legfontosabb szakaszait!



OLDJUK MEGY EGYÜTT!

1. **feladat.** Láthatóak-e a Holdról ugyanazok a csillagképek, amelyek a Földön figyelhetők meg?

Felelet. A Föld és a Hold közötti távolság elenyészően kicsi a csillagok távolságához viszonyítva, és a csillagos égbolt képe nem változik, ha a megfigyelő elmozdul a Földről a Holdra. A csillagképek külleme a Föld éves keringése során sem változik.

2. **feladat.** A holdsarló domború oldalával jobbra fordulva látható a horizont közelében. A horizont melyik oldala felé néztek?

Felelet. Ebben az esetben nyugat felé néztek. A holdsarló fent említett elhelyezkedése azt mutatja, hogy a Nap, amely a Holdhoz viszonyítva jobbra helyezkedik el, az égbolt nyugati részén már a horizont alá süllyedt.

3. **feladat.** Napnyugta után nyugati irányban látható egy üstökös. A horizonthoz viszonyítva milyen irányba mutat a csóvája?

Felelet. A Nap nyugati irányban, a horizont alatt helyezkedik el. Az üstökös csóvája mindig a Nappal ellentétes irányba mutat. Ezért az üstökös csóvája függőlegesen felfelé irányul, merőlegesen a horizontra (az üstökös kómája lesz közelebb a horizonthoz).

4. **feladat.** A földi irányító rádióhullámok segítségével irányítja a marsjáró mozgását, amely 30 m-es körzethől közvetít neki panorámaképet. Mekkora legnagyobb biztonságos sebességgel közlekedhet közben a marsjáró, ha a Mars távolsága a Földtől 2,5 CsE?

Felelet. A Mars – Föld – Mars rádiójel késése körülbelül 40 perc. Tehát ahhoz, hogy az irányító idejében megállíthassa a marsjárót egy akadály előtt, a sebessége nem haladhatja meg az 1,25 cm/s értéket.



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

3.1. A megfigyelő rendszeresen ugyanabban a szoláris (csillag-) időben rögzíti az égbolt képét, és állandóan a horizonton látja a Napot. A Föld melyik pontján, és milyen szoláris időben valósítható ez meg?

3.2. Mikor van a Föld legközelebb a Naphoz, és mikor van tőle legtávolabb? Mivel magyarázható a Föld naptávolságának változása?

3.3. Miben különböznének az évszakok a most létezőktől, ha a Föld keringési pályája kör alakú lenne? Hogyan módosulnának az évszakok, ha a Föld keringési pályájának excentricitása 0,5-re növekedne?

3.4. Milyen megfigyelések bizonyítják, hogy a Föld a Nap gravitációs erejének köszönhetően mozog?

3.5. Hogyan különböztethető meg a növekvő Hold a fogyó Holdtól?

3.6. Mivel magyarázható az a tény, hogy a Hold mindig egyazon oldalával fordul a Föld felé?

3.7. Hogyan számítható ki az az időköz, amely alatt a Hold a Földre zuhanna, ha hirtelen megszűnne a Föld körüli keringése?

3.8. Miért tűnik kisebbnek a hamuszürke fényvel megvilágított Hold átmérője a fényes holdsarlóénál?

3.9. Mi a közös a Naprendszer bolygóiban? Nevezzék meg a Föld-típusú bolygók és az óriásbolygók közös és eltérő tulajdonságait!

3.10. Melyik bolygók rendelkeznek a legelnyújtottabb keringési pályákkal? Melyik bolygó keringési pályája közelíti meg legnagyobb mértékben a körvonalat?

3.11. Mivel magyarázható, hogy a Jupiter lapult a pólusainál, de a szintén gázokból álló Nap vele ellentétben kerek korongnak látszik a Földről nézve?

3.12. A Mars a Földről szembenállás esetén látható a legjobban. Milyenek a Föld láthatósági feltételei ebben az esetben a Marson?

3.13. A Föld a Marshoz viszonyítva, akár a Vénusz a Földhöz viszonyítva, belső bolygónak számít. Mekkora időközök elteltével válik láthatóvá a Föld a Marsról nézve keleti elongációban?

3.14. Mely bolygókon fedeztek fel poláris jégsapkákat?

3.15. Minden bolygó atmoszférájában vannak olyan részecskék, amelyek sebessége eléri a szökési sebességet, így a bolygók veszítenek a légkörükből. Mivel magyarázható mégis a bolygók atmoszférájának létezése?

3.16*. A Vénusz radiometrikus módszerrel meghatározott hőmérséklete nagyon alacsony (-54°C). Hogyan egyeztethető ez össze a bolygó felszínén és a légkör alsó részében uralkodó magas hőmérséklettel?

3.17*. Mivel magyarázható, hogy a Jupiternél lassabb tengelyforgási idővel rendelkező Szaturnusz lapultabb a pólusainál, mint a Jupiter?

3.18*. Léteznek-e kettős aszteroidák?

3.19*. Léteznek-e csóva nélküli üstökösök?

3.20*. Mivel magyarázható, hogy a legtöbb meteor a hajnali órákban figyelhető meg, az esti órákban viszont kevesebb látható?

3.21*. Milyen égitestek figyelhetőek meg kizárólag akkor, amikor áthaladnak a földi atmoszférán?

3.22*. Miért nem feltétlenül szükséges áramvonalas formával rendelkeznie annak az űrhajónak, amely a Föld mesterséges holdjáról repül a Holdra?

3.23*. Válasszátok ki a helyes válaszokat a következő kérdésre: a felsoroltak közül melyik fizikai mennyiségek változnak a Földön mért értékeikhez viszonyítva, miközben az űrhajó leszáll a Hold felszínére? 1) Az űrhajós tömege; 2) az űrhajós súlya; 3) az űrhajósra ható gravitációs erő.

3.24*. Mi tartja keringési pályáján a Föld műholdját?

3.25*. A műholdat az egyik esetben egy délkör mentén bocsátották fel, a másik esetben az egyenlítő mentén, a Föld forgásának irányában. Melyik esetben volt szükség kisebb energiaráfordításra?

**ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!****Ellenőrző kérdések**

1. A Föld melyik részén változatlan az egész év folyamán a nappal hossza?
2. Mikor látható az égbolton egész éjjel a Mars?
3. Látható-e a Vénusz abban az időszakban, amikor legközelebb van a Földhöz?
4. Miért nehezen észrevehető az égbolton a Merkúr annak ellenére, hogy időnként fényesebb a Szíriusznál?
5. Miért szerezhethetünk több információt az űrteleszkópok segítségével, mint a földi teleszkópok által?
6. Ma a Holdat az első negyedben figyeltük meg. Vissza fogja-e verni a Nap fényét a Hold holnap éjfélkor?
7. A Vénusz távolabb helyezkedik el a Naptól, mint a Merkúr. Mivel magyarázható, hogy a felszíni hőmérséklete sokkal magasabb, mint a Merkúron?
8. Milyen bizonyítékait ismerjük annak, hogy a Marson valaha létezett cseppfolyós halmazállapotú víz?
9. Melyek az óriásbolygók jellegzetességei?
10. Miért tartják a Jupitert nagyon hasonlónak egy csillaghoz?
11. Mi okozza a héliumesőket a Szaturnuszon?
12. Mivel magyarázható az Ió különleges színezete?
13. Miről tanúskodik a Jupiter holdjain megfigyelhető számos kráter?
14. Nevezzetek meg saját légkörrel rendelkező holdakat!
15. Miben különbözik a meteor a meteorittól?
16. Az üstökös csóvája a Nap felé irányul, vagy eltaszítódik az ellenkező irányba?

95

Amit tudok, és amire képes vagyok

- **Tudok csillagászati feladatokat megoldani**

1. Határozzátok meg, mennyi idő alatt jut el a fény a Naptól a Földig; a Neptunuszig; a Naprendszer határáig! A fény sebességét vegyétek egyenlőnek 300 000 km/s-mal!

2. Az aszteroida Nap körüli keringési periódusa 3 év. Ütközhet-e az aszteroida a Földdel, ha az aphéliumban van; ha 3 CsE távolságra van a Naptól?

3. Azt mondják, léteznek olyan éles látással rendelkező emberek, akik szabad szemmel meg tudják különböztetni a nagy krátereket a Holdon. Ellenőriztétek ezeknek az állításoknak a hitelességét számítások segítségével, figyelembe véve, hogy a legnagyobb kráterek átmérője a Holdon 200 km, a közepes Föld – Hold távolság 380 000 km!

- **Tudom használni a forgatható csillagtérképet**

4. Használhatjuk-e a forgatható csillagtérképünket a Naprendszer más bolygón? Bolygóközi repülések során? Más csillagok körül keringő bolygókon?

- **Tudok csillagászati megfigyeléseket végezni**

5. Binokulár vagy iskolai teleszkóp segítségével megfigyelhetők a Jupiter Galilei-holdjai. Határozzátok meg egy Galilei-hold fogyatkozásának időpontját, amikor eltűnik a Jupiter korongja mögött!

**TESZTFELADATOK**

1. A Földön holdfogyatkozás figyelhető meg. Mit látnak ezen idő alatt a Holdon tartózkodó űrhajósok?

A napkeltét

D holdfogyatkozást

B a Nap delelését

E napnyugtát

C napfogyatkozást

2. A telihold a horizonton van. Melyik napszakban figyelhető meg ez a jelenség Ukrajnában?

- A reggel B napközben C este D éjfélkor E soha

3. A felsorolt készülékek közül melyeket tudják használni az űrhajósok a Hold felszínén?

- A iránytű B teleszkóp C rádió-vevőkészülék
D televízió E barométer

4. A Föld-típusú bolygók melyikének légkörében mutattak ki kénsavat?

- A Merkúr B Vénusz C Föld D Mars

5. Melyik Föld-típusú bolygó rendelkezik legsűrűbb légkörrel?

- A Merkúr B Vénusz C Föld D Mars

6. A Naprendszer bolygói közül melyek forognak a többivel ellentétes irányban?

- A Vénusz, Jupiter C Jupiter, Szaturnusz
B minden óriásbolygó D Uránusz, Vénusz

7. Melyik bolygón tart leghosszabb ideig egy nap?

- A Vénusz B Mars C Jupiter D Uránusz E Föld

8. Miért tűnnek el időnként a Szaturnusz gyűrűi?

- A elpárolognak
B eltűnnek a Szaturnusz mögött
C eltakarják más bolygók
D a gyűrűk síkja egybeesik a megfigyelő látóirányával
E eltakarják a felhők

9. A nagy holdak közül melyik kering a bolygója körül a többivel ellentétes irányban?

- A Europe B Ió C Callisto D Ganymedes E Triton

10. A felsorolt holdak közül melyik rendelkezik metánt tartalmazó sűrű atmoszférával?

- A Phobos B Europe C Titán D Oberon E Triton

11. Melyik holdon fedeztek fel állandóan működő vulkánokat?

- A Hold B Deimos C Ió D Triton E Charon

12. Meteornak nevezzük azt a jelenséget, amelynek során:

- A csillagok hullnak a Földre
B kövek esnek a Földre
C porrészecskék égnek el a légkörben
D villámok figyelhetők meg a légkörben
E por lökődik ki a légkörbe

13. Miből áll az üstökös magja?

- A jégből és porból B vasból C kövekből
D forró gázokból E vízgőzből

14. Mekkora legkisebb sebességgel lépnek be a meteoritok a Föld atmoszférájába?

- A 1 m/s B 1 km/s C 11,2 km/s
D 22,2 km/s E 70 km/s F 100 km/s

4. fejezet

A NAP – A LEGKÖZELEBBI CSILLAG

Csillagunk, amely már 4,59 milliárd éve melegíti sugaraival Földünket, egy a fizika törvényei szerint létező, és saját evolúciós fejlődésének alárendelt, valódi szuperhatalom a Naprendszerben. Ezt a gigantikus méretű termonukleáris kazánt rendszeresen hatalmas robbanások rázzák meg, melyek mindegyike képes lenne szubatomi részecskékre bontani a mi kék földi oázisunkat. 150 millió kilométernyire a Nap felszínétől talán védve érezhetjük magunkat perzselő dűhétől. De valóban így van-e? Ahhoz, hogy legalább viszonylagos biztonságban tudhassuk magunkat, az emberiségnek létfontosságú megismerni a Nap minden titkát.

19. §. A NAP FIZIKAI JELLEMZŐI. A NAP SZERKEZETE ÉS ENERGIAFORRÁSAI

97

1. Általános tudnivalók. A Nap – a Naprendszer központi és legnagyobb égiteste.

A Nap nagy teljesítményű energiaforrás, amely energiáját folyamatosan sugározza az elektromágneses hullámok teljes spektrumában, a röntgensugaraktól a rádióhullámokig. Ez a sugárzás hatással van minden testre a Naprendszerben: felmelegíti őket, befolyásolja a bolygók légkörét, fényt és hőt biztosít, amely nélkülözhetetlen a földi élet számára. A Nap egy Galaktikánk százmilliárd csillaga közül. Részletesen tanulmányozva a Nap fizikai tulajdonságait, megszereshetjük a legfontosabb ismereteket más csillagokról. A Nap korongjának a Földről látható átlagos szögátmérője 32'. A fény 8 perc 20 másodperc alatt éri el a Földet.

A Nap tömege közel 333 000-szer nagyobb a Föld tömegénél, és 750-szerese a többi bolygó együttes tömegének. Átmérője 1 millió 392 ezer km (a Föld átmérőjének 109-szerese). A Föld légkörén kívüli mérések szerint a nap sugaraikhoz viszonyítva merőlegesen elhelyezkedő, 1 m^2 nagyságú területre másodpercenként $1,37 \text{ kW}$ energia érkezik. Mivel ez az érték hosszú időn át gyakorlatilag változatlan, a **napállandó** elnevezést kapta. A Nap sugárzásának legnagyobb része az optikai tartományba esik.

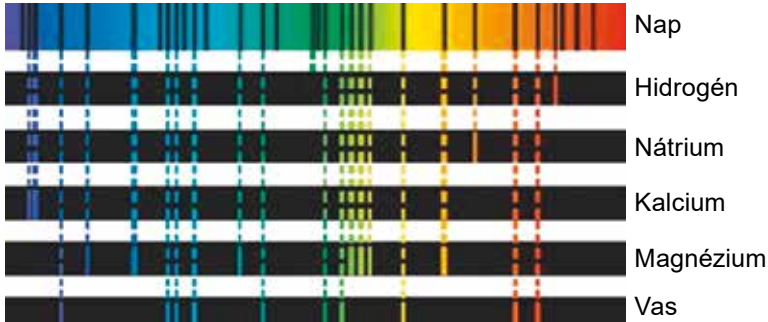
A Nap fényességét, azaz a másodpercenként minden irányban kisugárzott teljes energiamentyiséget a következő módon határozzák meg: a napállandó értékét megszorozzák egy r csillagászati egységnyi sugarú gömb felszínének területével ($1 \text{ CsE} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ m}$): $L_{\odot} = 4\pi r^2 \cdot 1370 \text{ W} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

A Föld felszínére jelentéktelen mennyiségű napenergia jut el, amely megközelítőleg a teljes érték milliárdod részének felével egyenlő.

2. Színkép és kémiai összetétel.

A Napról szerzett szinte minden ismeretünk színképe tanulmányozásából származik. A Nap légkörében található kémiai elemek elnyelnek a fotoszféra által kisugárzott teljes színképből adott frekvenciájú fénysugarakat. Ennek eredményeként a folytonos színképben sötét vonalak jelennek meg. Joseph Fraunhofer elsőként tanulmányozott és rajzolt le 576 sötét vonalat a Nap színképében (4.1. ábra). A tudós helyesen állította, hogy a sötét színképvonalak

forrása a Nap légköre. A színekben elfoglalt helyzetük (vagyis hullámhosszuk) és a vonalak intenzitása alapján megállapítható, milyen kémiai elemek vannak jelen a Nap légkörében.



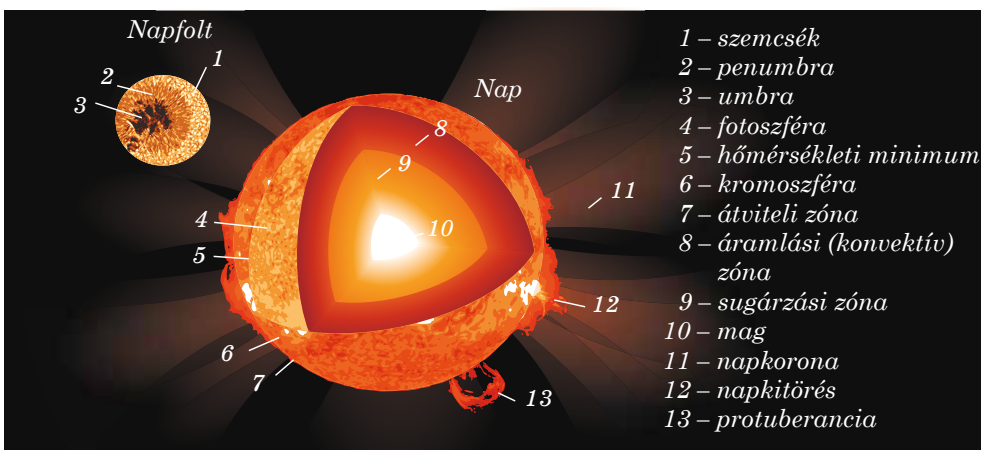
4.1. ábra. A napszínkép Fraunhofer-vonalainak helyzete és a kémiai elemek színekvonalainak összehasonlítása

Napjainkra már 70 kémiai elem több mint 30 ezer színekvonalát fedezték fel a Nap légkörében. A Fraunhofer-vonalak intenzitásuk és vastagságuk szerint nagyon változatosak. A színekvonalak elemzése megmutatta, hogy a Nap főként hidrogénből áll – részömege több mint 70%-a a Nap tömegének, míg közel 25%-ban tartalmaz héliumot és közel 2%-ban más kémiai elemeket.

98

3. Belső szerkezet. Ismerve az adatokat a Nap sugaráról, tömegéről, fényességéről és alkalmazva a fizika törvényeit, meghatározhatjuk a nyomást, sűrűséget, hőmérsékletet és kémiai összetételt különböző távolságokban a Nap magjától (4.2. ábra). A Nap magjához közelítve növekszik, majd eléri legnagyobb értékét a hőmérséklet, nyomás és sűrűség. A kémiai összetétel is különbözik: a magban a legkisebb a hidrogén százalékos aránya.

A nagy nyomást a Nap közepében a felső rétegek hatása okozza. A gravitációs erők igyekeznek összenyomni a Napot. Ezt megakadályozza a forró gáz rugalmassága és a magból eredő sugárzás nyomása. Ezek az erők igyekeznek kitéríteni a Napot. Egyik oldalról a gravitáció, másik oldalról a gázok rugalmassága és a sugárzás által okozott nyomás kiegyensúlyozzák egymást.

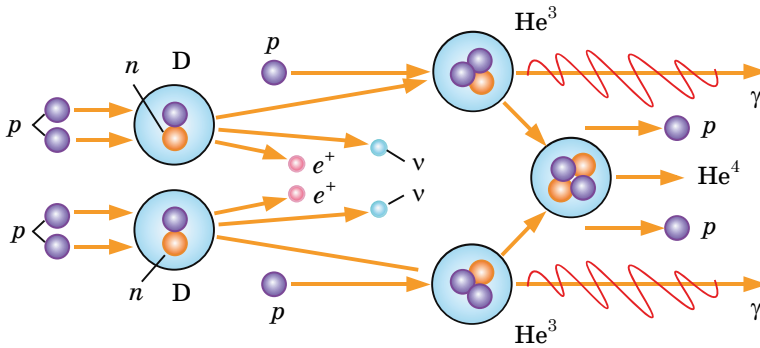


4.2. ábra. A Nap szerkezete

Ez az egyensúly jellemző minden rétegben, a felszíntől a Nap közepéig. A Nap és a csillagok ilyen állapotát **hidrosztatikus egyensúlynak** nevezzük. Ezt az egyszerű elméletet **Arthur Eddington** (1882–1944) terjesztette elő 1924-ben. Az elmélet lehetőséget adott arra, hogy felírják azt az egyenletet, amelynek segítségével modellezik a Nap és más csillagok belső felépítését.

A modellek tartalmazzák a csillagok anyagát különböző mélységben jellemző paraméterek (hőmérséklet, nyomás, sűrűség) összességét. A számítások és a modellek elemzése alapján az következik, hogy a hőmérséklet a Nap középpontjában eléri a 15 millió fokat. A Nap energiája itt, a magban keletkezik.

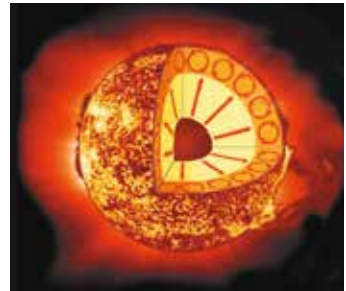
Már tudjuk, hogy a Nap anyagának legnagyobb része hidrogén. A magas hőmérséklet és nyomás hatására a protonok (hidrogén atommagok) több száz kilométeres másodpercenkénti sebességgel mozognak. A Nap belsejében, a középponttól 0,3 sugárnyira olyan feltételek jönnek létre, amelyek kedvezőek a termonukleáris fúziós reakciók kialakulásához, amelyek során a könnyű kémiai elemekből nehezebb atomok keletkeznek (4.3. ábra). A hidrogén atommagjaiból a második legkönnyebb elem – hélium keletkezik.



4.3. ábra. A proton-proton reakció vázlatja: p – proton; n – neutron; D – deutérium atommag; He^3 , He^4 – héliumizotópok atommagjai; e^+ – pozitron; ν – neutrínó; γ -kvantumok

Egy hélium atommag keletkezéséhez 4 hidrogén atommag szükséges. A köztes stádiumokban deutérium és trícium atommagok alakulnak ki. Ezt nevezik proton-proton reakciónak. A folyamat során a reakcióba lépő hidrogén atommagok kis része elvész, azzá a hatalmas energiámmennyiséggé alakulva, amely biztosítja a Nap sugárzását. A központi részt körülvevő rétegekben a keletkező energia a külső részek felé adódik át. A csillag középpontjától 0,3-tól 0,7 sugárnyi távolságig a sugárzási zóna helyezkedik el, ahol az energia γ -kvantumok elnyelése és kibocsátása útján terjed.

A Nap magjában keletkező γ -kvantumok több milliószor nagyobb energiával rendelkeznek, mint a látható fény kvantumai. A γ -kvantumok hullámhossza nagyon kicsi. Miközben az atomok elnyelik, majd újra kisugározzák a kvantumokat, az energiájuk fokozatosan csökken és növekszik a hullámhosszuk. A kvantumok száma a folyamat során gyarapodik. A nagy energiájú γ -kvantumok fokozatosan kisebb energiájú kvantumokká alakulnak: röntgen-, ultraibolya, látható és infravörös sugarak keletkeznek.



4.4. ábra. Az energia a Nap magjától sugárzás útján adódik át. A felszín közelében a legjellemzőbb energiahordozó a konvekció

A Nap sugarának utolsó harmadrészában helyezkedik el az **konvektív (áramlási) zóna**. Az energia itt nem sugárzás, hanem áramlás útján adódik át (keveredés, 4.4. ábra). A konvekció kialakulása a Nap külső rétegeiben ugyanazzal magyarázható, mint az edényben forrásban lévő vízben: a hőforrástól kapott energia sokkal nagyobb annál, mint amely átadódhatna hővezetéssel. Ezért az anyag mozgásba jön, ezáltal továbbítva a hőt. Az áramlási zóna a Nap látható felszínénél – a **fotoszféránál** – ér véget.

4. Energiaforrások. A földi kőzetek, holdkövek és meteoritok elemzése azt mutatja, hogy a Naprendszer közel 4,7 milliárd évvel ezelőtt keletkezett. A nap, a mai adatok szerint, közel 5 milliárd éve létezik. Az utolsó 3 milliárd év folyamán a fényessége gyakorlatilag nem változott. A Nap teljes kisugárzott energiája ez alatt az idő alatt egyenlő $E_{\odot} \approx L_{\odot} t = 3,5 \cdot 10^{43}$ J. Elosztva ezt az értéket a Nap teljes tömegével, megkapjuk, hogy az anyagának minden kilogrammja közel $1,8 \cdot 10^{13}$ J energiát sugárzott ki. A valóságban ez az érték még nagyobb, mert nem vettük számításba az első 2 milliárd évet. Egyetlen kémiai tüzelőanyag sem képes akkora belső energiaértéket biztosítani, amekkorát a Nap anyagának 1 kilogrammja.

A Nap átlagosan körülbelül 4 millió tonna hidrogént veszít másodpercenként. Első pillantásra ez az érték hatalmasnak tűnhet. A Nap teljes tömegéhez viszonyítva azonban jelentéktelen. A számítások alapján a mélyebb rétegekben annyi hidrogén van, amely elegendő a fényesség fenntartására még 5 milliárd évig.

5. A Napból származó neutrínók észlelése. A neutrínó az egyetlen olyan sugárzási típus, amely a Nap mélyéből jut el a földi megfigyelőhöz, és információt hordoz a belső szerkezetéről, valamint az ott zajló folyamatokról. A neutrínók észlelésének korszerű eszközei csak a Napból és Galaktikánk legfiatalabb csillagaiból érkező neutrínó-sugárzás kimutatására biztosítanak lehetőséget.

A neutrínó a proton-proton ciklus egyik terméke. Ezek a részecskék szinte minden kölcsönhatást nélkülözve jutnak át a csillag rétegein, közvetlenül a mag környezetéből szállítva az energiát. Mivel a neutrínók áthatolási képessége nagyon nagy, nehéz őket észlelni. Azonban léteznek speciális neutrínó-obszervatóriumok, amelyek a Napból érkező neutrínó-áramlatokat rögzítik.

A neutrínók észlelésének nagy jelentősége van, mivel ezek a részecskék hordozzák az információt a Nap és a hozzá hasonló csillagok mélyében zajló folyamatokról. A tömeggel, fényességgel és sugárral kapcsolatos adatokból kiindulva meghatározhatjuk a nyomás, sűrűség, hőmérséklet értékeit, valamint a kémiai összetételt különböző távolságokban a Nap középpontjától. Ezek nagyon fontos eredmények a kozmológia számára. A neutrínók számának ingadozása az előző megfigyelések adataival együtt lehetőséget biztosít a fizikusok számára annak megállapítására, hogy milyen a neutrínó becsülhető tömegének felső határértéke. Egyesítve ezt a neutrínók Világegyetemben várható mennyiségével, a fizikusok becslése szerint a neutrínók össztömege körülbelül egyenlő a látható csillagok össztömegével.

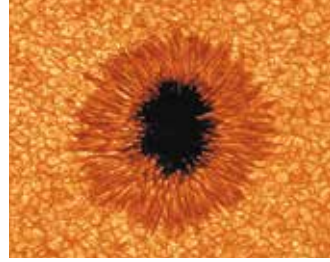


KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mi a napállandó? Hogyan határozták meg?
2. Mit értünk a Nap fényességén? Mivel egyenlő?
3. Milyen kémiai elemek vannak többségben a Nap anyagában?
4. Írjátok le a Nap belső szerkezetét! Milyen zónákra osztható a Nap belső része? Milyen folyamatok zajlanak a zónák mindegyikében?
5. Milyen energiaforrásnak köszönhetően sugároz a Nap? Milyen változásokon megy át közben az anyaga?
6. Milyen erők egyenlősége biztosítja a Nap egyensúlyát izzó plazmagömbként?
7. Hogyan történik az energia továbbítása a Nap magjától a felszíni rétegei felé?

20. §. A NAP LÉGKÖRÉNEK SZERKEZETE

1. Fotoszféra. A napkorong látszólag élesen határolt. Ez azért van, mert a Nap szinte teljes látható sugárzása egy nagyon vékony rétegből – a **fotoszférából** származik. A felső légköri rétegek gyenge sugárzását teljes napfogyatkozás esetén figyelhetjük meg, amikor a Hold korongja teljesen eltakarja a fotoszférát, és láthatóvá válik a kromoszféra és a napkorona. A fotoszféra, kromoszféra és a napkorona alkotják a Nap légkörét (4.2. ábra).

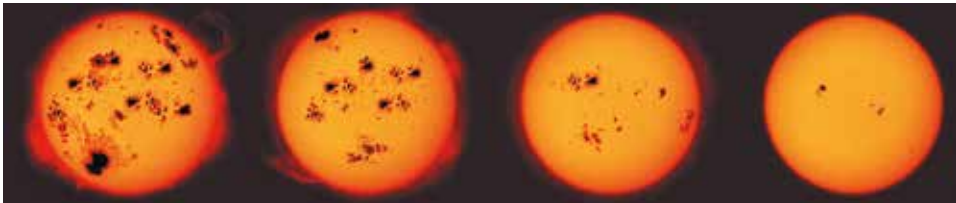


4.5. ábra. Napfolt és fotoszféra granuláció

A fotoszféra vastagsága nem haladja meg a 300 km-t. A legfeltűnőbb objektumok a Napon azok a sötét foltok, amelyek közül egy nagytábla látható a 4.5. ábrán. A foltok átmérője néha eléri a 200 ezer km-t. Az egészen kicsi foltokat **pórusoknak** nevezik. A fotoszféra fényes, keskeny és kevésbé fényes közzel elválasztott foltok összességére emlékeztet – ezeket **szemcséknek (granuláknak)** nevezik. A szemcsék mérete átlagosan közel 700 km. A szemcsék által alkotott kép állandóan változik (akár 5–10 perc alatt képek megjelennek és eltűnnek). A plazma a szemcsékben felfelé áramlik, a szemcsék közötti térrészekben lefelé. Ezért a szemcsék és a sötét részek hőmérsékletének különbsége elérheti a 600 K fokot. A szemcsék állandó keletkezésének és eltűnésének folyamatát **granulációnak** nevezzük.

A **napfoltok** által alkotott kép lassúbb, de szintén állandó változásban van: a foltok megjelennek, növekednek és eltűnnek (4.6. ábra). A napfoltok élettartama egyenlő a Nap 2–3 tengelyfordulatának idejével. A foltok 2–2,5 ezer fokkal hűvösebbek a fotoszféránál, ezért a fényes napkorong hátterén sötétnek tűnnek.

101



4.6. ábra. A napfoltok méretének és alakjának változási üteme

A napfoltok általában csoportokban jelennek meg egy kisebb területen, amely az egyenlítővel párhuzamosan húzódik. A csoportban mérete szerint megkülönböztetünk két foltípust: vezető (nyugati) foltot, amely az első a Nap forgási irányában, és a követő foltot. A napfoltok állandó megfigyelései azt mutatják, hogy a Nap a bolygók forgásirányában forog, és az egyenlítőjének síkja az ekliptikával $7^{\circ}15'$ szöglet zár be.

Azt is megállapították, hogy a Nap forgásának szögsebessége csökken az egyenlítőtől a pólusokig. A Nap tengelyforgásának periódusa 25 nap az egyenlítő térségében, és 30 nap a pólusoknál. A napfoltok többéves megfigyelései azt mutatják, hogy a napfoltok száma ciklikusan változik. Időnként csak néhány keletkezik, míg vannak időszakok, amikor több tíz nagy folt jön létre egyidejűleg. Egy ilyen ciklus átlagosan 11 évig tart.

A napfoltokon kívül a fotoszférában megfigyelhetőek **napfáklyák** – fénylő képződmények, amelyek fehér fényben láthatóak többnyire a napkorong szélénél. Összetett szálas szerkezettel rendelkeznek, hőmérsékletük néhány száz fokkal magasabb a fotoszféra hőmérsékleténél.

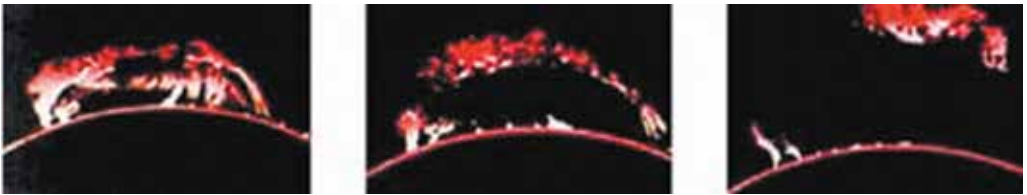
A napfoltok és napfáklyák keletkezése a Nap mágneses terével van összefüggésben. A kutatások eredményei azt mutatják, hogy a Nap mágneses terének indukciója kétszer nagyobb, mint a Föld felszínén, viszont a napfoltok megjelenésének helyén több ezerszeresére növekszik, elérve a 0,5 T értéket. Ez a konvekció gyengüléséhez vezet, így a hőmérséklet a napfolt középső részén csökken.

2. A fotoszféra hőmérséklete. A Nap folytonos színekében a legnagyobb energiájú sugárzás a $\lambda_{\max} = 470$ nm hullámhossznak felel meg. Így a Wien-féle eltolódási törvény szerint meghatározható hőmérséklet: $T = \frac{0,0029}{\lambda_{\max}}$, innen $T = 6170$ K.

3. A légkör külső rétegei: kromoszféra és napkorona. A fotoszféra felett helyezkedik el a Nap **kromoszférája**. Teljes kiterjedése 10–15 ezer km. A kromoszféra felső rétegei felé haladva a hőmérséklet 4500 K-tól több tízezerig emelkedik. A kromoszféra sugárzása néhány százszor gyengébb a fotoszféra sugárzásánál, ezért a megfigyeléséhez speciális módszereket alkalmaznak, amelyek segítségével kimutatható a gyenge sugárzás. A kromoszféra szerkezetére az egyenetlen anyageloszlás jellemző, és megjelenése leginkább hosszúkás nyelveket vagy fogazatot idéz – ezek a **szpikulák**, amelyek hossza közel 10 ezer km, s leginkább lángoló fűre emlékeztetnek. A szpikulák a kromoszféra alsó rétegéből lökődnek ki 30 km/s sebességgel, élettartamuk mindössze néhány perc. Egyidejűleg akár 250 ezer túske is megfigyelhető a Nap felszínén.

A napkorong szélein jól láthatóak a **protuberanciák**¹ – az árkádokra emlékeztető gigantikus gázhidak, amelyek látszólag a kromoszférára támaszkodnak. A protuberanciák méretének és alakjának változása (4.7. ábra) szoros összefüggésben van a Nap mágneses terével. A protuberanciák kiemelkednek a napkorona hátteréből, mivel nagyobb a sűrűségük és a hőmérsékletük 10^4 K. Az aktív protuberanciák anyagának áramlási sebessége elérheti a 200 km/s értéket, a magasságuk akár 40-szerese is lehet a Föld sugarának.

102



4.7. ábra. Néhány órán át megfigyelt protuberancia változásai

A kromoszférában nagy energiájú és gyors folyamatok is megfigyelhetők, mint amilyenek a **napkitörések** (4.8. ábra). Ezek a kromoszféra hirtelen kifényesedései, amelyek élettartama néhány perctől akár 3 óráig terjedhet. A napkitörések leggyakrabban a napfoltcsoportok felett keletkeznek, és 100 000 km/s sebességű gázkilökődés jellemzi őket.

Napkorona – a Nap legkisebb sűrűségű és legforróbb rétege, amelynek kiterjedése elérheti a Nap sugarának több százszorosát, és a benne levő plazma hőmérséklete az 1 millió fokot (4.9. ábra).

A napkorona fényessége milliószor kisebb a fotoszféra fényességénél. Ennek okán kizárólag teljes napfogyatkozás során vagy speciális teleszkópokkal – koronagráfokkal figyelhető meg. A napkorona kis sűrűségét és magas hőmérsékletét

¹ A protuberanciát *filamentumnak* hívjuk, ha a képződményt az elnyelési hullámhosszokon vizsgáljuk (*a ford. megjegyzése*).



4.8. ábra. A kromoszféra kitörése a Napon



4.9. ábra. A napkorona teljes napfogyatkozás idején

igazolják a színeképelemzési vizsgálatok, valamint a korona rádió- és röntgensugárzása.

A napkorona magas hőmérsékleti értékeit a fotoszférából induló, nagy energiával rendelkező anyag áramlatainak köszönheti. Azokon a területeken, ahol a napkorona anyagának sűrűsége gyorsan csökken, a hanghullámokéval megegyező frekvenciájú hullámok lökéshullámokká alakulnak. Ezek a hullámok gyorsan csillapulnak, mechanikai energiájuk hővé alakul. A magas hőmérséklet következtében a napkorona sűrűsége kis mértékben csökken, így a Nap légkörének külső rétegei elérik a Föld keringési pályáját.

4. Mágneses terek és aktív képződmények. A Nap tömege, sugara, az általa kisugárzott energia gyakorlatilag állandó, de a légkör minden egyes szintjén megfigyelhetők szerkezeti képződmények, amelyek fizikai paraméterei időben változóak.

A Nap légkörében periodikusan megfigyelhető, időben változó folyamatok összességét a *Nap aktivitásának* nevezzük.

A Nap aktivitása a fotoszférában megfigyelhető napfoltok és napfáklyák, a protuberanciák, napkitörések megjelenésében, valamint a légkör és a napkorona anyagkilökődéseiben nyilvánul meg. Azokat a helyeket, ahol ezek a képződmények létrejönnek, **aktív területeknek** nevezzük (4.10. ábra). Minden aktív képződmény összefüggésben van a többivel a mágneses tér által, és állandó változásban van a Nap aktív területein. Az aktivitás központjai bizonyos mélységben keletkezve a fotoszféra alatt, hosszan kiterjednek messze a napkoronába.

A XIX. sz. közepén **Rudolf Wolf** (1817–1893) svájci csillagász azt javasolta, hogy jellemezzék a Nap aktivitását a napfoltok viszonylagos számával (később elnevezték őket Wolf-számoknak): $W = 10g + f$, ahol g – a napfoltcsoportok száma; f – a Nap korongján az adott pillanatban egyidejűleg megfigyelhető napfoltok összessége.

A nap aktivitását jellemzik még a napfoltok összterületével, a centiméteres hullámhosszúságú rádiósugárzás intenzitásával. A 11 éves ciklus kezdetén, a W minimum után, a napfoltok az egyenlítőtől viszonylag távol, a 30° szélességnél jönnek létre. A ciklus folyamán a napfoltok zónája közelebb helyeződik az egyenlítőhöz, a 15° szélességig W maximális esetén, és 8° szélességig a következő minimumnál. Ezután a 30° szélességnél az új ciklus napfoltjai kezdenek kialakulni. Ezek a törvényszerűségek mindenhol érvényesek az aktív területekre.



4.10. ábra. A Nap röntgentartományban készített képe. A legfényesebb területek – a Nap aktivitásának megnyilvánulásai

Nem csak a napfoltok megjelenésében, de általában véve a Nap aktivitásában is megfigyelhető a 11 éves ciklus (a ciklusok hossza valójában 7,5 évtől 16 évig ingadozik).



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Milyen rétegekből áll a Nap légköre?
2. Mit nevezünk a Nap fotoszférájának?
3. Milyen képződmények jellemzőek a Nap fotoszférájára?
4. Miért látjuk a fotoszféránál sötétebbnek a napfoltokat?
5. Mit nevezünk granulációnak?
6. Mit nevezünk kromoszférának és napkoronának?
7. Milyen jelenségek figyelhetők meg a Nap kromoszférájában és a napkoronában?

21. §. A NAP AKTIVITÁSÁNAK MEGNYILVÁNULÁSAI ÉS HATÁSUK A FÖLDRE

1. A napsugárzás intenzitása a látható tartományon túl. A Nap elektromágneses sugárzása, amelynek legnagyobb része a színekép látható tartományába esik, nem halad át teljes terjedelmében a földi légkörön. Atmoszféránk csak a látható fény és részben az ultraibolya, valamint az infravörös sugarak, továbbá a rádióhullámok viszonylag keskeny tartománya számára „átlátszó”.

104

Az ultraibolya és röntgentartományban a napsugárzás energiája jelentősen kisebb – több százézerszer az optikai tartományba sorolható sugárzáshoz viszonyítva. Ám ameddig a látható tartományban a Nap állandó fényerejű csillagnak tekinthető, a színekép rövidhullámú tartományába eső sugárzás erőssége csillagunk aktivitásától függ, többször növekszik vagy csökken a 11 éves ciklus során. A rövidhullámú sugárzás erőssége ugrásszerűen növekszik a napkitörések következtében. A kromoszféra alsó rétegei ultraibolya sugárzást bocsátanak ki, amelynek legnagyobb intenzitása elérheti a 11 éves ciklus során mérhető minimumok kétszeresét. A röntgensugárzás többségében a napkoronából származik.

A röntgen- és ultraibolya sugárzás elnyelődik a Föld légkörének felső rétegeiben. A sugárzás ionizálja az atmoszférát alkotó gázokat. A földi légkör felső, ionizált rétegét **ionoszférának** nevezzük. A rövid rádióhullámok terjedését a földfelszín két távoli pontja között teljességgel az ionoszféra határozza meg. Ha a napkitörések során kibocsátott erős röntgensugárzás eléri az atmoszférát, zavar keletkezik a rövidhullámú rádiókapcsolatban.

A Nap hosszúhullámú ultraibolya sugárzása 30-35 km-nyire képes behatolni a Föld légkörébe. Ott az O₂ oxigénmolekulákat összetevőire bontja. A keletkező oxigénatomok, egyesülve egy oxigénmolekulával új anyagot alkotnak – az **ózon**t, amelynek minden molekulája három oxigénatomból áll.

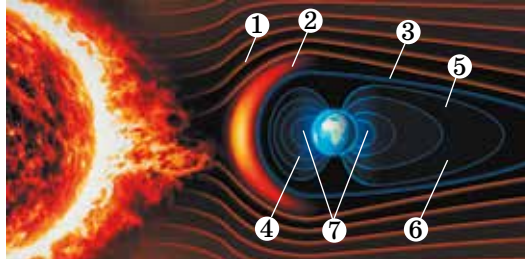
Az ózonréteg csaknem teljesen elnyeli a Naptól érkező ultraibolya sugárzást, melynek csupán csekély hányada éri el a földfelszínt, így lesz lehetősége az embereknek a napozásra. Ha az ózonréteg vastagsága csökken, az ultraibolya sugárzás erőssége 1,5–2-szeresére növekedhet. Ebben az esetben a sugárzás már sokkal aktívabb lesz, és bőrrákot is okozhat.

2. Napszél.

Napszélnek nevezzük azt a kifelé irányuló, a mágneses tér indukciós vonalait mentén terjedő ritka plazmaáramlatot, amely kitölti a bolygóközi teret.

A gázáramlatot protonok, elektronok, valamint α -részecskék és jelentéktelen mennyiségben többszörösen ionizált oxigén-, szilícium-, kén- és vasatomok alkotják. A napszelet alkotó részecskék sebessége a Naptól távolodva növekszik. A Föld közelében a napszél sebessége 450 km/s, sűrűsége néhány részecske köbcéntiméterenként.

A Naptól eredő plazmaáramlat nem tudja legyőzni a Föld mágneses terét, ezért az erővonalak mentén körbeáramlik rajta. Így keletkezik a **magnetoszféra** (4.11. ábra).



4.11. ábra. A Föld magnetoszférájának szerkezete: 1) lökéshullám; 2) perem; 3) magnetopauza; 4) magnetoszféra; 5) a magnetofarok északi lebenye; 6) a magnetofarok déli lebenye; 7) plazmaszféra

A magnetoszféra csepp alakú. A Nap irányából enyhén lapított a napszél nyomásának következtében. A magnetoszféra határa a Nap felé fordul, és átlagosan 10–12 földugárnyi távolságban helyezkedik el. Az ellentétes (éjszakai) oldalon a magnetoszféra az üstökös csóvájához hasonlóan nyújtott, és közel 6000 földugárnyi a hossza. A mágneses burok alakja a napszél részecskéinek sebességétől és sűrűségétől függően változik.

105

3. Nap – Föld kölcsönhatások. A Nap aktivitása főként a Föld külső burkaira van hatással – a magnetoszférára és az ionoszférára. A nagy energiájú napkitörések alkalmával a részecskék akár 100 000 km/s sebességre is felgyorsulhatnak, így a Naptól eredő kozmikus sugárzás jön létre. Hatásukra NO nitrogén-oxid keletkezik, amely, kölcsönhatásba lépve az ózonnal, aktívan károsítja az ózonréteget – a folyamat leírható a következő reakcióegyenlettel: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3 + \text{O}_2$. Nagy erejű napkitörések után az ózon mennyiségének csökkenése figyelhető meg a sztratoszférában a Föld pólusai felett.

Az űreszközökre telepített koronagrafok segítségével hatalmas anyagkidobódásokat észlelünk a Nap koronájából. A napkoronából kilökődő plazmaadag a mágneses tér összegabalyodott erővonalaiából keletkező, a Naptól elszakadó, zárt mágneses hurkot foglal magában, ezt **koronális anyagkidobódásnak** (4.12. ábra) nevezik.

A plazmafelhővel történő ütközés erősen gerjesztett állapotba hozza a magnetoszférát. A koronális anyagkidobódás hatására erős mágneses viharok keletkeznek, illetve felmelegszik és felgyorsul a plazma a magnetoszféra belsejében. Közben a gyors protonok és elektronok 100–200 km magasságban ütköznek a levegő molekuláival, ionizálják őket és kiváltják a fénylésüket. A folyamat közben a levegő adott frekvencián fényleni kezd. Az ionizáció következtében, főleg a poláris zónákban, sarki fény alakul ki (4.13. ábra). Erős



4.12. ábra. Koronális anyagkidobódás



4.13. ábra. Sarki fény

geomágneses aktivitás esetén a sarki fény 300–400 km magasságban jelenik meg.

A mágneses viharok idején megváltoznak a Föld felszíne feletti elektromos terek. Ez az elektromos távvezetékek túlterheléséhez (akár néhány száz amperig terjedhet) és károsodásához vezethet, illetve nagy erősségű áramok alakulhatnak ki a gáz- és kőolajvezetékek csöveiben, amely az irányítórendszereik sérülését okozhatja. A mágneses viharok nyomot hagynak az úrhajók elektronikus fedélzeti rendszerein is.

A mágneses viharok nyomásváltozást idéznek elő a troposzférában (a földi atmoszféra

alsó rétegében), és ennek eredményeként ciklonok alakulnak ki.

Elsőként, még 1915-ben, **Olekszandr Csizsevszkij** (1887–1964) hívta fel a figyelmet arra, hogy a Nap hat az élő szervezetekre és az ember egészségére. Kielemezve a történelmi dokumentumokat, a tudós arra a következtetésre jutott, hogy a múltban a hatalmas természeti katasztrófák, szociális „robbanások” és a járványok fellángolásai főleg akkor történtek, amikor a Nap aktivitása maximális volt. Ennek alapján a tudós megkísérelt előre jelezni bizonyos járványokat 35 évre előre. A prognózisai nyolc esetből hétben beigazolódtak.

106

A Napon zajló jelenségek teljes körű megismeréséhez a tudósok folyamatosan megfigyelik csillagunkat. Így alakult meg a **Napfigyelő szolgálat**, amely a világszámos csillagászati obszervatóriumában végez különböző megfigyeléseket, hogy rendszeresen tanulmányozhassák a Nap aktivitásának minden megnyilvánulását.



TUDJÁTOK-E, HOGY...

- Csizsevszkij a heliobiológia egyik megalapítója. Ez egy új tudomány, amely a napfizika és a biológia találkozásából született, és a nap aktivitásának az élő szervezetekre, az ember egészségére és a szociális kataklizmákra gyakorolt hatását tanulmányozza.
- A nap aktivitásának változásaira különösen érzékeny az emberi idegrendszer. Bizonyított tény, hogy a betegek száma ugrásszerűen megnő a megnövekedett aktivitás napjaiban. A Nap aktivitása a Föld mágneses terének változtatásával hat az emberekre. A mágneses vihar csökkenti a szervezet melatoninintermelését, hatalmas mennyiségű kortizol termelődését stimulálja a mellékvesékben, ami stresszt okoz. Ezek a jelenségek előidézhetik a szervezet általános legyengülését, nyugtalanságot, szívritmuszavart, összehúzódhatnak az artériák, emelkedhet a vérnyomás.
- Ha a mágneses vihar hosszabb ideig tart, az a bioritmus felborulásához, neurózis kialakulásához, a hormonháztartás felborulásához vezethet.
- Még a kis viharok is okozhatnak komoly rosszullétet. Az orvosok állításai szerint mágneses viharok idején jelentősen megnövekszik az agyvérzések, infarktusok és hipertóniás krízisek száma. A leggyakoribb reakció a mágneses viharokra a fejfájás, pulzusnövekedés, ájulás, a fizikai aktivitás csökkenése és az álmatlanság.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mit nevezünk a Nap aktivitásának, és mit értünk a ciklikusságán? Hogyan nyilvánul meg a Nap aktivitása légköre különböző rétegeiben?
2. Mit nevezünk napszélnek? Hogyan keletkezik?
3. Mi okozza a sarki fény kialakulását? Miért nem figyelhetünk meg Ukrajna területén sarki fényt?
4. Nevez meg példákat a napenergia felhasználására! Milyen előnyei vannak a napenergiának más energiafajtákkal szemben?
5. Mi a mágneses viharok kialakulásának oka, és milyen következményei lehetnek? Milyen hatással vannak az élő szervezetekre?



2. SZ. GYAKORLATI MUNKA

A Nap vizuális-teleszkópos megfigyelése

A munka célja: megismerni a terepen való tájékozódás csillagászati módszereit a Nap helyzete alapján, elsajátítani a földrajzi koordináták meghatározását; megismerni a Nap látható felszínét, és a leggyakrabban előforduló légköri képződményeket (napfoltok, fáklyamezők, napkitörések); a balesetvédelmi szabályok elsajátítása a Nap teleszkópos megfigyelése során.

Eszközök: Rövid csillagászati kalendárium, Iskolai csillagászati kalendárium, iskolai teleszkóp diafragmával és fényszűrőkkel a Nap megfigyeléséhez; ernyő; spektroszkóp (diffrakciós rácsok); koordináta-rácsok a Nap megfigyeléséhez; óra, ceruza, papír.

Elméleti tudnivalók

FIGYELEM! A Nap megfigyelése közben soha NEM szabad a napkorongra nézni megfelelő védőeszközök nélkül, sem a teleszkópba nézni speciális napszűrő nélkül! Saját készítésű fényszűrők használata tilos! Ha nem áll rendelkezésre a Nap megfigyelésre szolgáló speciális fényszűrő, kizárólag a vetítőernyőn végezhető a megfigyelés.

A Nap képének az ernyőre történő vetítése közben 5 percenként 2–3 percnyi szünetet kell tartani a megfigyelésben, hogy megelőzzük a szemlencse (okulár) lencséinek megrepedését. Hasonlóan kell eljárni a fényszűrőkkel is.

A Nap megfigyeléséhez célszerű diafragmával ellátott objektív fényszűrőt használni, amely sokkal jobban védi a teleszkópot a túlmelegedéstől, és saját maga sem melegszik túl.

Ha van lehetőség sötétített teremben végezni a megfigyelést (sötét függönyökkel rendelkező tanterem), ki kell használni. A megfigyelés kezdete előtt alaposan ki kell szellőztetni, kinyitni az ablakokat 15–20 percre, hogy minimalizáljuk a külső és belső hőmérsékletek közötti különbség miatt jelentkező légáramlatokat.

Idézzétek fel a csillagászati megfigyelések módszereit és sajátosságait, a teleszkóp működési elvét és felépítését, a Nap fizikai tulajdonságait, a terepen való tájékozódás és a földrajzi koordináták meghatározásának csillagászati módszereit a Nap helyzete alapján.

A megfigyelés céljától függően ajánlott különböző nagyításokat használni. A napfelszín általános megfigyelése esetén célszerű azt az okulárt használni, amely 30–40-szeres nagyítást biztosít; a fotoszféra részletes tanulmányozásához a legnagyobb 60–80–120-szoros nagyítás a megfelelő; a színképvizsgálathoz és a Nap fotózásához a teleszkóp főfókuszában nem szükségesek okulárok.

A megfigyelés menete

1. A teleszkóp objektívén állítsátok be a diafragmát az 1/30–1/40 relatív nyílásra! Állítsátok be a 30–40 nagyítású okulárt és az ernyőt!

2. A teleszkópot állítsátok be a Nap irányába! Ennek pontos megvalósítása a legkönnyebb a teleszkóp árnyékának segítségével, mert a helyes pozícióban az árnyék a teleszkóp csövének keresztmetszetéhez hasonlóan kerek és minimális méretű. Vétítsétek a kapott képet az ernyőre, fehér papírra és fókuszáljátok a képet egy 10 cm átmérőjű körbe! A fókuszálást a legegyszerűbb a napkorong széléhez viszonyítva végezni, amelynek ideálisan éles vonalként kell megjelennie.

3. Figyeljétek meg alaposan a napfoltokat, a fáklyamezőket és szerencsés esetben a napkitöréseket!

4. Figyeljétek meg alaposan a napkorong szélének sötétebb színét, amely azt bizonyítja, hogy a Nap anyaga gáz (plazma)!

5. Határozzátok meg a bejárt pályakör irányát! E célból hagyjátok mozdulatlanul a távcsövet, jelöljétek meg ceruzával egy tetszőleges napfolt helyzetének változásait, majd a kijelölt pontokon át húzzatok egyenest!

6. Folyamatosan követve a teleszkóppal a Nap mozgását, ceruzával jelöljétek meg a napfoltcsoportok és különálló napfoltok, fáklyás területek és napkitörések helyzetét! Ügyeljétek arra, hogy a Nap képe végig a 10 cm átmérőjű körben maradjon!

7. Növeljétek a teleszkóp nagyítását a lehető legnagyobbra az adott időjárási viszonyoknak megfelelően (60×–80×)! Az elsötétített teremben láthatóvá válik az ernyőn a Nap granulációja; nagyon szép látványt nyújtanak a napfoltok: az umbra málnaszínű, a penumbra lila, a Nap felszíne halvány rózsaszín. Nyílt terepen végzett megfigyelés esetén a kapott kép homályos és kevésbé kontrasztos lesz.

8. Helyeztéltek az objektívra (vagy az okulárba) a napszűrőt, távolítsátok el az ernyőt, és folytassátok a vizuális megfigyelést közvetlenül az okuláron át!

9. Rajzoljátok be a legnagyobb nagyítás esetén látható fáklyamezők, napfoltok és napfoltcsoportok külső megjelenését, alakját és részletes szerkezetét!

10. Távolítsátok el az okulárt, majd csatlakoztassátok a helyére az iskolai spektroszkópot! Vetítsétek a kapott színeképet fehér papírra! Rajzoljátok be a színekép fő vonalait (a hidrogén, hélium és ionizált kalcium színeképvonalait)! A Nap színeképének iskolai megfigyelése esetén alkalmazhatóak optikai rácsok is, amelyek sokkal kisebb méretekkel és tömeggel rendelkeznek csaknem a spektroszkópokkal megegyező felbontás mellett.

Az eredmények feldolgozása

108 1. Végezzétek el a munka általános elemzését!
2. Állapítsátok meg a Nap egyenlítőjének és forgástengelyének elhelyezkedését!
3. A koordináta-rács segítségével határozzátok meg, mekkora szélességnél helyezkednek el a napfoltok, valamint a hozzávetőleges méretüket.

4. Határozzátok meg a Nap aktivitásának szintjét, meghatározva a Wolf-számot a következő képlet alapján: $W = 10g + f$, ahol g – a napfoltcsoportok száma, f – a napfoltok összlétszáma.

Foglaljátok össze megfelelő formában a megfigyelés eredményeit, valamint tüntessétek fel a jegyzőkönyvben a fáklyamezők, napfoltcsoportok és napfoltok helyzetét!

Ellenőrző kérdések

- Írjátok le a Nap belső szerkezetét!
- Milyen rétegekből áll a Nap légköre?
- Mit nevezünk a Nap fotoszférájának? Milyen képződmények jellemzőek a Nap fotoszférájára?
- Miért sötétebbek a napfoltok a fotoszféránál?
- Mit értünk a granuláció kifejezésen?
- Mit nevezünk a Nap kromoszférajának és koronájának? Milyen jelenségeket figyelhetünk meg a kromoszférában és a napkoronában?
- Milyen halmazállapotban van a Nap anyaga? Hogyan képzelitek ezt el?



OLDJUK MEG EGYÜTT!

1. feladat. A Nap a Földdel megegyező módon, nyugat-keleti irányban kering a saját tengelye körül. Milyennek látja ezt a mozgást a földi megfigyelő?

Felelet. A megfigyelőhöz és a földi tereptárgyakhoz viszonyítva a Nap az óramutató járásával ellentétes irányban, keletről nyugat felé forog a tengelye körül, akár a Föld.

2. feladat. Milyen jelenségek jellemzőek a Földre és a Napra a megnövekedett aktivitás periódusa alatt?

Felelet. A Napra jellemző: hatalmas mennyiségű napfolt (a fotoszférában), napkitörések (a kromoszférában) és protuberanciák (a napkoronában). Erős napszél. A Földre jellemző: gyakrabban keletkező és intenzívebb sarki fény, változások a geomágneses térben (mágneses viharok).



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

4.1. A Napot sárga csillagnak nevezik, de az emberek többsége számára mégis fehérnek tűnik. Hogyan magyarázható meg ez az ellentmondás?

4.2*. Határozzátok meg a nap tömegét Kepler harmadik törvénye segítségével!

4.3*. Mennyivel csökken 1 év alatt a Nap tömege a termonukleáris reakciók következtében?

4.4. Mivel magyarázható a napfoltok középső részének alacsonyabb hőmérséklete?

4.5. Milyen jelenséget neveznek a csillagászok a Nap aktivitásának?

4.6. A Napon zajló folyamatok közül melyek képesek jelentős hatást gyakorolni a Föld légkörére?

4.7. Miért látjuk vörös színűnek a Napot napkeltekor és napnyugtakor?

4.8. Napnyugtakor a Nap fényessége csökken, és szabad szemmel is megfigyelhetővé válnak a napfoltok. Számítsátok ki azoknak a napfoltoknak az átmérőjét, amelyeket optikai készülékek nélkül is láthatunk!

4.9. Hogyan befolyásolja a földi légkör a Naptól eredő sugárzások tovaterjedését bolygónk felszíne felé?

4.10. Mivel magyarázható, hogy a Földön gyakoriak a zavarok a rövidhullámú rádióösszeköttetésben?

4.11. Mi az ózonréteg szerepe a Föld légkörében? Hogyan befolyásolja a Nap aktivitása az ózonréteg vastagságát?

4.12. Mit nevezünk napszélnek? Hogyan keletkezik?

4.13. Mit nevezünk a Föld magnetoszférájának? Milyen hatást gyakorol rá a napszél?

4.14. Milyen fizikai természetű a koronális anyagkidobódás, és milyen következményei lehetnek?

4.15. Mi a sarki fény keletkezésének oka? Miért nem figyelhetünk meg sarki fényt Ukrajna területén?

4.16. Nevezetek meg példákat a napenergia alkalmazására! Milyen előnyei vannak a napenergiának más energiafajtákkal szemben?

4.17. Milyen folyamatok esetén alakulnak ki a Napon részecskeáramlatok és kozmikus sugárzás?

4.18. Mi az oka a mágneses viharok keletkezésének a Földön, és milyen következményeik lehetnek? Hogyan hatnak az élő szervezetekre?

109



ELLENŐRÍZD A KÉSZSÉGEDET!

Ellenőrző kérdések

1. Nevezzétek meg a Nap energiaforrását!
2. Írjátok le a Nap szerkezetét!
3. Jellemezzétek a Nap hőmérsékleti eloszlását!
4. A Napon végbemenő folyamatok közül melyek képesek jelentős hatást gyakorolni a Föld légkörére?

Amit tudok, és amire képes vagyok

● Tudok csillagászati feladatokat megoldani

1. A napkeltekor mért vízszintes szög 120° . Határozzátok meg, mikor kelt fel és nyugodott le a Nap, illetve a nappal hosszát!
2. Határozzátok meg a napkelte és a napnyugta időpontját, valamint a nappal hosszát, ha a napkeltekor mért vízszintes szög 80° !
3. Határozzátok meg, hány órákor kelt fel és nyugodott le a Nap, ha a nappal hossza 12 óra 20 perc volt!

● Tudok csillagászati megfigyeléseket végezni

4. Határozzátok meg a napkorongon látható napfoltok összességét, és rajzoljátok le az elhelyezkedésüket! Ügyeljete arra, hogy a napfoltok gyakran párban je-

lennek meg! Néhány nap múlva ismételjétek meg a megfigyelést, és győződjétek meg a Nap tengelyforgásáról, mivel a napfoltok elmozdultak. A napfoltok száma az eltelt időköz alatt szintén változhat. **Figyelem! A megfigyelések alkalmával tilos szabad szemmel nézni a napkorongra vagy a teleszkópba megfelelő napsűrő nélkül!**



TESZTFELADATOK

1. A napállandó meghatározza:

- A a Nap által egy év alatt kisugárzott energia mennyiségét
- B a Nap által egy másodperc alatt kisugárzott energia mennyiségét
- C a Nap hőmérsékletét
- D a Föld felszínére egységnyi idő alatt érkező energiamennyiséget
- E az energiát, amely a földfelszín 1 m^2 területére érkezik 1 s alatt, ha a nap-sugarak merőlegesen esnek a felületre

2. A Nap fényességének meghatározásához tudni kell:

- A a Nap sugarát
- B a Föld sugarát
- C a Föld – Nap távolságot
- D a Föld felszíni hőmérsékletét
- E a Nap felszíni hőmérsékletét

3. A következő kémiai elemek közül melyek a legelterjedtebbek a Napon?

- A oxigén és vas
- B hidrogén és hélium
- C hidrogén és oxigén
- D nitrogén és oxigén
- E vas és nitrogén

4. Milyen folyamatnak köszönhetően termelődik az energia a Nap magjában?

- A magreakciók
- B gravitációs tömörítés
- C termonukleáris reakció
- D a hidrogén égése
- E meteoriteső

5. A granuláció a fotoszférában azért alakul ki, mert:

- A a napkorona nagyon forró
- B az energia konvekció útján adódik át
- C a napfoltok nagyon hidegek
- D neutrínók sugárzódnak ki
- E a Nap felszínén hullámok vannak

6. A Napot sárga csillagnak nevezik, de az emberek többsége számára mégis fehérnek tűnik. Hogyan magyarázható ez az ellentmondás?

7. Mivel magyarázható a napfoltok középső részének alacsonyabb hőmérséklete?

8. Milyen jelenséget neveznek a csillagászok a Nap aktivitásának?

9. A Napon zajló folyamatok közül melyek képesek jelentős hatást gyakorolni a Föld légkörére?

10. Mi a Nap energiaforrása?

11. Számítsátok ki, mennyi napenergiát képes elnyelni 1 óra alatt délben az házatok teteje!

12. Milyen ökológiailag tiszta energiaforrások használata javasolható azon a településen, ahol az iskolátok található?

5. fejezet

CSILLAGOK. A CSILLAGOK FEJLŐDÉSE

Léteznek egyedülálló és kettős csillagok, csillagcsoportosulások, különböző típusú változó csillagok, nóvák és szupernóvák, szuperóriások és törpecsillagok, különböző méretű, fényességű, hőmérsékletű és sűrűségű csillagok. Vajon ez megnehezíti az eligazodást a fizikai jellemzők útvesztőjében? Ebből a fejezetből megtudhatjátok a választ.

22. §. A CSILLAGOK FŐ JELLEMZŐI

1. Látszólagos fényesség (nagyságrend). A csillagos égbolt megismerésének kezdetén már találkozhattatok az m csillagnagyságrend fogalmával. Tudjátok, hogy az 1. nagyságrendű csillagok 2,5-szer (pontosabban 2,512-szer) nagyobb fényintenzitásúak, mint a 2. látszólagos fényrendű csillagok, amelyek viszont 2,5-szer nagyobb fényáramot hoznak létre a 3. nagyságrendű csillagoknál, és így tovább. Így két egymás utáni fényrend különbségként (jelölése 1^m) a két csillag által létrehozott megvilágítás (E) 2,512-szeres arányát fogadták el. Ezt a számot az egyszerűség kedvéért úgy választották ki, hogy a tízes alapú logaritmus a pontosan egyenlő legyen 0,4-del, és az 5^m fényességkülönbségnek 1 : 100 intenzitásarány felel meg. Képlet formájában ezt az összefüggést elsőként **Norman Pogson** (1829–1891) írta

$$\text{fel: } \frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}.$$

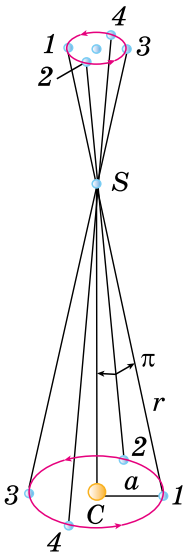
Ha fotométer segítségével megmérjük két csillag fényintenzitásának arányát, Pogson képlete szerint meghatározható a látszólagos fényességek különbsége. A nulla értéket feltételelesen választják ki. Elfogadták, hogy egy átlagos 1^m nagyságrendű csillag (a 20 legfényesebb csillag átlaga) 100-szor több fényt ad, mint egy 6^m fényességű, amely szabad szemmel még éppen észrevehető.

A Hold látszólagos fényessége telihold esetén $-12,7^m$, az első negyedben $-9,0^m$. Pogson képlete alapján meghatározható, hogy a Hold megvilágítása teliholdkor (E_t) 30-szor nagyobb a Hold megvilágításánál az első negyedben (E_1):

$$\frac{E_t}{E_1} = 2,512^{m_1 - m_2} = 2,512^{-9+12,7} = 2,512^{3,7} \cong 30.$$

A Nap látszólagos fényességét **Witold Ceraski** (1849–1925) határozta meg. Az értéke $-26,8^m$. A látszólagos fényességek skálája lehetőséget ad a halvány, szabad szemmel nem látható csillagok fényességének magnitúdóban történő kifejezésére. Napjainkban a 8–10 m tükörmérővel rendelkező legnagyobb teleszkópok és korszerű vetőegységek képesek a 28^m fényességű csillagok észlelésére is.

2. A csillagok távolságának meghatározása. A tudósok már a régi időkben is feltételezték, hogy a csillagok ugyanolyan fizikai természettel rendelkeznek, mint a Nap. A nagy távolságok miatt még a legnagyobb teljesítményű teleszkópok segítségével sem láthatjuk a csillagok korongját. Ahhoz, hogy összehasonlíthassuk a csillagokat egymással és a Nappal, meg kell találni a megfelelő módszert a távolságuk meghatározására.



5.1. ábra. A csillag éves parallaxisa: C – Nap; S – csillag; a – a Föld keringési pályájának féltengelye; π – éves parallaxis.

A legalapvetőbb a **parallaxis-módszer**, mert a Föld sugara sokkal kisebb a csillag távolságához viszonyítva. Már Kopernikusz is tisztában volt vele, hogy a heliocentrikus világmépnek megfelelően, a közeli csillagoknak ellipszist kell leírniuk a távoli csillagok háttéré előtt a Föld Nap körüli éves keringésének következtében. A közeli csillag feltételezett elmozdulása a nagyon távoli csillagokkal a háttérben egy ellipszis mentén megy végbe, periódusa 1 év, és a megfigyelő mozgását tükrözi a Földdel együtt a Nap körül (5.1. ábra). Az ábrán a Föld helyzete az éves keringési pályáján, valamint a csillag látható helyzete az égbolton azonos számokkal van jelölve.

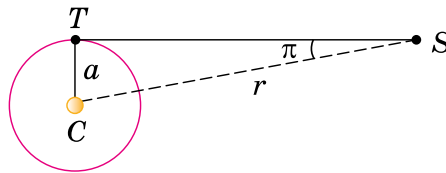
Azonos számokkal leírt kis ellipszist **parallaktikus ellipszisnek** nevezünk. Szögmértékben ennek az ellipszisnek a fél nagytengelye a szöggel egyenlő, amely alatt a csillagról látható a Föld keringési pályájának a csillag irányára merőleges fél nagytengelye. Ezt a szöveget **éves parallaxisnak** (π) nevezük. A csillagok parallaktikus elmozdulása megdönthetetlen bizonyítéka a Föld Nap körüli keringésének.

A csillagok távolságát az éves parallaxisuk alapján határozzák meg, amely a megfigyelő elmozdulásával magyarázható (a Földdel együtt) a Föld keringési pályáján.

Az 5.2. ábrán látható, hogy amennyiben $CT = a$ – a Föld keringési pályája sugarának átlagértéke, $SC = r$ – a Nap és az S csillag közötti távolság, és a π szög – a csillag éves parallaxisa, akkor

$$r = \frac{a}{\sin \pi}$$

Ha a csillagok éves parallaxisát ívmásodpercekben mérjük, és 1 radián egyenlő $206\,265''$, akkor a csillag távolsága meghatározható az $r = \frac{206265''}{\pi''}$ CsE kifejezés segítségével.



5.2. ábra. A csillag éves parallaxisa: C – Nap; S – csillag; T – Föld

A csillagok távolságának meghatározásához a csillagászati egység túl kicsi. Ezért a csillagászatban létezik egy sokkal megfelelőbb távolságegység – a **parszek** (pc), amelynek az elnevezése a „parallaxis” és „szekundum” szavakból ered.

Parszek – az a távolság, amelyből a Föld keringési pályájának fél nagytengelye (Nap – Föld átlagos távolság) merőleges rálátás esetén $1''$ (egy szögmásodperc) szög alatt látszik.

Az utolsó képlet szerint $1 \text{ pc} = 206\,265 \text{ CsE} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ km}$. Innen következik, hogy a csillagok távolsága parszekben meghatározható a következő kifejezéssel:

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ pc.}$$

Csillagászati egységekben határozzák meg a Naprendszerhez tartozó testek távolságát. A Naprendszer határán túli égitestek távolságát parszekben, kiloparszekben ($1 \text{ kpc} = 10^3 \text{ pc}$) vagy megaparszekben ($1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$), illetve fényévben ($1 \text{ fényév} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km} = 63\,240 \text{ CsE} = 0,3067 \text{ pc}$, $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ fényév}$) fejezik ki.

Fényév – az a távolság, amelyet az elektromágneses sugárzás (a fény) tesz meg 1 év alatt légüres térben.

A parallaxis mérésének alsó határa nem haladja meg a $0,005''$ -t, amely 200 pc -nél nagyobb távolságot nem enged meghatározni. A távolabbi objektumok távolságát más, kevésbé pontos módszerekkel határozzák meg.

3. Abszolút fényesség. A csillagok luminozitása. A csillagok látható fénye nem jellemzi a valós sugárzásukat. Két tényező határozza meg: a csillag tényleges sugárzása és távolsága. A Napot például azért látjuk az égbolt legfényesebb csillagának, mert minden csillagnál közelebb van. Tehát ahhoz, hogy összehasonlíthassuk a csillagok tényleges fényét, a fényességüket egy bizonyos azonos távolságban kell meghatározni. Ilyen azonos (vagy alapértelmezett) távolságként a 10 pc -et fogadták el. A csillag **abszolút fényessége** azt mutatja meg, hogy 10 pc távolságból milyen fényesnek látnánk.

Vegyük úgy, hogy r távolságban egy csillag látszólagos fényessége m , és az általa biztosított megvilágítás E . A meghatározás szerint a látszólagos fényesség $r_0 = 10 \text{ pc}$ távolságban egyenlő az m abszolút fényességgel, és E_0 – a csillag által biztosított megvilágítás (vagy sugárzás) 10 pc távolságnyról. Ezek ismeretében Pogson képletének alkalmazásával felírhatjuk: $\frac{E}{E_0} = 2,512^{M-m}$.

113

Fizikai ismereteink szerint az ugyanazon forrásból származó sugárzások által különböző távolságban létrehozott megvilágítások fordítottan arányosak a távolságok négyzetével: $\frac{E}{E_0} = \frac{r_0^2}{r^2}$.

Behelyettesítve ezt a kifejezést az előzőbe, kapjuk: $2,512^{M-m} = \frac{100}{r^2}$. Logaritmust vonva és leegyszerűsítve az egyenlőséget, ezt kapjuk: $M = m + 5 - 5 \lg r$, de figyelembe véve, hogy $r = \frac{1}{\pi''}$ pc, ezt az egyenletet felírhatjuk ebben a formában is: $M = m + 5 + 5 \lg \pi''$.

A kapott kifejezés segítségével meghatározzuk a Nap abszolút fényességét. A Nap – Föld távolság $r = 1 \text{ CsE} = 1 : 206\,265 \text{ pc}$; a Nap látszólagos fényessége $-26,8^m$. Behelyettesítve az értékeket az egyenletbe, megkapjuk, hogy $M_{\odot} = -26,8^m + 5^m + 26,6^m = 4,8^m$. Ez azt jelenti, hogy az alapértelmezett 10 pc távolságból a Nap egy halvány, csaknem 5^m fényrendű csillag.

A csillagok abszolút fényessége -9^m és 19^m között ingadozik, azaz 28^m közöttük a különbség, s ez az általuk létrehozott megvilágításban 160 milliárdszoros eltérést mutat.

Ismerve a csillag abszolút fényességét, kiszámíthatjuk a tényleges sugárzását, vagyis a luminozitását.

A csillag L luminozitása egyenlő a csillag által 1 s alatt kisugárzott teljes energiamennyiséggel.

Egy csillag luminozitását leggyakrabban a Nap luminozitásában fejezik ki, de megadhatjuk wattokban is. Emlékeztetőül, a Nap luminozitása $-3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

Az $M = -9^m$ abszolút fényességű szuperóriás csillagok 330 -szor erősebben sugároznak a Napnál, míg az $M = 19^m$ abszolút fényességű, halvány csillagoknak 480 -szor gyengébb a fénykibocsátása.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mit nevezünk a csillag éves parallaxisának?
2. Mi a parszek és a fényév?
3. Miben különbözik az abszolút fényesség a látszólagos fényességtől?
4. Hogyan határozható meg a csillag abszolút fényessége, ha ismerjük a távolságát vagy az éves parallaxisát?
5. Mit értünk a csillag luminozitásán?
6. Milyen összefüggés van a csillag luminozitása és abszolút fényessége között?
7. Milyen módszerekkel határozható meg a csillag távolsága? Milyen egységekben fejezhetjük ki a távolságot, és milyen összefüggés van köztük?

23. §. A CSILLAGOK MÉRETE ÉS TÖMEGE. A CSILLAGOK OSZTÁLYOZÁSA. ÁTLAGOS CSILLAGOK

1. A csillagok hőmérséklete. Feltételezzük, hogy a csillagok úgy sugároznak, mint az abszolút fekete testek – azok a testek, amelyek minden rájuk eső sugárzást (tekintet nélkül a hullámhosszra) elnyelnek. A Stefan-Boltzmann-törvényt alkal-

mazva meghatározhatjuk a felszín (fotoszféra) T hőmérsékletét: $T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2\sigma}}$, ahol $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – a **Stefan-Boltzmann-állandó**.

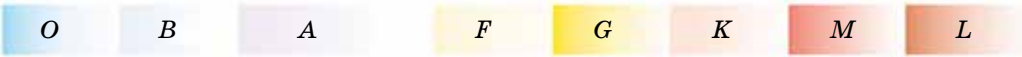
Az így meghatározott hőmérsékletet **effektív hőmérsékletnek** nevezzük. Viszont ez a módszer csak korlátozottan alkalmazható, mert a sugár megfelelően pontos értéke csak néhány száz fényes óriáscsillag esetében áll rendelkezésre.

A csillagok hőmérséklete nagyon eltérő. A hideg vörös csillagok hőmérséklete 3000 K. Napunk fotoszférája 6000 K fokos hőmérsékletével a sárga törpecsillagokhoz sorolható. A forró csillagok hőmérséklete eléri az 50 000 K fokot. A magas hőmérsékletű csillagok sugárzásának nagyobb része a színeké ultraibolya tartományába esik, és így kékes színűnek látjuk őket. Legforróbbak a Wolf-Rayet típusú fiatal csillagok, fotoszférájuk hőmérsékleti tartománya nagyon magas: 60 000 – 100 000 K.

2. A csillagok színképtípusai. Bár a csillagok között sok különbség figyelhető meg, egyes általános tulajdonságok alapján mégis csoportokba sorolhatjuk őket. Már a csillagos égbolttal való ismerkedés kezdetén észrevehető, hogy a csillagok eltérő színnel rendelkeznek. A különbség még szembetűnőbbé válik a színképeik vizsgálata során. A színképvonalak típusa és intenzitása alapján alakult ki a **csillagok színképosztályozása**, amelynek alapjait a XX. sz. 20-as éveiben fogadták el.

A csillagok színkép szerinti osztályozását a Harvard Obszervatóriumban (USA) dolgozták ki, amelyben az egymást követő színképosztályokat latin nagybetűkkel jelölik. A betűkkel jelzett színképosztályokat tovább finomították: mindegyiket 10 alosztályra osztották, 0–9-ig terjedő számozással. Például a Nap a $G2$ színképosztályhoz tartozik.

A színképosztályok sorozata a csillagok légköri (fotoszféra) hőmérsékletének csökkenését írja le az O osztálytól az L osztályig. A színképsorozat egyúttal szín-sorozat is: az O osztályhoz tartozó csillagok kék színűek, a B osztályúak kékesfehérek, az A osztály tagjai fehérek, és így tovább (5.3. ábra).



5.3. ábra. A csillagok színképosztályozása

A legtöbb csillag légkörének kémiai összetétele csaknem azonos. A külső rétegek hidrogén-hélium keverékből állnak, kis mennyiségben tartalmazva nehezebb elemeket. Például a Naphoz hasonlóan más csillagok légköre is 73% hidrogént, 25% héliumot és 2% minden egyéb anyagot tartalmaz.

A színképekben megfigyelhető eltérések főként a hőmérsékleti különbségekkel magyarázhatóak. A hidegebb csillagok fotoszférájában létezhetnek a legegyszerűbb molekulák is. Ezért az *M* és *L* osztályhoz tartozó csillagokra jellemzőek a molekulák, például a CrH széles elnyelési sávjai. Magasabb hőmérsékleten a molekuláris vegyületek szétesnek. Az ilyen színképekből eltűnnek a molekuláris vegyületekre jellemző színképsávok, és megjelennek a semleges fémek színképvonalai. Így tehát a csillagok színképosztályozása egyúttal hőmérsékleti osztályozás is, amelynek alapját a sugárzás intenzitásának és a színképvonalak megjelenésének elemzése képezi. Napjainkra 500 ezer csillag rendelkezik színképosztály szerinti besorolással.

3. A csillagok mérete. A csillag *R* lineáris sugara meghatározható, ha ismeretes a ρ'' szögsugara és *r* távolsága vagy π'' éves parallaxisa: $R = r \sin \rho''$. Ha $r = \frac{205265''}{\pi''}$ CsE, és $\sin \rho'' = \frac{\rho''}{205265''}$, akkor $R = \frac{\rho''}{\pi''}$ CsE. 115

Elfogadott, hogy a csillagok lineáris sugarát a Nap sugarának többszöröseként vagy törtrészeként adják meg. A Nap sugarán keresztül kifejezve $1 \text{ CsE} = 149,6 \times 10^6 \text{ km} = (0,696 \cdot 10^6) \text{ km} = 215$.

Felhasználva ezt az összefüggést, megkapjuk a csillagok lineáris sugarának (a Nap sugarán keresztül kifejezve) kiszámítására szolgáló képletet: $R = 215 \frac{\rho''}{\pi''}$.

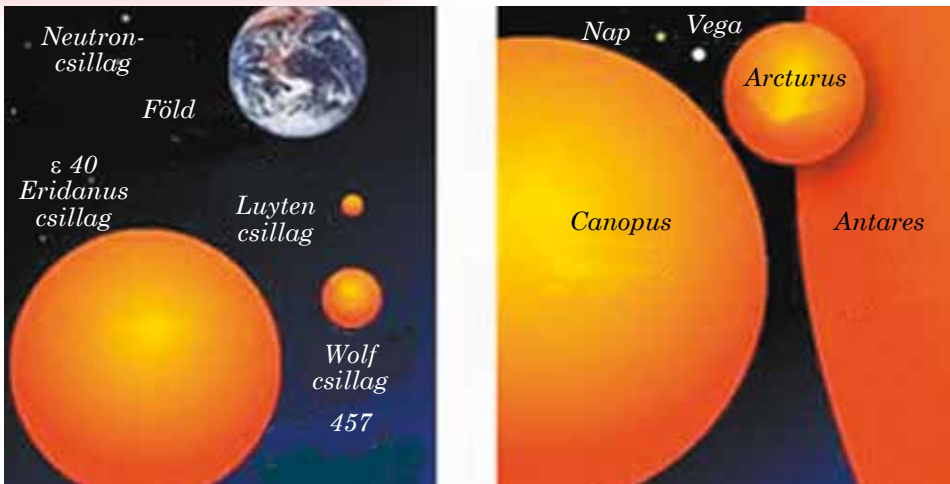
A csillagok annyira távol vannak tőlünk, hogy a szögátmérőjük a legnagyobb teleszkópok felbontásánál is kisebb. A közeli fényes csillagok szögsugarát két egymástól távol elhelyezkedő teleszkóp által létrehozott kép átfedésekor keletkező interferenciakép segítségével határozzák meg. Például optikai interferométerrel, amely két, egyenként 6,6 m átmérőjű gömbtükörből áll, amelyeket 180 m maximális távolságban helyeznek el egymástól, sikerült megmérni az ϵ Orion szögátmérőjét. A kapott érték $0,00072''$, és ha az éves parallaxis $\pi'' = 0,0024''$, akkor

$$R = 215 \frac{0,00036''}{0,0024''} = 32 R_{\odot}.$$

A csillagok sugara kiszámítható a sugárzásuk teljesítménye (luminozitásuk) és hőmérsékletük alapján is. Írjuk fel a teljes sugárzási teljesítmény értékét egy tetszőleges csillag és a Nap esetében: $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, $L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$, ahol *L* és L_{\odot} , *R* és R_{\odot} , *T* és T_{\odot} – megfelelően a csillag és a Nap luminozitása, lineáris sugara és abszolút hőmérséklete.

Elfogadva, hogy $L_{\odot} = 1$, és $R_{\odot} = 1$, kapjuk: $L = R^2 T^4 / T_{\odot}^4$, vagy végeredményben a Nap sugarán keresztül kifejezve: $R = \sqrt{L T_{\odot}^2 / T^2}$.

A csillagok mérete nagyon változatos lehet: léteznek a Jupiter keringési pályájával megegyező átmérőjű csillagok (vörös szuperóriások), a Naprendszer bolygóival összevethető méretű csillagok (fehér törpék) és még néhány kilométer átmérőjű neutroncsillagok is (5.4. ábra).



5.4. ábra. Egyes csillagok mérete összehasonlítva a Föld (balra) és a Nap (jobbra) méreteivel



TUDJÁTOK-E, HOGY...

116



Cecilia
Helena
Payne-
Gaposhkin

Csillagatmoszférák című könyvében az amerikai csillagász, Cecilia Helena Payne-Gaposhkin (1900–1979), a Harvard egyetem első női professzora elsőként foglalkozott a távoli csillagok légkörének fizikai tulajdonságaival, összehasonlítva az általa megfigyelt különböző színképosztályú csillagok színképvonalainak intenzitását a kémiai elemek már ismert, eltérő hőmérséklet és ionizációs szint esetén megállapított intenzitásával. Ő alkotta meg az első hőmérsékleti skálát. Megállapította a csillagok légkörének kémiai összetételét. Felfedezte, hogy a csillagok többségének összetétele azonos, és nem különbözik a nap kémiai összetételétől.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Hogyan határozható meg egy csillag hőmérséklete a Stefan-Boltzmann-törvény és a Wien-féle eltolódási törvény alapján?
2. Milyen szempontok alapján történik a csillagok színképosztályozása?
3. Milyen színképosztályhoz tartozik a csillagok többsége? Milyen színképosztályhoz és alosztályhoz tartozik a Nap?
4. Alapvetően milyen kémiai elemekből állnak a csillagok?
5. Mitől függ a csillagok színe?
6. Mi az oka a csillagok színképében megfigyelhető eltéréseknek?
7. A Naphoz viszonyítva mekkora méretekkkel rendelkezhetnek a csillagok?

24. §. KETTŐS CSILLAGOK. A CSILLAGOK TÖMEGE. MÁS CSILLAGOK BOLYGÓI

1. A kettős csillagok típusai. A megfigyelések azt mutatják, hogy a Világegyetem legtöbb csillaga kettős vagy többszörös rendszerekben található. **Kettőscsillagoknak** nevezzük az egymáshoz közel elhelyezkedő csillagpárokat. Megkülönböztetünk optikai és fizikai kettőscsillagokat. Az **optikai kettőscsillagok** (párok) tagjai valójában elég nagy távolságra helyezkednek el egymástól a térben, és csak véletlenül esnek egy látóirányba. A **fizikai kettőscsillagok** térben közel vannak egymáshoz, és keringést végeznek a közös tömegközéppont körül.

A fizikai kettőscsillagok tagjai gyakran eltérő színűek. Így például az Antares egy nagyon fényes vörös csillag a Skorpió csillagképben, halvány, zöld színű kísérelvel rendelkezik (teleszkópos megfigyelés esetén).

A legrégebben ismert kettőscsillag a Mizar (Ló) és Alcor (Lovas) csillagok alkotta kettős. A Mizar – a Nagy Göncöl (Nagy Medve) csillagképben a szekér rúdjának középső csillaga, látszólagos fényessége $2,2^m$. Tőle $12'$ szögtávolságra látható a halvány Alcor, amelynek látszólagos fényessége $4,0^m$. A Mizar és Alcor csillagok kettőse az optikai kettősök példája. Már iskolai teleszkóppal is jól látható: a Mizar két nagyon közel elhelyezkedő csillagból áll, melyeket szabad szemmel lehetetlen elkülöníteni.

A Mizar A és Mizar B csillagok alkotta kettős komponensei $14''$ távolságra vannak egymástól, fényességük $2,4^m$ és $4,0^m$. A Mizar csillagpár a fizikai kettősök példája.

A megfigyelés módjától függően a fizikai kettőscsillagok között megkülönböztetünk **vizuális kettőscsillagokat** (komponenseiket teleszkóp segítségével vizuálisan láthatjuk és lefotózhatjuk), **fedési kettőscsillagokat** (a komponensek a keringés során kölcsönösen eltakarják egymást), **spektroszkópiai kettőscsillagokat** (csak a spektroszkópiai vizsgálat során, a színképvonalak eltolódásából vagy kettősségéből állapítható meg, hogy kettősök) és **asztrometriai kettőscsillagokat** (a kísérő jelenlétére csak a látszó komponens asztrometriai úton megállapított pályaháborgásai alapján következtethetünk).

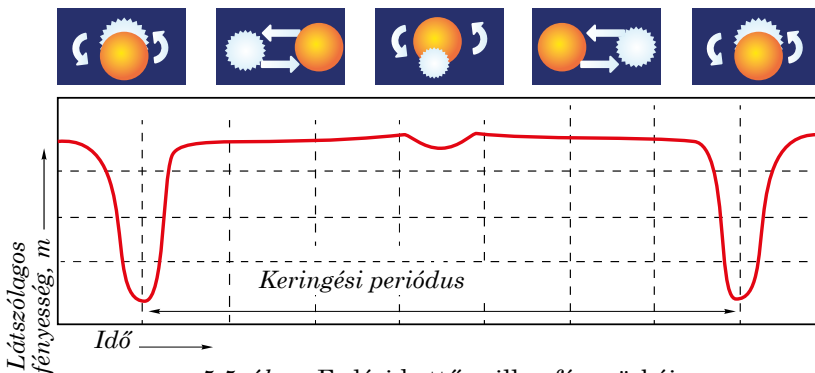
A kettőscsillagok listáját elsőként William Herschel német-angol csillagász állította össze 1803-ban. A felsorolásban néhány száz objektum szerepelt.

A vizuális kettőscsillagok komponenseinek keringési ideje néhány évtől néhány évezredig terjed.

A kettőscsillagok a többes rendszerek külön esetei, amelyek gyakran kettőnél több csillagból állnak. Léteznek hármas, sőt több csillagot tartalmazó rendszerek. A **többes rendszerekhez** sorolják a kevesebb mint 10 komponenssel rendelkező csillagrendszereket. Ha a csillagok száma a rendszerben több mint 10, azt **csillag-halmaznak** nevezzük. A kettős és többes rendszerekbe való tömörülés a csillagok világában széleskörűen elterjedt jelenség.

2. Fedési kettőscsillagok. A fedési kettősök vagy fedési változócsillagok szoros párost alkotnak, néhány órától néhány évig terjedő periódussal keringenek pályájukon, amelynek nagy féltengelyhossza megközelíti a csillagok méretét. Mivel a komponensek közötti szögtávolság nagyon kicsi, vizuálisan nem tudjuk őket elkülöníteni. A kettősségre csak a fényesség periodikus változásaiból tudunk következtetni.

Ha a látóirány a megfigyelés alatt egybeesik a kettőscsillag keringési pályasíkjával, megfigyelhetővé válik a komponensek fogyatkozása, azaz a megfigyelőhöz viszonyítva az egyik komponens eltakarja a másikat. Ezt a jelenséget magyarázza



5.5. ábra. Fedési kettőscsillag fénygörbéje

az 5.5. ábra, ahol a piros vonal a fénygörbe, amely a fedési kettőscsillag látszólagos fényességének változását ábrázolja a komponensek mozgása következtében. A grafikonon ábrázolt fényesség értéke az egyik komponens adott helyzeteinek felel meg a keringési pályán. A fényesség értékeinek különbségét a minimumban és maximumban **amplitúdónak**, a két egymást követő minimum között eltelt időközöt **változási periódusnak** nevezzük.

A fedési kettőscsillagok legfontosabb képviselője a β Persei (Algol), amely 2,867 napos periódussal rendszeresen elsötétül 9,6 órára. A fényességcsökkenés a minimumban $2,3^m$.

3. Spektroszkópiai kettőscsillagok. Azokat a csillagokat, amelyek kettőssége csak spektroszkópiai vizsgálattal állapítható meg, **spektroszkópiai kettőscsillagoknak** nevezzük.

Feltételezzük, hogy a megfigyelő egy kettős rendszer keringési síkjában helyezkedik el, amely egy nagyobb és fényes A csillagból, és egy kisebb és halványabb B csillagból áll. Az A és B komponensek, a rendszer tömegközéppontja körül keringve egyszer közelítenek a megfigyelő felé, máskor távolodnak tőle. A Doppler-effektus következtében az első esetben a színeképvonalak a színekép lila tartománya felé tolódnak el, ellenkező esetben a vörös felé, miközben az eltolódások periódusa megegyezik a keringési periódussal.

A színeképvonalak eltolódása meghatározási módszereinek folyamatos fejlődése adott lehetőséget arra, hogy 1995-ben felfedezzék a Pegazus csillagkép 51. csillagának kísérőjét, amelynek tömege a Jupiter tömegének felével egyenlő. Napjainkra a radiális sebesség módszer segítségével már több mint 300 csillag bolygórendszerét fedezték fel. A más csillagokhoz tartozó bolygókat **exobolygóknak** nevezzük.

118

Exobolygó (a görög $\epsilon\chi\omega$ – túl, kívül kifejezésből) vagy **extraszoláris bolygó** – a saját csillaga körül keringő, azaz a Naprendszer határain túl elhelyezkedő bolygó.

A bolygók természetesen rendkívüli módon kicsik és homályosak a csillagokhoz viszonyítva, amelyek szintén nagyon távol vannak a Naptól (a legközelebbi 4,22 fényévnnyire). Elsőként Christian Huygens kísérelt meg teleszkóp segítségével megfigyelni más csillagok körül keringő bolygókat, még a XVII. században. Semmit nem sikerült megpillantania, hiszen ezek az égitestek még a korszerű, nagy teljesítményű teleszkópokkal sem láthatóak.

1995 decemberében a Michel Mayor és Didier Queloz genfi csillagászok, megfigyeléseket végezve Franciaországban az *Observatoire de Haute-Provence* csillagvizsgáló ELODIE spektrográfiájával, elsőként fedeztek fel egy exobolygót. Egy különlegesen pontos spektrométer segítségével megállapították, hogy a Pegazus csillagkép 51. csillaga alig több mint négy földi napnyi periódussal „hintázik”. (A bolygó, csillaga körül keringve, gravitációs hatásával „megrángatja” azt, így a Doppler-effektus miatt megfigyelhetővé válik a színeképvonalak eltolódása.) A felfedezésüket hamarosan igazolták Geoffrey Marcy és R. Paul Butler amerikai csillagászok. A Pegazus csillagkép 51. csillaga mellett keringő bolygó 1995. évi felfedezése megalapozta egy új csillagászati ágazat kialakulását – a Naprendszeren kívüli (exobolygók) kutatását. Az extraszoláris bolygók felfedezésének céljából a tudósok az utóbbi évtizedben több mint 3000 csillagot vizsgáltak meg, és több csillag mellett találtak 2, 3, sőt 4, 5 bolygóból álló rendszert. A bolygók többségét nem vizuális, hanem különböző nem közvetlen módszerekkel fedezték fel, vagyis nem a Föld felszínéről és nem úrtávcsövekkel.

4. Asztrometriai kettőscsillagok. Kialakulhatnak olyan szoros csillagpárok, amelyekben az egyik komponens vagy nagyon kisméretű, vagy nagyon kicsi a fényessége. Bár ebben az esetben az ilyen csillag megfigyelése nem sikerülhet, de a kettősség kimutatható. A fényesebb komponens keringésében periodikus ingadozások figyelhetőek meg az egyenes vonalú mozgáspályától hol az egyik, hol a másik

oldalra, mintha a tömegközéppont mozogna a pálya mentén. Ezek az ingadozások egyenesen arányosak a kísérő tömegével.

Az egyik legközelebbi csillag, a Ross 614 (fényessége $11,4^m$, parallaxisa $0,25''$) vizsgálata alapján kiderült, hogy a csillag kitéréseinek amplitúdója a várható mozgásiránytól $0,36''$. A csillag keringési ideje a tömegközéppont körül $16,5$ év.

Napjainkra több mint 5000 fedési kettőscsillag vált ismertté.

5. A csillagok tömege. A vizuális kettőscsillagok hosszan tartó tanulmányozása során a csillagászok meggyőződtek arról, hogy a komponensek látható mozgása ellipszis alakú pályán megy végbe, és eleget tesz a felületi törvénynek. Ebből következik, hogy a csillagok keringése a kettős rendszerekben is leírható Kepler törvényeivel, és engedelmeskedik Newton általános tömegvonzási törvényének.

A kettőscsillagok megfigyelései során kapott adatok alapján értékelhető a különböző típusú csillagok tömege. Az adatok elemzése alapján levonhatjuk a következtetéseket.

1. A csillagok tömege a $0,03$ és 60 naptömeg közötti tartományban van. A legtöbb csillag $0,4$ – 3 naptömeeggel rendelkezik.

2. A csillagok tömege és luminozitása közötti összefüggés alapján lehetőségünk van az egyedülálló csillagok tömegének meghatározására a luminozitásuk alapján. $0,5M_{\odot} \leq M \leq 10M_{\odot}$ tömegtartományba eső csillag luminozitása egyenesen arányos tömege negyedik hatványával $L \sim M^4$. Az $M > 10M_{\odot}$ tömeg esetén a hatványkitevő 2 , azaz $L \sim M^2$.

3. A csillag későbbi fejlődését az a tömeg határozza meg, amellyel a keletkezésekor rendelkezik.

4. Mivel a csillag sugarának értéke tág határok között változik, az átlagsűrűségük $5 \cdot 10^{-2}$ és $3 \cdot 10^8$ kg/m^3 között ingadozik (hasonlítsátok össze a Nap sűrűségével – 1400 kg/m^3).



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

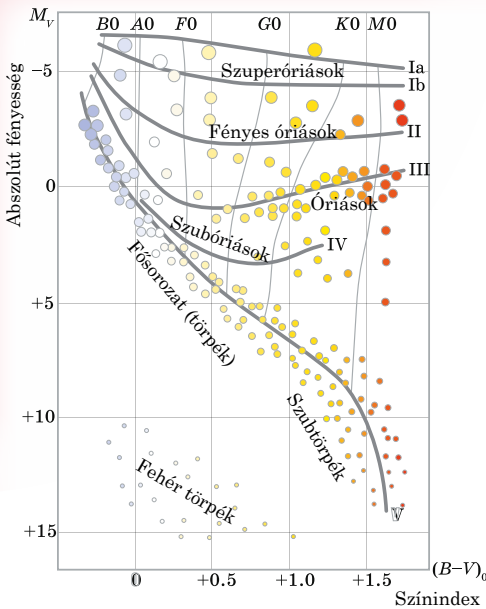
1. Milyen csillagokat nevezünk kettőscsillagoknak? Hogyan osztályozzuk őket?
2. Mit nevezünk a fedési kettőscsillagok amplitúdójának és változási periódusának?
3. Magyarazzátok meg, miért megy végbe a színeképvonalak elmozdulása a spektroszkópiai kettőscsillagok színeképvonalán!
4. Mivel magyarázható egyes kettőscsillagok fényváltozása?
5. Ki állapította meg elsőként, hogy a kettőscsillagok olyan rendszerek, amelyeket a gravitáció tart egyben, és Kepler törvényeinek megfelelően mozognak?
6. Nevezzétek meg az általatok ismert kettőscsillagokat!
7. Milyen csillagok létezhetnek hosszabb ideig, a kicsi vagy a nagy tömeggel rendelkezők?
8. Mivel magyarázható, hogy egyes kettőscsillagok egyik komponense az egyedülálló csillagokra nem jellemző színű fényt bocsát ki – zöldet, kéket vagy égszínkéket?
9. Mely kettőscsillagok komponensei láthatóak akár szabad szemmel is?

25. §. A CSILLAGOK FEJLŐDÉSE. FEHÉR TÖRPÉK

1. A „színekép–fényesség” diagram. A csillagok fizikai jellemzői között összefüggések vannak. A megfigyelések alapján meghatározhatóak a csillagok színeképzési alyai, az ismert távolságuk alapján pedig az abszolút fényességük és luminozitásuk.

A XX. sz. elején egymástól függetlenül két tudós, a dán csillagász **Ejnar Hertzsprung** (1873–1967) és valamivel később az amerikai asztrofizikus **Henry Russell** (1877–1957) felállították a fizikai jellemzők közötti összefüggést.

Az összefüggés diagramként ábrázolható, amelynek vízszintes tengelyén a csillagok színeképzési alyát (esetenként hőmérsékletét vagy színindexét) tüntetik fel, a függőleges tengelyén az abszolút fényességet magnitúdóban vagy pedig a csillag luminozitását (fényerejét) nap-fényerő egységekben. A diagramon minden csillagnak



120 5.6. ábra. Hertzsprung–Russell-diagram

tű m és L színképosztályú csillagok, amelyek a **vörös törpe** nevet kapták.

A főszorozat csillagaihoz sorolhatók olyan ismert csillagok, mint a Szíriusz (α Nagy Kutya), Vega (α Lant) és a mi Napunk. A viszonylag alacsony hőmérsékletű fotoszféráján ($3\text{--}5 \cdot 10^3$ K) és a Napénál 100–1000-szer nagyobb fényességgel rendelkező csillagok alkotják a vörös óriások sorozatát. Ide tartoznak például az Arcturus (α Ökörhajcsár) és az Aldebaran (α Bika). A „színkép–fényesség” diagram felső részén található a szuperóriások sorozata. Ezek nagy fényerejű, kis sűrűségű, a Napénál több tízszer vagy százszor nagyobb átmérővel rendelkező csillagok. Hozzájuk sorolható a Betelgeuze (α Orion).

A diagram bal alsó részében kis luminozitású, forró csillagok – a **fehér törpék** – sorozata található. Méreteik hasonlóak a Föld méretéhez, tömegük a Nap tömegéhez. Ezért a fehér törpék átlagsűrűsége 100 000-szer nagyobb, mint a földi kőzeteké. Ellenben a szuperóriások átlagsűrűsége nagyon kicsi – néhány ezerszer kisebb a földi légkör sűrűségénél. Ezért tapasztalható, hogy a vörös törpék színképvonalai vastagabbak az óriás- és szuperóriás csillagok esetében megfigyelhető vonalaknál. A színképvonalak jellegéből megállapítható, melyik sorozathoz tartozik a csillag (főszorozat, törpecsillagok, óriások). A sorozat alapján megbecsülhető az abszolút fényesség $M = m + 5 - 5 \lg r$, majd a távolság is. Ezt a távolság-meghatározási módszert **spektroszkópiai parallaxis módszernek** nevezzük.

A csillagok között legnagyobb létszámban a vörös törpék vannak jelen: 10 millió vörös törpére jut közel 1 millió fehér törpe, 1000 óriás és mindössze 1 szuperóriás.

A Yerkes Observatóriumban kidolgozták a csillagok kétdimenziós spektrál-klasszifikációját, mivel kiderült, hogy azonos színképosztályú csillagokhoz többféle tömeg- és luminozitásérték is tartozhat, és így szükségessé vált, hogy az osztályozásban a felületi hőmérsékleten kívül a csillagfejlődésben elfoglalt állapotukat is hozzárendeljék a csillagokhoz. Ez a besorolás több osztályba sorolja a csillagokat a fényerejük alapján (I-től VII-ig, 5.1. táblázat).

megfelel egy pont. A csillagok fizikai jellemzői közötti összefüggést ábrázoló diagramot **Hertzsprung–Russell-diagramnak** vagy „színkép–fényesség” diagramnak nevezzük (5.6. ábra).

A csillagok a diagram teljes területén nem véletlenszerűen oszlanak el, hanem csoportokat alkotnak, amelyeket **sorozatoknak** nevezünk. Többségük egy élesen elkülönülő, a bal felső saroktól a jobb alsó sarokig húzódó sáv – a **főszorozat** – mentén helyezkedik el.

A főszorozat bal felső részén a nagy tömegű O színképosztályú csillagok találhatóak, amelyek fényereje több ezerszerese a Nap fényerejének. Ezeket a csillagokat forró **szuperóriásoknak** nevezik. A hőmérséklet csökkenésével csökken a csillagok luminozitása is. Ezután a főszorozat sávja áthalad azon a területen, ahol a Naphoz hasonló G színképtípusú csillagok helyezkednek el. Végül a főszorozat eléri a diagram jobb alsó részét. Itt találhatóak a kis tömegű, viszonylag alacsony hőmérsékletű

Osztály	Leírás	Abszolút fényesség M_V
O	Hiperóriások	
Ia ⁺	Legfényesebb szuperóriások	-10
Ia	Fényes szuperóriások	-7,5
Ib	Normál szuperóriások	-4,7
II	Fényes óriások	-2,2
III	Normál óriások	+1,2
IV	Szubóriások	+2,7
V	Fősorozati csillagok	+4
VI	Szubtörpék	+5...+6
VII	Fehér törpék	+13...+15

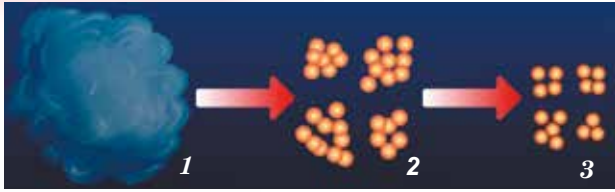
2. A csillagok születése. A csillagképződés a Galaktikában már a kialakulása pillanatától folyamatosan megfigyelhető folyamat. A csillagok napjainkban is végbemenő születésének bizonyítéka az *O* és *B* színképosztályú, nagy tömegű csillagok létezése, amelyek életkora nem haladja meg a 10 millió évet. A csillagok életkora néhány millió évtől akár több tízmilliárd évig terjedhet. Ez az idő túl hosszú ahhoz, hogy teljes egészében nyomon követhessük egy csillag életútját, fejlődését. Ezért a csillagok fejlődési folyamatának legfőbb tanulmányozási módszere a **csillagok belső szerkezetének modellezésén** alapul. A modell megalkotásánál megadják a gáz kezdeti fizikai állapothatárolóit: kémiai összetételét, nyomását (sűrűségét), hőmérsékletét, tömegét. Ezt követően a fizika törvényeinek alkalmazásával (gáz-törvények, gravitációs törvények) kiszámítják a paraméterek időbeni változását.

A ma ismert adatok alapján a csillagok a csillagközi anyag tömörülése (gravitációs összeomlása) következtében keletkeznek (5.7. 1 ábra). A csillagcsoportok gigantikus méretű, akár 100 pc kiterjedésű és több tíz vagy időnként százezer naptömeggel rendelkező gáz- és porfelhőkből keletkeznek. Ezeket a felhőket közel 10 K hőmérsékletű, molekuláris állapotban lévő gáz alkotja.

A gravitációs erők hatására a felhő összeomlik, sűrűsége növekedésnek indul, és különálló képződmények, úgynevezett gubók (globulák) jönnek létre (5.7. 2 ábra). Ezek a képződmények a gáz- és porfelhők véletlenszerűen vagy külső tényezők hatására kialakuló, gravitációsan instabil területei, amelyek tovább tömörülnek. A csillagképződést elősegítő külső tényezők lehetnek a molekulafelhők ütközései, a fiatal és forró csillagszele, a szupernóvák kitörései által keltett lökeshullámok. Ha egy sűrűsödés tömege elég nagy, megfigyelhető a szétesése kisebb globulákra (5.7. 3 ábra).

A saját gravitációjuk hatására összehúzódó globulákat **protocsillagoknak** nevezük. A gravitációs összehúzódás következtében a protocsillag középpontja közelében levő gáz felforrósodik, és elkezd sugározni a színeképi infravörös tartományban. A protocsillag magját körülvevő anyag a gravitáció hatására rázuhan a magra, növelve annak tömegét és hőmérsékletét. Amikor a protocsillag sugárzása következtében elég nagy belső nyomás alakul ki, az anyag tömörülése megáll. A sugárzás által létrehozott nyomás néhányszor tíz naptömegnyiben határolja be a majdani csillag tömegét. A születő csillagok további összehúzódásának időtartamát a protocsillag tömege határozza meg: ha a tömege kisebb a Napénál – néhány százmillió év, ha nagyobb – néhány százezer év.

A protocsillag forgása fontos szerepet játszik a későbbi fejlődésében. A nagy sebességgel forgó középső sűrűsödésből alakul ki maga a csillag, a környező, kiterjedt



5.7. ábra. Csillag képződése gáz- és porfelhőből

gáz- és porfelhő kisebb csomóiból pedig a bolygók. A kialakulóban levő csillag az összehúzódás végén még jelentős méretekkkel és viszonylag alacsony felszíni hőmérséklettel rendelkezik. A protocsillag összehúzódása akkor ér véget, amikor a hőmérséklet a centrális magban eléri a több millió fokot, és beindul a termonukleáris energiatermelés, azaz a proton-proton reakciók. A termonukleáris reakciók beindulásának pillanata egyúttal a csillag születésének pillanata is. Ebben az időszakban a belső rétegek olyan hőmérsékletre és sűrűsége tesznek szert, amellyel már egyensúlyt tudnak tartani a külső rétegek súlyával. A hidrogénreakciók beindulása és a gravitációs egyensúly beállása után a csillag a „színkép–fényesség” diagram fősorozatára kerül. Az újonnan született csillagok a fősorozat teljes hosszán megjelenhetnek (a tömegüktől függően).

3. Evolúciós elmozdulások. A csillag magjának hőmérséklete a gravitációs egyensúly beálltakor elsősorban a tömegétől függ. Minél nagyobb az összetömörülő gáz- és porfelhő tömege, majd a protocsillag és végül a csillag tömege, annál nagyobb lesz a külső rétegek által a magra gyakorolt nyomás. Ahhoz, hogy a belső gáznyomás ellensúlyozza a felső rétegek gravitációs hatását, magasabb hőmérsékletre van szükség. A megfigyelések azt mutatják, hogy a csillag fényereje egyenesen arányos tömegének negyedik hatványával.

Az első, legnagyobb tömegű (30–50 naptömeg) csillagok hozzák létre a legforróbb, *O* színképosztályú csillagokat. Az ilyen csillagok központi területeinek hőmérséklete 30–35 millió fokos.

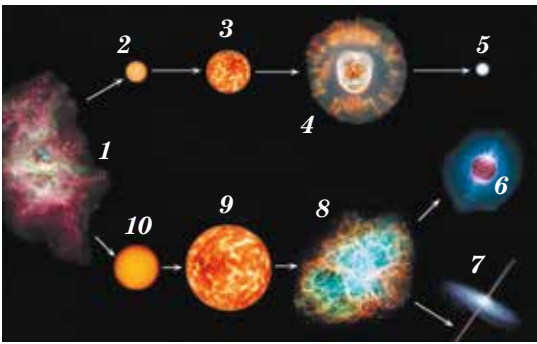
Az élete nagy része során a csillag a fősorozaton helyezkedik el. Mivel azonban a hidrogénkészletek a tömeggel arányosak, és az energiaveszteség (fényerő) a tömeg negyedik hatványával arányos, a masszív csillagokban a hidrogén gyorsabban ég ki.

A csillag által a fősorozaton eltöltött időtartam meghatározható a $t = 10^{10} \frac{1}{M^3}$ (év)

összefüggéssel, ahol M – a csillag naptömegekben kifejezett tömege. A fenti kifejezés alapján kiszámítható, hogy a Nap 10 milliárd év alatt használja el a hidrogénkészleteit (azaz a Nap, melynek életkorát közel 5 milliárd év körülire becsülik, a fősorozaton eddig az élete felét töltötte el). A 10 naptömeggel megegyező tömegű csillagok hidrogén-üzemanyagkészletüket mindössze 10 millió év alatt, míg a gyengén sugárzó, 0,5 naptömeggel bíró vörös törpék 80 milliárd év alatt használják fel. Rövid élettartamuk következtében kevesebb fiatal óriáscsillag figyelhető meg. Ezért a legnagyobb sűrűségben a „színkép–fényesség” diagram jobb alsó részét népesítik be a csillagok.

A hidrogénkészletek kimerülésével a csillagok a magjukban az addigi életük során termelt héliumot kezdik égetni. A csillag későbbi fejlődése ennek a hélium-magnak a tömegétől függ. Ha a tömege kisebb, mint 1,4 naptömeg, a gravitációs összehúzódás következtében a héliummag újra felmelegszik (hőmérséklete 100 millió fokig emelkedik). A külső rétegek ennek következtében kitágulnak és lehülnek. A csillag szinte felfúvódik. A fényereje megnövekszik, a hőmérséklete csökken. A csillag lekerül a fősorozatról, és tömegétől függően vörös óriássá (5.8. ábra) vagy szuperóriássá alakul.

A felfúvódó csillag légköre fokozatosan távolodik a magtól, úgynevezett **planetáris ködöt** alkotva. Ebben az esetben a csillagok fejlődésük utolsó stádiumaiban fehér törpékké alakulnak.



5.8. ábra. Különböző tömegű csillagok fejlődése: 1 – csillagköd; 2 – közepes csillag; 3 – vörös óriás; 4 – planetáris köd; 5 – fehér törpe; 6 – neutroncsillag; 7 – fekete lyuk; 8 – szupernóva; 9 – vörös szuperóriás; 10 – nagy tömegű csillag

A **fehér törpe** – tömör, a Nap tömegével közel megegyező tömeggel, de a Nap sugaránál közel százszor kisebb sugárral rendelkező csillag. Az ilyen csillagok sűrűsége több mint 100 000-szerese a víz sűrűségének.

A többi csillaghoz hasonlóan a Nap is végigmegy a maga fejlődési stádiumain. 5 – 8 milliárd év múlva előbb vörös óriássá, majd külső rétegeit ledobva fehér törpévé alakul. A Napnál jelentősen nagyobb tömegű csillagok idővel neutroncsillaggá (1,4 – 2,5 naptömeg esetén) vagy fekete lyukká (2,5 naptömegnél nagyobb tömeg esetén) alakulnak.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Milyen elvek szerint épül fel a „színkép–fényesség” diagram (Hertzsprung–Russell-diagram)?
2. Hogyan helyezkednek a különböző tömegű csillagok a „színkép–fényesség” diagramon?
3. Jellemezzétek röviden a következő csillagokat: szuperóriások, vörös óriások, fehér törpék, vörös törpék!
4. Mit értünk a csillag fejlődésén?
5. Magyarázzátok meg a csillagok kialakulásának folyamatát!
6. Mit értünk a színképosztály kifejezés alatt?
7. Melyek a legforróbb csillagok? A leghidegebbek?
8. Mely csillagok rendelkeznek a Földhöz hasonló mérettel?

123

26. §. FIZIKAI VÁLTOZÓCSILLAGOK. NEUTRONCSILLAGOK. FEKETE LYUKAK

1. A változócsillagok általános jellemzése. Sok csillag viszonylag rövid idő alatt képes megváltoztatni fizikai jellemzőit. Az ilyen csillagokat **változócsillagoknak** nevezzük. Ezek a csillagok a fedési változócsillagoktól eltérően a fényerejüket a bennük zajló fizikai folyamatok következtében változtatják. Ezért nevezik őket **fizikai változócsillagoknak**. A csillag belsejében zajló folyamat természetétől függően megkülönböztetünk **pulzáló** és **eruptív fizikai változócsillagokat**.

Pulzáló változócsillagok – fizikai változócsillagok, amelyekben a fényerő periodikus változása megy végbe (például a cefeidák, az RR Lyrae típusú és Mira típusú változócsillagok).

Eruptív csillagok – fizikai változócsillagok, amelyek változása jelentős anyagkidobódással kísért kitérésekben nyilvánul meg (például a nóvák és szupernóvák).

Minden változócsillagot megfelelő jelöléssel látunk el, ha előtte még nem kapott jelölést a görög ábécé betűi közül. A csillagképek mindegyikében az első 334 változó csillagot a latin ábécé betűinek sorozatával jelölik *R, S, T, ... , Z, RR, RS, ... , RZ, SS, ST, ... , ZZ, AA, ... , AZ, QQ, ...* a megfelelő csillagkép nevének hozzáadásával. Az utánuk következő változók jelölése, amelyeknek már nem jutott betűkombináció a csillagképben, *V 335, V 336* és így tovább.

2. Pulzáló változócsillagok. Az első pulzáló csillagot **David Fabricius** (1564–1617) német csillagász fedezte fel 1596-ban a Cet csillagképben, és a Mira nevet adta neki. A felfedezett csillag fényereje 331,6 napos periódussal változik.

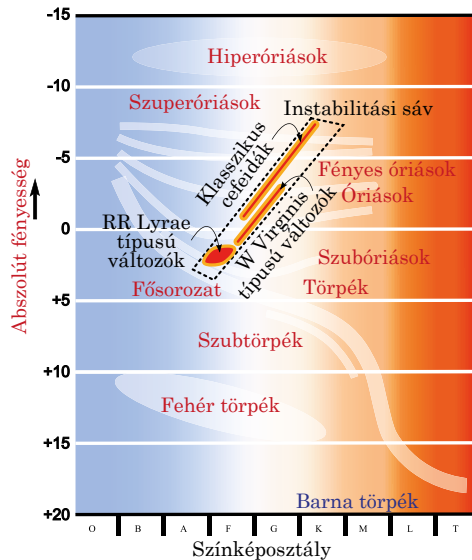
A hosszú periódusú változócsillagokat (több héttől egy vagy akár több évig terjedő periódussal; Mira típusú változócsillagok) **miridáknak** nevezik. Ehhez a típushoz főleg hatalmas méretű és fényerejű vörös óriások tartoznak. A miridák fényerejének változási amplitúdója akár tíz magnitúdó is lehet.

Egy csillag óriáscsillaggá való átalakulása során növekszik a térfogata és csökken az átlagsűrűsége. Ez alatt az idő alatt gyökeresen megváltozik a csillag belső szerkezete, s ez a folyamat a gravitációs erők és a sugárnyomás egyensúlyának megbomlásához vezet. A következmény a csillag térfogatának periodikus változása: a külső rétegek hol kitágulnak, hol összehúzódnak (visszatérve az eredeti térfogathoz). A változócsillagok ilyen periodikus ingadozásait **pulzálásnak** nevezük.

Az *F* és *G* színképosztályú, nagyon fényes óriás- és szuperóriás változócsillagokat **cefeidáknak** nevezzük. A cefeidák pulzáló változócsillagok, amelyek fényessége folytonosan és periodikusan változik (0,5-től 2 magnitúdóig). A fényességváltozások periódusa 1 és 146 nap közötti. Elnevezésük a δ Cephei csillag – a típus egyik legjellemzőbb képviselőjének – nevéből ered. Ezek a csillagok már túl vannak a fősorozati stádiumon (ahol a *B* színképosztályhoz tartoztak), beindult bennük a hélium termonukleáris égése, és fejlődésükben a vörös szuperóriás állapot kialakulása felé tartanak. Ezek a folyamatok néhány millió évet vesznek igénybe. A csillag ez idő alatt többször is a Herzprung–Russell-diagram instabil sávjába kerülhet.

A jelenleg ismert besorolás szerint megkülönböztetünk **klasszikus cefeidákat** (I populációs, a Galaktika síkjában található cefeidák, a *GCVS* klasszifikáció szerint változási típusaik: *DCep*, *DCepS*, *CepB*); a **Galaktika gömbösszetevőjéhez** tartozó (*W Virginis* típusú: *CWa*, *CWb*, II populációs) cefeidákat. Az utóbbiakat (egyenlő változási periódus mellett) kisebb fényerejük különbözteti meg a klasszikus cefeidáktól: az eltérés közel négyszeres vagy $1,5^m$ (számukra a periódus és fényerő közötti összefüggés kissé eltér a klasszikus cefeidákra jellemzőtől).

A látható fényességük mellett a cefeidák színképe is változik. Az intenzitás eltolódásaiból kimutatták, hogy a cefeidák hőmérséklete periodikusan (a fényváltozás periódusa szerint) átlagosan 1500 fokkal változik.



5.9. ábra. A cefeidák „periódus–fényerő” összefüggése

Az elméleti számítások és gyakorlati megfigyelések azt mutatják, hogy csak az óriáscsillagokat és a szuperóriásokat érinti a cefeida-stádium. A pulzálás periódusát meghatározza a csillag anyagának átlagsűrűsége, és leírható a következő törvényszerűséggel:
$$P = \frac{\text{const}}{\sqrt{\rho}} = \frac{0,12}{\sqrt{\rho}},$$

ahol P – a pulzálás periódusa napokban kifejezve, ρ – átlagsűrűség (a Nap átlagsűrűségét veszik alapegységnek). A cefeida anyagának átlagsűrűsége közel 10^{-2} kg/m^3 .

A nagyobb tömegű cefeidák nagyobb fényerővel és nagyobb sugárral, de kisebb sűrűséggel rendelkeznek, és megfelelően nagy a pulzálási periódusuk, azaz a cefeidák esetében nagy jelentőséggel bír a „periódus–fényerő” összefüggés (5.9. ábra). Az ábrán látható összefüggés leírható az $M = -1,25 - 3,00 \lg P$ kifejezéssel, ahol P – a fényváltozás periódusa napokban,

M – az abszolút fényesség középértéke. Tehát a megfigyelések során megállapított periódus alapján kiszámítható a csillag abszolút fényessége vagy fényereje. Összehasonlítva a megfigyelt látszólagos fényességgel, meghatározható a cefeida távolsága. Jelentős fényerejük és fényváltozásaik akár 20 Mpc távolságból is lehetővé teszik a cefeidák felfedezését. Mivel megfigyelhetők a legközelebbi galaxisokban is, a segítségükkel kiszámítható a szomszédos csillagrendszer távolsága.

A cefeidákat gyakran nevezik a Világegyetem világítótoronyainak. Napjainkban az ismert klasszikus cefeidák száma a Galaktikában több mint 800, várható számuk meghaladhatja a 6000 példányt. Néhány ezer cefeidát már felfedeztek a Magellán Felhőkben és más galaxisokban is. A Hubble űrteleszkóp elkülönített néhány ezer klasszikus cefeidát az NGC 4603 galaxisban, amelynek távolsága 100 millió fényév.

3. Nóvák. Léteznek csillagok, amelyek fényessége néhány nap leforgása alatt hirtelen ezerszeresére vagy milliószorosára növekedhet, majd közel egy év alatt csökken le újra az eredeti értékig. Ezek a csillagok a **nóvák**. A kifejezés nem azt jelenti, hogy a csillag most keletkezett új csillag. Azokat a korábban halvány csillagokat nevezik így, amelyek fényereje váratlanul megnövekszik. Például egy a nóvák közül, amely 1918 júniusában tört ki, 4 nap alatt 11-ről 0,5-re növelte a látszólagos fényességét (vagyis a 40 000-szeresére), majd közel 1,5 év alatt nyerte vissza eredeti fényerejét. A megfigyelések szerint a kitörő nóva csillagok leggyakrabban $O-B$ színképosztályú forró fehér törpék, amelyek abszolút fényessége nagyságrendileg $4^m - 5^m$. Kitörés alatt ezek a csillagok $7^m - 16^m$ -val növelik a fényességüket.

Egy kitörés alatt egy nóva közel 10^{38} J energiát sugároz ki (ekkorá energiámeny nyiséget sugároz a Nap közel 100 000 év alatt!).

Minden eddig részletesen tanulmányozott egykori nóva egy szoros kettős egyik tagja, és kitöréseiket a szoros kettősök komponensei között végbemenő anyagátadás okozza. A nóvák gyakran több alkalommal is kitörhetnek. Ha a nóva kitörése megismétlődik, **ismétlődő (rekurrens) nóvának** nevezzük.

125

4. Szupernóvák. Szupernóva – a leggrandiózusabb és leglenyűgözőbb kozmikus jelenségek egyike. Szupernóvának nevezzük azokat a csillagokat, amelyek a nóvákhoz hasonlóan hirtelen törnek ki, és a maximumban az abszolút fényességük eléri a -18^m vagy -19^m értéket. Egyes szupernóvák fényességének amplitúdója több tízmilliárdszorosan felülmúlhatja a Nap fényességét, elérve akár az $M = -20^m - -21^m$ értéket.

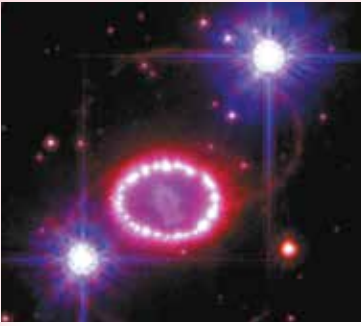
A kínai krónikákban említést tesznek egy kínai és japán csillagászok által megfigyelt „vendégcsillag” megjelenéséről a Bika csillagképben 1054-ben, amely fényesebbnek bizonyult a Vénusznál. A csillag rendhagyó módon nappal is látható volt. Két hónappal később halványodni kezdett, majd újabb néhány hónap alatt eltűnt a csillagászok látómezejéből.

Napjainkban a legerősebb teleszkópok segítségével megfigyelhető a fent említett csillagképben egy rejtélyes formájú köd, amely leginkább egy vízben úszó rákra emlékeztet. Végül így is nevezték el – Rák-köd (5.10. ábra). A megfigyelések azt mutatják, hogy tágul. A tágulási sebességből arra lehet következtetni, hogy a Rák-köd az 1054. évi szupernóva-robbanás maradványa.

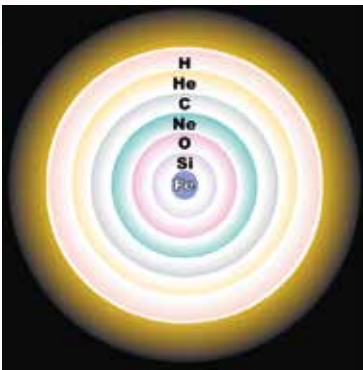
A „nóva” kifejezést elsőként **Tycho Brahe** (1546–1601) használta 1572-ben, leírva egy fényes csillagot, amely a Cassiopeia csillagképben jelent meg. Annak ellenére, hogy a jelenlegi nézeteink szerint ez a kifejezés nem igazán helyes (a kitörés nem a csillag születését, hanem pusztulását jelenti), a csillagászat-



5.10. ábra. A Rák-köd – egy szupernóva-kitörés maradványa



5.11. ábra. Az SN 1987A szupernóva a Nagy Magellán-felhőben (a Hubble közvetítette 20 évvel a kitörés után)



5.12. ábra. A nagy tömegű csillagok rétegződése

ban a mai napig alkalmazzuk. A pusztuló csillagok legerősebb kitöréseit az analógia alapján szupernóváknak kezdték nevezni.

A Galaktikában az utóbbi évezred során feljegyeztek néhány szupernóva-kitörést. A korszerű technikai eszközökkel megfigyelt legfényesebb szupernóva 1987-ben tűnt fel az egyik legközelebbi galaxisban – a Nagy Magellán-felhőben (5.11. ábra).

A csillag kitörésének oka a masszív mag összeomlása. Ez a következőképpen történik. A nagyméretű csillag fejlődése során a magban termonukleáris reakciók mennek végbe, melyek során először hidrogén alakul héliummá, majd a hélium széné, és így tovább, egészen a fémes anyagok (Fe, Ni, Co) képződéséig. A csillag fokozatosan egyre több „rétegre tesz szert” (5.12. ábra).

A nehezebb kémiai elemek képződésével járó magreakciók energiát nyelnek el, így a csillag elkezdi lehűlni és összetömörülni. A külső rétegek szinte rázuhannak a csillag magjára; a csillag magjától kifelé irányuló lökéshullám keletkezik, amelynek következtében a külső rétegek hatalmas sebességgel lökődnek ki a világűrbe. A kitörés során közel 10^{46} J energia szabadul fel. Ekkora energiamentiség kibocsátásához a Napunknak évmilliárdokra lenne szüksége. A hatalmas csillagból csak a nagy sebességgel táguló gázburok marad, és egy neutroncsillag (vagy pulzár). A **pulzár** egy gyorsan forgó neutroncsillag, amely a csillag forgási periódusával megegyező periódusú, pulzáló rádiósugárzást bocsát ki. Ezt a csillagtípust –

neutroncsillagot – elképesztően nagy sűrűség jellemzi: akár 10^{17} – 10^{18} kg/m³ értéket is elérhet.

Ha a csillag magjában már nem hatnak olyan erők, amelyek megakadályoznák a gravitációs összenyomást, a csillag tovább tömörül. Közben az anyaga egyre nagyobb sűrűségűvé válik. Fejlődési folyamata végére a nagy tömegű csillag átalakul egy elképesztően tömör objektummá – **fekete lyukká** (5.13. ábra). A fekete lyuk határán akkora a gravitáció, hogy semmilyen jel, sugárzás sem tudja elhagyni (innen ered az elnevezése is).

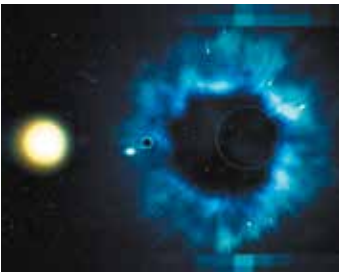
Másképpen fogalmazva, a fekete lyuk gravitációja olyan erős, hogy még a fény sem tudja leküzdeni.

Azt a kritikus sugarat, amelyet el kell érnie a csillagnak, hogy fekete lyukká alakuljon, gravitációs sugárnak (r_g), vagy Schwarzschild-sugárnak nevezik. A nagy méretű csillagok esetében r_g néhány tíz kilométerrel egyenlő, és kiszámítható az

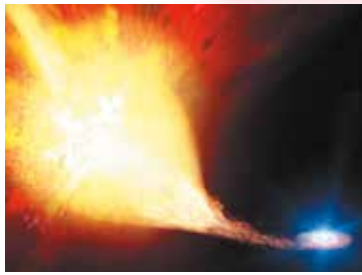
$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

képlet segítségével, ahol G – a gravitációs állandó; M – a csillag tömege;

c – a fényterjedés sebessége. A relativitáselmélet szerint a fekete lyuk középpontjában az anyagnak a tér egy mikroszkopikusan kicsi térfogatába kell tömörülnie. Ezt az állapotot **szingularitásnak** nevezik.



5.13. ábra. Egy neutroncsillag és egy fekete lyuk viszonylagos méretei



5.14. ábra. Egy fekete lyuk vázlatos ábrázolása kettős rendszer tagjaként



5.15. ábra. Gigantikus fekete lyuk az M60-UCD1 galaxis közepén (NASA fotó)

A fekete lyuk határvonalát **eseményhorizontnak** nevezzük. Mivel a fekete lyukakat közvetlenül lehetetlen megfigyelni, felfedezésük jelentős nehézségekbe ütközik. Leggyakrabban ezeket az égitesteket így fedezik fel: 1) ha a fekete lyuk egy kettős csillagrendszer tagjaként keletkezett, akkor meghatározható a helyzete a másik komponens keringéséből az „üres hely” körül (5.14. ábra); 2) a fekete lyukba hulló szuperforró anyag erős röntgensugárzást bocsát ki. Ilyen sugárzás forrásait (mint például Hattyú X-1, Skorpió X-1) „feketelyukjelöltként” már nyilvántartásba vették. A fekete lyukak létezhetnek és az anyaggal való folytonos kölcsönhatásuk révén megfigyelhetők a galaxisok magjában és a kvazároknak. A NASA a közel-múltban készített első ízben fotót egy távoli galaxis közepében található gigantikus fekete lyukról (5.15. ábra).

A 21 millió naptömeggel rendelkező szupermasszív fekete lyuk az extra nagy sűrűségű M60-UCD1 galaxis közepében helyezkedik el. Mivel a fény nem tudja elhagyni a fekete lyukat, csupán sziluettként látható a csillagok háttéré előtt. A fekete lyuk erős gravitációs tere eltéríti a mögötte levő csillagok fényét, gyűrűkre emlékeztető formákat hozva létre az eseményhorizont sötét szélénél.

127



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Miben különböznek a fizikai változócsillagok a fedési változócsillagoktól?
2. Milyen égitestek a cefeidák? Miért nevezik őket a Világegyetem világitótornyainak?
3. Mi az oka a cefeidák pulzálásának?
4. Miben különböznek a nóvák és a szupernóvák?
5. Milyen gyakran figyelhetők meg nóvák és szupernóvák?
6. Hogyan keletkezett a Rák-köd?
7. Mi okozza a nóvák és szupernóvák kitöréseit?
8. Milyen égitestet nevezünk fekete lyuknak? Milyen alaptulajdonságaikat ismerjük?
9. Hogyan fedezhető fel egy fekete lyuk?
10. Mivé alakulhatnak a fekete lyukak?



OLDJUK MEG EGYÜTT!

1. feladat. A fősorozat a „színkép–fényesség” diagramon egy olyan sáv-e, amely a csillagok fejlődését ábrázolja, vagy azoknak a pontoknak a mértani helye, amelyekben a csillagok a létezésük idejének nagy részében megtalálhatók?

Felelet. A fősorozaton azok a csillagok találhatóak, amelyek magjában termonukleáris reakciók mennek végbe. Mivel ez az állapot a csillag létezésének jelentős részét teszi ki, ezért a fősorozat azoknak a pontoknak a mértani helye, amelyekben a csillagok a létezésük idejének nagy részében megtalálhatók.

2. feladat. A fehér törpe tömege $0,6M_{\odot}$, fényereje $0,001L_{\odot}$ és hőmérséklete $2T_{\odot}$. Hányszor nagyobb sűrűséggel rendelkezik, mint a Nap?

Megoldás. Ismeretes, hogy a luminozitás arányos $R^2 T^4$ -el. Innen következik, hogy a sűrűség egyenesen arányos m / R^3 -nal vagy $MT^6 / L^{3/2}$ -nel. Az adott tömegű fehér törpe sűrűsége tehát $1,2 \cdot 10^6$ -szor nagyobb a Nap sűrűségénél.

3. feladat. Állapítsátok meg, a Szíriuszhoz hasonló hány csillag ($m = -1,6^m$) tudná pótolni az égbolton az utolsó negyedben levő Hold fényét (telihold esetén $m = -12,4^m$).

Megoldás. Pogson képlete szerint a Hold által létrehozott megvilágítás, azaz a fényessége teliholdkor $\frac{E_H}{E_{Sz}} = 2,512^{-1,6 - (-12,4)} = 20\,903,2$ -szer erősebb a Szíriusz fényességénél.

A Hold fényessége az utolsó negyedben pontosan feleakkora, mint teliholdkor, így tehát 10 452 Szíriuszhoz hasonló csillagot kellene elhelyezni az égbolton, hogy együttes fényük pótolja a Hold fényét.

4. feladat. Mennyi az Altair (α Sas) abszolút fényessége, ha a látszólagos fényessége $0,77^m$ és 16,8 fényév távolságban van?

Megoldás. $16,8$ fényév – az $r = 16,8 : 3,26 = 2,09$ pc.

$$M = m + 5 - 5 \lg r = 0,77 + 5 - 5 \lg 2,09 = 4,17.$$



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

128

5.1. Melyek a legmagasabb felszíni hőmérséklettel rendelkező csillagok, és melyik színképosztályhoz tartoznak?

5.2. Mi a különbség a látszólagos és az abszolút fényesség között?

5.3. Milyen színű csillagoknak legnagyobb a felszíni hőmérsékletük? Melyeknek a legkisebb?

5.4. Léteznek-e olyan csillagok, amelyeknek a Föld tömegénél kisebb tömegük van?

5.5*. Határozzátok meg egy csillag sugarát a születésnapotok estjén látható fényes csillagok közül! Milyennek látnánk az általatok kiválasztott csillagot az égbolton, ha a mi Napunk helyén fénylene?

5.6*. A Vega (α Lant) éves parallaxisa $0,12''$. Határozzátok meg a távolságát parszekekben és fényévekben!

5.7*. Határozzátok meg, hányszor fényesebb a Capella (0^m) a Sarkcsillagnál ($+2^m$)!

5.8*. Hány 5^m látszólagos fényességű csillag rendelkezik együttesen akkora fényességgel, mint a Vega (0^m)?

5.9*. Számítsátok ki az Antares csillag sugarát, ha a luminozitása 6300-szor nagyobb a Napénál, és a felszíni hőmérséklete 3000 K!

5.10*. Határozzátok meg a csillag távolságát (parszekekben és fényévekben), ha az éves parallaxisa $0,5''$!

5.11*. A Procyon (α Kis Kutya) parallaxisa $0,286''$. Mennyi idő alatt éri el az általa kibocsátott fény a Földet?

5.12*. Hányszor nagyobb az Arcturus (α Ökörhajcsár) csillag a Napnál, ha a luminozitása 100-szorosa a Napénak, és a felszíni hőmérséklete 4500 K?

5.13*. Mekkora a csillag hőmérséklete a Naphoz viszonyítva, ha a méretei megegyeznek a Nap méreteivel, és a fényereje 16-szor nagyobb?

5.14*. Ha a Nap körül a Föld helyett egy ugyanolyan csillag keringene, mint maga a Nap, mennyi lenne a keringési periódusa?

5.15*. Milyen esetben maradnak állandók egy csillag paraméterei?

5.16*. Milyen csillagok fénylenek leghosszabb ideig?

5.17*. Hogyan ér véget a nagy tömegű csillagok létezése?

5.18*. Kialakulhat-e fehér törpe vörös törpe csillagból?

5.19*. Mivel magyarázhatóak a pulzások sugárzási intenzitásának periodikus változásai?

5.20.** Határozzátok meg az 1000 km átmérőjű, 10^{30} kg tömegű fehér törpe sűrűségét!

5.21.** Határozzátok meg a Betelgeuze sűrűségét, ha sugara 400-szor nagyobb a Nap sugaránál, a tömege pedig csaknem megegyezik a Nap tömegével!

5.22.** Mekkora lesz a Nap fényereje, miután a jövőben átalakul a jelenleginél 10-szer nagyobb sugarú, 5000 K hőmérsékletű vörös óriássá?

5.23.** A Nap magjában a hőmérséklet 15 000 000 K, a fehér törpék magjának hőmérséklete azonban 30 000 000 K is lehet. Mivel magyarázható, hogy a Napon végbemennek termonukleáris reakciók, ám a fehér törpék magjában nem?

5.24.** Mekkora periódussal pulzálna a Nap, ha átalakulna cefeidává?



ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!

Ellenőrző kérdések

1. Mi a különbség a látszólagos és abszolút fényesség között?
2. Hogyan mérik a csillagászok a csillagok hőmérsékletét?
3. Kialakulhat-e fehér törpe vörös törpe csillagból?
4. Mivel magyarázhatóak a pulzárok sugárzási intenzitásának periodikus változásai?

Amit tudok, és amire képes vagyok

● Tudok csillagászati feladatokat megoldani

1. Magyarázzátok meg, hogyan lehet a csillag színe alapján megközelítőleg megállapítani a hőmérsékletét! 129

2. A Szíriusz parallaxisa $0,37''$, a Vega parallaxisa $0,12''$. Adjátok meg a csillagok távolságát parsekekben, fényévekben, csillagászati egységben és kilométerekben!

3. Egy adott csillag látszólagos fényessége $+5^m$. Mekkora lesz ennek a csillagnak a látszólagos fényessége, ha 10-szer távolabbra kerül?

● Tudom használni a forgatható csillagtérképet

4. Keressétek meg önállóan a csillagtérképen jelölt fényes csillagokat az égbolton! Rajzoljátok le a csillagok helyzetét az égbolton földi tereptárgyakhoz – fákhöz, épületekhez – viszonyítva! Hasonlítsátok össze a rajzotokat a csillagtérképpel! Milyen csillagképekhez tartoznak ezek a fényes csillagok?

5. Keressétek a csillagtérképen egy tetszőleges fényes csillagot! A rátétkorong segítségével állapítsátok meg, mikor kel fel, nyugszik le és kulminál a csillag!

6. A csillagos ég térképe segítségével keressétek különböző színképosztályú – *O, B, A, F, G, K, M* – csillagokat! Hasonlítsátok össze a csillagok színét a felszíni hőmérsékletükkel!



TESZTFELADATOK

1. Milyen távolságegységeket használnak a csillagászok a csillagok távolságának megadására?

- | | |
|------------------------|----------|
| A kilométer | D fényév |
| B csillagászati egység | E parsek |
| C parallaxis | |

2. A látszólagos fényesség határozza meg:

- | | |
|--|---------------------|
| A a csillag fényerejét | B a csillag sugarát |
| C a csillag fényességét | |
| D a csillag által a Föld felszínén létrehozott megvilágítást | |
| E a csillag hőmérsékletét | |

3. Mekkora távolságban rendelkezik egyenlő értékkel az abszolút és a látszólagos fényesség?

A 1 CsE
D 10 fényév

B 10 CsE
E 1 pc

C 1 fényév
F 10 pc

4. Az alább felsorolt színképosztályokhoz tartozó csillagok közül melyek rendelkeznek a legmagasabb felszíni hőmérséklettel?

A A
E K

B B
F M

C F
G O

D G

5. Jelöljétek meg, melyik színképosztály és felszíni hőmérséklet jellemzi a Napot

A A; +10 000 °C
D G; +6000 °C

B B; +10 000 °C
E M; +3000 °C

C C; +6000 °C
F O; +3000 °C

6. A felsoroltak közül mely csillagok fénylenek legtávolbb?

A O színképosztályú óriások
B A színképosztályú fehér csillagok
C Nap
D m színképosztályú vörös óriások
E m színképosztályú vörös törpék

7. Melyik színképosztályhoz tartozó csillagok léteznek legrövidebb ideig?

A A
D G

B B
E K

C F
F M

8. Milyen kozmikus objektumot nevezünk pulzárnak?

A kettős csillagot, amikor az egyik elfedi a másikat
B neutroncsillagot
C fehér törpét
D pulzáló csillagot
E óriáscsillagot

9. A „nóva” kifejezés jelentése:

A a világuńben új csillag keletkezett
B felrobbant egy öreg csillag
C egy csillag fényességének periodikus növekedése
D csillagok ütköznek egymással
E ismeretlen energiaforrásból származó kozmikus katasztrófa

10. A jövőben a Nap átalakulhat:

A fekete lyukká
B neutroncsillaggá
C pulzárrá
D vörös óriássá
E vörös törpévé
F fehér törpévé

11. Mivel magyarázhatóak a pulzárok sugárzási intenzitásának periodikus változásai?

12. Van-e esélye a civilizációnknak a túlélésre a Naprendszerben, ha a Nap átalakul vörös óriássá?

6. fejezet

GALAKTIKA

Az emberi elme hosszú ideje igyekszik felfedni végtelennek tűnő, hatalmas Világegyetemünk titkait. Az indiai, görög és római tudósok már jóval időszámításunk előtt feltételezték számos, a miénkhez hasonló világ létezését. Abban az időben nevezték el a környező világot Világegyetemnek, világűrnek. Porszemnyi Földünk, sőt még az általunk látható csillagok is mindössze jelentéktelen részét alkotják az elképzelhetetlenül nagy kiterjedésű világűrnek. A Világegyetem számos csillagvilágból – galaxisból áll. Egy ezek közül a mi Galaktikánk, amely magában foglalja a Naprendszert is. Naprendszerünk a Galaktika szélén található, így a legnagyobb részét oldalnézetből látjuk – egy számtalan csillag alkotta világos, ezüstös-fehér sávként, amely végighúzódik a teljes égbolton. Innen kapta Galaktikánk a Tejútrendszer (ukránul – Чумацький Шлях – Sóút) nevét. Ebben a fejezetben sok érdekességet tudhattok meg a galaxisokról.

131

27. §. GALAKTIKA. TEJÚTRENDSZER. A NAPRENDSZER HELYE A GALAKTIKÁBAN

1. A Galaktika szerkezete. Az emberek már az ókorban megfigyelték a tiszta, felhőtlen, holdtalan éjjeleken a zeniten át nyugattól kelet felé húzódó, jól látható világos sávot – a Tejút sávját. Nevét onnan kapta, hogy leginkább szétömlött tejjel emlékeztette az embereket. A legenda szerint a Földre ereszkedő Héra hirtelen mozdulata hozta létre.

Az ukrán népi kultúrában a Galaktikának több elnevezése is létezik. A legelterjedtebb a **Sóút** vagy **Sófuvarosok (Csumákok) Útja**. A legenda szerint a fuvarosok, akik a Krimbe utaztak sóért, éjjel az égbolton látható fényes sávot használták a tájékozódáshoz. **Isten Útja** – a Galaktika régi ukrán neve. Allítólag ezen az úton utazik arany szekerén Illés próféta (Perun keresztény „utóda”, aki az ősi ukrán mitológiában a föld és ég, a villám és vihar istene), mennydörgések közepette szórva a villámok arany nyilait a démonokra.

Az ókori görögök a Tejútrendszert Galaxisnak (a görög γαλα *gala*) szó tejet jelent, a -ξισ *(kszész)* egy főnévképző, ebből ered a *galaxis* szó) nevezték. 1609-ben Galilei az általa készített teleszkóp segítségével felfedezte, hogy a Tejút számtalan halvány fényű csillagból áll. Ezt követően keletkezett az elmélet, hogy a Nap, a látható csillagok és a Tejút csillagai egyetlen hatalmas rendszert alkotnak. Ez a csillagok milliárdjai által alkotott rendszer a **Galaktika** nevet kapta.

A Galaktika egy hatalmas csillagrendszer, mely tartalmazza a Napot – s vele együtt a Naprendszert is. A Galaktika csillagainak többsége – jelenlegi ismereteink szerint számuk meghaladja a 200 milliárdot – egy lapos korongban, melynek fősíkja mentén látjuk az égboltot körbefutó Tejút sávját, illetve a spirálkarokban összpontosul. A Galaktika központi vidékét egy jelentős anyagsűrűsödés – a mag uralja, amelynek fizikai tulajdonságai, és a benne zajló fizikai folyamatok egyaránt kutatás tárgyát képezik.

A Tejút az éggömb mindkét féltekéjén áthalad az égi meridián mentén (6.1. ábra). Azt a főkört az égen, amelyik a Tejút legsűrűbb részein halad át, **galaktikus egyenlítőnek** nevezzük, a síkot pedig, amelyben elhelyezkedik, a **galaxis fősíkjá-**



6.1. ábra. Tejút

ka – hatalmas, lapított, lencse formájú csillagrendszerünk – csillagainak legnagyobb része.

Pontos méreteiről, tömegéről és a csillagok eloszlásáról hosszú ideig nem születtek végleges adatok. Csak a XX. században tudták megállapítani, hogy a Tejútrendszer egy küllős spirálgalaxis. A Galaktika átmérője közel 30 000 parszek (közel 100 000 fényév, 1 kvintillió – 10^{30} km), átlagos vastagsága – közel 1000 fényév (legnagyobb vastagsága 5 kpc – 16 300 fényév). A Galaktika közel 200 milliárd (a legújabb becslések szerint 200–400 milliárd) csillagot tartalmaz. A legtöbb csillag a galaktikus korongban összpontosul. Az utolsó adatok szerint a Galaktika tömege $3 \cdot 10^{12}$ naptömegnyi, azaz $6 \cdot 10^{42}$ kg. A Tejútrendszer tömegének nagyobb részét nem a csillagok és csillagközi gázfelhők, hanem a sötét anyagból álló sötét halo adja.

A Naprendszer a Galaktika magjától távol, 10 kpc (30 000 fényév) távolságra, az egyik spirálkar közepénél helyezkedik el, csaknem pontosan a galaxis síkjában. A Tejútrendszer középpontja a Nyilas csillagkép irányában van, koordinátái $\alpha = 17^h 46,1^m$, $\delta = -28^\circ 51'$.

2. A Tejútrendszer szerkezeti egységei és spirális szerkezete. Szupernagy tömegű fekete lyuk a Tejútrendszer középpontjában. A galaxisunkban található csillagok egy része a galaktikus korongon kívül helyezkedik el, a nem kevesebb, mint 20 kpc átmérőjű, kifelé folyamatosan ritkuló, gömbszimmetrikus **halo** alkotóelemeként. A halót a galaxis nagy kiterjedésű (50–60 kpc), nagyon ritka külső része – a **korona** – veszi körül. A Galaktika összetett spirális szerkezetű, több spirálkarral. A galaktikus korong közepén egy gömb alakú központi dudor, a **bulge** (angol kifejezés, jelentése – dudor, domborulat) figyelhető meg. A Galaktika legnagyobb sűrűségű, a Nyilas csillagkép irányában lévő központi részét **magnak** nevezzük.

A Galaktika központi részében végbemenő folyamatok megfigyelése arra enged következtetni, hogy a magban egy szupernagy tömegű fekete lyuk található. A Tejútrendszer magja kevésbé ismert terület, mert az optikai tartományban eltakarja előlünk az intersztelláris anyag – a gáz- és porfelhők, valamint a csillagok. Csillagrendszerünk központi része nagyfokú aktivitást mutat, és intenzív rádió-, infravörös és röntgensugárzást bocsát ki. A mag tömegét több tízmillió naptömegnyire becsülik.

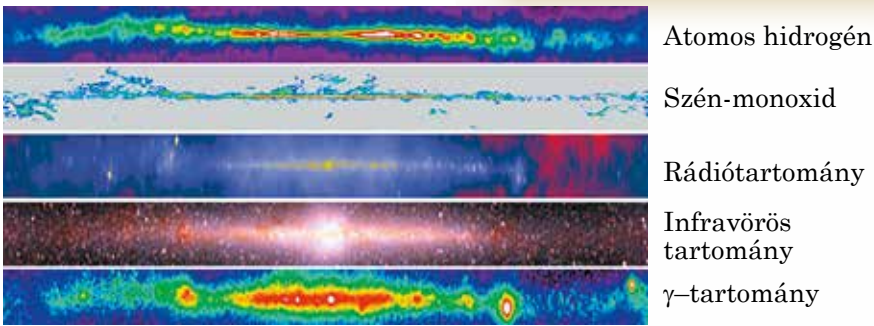
A Tejútrendszer látható anyagának 95%-át a csillagok, közel 5%-át a csillagközi gáz- és porfelhők teszik ki. Galaxisunkat nagy energiájú részecskeáramlatok szövik át, és a csillagközi gázra mágneses tér hat.

A Tejútrendszer tanulmányozása során jelentős akadályt képez a saját, csillagrendszerünkben elfoglalt helyzetünk, valamint a távoli galaktikus objektumok által kibocsátott sugárzás elnyelése az intersztelláris anyag által. Ezek a nehézségek legyőzhetők, ha a Galaktikát a teljes elektromágneses tartományban tanulmányozzuk. Ott, ahol valamit nem tudunk közvetlenül megfigyelni, célszerű elméleti megfontolásokat és számítógépes modelleket alkalmazni (6.2. ábra), amelyek kiegészíthetik a hiányos ismereteket a folyamatokról és jelenségekről.

nak (galaktikus korongnak). A galaktikus korong és az égi egyenlítő 63° szöveget zár be egymással. Ne feledjétek, a *galaxis* kifejezésen magát a csillagrendszert értjük, a *Tejút* elnevezés pedig a galaxisunk vetületére vonatkozik az éggömb felületén.

A csillagok mennyiségének meghatározását a galaktikus egyenlítőn és környezetében már a XVIII. sz. 70-es éveiben megkísérelte W. Herschel. Az előzetes számítások azt mutatták, hogy lényegesen több csillag található a fősík irányában, mint a merőleges irányokban. A későbbi kutatások igazolták, hogy az égbolt összes csillaga egységes csillagrendszert alkot.

A Tejút sávjában összpontosul a Galaktika



6.2. ábra. A Tejút képe különböző hullámhosszokon

A Galaktika határain túl számtalan csillagrendszer létezik, melyeket megfigyelhetünk oldalból, különböző szögekből, és fejlődésük különböző időszakaiban. Összehasonlítva őket egymással és a Tejútrendszerrel, megállapítva a közöttük levő hasonlóságokat és eltéréseket, megmagyarázva ezek okait, jobban megismerhetjük nemcsak a távoli csillagrendszerek törvényszerűségeit és fejlődését, de a saját galaxis-otthonunkat is.

3. Csillaghalmazok és csillagtársulások. Csillagködök. A Tejútrendszer szerkezeti elemei a **csillaghalmazok**. A csillaghalmazok – csillagok gravitációsan összetartozó csoportjai. A Tejútrendszer gravitációs terében egységes egészként mozognak. Két fő típusuk a gömbhalmaz és a nyílthalmaz, ezek számos jellemzőben eltérnek egymástól.

A **nyílthalmazok** szabálytalan alakú, néhány száz, néhány ezer csillagot tartalmazó rendszerek. Méretük átlagosan 6–14 pc. A hozzánk legközelebb található nyílthalmazok a Pleiadok és a Hyadok a Bika csillagképben. A Pleiadok 5–7 halvány csillaga, amelyek kis kupacot képeznek, szabad szemmel is megkülönböztethetők (6.3. ábra).

A Hyadok halmaza nem túl tömör, de több fényes csillagot tartalmaz. Napjainkban több mint 1500 nyílthalmazt tartanak számon. Mindegyik a galaktikus síkban, főleg a spirálkarokban helyezkedik el, és részt vesz a központi részek gyorsabb forgásában. A nyílthalmazok összmennyisége a Tejútrendszerben – $2 \cdot 10^4$.

A **gömbhalmazok** csillagok gömb- vagy ellipszis alakú csoportjai, amelyek 10 000-től 50 millióig terjedő számú tagot tartalmazhatnak, meglehetősen kicsi, mintegy 20–100 parszek átmérőjű területen. A csillagok térbeli koncentrációja a halmaz középpontja felé erőteljesen növekszik, elérheti akár a több tízezer/köbparszek értéket (a Nap környezetében – $0,13 \text{ pc}^{-3}$), és nagy távcsövekkel sem lehet őket szétválasztani. Ebből a nagy sűrűségből eredő gravitáció az, ami összetartja a gömbhalmazokat. A gömbhalmazok nagy kiterjedésű halót alkotnak a Galaktika középpontja körül, erősen kötődve hozzá. A Tejútrendszerben eddig közel 200 gömbhalmazt fedeztek fel, de összlétszámuk közel 500 (6.4. ábra). A gömbhalmazok többségben a Tejútrendszer legöregebb csillagaiból állnak – a fejlődésük végén járó vörös óriásokból és szuperóriásokból. A gömbhalmazok Galaktikánk II populációs, legidősebb képződményei. Átlagos életkoruk 10–15 milliárd évre tehető.

A **csillagasszociációk (csillagtársulások)** – egymáshoz közel elhelyezkedő, gravitációsan nem összetartozó vagy gyengén összetartozó, hasonló fizikai sajátosságokkal rendelkező fiatal (néhány millió éves) csillagok.



6.3. ábra. A Pleiadok nyílthalmaza a Bika csillagképben (Órök; a Hubble űrteleszkóp felvétele)



6.4. ábra. Az M5 gömbhalmaz (NGC5904) a Kígyó csillagképben

1948-ban csillagtársulásokat fedezett fel, majd megjósolta szétesésüket **Viktor Hambarcumjan** (1908–1996), örmény születésű szovjet-orosz csillagász. A csillagászok későbbi kutatásai alátámasztották azt a tényt, hogy a csillagtársulások tagjai távolodnak egymástól. Idővel kimutatták, hogy a *T*-asszociációk stabilitását a nagy csillagkoncentráció és a csillagok kis sebesség-ingadozása okozza.

A fiatal csillaghalmazoktól eltérően a csillagtársulások mérete jóval nagyobb – néhányszor tíz parszek (a nyílthalmazok magjának mérete – néhány parszek), de kevésbé „sűrűn lakottak”: a csillagok száma a társulásokban néhányszor tíztől néhány százig terjed, míg a nyílthalmazokban ez a szám elérheti a százezret vagy még többet; tömegük – 10^2 – $10^4 M_{\odot}$.

A csillagtársulások a masszív, nagy kiterjedésű molekuláris felhőket tartalmazó csillagképződési területeknek köszönhetik létezésüket.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Milyen a Tejútrendszer szerkezete? Nevezd meg a szerkezeti elemeit!
2. Hol helyezkedik el a Tejútrendszerben a Naprendszer?
3. Miben különböznek a Galaktika síkjának csillagai a halót alkotó csillagoktól?
4. Hogyan oszlanak el a Tejútrendszerben a gömbhalmazok? Miben különböznek a nyílthalmazoktól?



OLDJUK MEG EGYÜTT!

1. feladat. Mivel magyarázható, hogy a Tejútrendszer legidősebb csillagainak anyagában nagyon kevés nehezebb elem található, míg a legfiatalabb csillagok megnövekedett mennyiségben tartalmazzák őket?

Felelet. Az idősebb csillagok a protogalaktikus gázfelhőből alakultak ki. A masszív csillagok, gyorsan fejlődve, kitörtek, és a bennük keletkezett nehéz elemekkel gazdagították a protogalaktikus felhőt. A csillagok későbbi generációiban ezért már nagyobb a fémtartalom.

2. feladat. Mit nevezünk galaktikus évnak, és mennyi idős a Nap galaktikus években számítva?

¹ A csillagközi anyag fajtái: 1) a szorosabb értelemben vett *intersztelláris anyag* (nagyon kis sűrűségű, finom gáz és porréteg, amely körülveszi a csillagokat); 2) *sötét felhők* (nagyobb sűrűségű porfelhők, amelyek jelentősen legyengítik a mögöttük levő csillagok fényét); 3) *diffúz ködök* (fénylő ködök, melyek mindig fényes csillagok környezetében vannak: a) *emissziós ködök* – gázanyaguk maga világít, b) *reflexiós ködök* – porfelhők); 4) *planetáris ködök* (folytonos tágulásban levő, héjszerű felépítésű gázfelhők).

Felelet. A galaktikus év – a Nap keringési periódusa a Tejútrendszer középpontja körül. Egy galaktikus év 230 millió évvel egyenlő. Tehát a Nap kora körülbelül 20 galaktikus év.

3. feladat. Mi a különbség a gömbhalmazok és nyílthalmazok elhelyezkedése között a Tejútrendszerben?

Felelet. A különbség az, hogy csaknem minden nyílthalmaz a Tejút területén vagy közelében helyezkedik el. A gömbhalmazok többsége az égbolt bizonyos részén, a Nyilas csillagképben figyelhető meg. H. Shapley amerikai csillagász dolgozta ki azt az elméletet, amely szerint a Galaktika magja körül csoportosulnak. Vagyis, a nyílthalmazoktól eltérően, koncentráltan, gömbszimmetrikusan helyezkednek el a Tejútrendszer középpontja körül.



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

6.1. Keressétek meg a csillagtérképen azokat a csillagképeket, amelyeken áthalad a Tejút!

6.2. Miért látja a Földön lévő megfigyelő a Tejutat szaggatottnak és keskenynek?

6.3. Miért nem láthatjuk optikai teleszkópokkal a Tejútrendszer magját?

6.4. Mi a különbség a csillagkép és a csillaghalmaz között?

6.5*. Hozzatok fel bizonyítékokat arra, hogy a Nap a Galaktika síkjához közel helyezkedik el!



ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!

135

Ellenőrző kérdések

1. Mit tudtok a Galaktika szerkezetéről?
2. Melyik év hosszabb: a galaktikus vagy a tropikus?
3. Milyen típusú csillaghalmaz a Pleiadok?

Amit tudok, és amire képes vagyok

● Tudok csillagászati feladatokat megoldani

1. A csillagos égbolton sötét ködöket tanulmányozunk. Mivel magyarázható, hogy látjuk őket, ha az ilyen ködök egyáltalán nem sugároznak fényt?

2. Összehasonlítva az égbolt képét kék és vörös fényben fotózva, azt tapasztalhatjuk, hogy a Galaktika síkja a kék sugarakban fényesebb, a halo – épp ellenkezőleg. A Tejútrendszer melyik tulajdonságát bizonyítják ezek az adatok?

● Tudom, mire használják a teleszkópokat

3. Írjátok le, milyen a legideálisabb hely a Földön a Tejút optikai megfigyeléséhez!

4. Van-e lehetőségünk megfigyelni a Galaktika magját? Ha igen, milyen módszerekkel? Ha nem, mi az oka?

7. fejezet

A VILÁGEGYETEM SZERKEZETE ÉS FEJLŐDÉSE

A Világegyetem elképzelhetetlenül nagy kiterjedésű. Még a tudomány jelenlegi fejlettségi szintjének megfelelő csillagászati eszközök segítségével is csak az anyagi világ egy kis részét figyelhetjük meg. A Világegyetem e megfigyelhető, tanulmányozható, $1,6 \cdot 10^{24}$ km kiterjedésű térségét gyakran nevezik metagalaktikának. Ebben a fejezetben lehetőségetek nyílik ennek részbeni megismerésére.

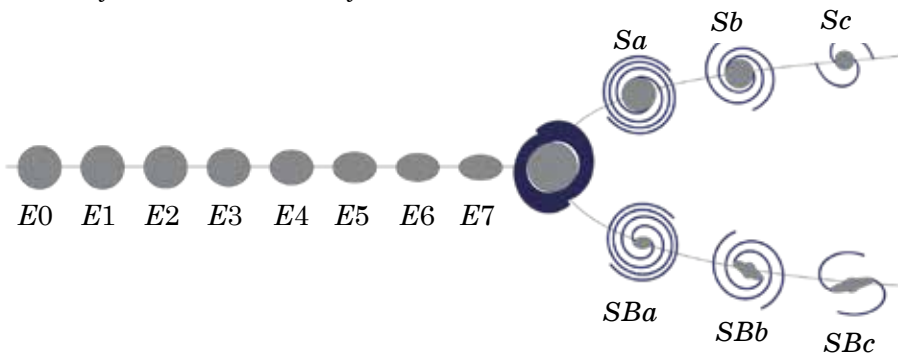
28. §. CSILLAGRENDSZEREK – GALAXISOK. A GALAXISOK VILÁGA

136

1. A galaxisok típusai. 1924-ben, az akkoriban rendelkezésre álló legnagyobb teleszkóp segítségével (Mount Wilson Observatórium, USA) Edwin Hubble felfedezte, hogy az Androméda-köd egy számtalan csillagból álló rendszer, amely látszólag összefüggő foltot alkot a nagy távolság következtében. Az ismert csillagködök többsége szintén hasonló, millió és milliárd csillagból álló, gigantikus rendszernek bizonyult. A Tejútrendszer határain túl található, gravitációsan kötött, hatalmas rendszert alkotó, csillagokból, csillagközi gázból és porból, valamint láthatatlan sötét anyagból álló égitesteket **extragalaxisoknak** nevezzük. A korszerű, nagy teljesítményű teleszkópok galaxisok százmilliárdjainak felfedezését tették lehetővé.

A felvételek alapján megállapítható, hogy a galaxisok megjelenésükben és szerkezetükben is eltérnek egymástól. A galaxisok legismertebb és még ma is használt osztályozása E. P. Hubble-től származik, s alapját képezi a jelenleg alkalmazott osztályozási rendszernek. (7.1. ábra). A korszerű osztályozás alapján a következő galaxis-típusokat különböztetjük meg: elliptikus (E), spirális (S), szabálytalan (irreguláris (I_r)) és lencseformájú (lenticuláris (S_0)).

Az **elliptikus galaxisok** vetülete az éggömb felszínére kör vagy ellipszis alakú (7.2. ábra). A csillagok száma a mag környezetében a legnagyobb, a galaxis külső tartományai felé haladva folyamatosan csökken. Ezekben a rendszerekben a



7.1. ábra. A galaxisok Hubble-féle osztályozása

csillagok különböző síkokban forognak. Maguk az elliptikus galaxisok nagyon lassan forognak. Csillagaik II populációs öreg, sárga és vörös színűek, alig tartalmaznak csillagközi anyagot, ezért csillagkeletkezés sem zajlik bennük. Fizikai jellemzőik széles tartományban változhatnak: átmérőjük lehet 5–50 kpc, tömegük – 10^6 – 10^{13} naptömegnyi, fényerejük a Nap fényerejénél 10^6 – 10^{12} -szer nagyobb. Az ismert galaxisok 25%-a az elliptikus galaxisokhoz tartozik.

Az eddig felfedezett galaxisok fele spirális típusú.

A **spirális galaxisok** – erősen lapult csillagrendszerek, központi vidékükön sűrűsödéssel (amely a magot tartalmazza, a legtöbb spirális galaxis esetében egy több millió naptömegű fekete lyukkal a mag közepén) és jól kivehető spirális szerkezettel. Méretük átlagosan 40 kpc, fényerejük a Nap fényerejénél 10^{11} -szer nagyobb. A galaxis magját lapos korong veszi körül, amelyben két vagy több keskeny spirálkar (7.3. ábra) helyezkedik el, amelyek I populációs fiatal csillagokat és sok csillagközi anyagot tartalmaznak, így bennük jelenleg is zajlik csillagkeletkezés. Hubble osztályozása szerint az *M81* galaxis *Sa* típusú – szorosan feltekeredő spirálkarokkal, fényes és nagy kiterjedésű központi résszel (7.3. *a* ábra). Az *M51* az *Sb* típusú spirális galaxisok közé tartozik, erőteljes és tisztán kirajzolódó spirálkarok, kevésbé kiterjedt központi rész jellemző (7.3. *b* ábra). Az *M101* jelű galaxis *Sc* típusú – fejlett spirális szerkezettel, viszonylag halvány maggal (7.3. *c* ábra).



7.2. ábra. Az NGC2865 fiatal elliptikus galaxis (a Hubble űrteleszkóp felvétele)



7.3. ábra. Spirális galaxisok

A spirális galaxisok közel felénél a központi sűrűsödés egy csillagokból álló, elnyúlt „küllő” közepén helyezkedik el, a spirálkarok a **küllő** végeitől indulnak ki (7.4. ábra). Az ilyen szerkezetű csillagrendszereket **küllős spirális galaxisoknak** nevezzük.

A galaxisok spirálkarjaiban koncentrálódnak a legfényesebb fiatal csillagok, csillagködök, fiatal csillaghalmazok és csillagtársulások. Ezért a spirális rajzolat a távoli galaxisok esetében is jól kivehető, annak ellenére, hogy a galaxis össz tömegének mindössze néhány százaléka esik a spirálkarok területeire. A Tejútrendszer szintén küllős spirális galaxis. A Galaktikához legközelebb elhelyezkedő és típusában, valamint szerkezetében leginkább hasonló csillagrendszer az Androméda-köd (7.5. ábra). Az általa kibocsátott fény közel 2 millió év alatt ér el hozzánk.

A szabálytalan (irreguláris) galaxisok a csillagok kisméretű, többé-kevésbé alakatlan csoportjai. Többségüknél nem figyelhető meg jól kivehető mag, sem forgási szimmetria. Látható fényességüket nagy fényerejű fiatal csillagok és ionizált hidrogénfelhők hozzák létre. A szabálytalan galaxisok tömege – 10^8 – 10^{10} naptömeg, méretük közel 10 kpc, fényerejük nem haladja meg a Nap fényerejének 10^{10} -szeresét. Jellemzőek rájuk a nagy, világító, emissziós ködök – akár az össz tömegük 50%-át is kitehetik –, intenzív csillagkeletkezés zajlik bennük. A legközelebb található fényes szabálytalan galaxisok a (Kis és Nagy) Magellán-felhők. Szép idő esetén halvány,



7.4. ábra.
Az NGC1300 küllős spirális
Sombrero galaxis



7.5. ábra.
Az Androméda-köd



7.6. ábra. A Magellán-
felhők – a legközelebbi
galaxisok



7.7. ábra. Az NGC5866
lenticuláris galaxis a
Sárkány csillagképben

ezüstös fényű felhőkként figyelhetők meg az éjszakai égbolton. Mivel a déli féltéken helyezkednek el, Ukrajna területéről nem láthatóak.

A Nagy Magellán-felhő (7.6. ábra) 7 kpc átmérőjű és 52 kpc távolságban található tőlünk. Egyes csillagászok véleménye alapján a Magellán-felhőkben spirálkarok kezdeményei is megtalálhatók.

A lenticuláris (lencseformájú) galaxisok külsőleg (oldalnézetből) nagyon hasonlóak az elliptikus galaxisokhoz, de lapultabb a galaktikus korongjuk. Szerkezetük hasonlít a spirális galaxisokéhoz, viszont korongjukban nincsenek spirálkarok, magjuk szokatlanul nagyméretű. Ha oldalnézetből vizsgáljuk, a lencseformájú galaxisokat a sötét anyag sávjainak hiánya különbözteti meg a spirális galaxisoktól (7.7. ábra). **Karl Schwarzschild** (1863–1916) német csillagász elmélete szerint a lencseformájú galaxisok olyan spirális galaxisokból keletkezhetnek, amelyekben végbemegy a csillagközi anyag „kisöprése”.

2. A galaxisok távolsága. Hubble törvénye. A legközelebbi galaxisok távolságát a bennük található cefeidák látszólagos fényessége alapján határozzák meg. A hosszú periódusú cefeidák esetében a periódus-fényesség relációt használják fel. Ez az összefüggés lehetőséget ad arra, hogy a fényesség ingadozásai alapján meghatározzuk az abszolút fényességet: minél rövidebb a fényesség-változás periódusa, annál kisebb a cefeida abszolút fényessége. A távolságot a következő képlet segítségével számíthatjuk ki: $\lg r = 0,2(m - M) + 1$, ahol m és M – a látszólagos és abszolút fényesség.

Amennyiben egy galaxisban nem sikerül kimutatni cefeidákat, vagy nem lehetséges tisztán látni őket, távolságindikátorként a legfényesebb csillagokat – szuperóriásokat, nóvákat és szupernóvákat, gömbhalmazokat – használják. A távolság meghatározását szintén a fenti képlet segítségével végzik. A látszólagos fényességet a megfigyelések alapján állapítják meg, az abszolút fényességet pedig az égitestek adott csoportjára nézve adottnak (átlagérték) veszik. Például a megfigyelések szerint a szupernóvák közel azonos abszolút fényességgel rendelkeznek kitörésük maximumában.

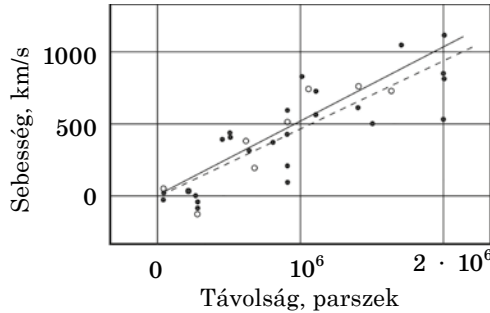
A távoli galaxisok távolságát szintén a látszó átmérőjük vagy látszólagos fényességük alapján határozzák meg, míg a nagyon távoli galaxisok esetében kizárólag a színeképükben megfigyelhető vöröseltolódás jelenthet segítséget.

A **vöröseltolódás (z)** egyenlő a színeképvonalak hullámhosszának relatív változásával:
$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Vesto Slipher (1875–1969) még 1912–1914-ben kimutatta, hogy a távoli galaxisok színeképében a színeképvonalak az eredeti helyzetükhöz képest eltolódnak a

színekép vörös területe felé. Ez azt jelenti, hogy a galaxisok több száz kilométeres másodpercenkénti sebességgel távolodnak tőlünk. Később E. Hubble meghatározta egyes galaxisok távolságát és sebességét. A megfigyelésekből következett, hogy minél távolabb van tőlünk egy galaxis, annál nagyobb sebességgel távolodik (az összefüggés grafikus ábrázolása a 7.8. ábrán látható). A törvény, amely leírja, hogy egy galaxis távolodási sebessége arányos a távolságával, a **Hubble törvénye** elnevezést kapta:

a színeképvonalak hosszának relatív növekedése a galaxisok színeképében egyenesen arányos a távolságukkal, azaz $r \sim (\lambda - \lambda_0) : \lambda_0$.



7.8. ábra. A galaxisok távolodási sebességének távolságfüggése

Feltételezve, hogy a vöröseltolódást a galaxis v_r sebességű távolodó mozgása okozza a megfigyelő látóirányában, meghatározhatjuk a galaxis sebességét a színeképvonalak hullámhosszának relatív változása alapján: $v_r = c(\lambda - \lambda_0) : \lambda_0$. Figyelembe véve Hubble törvényét, az egyenlet felírható a következő formában: $v_r = Hr$, ahol H – arányossági tényező – a **Hubble-állandó**, amely azt mutatja, hány km/s-mal növekszik a galaxis sebessége 1 Mpc távolságnövekedés esetén. A H állandó értékét folyamatosan pontosítják, jelenlegi értéke – különböző számítások szerint – 50–80 km/(s · Mpc). A számítások során általában a Hubble-állandó $H = 75$ km/(s · Mpc) értékét használják. Hubble törvénye csak az 5–10 Mpc-nél nagyobb távolságban lévő galaxisok esetében teljesül.

3. A galaxisok tömege. A galaxisok tömegére a központi területeik lineáris forgási sebességéből lehet következtetni. A v forgási sebességet a galaxis különböző részei által kibocsátott színeképvonalak eltolódásainak összehasonlításából állapítják meg.

Feltételezzük, hogy a galaxis teljes m tömege a középpontjában koncentrálódik, és a forgása Kepler törvényei szerint megy végbe. Akkor Newton második törvényéből $F = ma$, ahol $a = \frac{v^2}{R}$ – centripetális gyorsulás; figyelembe véve a testek mozgását a gravitációs mezőben $F = \frac{GMm}{R^2}$, megkapjuk: $\frac{GM}{R^2} = \frac{v^2}{R}$, ahol R – a galaxis sugara. A megfelelő átalakítások után megkapjuk a kifejezést a galaxis tömegének meghatározására: $M = \frac{Rv^2}{G}$.

A galaxisoknál, akárcsak a csillagok esetében, tapasztalható bizonyos összefüggés a tömeg és a fényerő között. Ezt az összefüggést használják a galaxisok tömegének meghatározására. De a galaxisok fényereje alapján kiszámított tömeg jelentősen kisebbnek bizonyult a forgásuk sebessége alapján meghatározott tömegnél. Ezt a jelenséget nevezték el **hiányzó tömeg paradoxonnak**. Ahhoz, hogy megmagyarázzuk, feltételeznünk kell, hogy valahol a galaxisban sötét anyagnak kell lennie.

A XX. sz. 70-es éveiben röntgensillagászati módszerekkel felfedezték a forró galaxisközi gáz létezését. A gáz hőmérséklete alapján meghatározható a gázfelhők tömege. A forró gáz jelenlétét és tulajdonságait a galaxishalmazokban is tanulmányozzák. A röntgentartományban történő megfigyelések első eredményei alapján a galaxisközi gázfelhőkben olyan hiányzó tömeg rejtőzik, amely egyik galaxishoz sem tartozik. Napjainkban a csillagászok meg vannak győződve arról, hogy a Világegyetem nagyobb részét a láthatatlan sötét anyag teszi ki. Ez az anyag alkotja a galaxisok nagy kiterjedésű halóját és kitölti a galaxisok közötti teret, a galaxishalmazokban koncentrálódva.

A Hubble űrteleszkóp és a korszerű, nagy földi teleszkópok spektroszkópai megfigyelései megerősítették nagy tömegű (közel 50 millió naptömeg) sötét anyag jelenlétét egy sor galaxis magjában.

4. Aktív galaxisok. A galaxisok többségének élesen elkülönülő fényes központi része van – a mag (7.9. ábra). Ez a terület nagy csillagsűrűségével – 10^6 – 10^8 pc⁻³ – tér el a galaxis többi részétől. Ennek ellenére nem figyelhetők meg a mag és a csillagok ütközései.

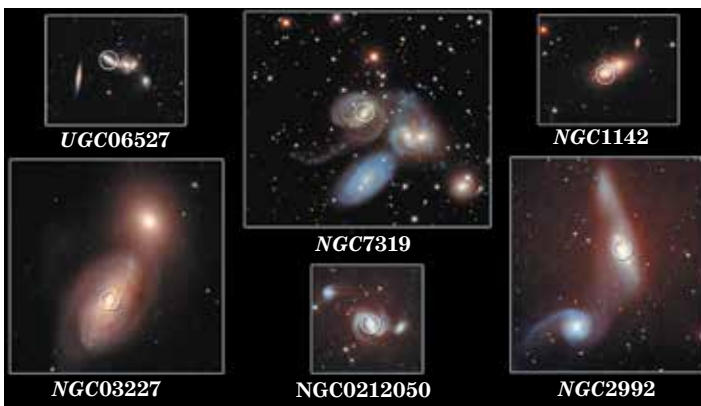
Az utóbbi évek kutatásai alapján tudjuk, hogy a mag – nem pusztán a galaxis nagy, sűrű területe: a közepében kimutatható egy kisebb sűrűsödés – a belső mag. Az Androméda-köd magjának (átmérője közel 100 pc) megfigyelése során sikerült elkülöníteni az 1–14 pc átmérőjű fényes belső magot, amely szilárd testként forog (500 ezer éves forgási periódussal).

A belső mag tömege körülbelül 13 millió naptömeggel egyenlő. Sűrűsége – közel 1500 naptömeg/1 pc³, amely 20 ezerszer nagyobb, mint a Nap környezetében. A belső mag önálló képződményként viselkedik, amelyet mintha „behelyeztek” volna a galaxisba.

A Tejútrendszer rádióhullámú megfigyelései azt mutatják, hogy a középpontjában szintén van egy közel 6 pc átmérőjű belső mag.

Egyes galaxisok magjában roppant erejű energiatermelés megy végbe, amely nem magyarázható a közönséges csillagok sugárzásával vagy kitoréseivel. Az ilyen galaxisokat **aktív galaxisoknak** nevezzük (magjukat **aktív galaxismagnak**), amelyek között megkülönböztetünk úgynevezett **Seyfert-galaxisokat** (Carl Keenan Seyfert (1911–1960) amerikai csillagász tiszteletére, aki 1943-ban először írta le őket).

A Seyfert-galaxisok magjának aktivitása több formában is megnyilvánulhat. Lehet hatalmas teljesítményű infravörös, optikai- és röntgensugárzás, amely akár rövid idő alatt is változhat (néhány év, hónap, sőt nap alatt). Egyes esetekben megfigyelhető a gáz gyors mozgása a magban (közel 1000 km/s sebességgel).



7.9. ábra. A galaxisok magjában nagy tömegű fekete lyuk található



7.10. ábra. A galaxis magja gáznyalábokat – jeteket – lövell ki

Időnként a gáz hosszú nyalábokban lövell ki a galaxis magjából, ezeket **jeteknek** nevezzük (7.10. ábra).

A legvalószínűbb feltevések szerint a galaxismagok aktivitását a galaxis középpontjában található fekete lyuk okozza.

5. A galaxisok kölcsönhatása. Az egymás közelében elhelyezkedő galaxisokat időnként fénylő anyagsáv köti össze. Ezek a fényes kék színű sávok gyakran a spirálkarok meghosszabbításai. A sávok forró, fiatal csillagokból állnak. A galaxisok gyakran egy közös „csillagködben” rejtőznek. Ilyenkor **kölcsönhatásban lévő** galaxisoknak nevezzük őket.

Sok kutató feltételezi, hogy a kölcsönhatásban lévő galaxisok közelednek, és a korszerű teleszkópos megfigyelések szerint sokan közülük össze is ütköznek. A Tejútrendszer is kölcsönhatásban lévő galaxis.

141

A Hubble űrteleszkóp egyedülálló felvétele közelebb visz minket a Világegyetem születésének titkaihoz. A felvételen katasztrofális látvány tárul elénk: két hatalmas galaxis – az NGC4490 és NGC4485 – ütközése 24 millió fényév távolságban, a Vadászebek csillagképben (7.11. ábra). Évmilliókon át közeledtek egymáshoz, majd eljött az ütközés pillanata. Igaz, ezek a nagyon távoli múlt eseményei: a galaxisokat akkor elhagyó fény 24 millió év után most érte el a teleszkóp objektívját. A katasztrófa helyszíne rózsaszín fényben ragyogott, ami nagy mennyiségű ionizált hidrogén jelenlétére utal. Az Európai Űrügynökség (ESA) tudósai szerint ilyen folyamatok eredményeként keletkeznek az új csillagok.

A galaxisok a gravitációs összenyomódás hatására ütköznek, s ennek leggyakrabban gravitációs összeomlás a vége – a nagy tömegű testek katasztrofális gyorsasággal végbemenő összenyomódása a gravitáció hatására.

A gravitációs erők hatására a galaxisok hosszú, gázból és csillagokból álló „antennákra” tettek szert, ezért gyakran nevezik őket **antennás galaxisoknak**. Ezek a képződmények a csillagrendszerek ütközésének következtében keletkeznek. A csillagászok több mint ezer, a közelmúltban keletkezett csillaghalmazt fedeztek fel az antennás galaxisokban. Mindegyikük közel egymillió csillagot tartalmaz. A halmazok életkora nem haladja meg a 100 millió évet, és a galaxisok közeledése során keletkező árpalýeró hatására jöttek létre.

A galaxisok magjában található fekete lyukra zuhanó gáz- és porfelhők vörösen fénylenek, míg a felhőkől keletkező fiatal, forró csillagok – kéken.



7.11. ábra. Két hatalmas galaxis – az NGC4490 és NGC4485 – ütközése 24 millió fényév távolságban, a Vadászebek csillagképben

6. Kvazárok. A XX. sz. 60-as éveinek elején a rádiótartományú sugárzás vizsgálata során új égitesteket fedeztek fel, amelyek hasonlóak voltak az aktív galaxisokhoz – a **kvazárokat**. Nevük a *csillagszerű rádióforrás* angol rövidítéséből (*quasi stellar*) ered.

A kvazárok színeke fényes emissziós vonalakat tartalmaz, erősen eltolódva a vörös irányba, akár a távoli galaxisok esetében. A vöröseltolódás alapján meghatározott távolságuk több mint 5 milliárd fényév. A fotókon a kvazárok sokkal fényesebbek a távoli galaxisokhoz viszonyítva, és olyan erősen sugároznak a rádiótartományban, mint a közeli rádióhullám-források.

A kvazárok aktív rádiósugárzásának természete pontosan még nem ismert, viszont biztosan állíthatjuk: 1) a kvazárok – a legtávolabb lévő megfigyelt égitestek a Világegyetemben; 2) a kvazárok jelentős része – távoli galaxisok nagy aktivitású magjai; 3) a kvazárok – a természetben ismert legnagyobb teljesítményű forrásai a látható és infravörös sugárzásnak, vagyis nagy felületi fényerővel rendelkező kozmikus objektumok.

1995-ben, számos kvazár tanulmányozása után a Hubble űrteleszkóp segítségével a tudósok arra a következtetésre jutottak, hogy a közeli kvazárok (amelyek vöröseltolódása $z = 0,5$), kölcsönhatásban lévő elliptikus galaxisokkal vannak kapcsolatban. Sok kvazár ilyen csillagrendszerek középpontjában helyezkedik el. Ezek a megfigyelések azt a feltételezést támasztják alá, amely szerint a kvazárok a galaxisok közepében található fekete lyukak, amelyek anyagot nyelnek el.



TUDJÁTOK-E, HOGY...

A Tejútrendszer közel 14 milliárd éve keletkezett, amely megközelítően egyenlő a Világegyetem korával. De a látható része, a világos sáv a sötét égbolton, csak a Galaktika egy nagyon kis része. Több mint 300 milliárd csillagot tartalmaz, amelyeknek csak 0,0001%-át katalogizálták. A Galaktika középpontja – egy szupernagy tömegű fekete lyuk, amely körül egy kisebb átmérőjű fekete lyuk kering. A Tejútrendszer, a fizika törvényeinek engedelmessé, kisebb galaxisok ütközéséből és egyesüléséből alakult ki. A csillagászok szerint ezt bizonyítják az „ösi” csillagok, amelyek a Világegyetem létezésének korai szakaszaiban keletkeztek. Ilyen csillagokat a tudósok a Tejút környezetében, a látható rész határai közelében fedeztek fel.

A tudósok, a fizika törvényeit felhasználva megalkották a galaxisok születésének számítógépes modelljét az utolsó több mint 13 milliárd évre, az időszámítás kezdeteként az ősrobbanást (Nagy Bumot, angolul The Big Bang) fogadva el. A modell megmutatta, hogy a Tejútrendszer galaktikus halóját alkotó csillagok a törpe galaxisokból „estek ki” azok ütközései következtében. Ezek az eredmények egybeesnek a Tejútrendszer keletkezésével foglalkozó elmélettel.

Felmerül a kérdés: *vajon nem fenyegeti a jövőben a Galaktikát a szomszédos galaxisokkal való ütközés katasztrófája?* A közelmúltban az asztrofizikusok számítógépes modellezés segítségével arra a feltételezésre jutottak, hogy a Tejútrendszer és az Androméda galaxis, amelyek megállíthatatlanul közelednek egymáshoz, végül összeütköznek. Ez egy új galaxis kialakulásához vezet majd, s a most létező csillagok és bolygók elpusztulnak.

Jelenleg a Galaktika elnyel egy törpe galaxist, amely a galaktikus korong átel- lenes oldalán található. Néhány évmilliárd múlva a Tejútrendszer elnyeli a Magel- lán-felhőket, majd 5 milliárd év múlva összeütközik az Androméda-köddel (M31). Viszont nagyon kicsi az esélye annak, hogy csillagok közvetlenül ütközzenek egy- mással, mivel a közöttük levő távolság akár több százmilliószor nagyobb az átmé- rőjüknél.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Jellemezzétek a galaxisok típusait a Hubble-féle osztályozás szerint! Miben különböznek az elliptikus és szabálytalan galaxisok a spirális galaxisoktól? Melyik típusúhoz tartozik a Galaktika?
2. Hogyan határozzák meg a galaxisok távolságát? Magyarázzátok meg a vöröseltolódás módszerét, amelyet rendszeresen alkalmaznak a galaxisok távolságának meghatározására!
3. Fogalmazzatok és magyarázzátok meg Hubble törvényét!
4. Hogyan állapítják meg a galaxisok tömegét?
5. Léteznek-e kettős galaxisok? Mit nevezünk galaxishalmaznak?
6. Miben nyilvánul meg a galaxisok aktivitása? Mivel magyarázható a vöröseltolódás a galaxisok színekében?
7. Hogyan lehet a megfigyelések alapján megkülönböztetni a csillagokat a kvazároktól?
8. Milyen sajátosságokkal rendelkeznek a kvazárok? Melyik kvazár található a Földhöz legközelebb?

29. §. A VILÁGEGYETEM. A VILÁGEGYETEM KELETKEZÉSE ÉS FEJLŐDÉSE. AZ UNIVERZUMRÓL ALKOTOTT ELKÉPZELÉSEK FEJLŐDÉSÉNEK TÖRTÉNETE. A KOZMOLÓGIA MEGFIGYELHETŐ ALAPJAI

1. Galaxishalmazok. A galaxisok a csillagokhoz hasonlóan csoportokat és halmazokat alkotnak. Ismeretes, hogy a látható Világegyetemben összesen 100–200 milliárd galaxis található. A Tejútrendszer, Androméda-köd és közel 50 szomszédos galaxis együttesen alkotják azt a több száz kiloparszek átmérőjű galaxishalmazt, amely a **Lokális galaxiscsoport** nevet viseli.

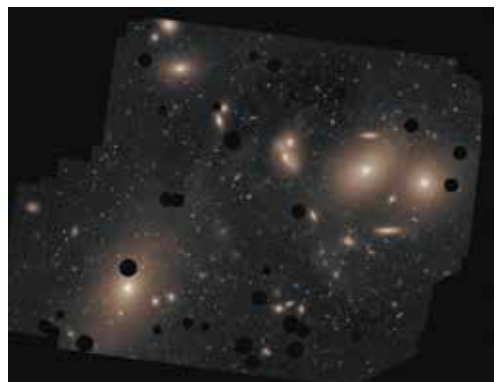
143

A galaxishalmazok galaxis-rendszereket alkotnak, amelyek akár ezer galaxist is tartalmazhatnak, és méreteik meghaladhatják a néhány megaparszeket. A legközelebbi, körülbelül 5 Mpc átmérőjű, nagy galaxishalmaz a szabálytalan alakú Virgo-halmaz, amely a Szűz csillagkép irányában figyelhető meg. Távolsága közel 20 Mpc. Nevét onnan kapta, hogy az égbolton megfigyelhető részének középpontja a Szűz (Virgo) csillagképben van (7.12. ábra).

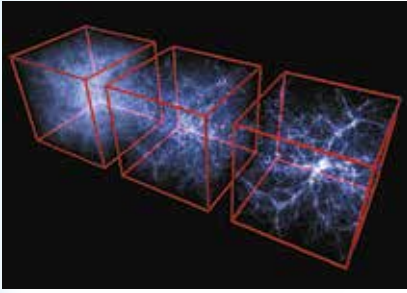
Hatalmas elliptikus és spirális galaxisok alkotják, köztük a Virgo A rádiógalaxis, a spirális Sombrero galaxis (7.13. ábra).



7.12. ábra. Galaxishalmaz a Szűz csillagképben



7.13. ábra. Galaxishalmaz a Szűz csillagképben, a *Burrell Schmidt* teleszkóp felvétele



7.14. ábra. A galaxisok térbeli eloszlása

galaxist fedeztek fel. A galaxisok szuperhalmazai és halmazai szálak szerkezeteket alkotnak a térben, amelyek a méhsejt rácsra emlékeztetnek (7.14. ábra).

Az üres „szigetek” mérete közel 100–150 Mpc, a „szálak” vastagsága közel 10 Mpc. Az anyag átlagsűrűsége a „szálakban” közel 10^{-24} kg/m³. A Világegyetem nagy léptékű szerkezete sejtes felépítésű. 300 Mpc feletti léptékben a világos anyag átlagos sűrűsége $3 \cdot 10^{-28}$ kg/m³. Ez az érték megegyezik a világos anyag átlagos sűrűségével a Világegyetem teljes megfigyelhető részében, tehát nagy léptékben az Univerzum homogén.

2. A Világegyetem tágulása. A megfigyelt, különböző típusú galaxisok és halmazok összessége, a kvazárok és a galaxisközi anyag együttesen alkotják a Világegyetemet. Az Univerzum egyik fő tulajdonsága az állandó tágulása, a galaxis-halmazok „szétszóródása”, amelyet a galaxisok színképében megfigyelhető vöröseltolódás bizonyít. A Világegyetem a megközelítőleg homogén és izotróp tágulás állapotában van. A Világegyetem izotróp (tetszőleges irányba nézve ugyanolyan) és homogén (bármely távolságban ugyanolyan). Az egyneműség a tér kitüntetett területeinek hiányáról, az izotrópia a kitüntetett irány hiányáról tanúskodik. Azt a feltételezést, hogy kellően nagy térfogatot tekintve a Világegyetem homogén és izotróp, **kozmológiai elvnek** nevezzük.

A Világegyetem tágulásának hipotézisét Einstein általános relativitáselmélete és pontos matematikai számítások alapján **Alekszand Friedmann** (1888–1925) orosz fizikus és matematikus fogalmazta meg 1922-ben.

Einstein egyenleteinek első nem statikus megoldásai, melyeket a tudós 1922–1924-ben kapott az Univerzum relativisztikus modelljeinek tanulmányozása során, megalapozták a nem statikus Világegyetem elméletét. A tudós nem statikus, egynemű, izotróp modelleket vizsgált, pozitív görbületű térrel, amelyben egyenletesen oszlik el az anyag (nulla nyomással). A modellek instabilitása a görbületi sugár és a sűrűség időfüggésével írható le, ahol a sűrűség fordítottan aránylik a görbületi sugár köbéhez. Friedmann megmagyarázta a modellek viselkedését a gravitációs egyenletek határain belül, ráadásul külön esetnek bizonyult Einstein stabil Univerzum modellje. Nem értett egyet azzal, hogy az általános relativitáselmélet megköveteli a véges Univerzum létezését. Friedmann eredményei megmutatták, hogy Einstein egyenletei nem vezetnek egy egységes Világegyetem modellhez, bármekkora értéket is vegyen fel a kozmológiai állandó. A homogén, izotróp Világegyetem modelljéből következik, hogy a tágulása során a távolsággal arányos vöröseltolódás figyelhető meg. Ezt csillagászati megfigyelései alapján igazolta E. Hubble 1929-ben: a megfigyelt galaxisok színképében a vonalak eltolódtak a színkép vörös területei felé, ami a távolodásukra utal.

Friedmann számításaiból három lehetséges végkifejlet következik: a Világegyetem és vele együtt a tér időben tágul; bizonyos idő elteltével a Világegyetem elkezd

összehúzódni; hatalmas időközönként ismétlődnek a Világegyetem tágulásának és összehúzódásának folyamatai. Felmerül a kérdés: *a három változat közül melyik valósul meg a mi Világegyetünkben?* A választ kizárólag azok a csillagászati megfigyelések adhatják meg, amelyek az anyag jelenlegi átlagos sűrűségének meghatározását célozzák, és pontosítják a Hubble-állandó értékét. *Miért fontos ismerünk ezeknek az állandóknak a minél pontosabb értékét?*

A jelenlegi becslések szerint a Világegyetem anyagának sűrűsége megközelített egy kritikus értéket: vagy egész kicsit nagyobb, vagy egész kicsit kisebb (mivel még nem oldódott meg véglegesen a galaxisközi gáz és „rejtett tömeg” kimutatásának kérdése). Ha a Világegyetem anyagának tényleges átlagos sűrűsége meghaladja a kritikus értéket, a tágulást felváltja az összehúzódás, amennyiben kisebb, a tágulás folytatódik.

A Hubble-állandó lehetőséget ad arra, hogy meghatározzuk, mennyi ideje tágul a Világegyetem. Megállapították, hogy ez az idő nem kevesebb, mint 10 milliárd, és nem több mint 19 milliárd év. A Világegyetem legvalószínűbb kora közel 15 milliárd év. Ez az érték megfelel a legidősebb csillagok korának.

3. A forró Univerzum modell. A modern csillagászati világnézet alapján a Világegyetem keletkezését a forró Univerzum modell szemlélteti. Ennek megfelelően a tágulás korai szakaszaiban a Világegyetemet nemcsak nagy sűrűség, de nagyon magas hőmérséklet is jellemezte. A forró Univerzum hipotézist **George Lemaître** (1894–1966) belga katolikus pap, csillagász és matematikus, valamint **George Gamow** (1904–1968) ukrán származású amerikai elméleti fizikus, kozmológus fogalmazták meg. A hipotézis a **Nagy Bumm** (ősrobbanás) elnevezést kapta.

Az elmélet szerint a Világegyetem spontán keletkezett egy végtelenül kicsiny, sűrű és forró térrészből az ősrobbanást követően. Az anyag ősrobbanás előtti állapotát **szingularitásnak** nevezzük. A Világegyetem tágulását nem tekinthetjük úgy, mint a szupersűrűségű anyag szétterjedését a környező térbe, mert az nem létezett. A Világegyetem – minden, ami létezik. Az Univerzum anyaga már az első pillanattól egyneműen betöltötte az egész végtelen teret. A Világegyetem tágulásának kiváltó okai még mindig nem ismertek. A tágulás ütemében a hőmérséklet a nagyon magastól a nagyon alacsonyig csökkent, megteremtve a kedvező feltételeket a csillagok és galaxisok kialakulásához.

Friedmann modelljei alapján leírhatjuk az ősrobbanás után közvetlenül történeteket, így az anyag fejlődésének szakaszait is. Már 3 perccel az ősrobbanást követően véget ért a korai Világegyetem kialakulása, és elkezdődött a protonok és neutronok egyesülése atommagokká. Ezt közel 500 ezer évig lassú lehűlés követte. Amikor a Világegyetem hőmérséklete elérte a közel 3 000 fokot, a hidrogén és hélium atommagok képesekké váltak szabad elektronok befogására, így semleges atomokká alakulhattak.

A tágulás kezdete után egymillió évvel beköszöntött az anyag korszaka, amikor a forró, főleg hidrogén-hélium plazmából elkezdődött a ma ismert világunk változatosságának kialakulása.

A Világegyetem egyenetlenségei, amelyekből később kialakultak a ma ismert szerkezeti elemek, jelentéktelen, véletlenszerű változásokból (fluktuációkból) jöttek létre. Ezek a folyamatok megerősödtek abban az időszakban, amikor az ionizált gáz semlegessé kezdett válni, azaz amikor a sugárzás „különvált” az anyagtól.

Miután az anyag „átlátszóvá” vált az elektromágneses sugárzás számára, elkezdték kifejteni hatásukat a gravitációs erők. Ezek az erők felülmúltak minden más kölcsönhatást a Világegyetem legnagyobb részét alkotó, csaknem semleges anyag tömegei között. A gravitációs erők hatására alakultak ki a galaxisok, csillaghalmozatok és bolygók.

Mi a Világegyetem sorsa? A majdani Világegyetemnek két elméleti modellje létezik – a zárt és a nyitott. A **zárt** modell szerint a Világegyetem egy hatalmas zárt rendszer, amely korlátlan számú fejlődési cikluson megy át. A tágulási szakaszt követi az összeomlás a szingularitásba, majd újra robbanás, és í. t. A Világegyetem tágulásának és összeomlásának teljes ciklusa közel 100 milliárd évig tart. Minden alkalommal, amikor a Világegyetem összeomlik a szingularitásba, „elveszíti az emlékezetét” az előző állapotról, és képes teljesen új paraméterekkel és fizikai állandókkal „újjaszületni”.

A **nyitott** modellekben a Világegyetem „hőhalálának” különböző változatait¹ vizsgálják. Előreláthatóan 10^{14} év elteltével a csillagok többsége kihűl, ennek következtében a bolygók elszakadnak csillagaiktól, a csillagok pedig elhagyják galaxisaikat. Ezután a galaxisok központi területei összeomlanak, fekete lyukat hozva létre, így megszűnnek létezni.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Írjátok le a galaxisok térbeli eloszlását a Világegyetemben! Milyen korúak a galaxisok és csillagok?
2. Mi a lényege a táguló Világegyetem elméletének?
3. Milyen következtetésre jutott Friedmann a Világegyetem stabilitásával kapcsolatban?
4. Mit értünk a Világegyetem kritikus sűrűségén? Milyen összefüggés áll fenn a kritikus sűrűség és a Világegyetem tágulása vagy összehúzódása között?
5. Írjátok le a forró Univerzum modellét!
6. Írjátok le a Világegyetem fő fejlődési szakaszait!
7. Mit értünk a Világegyetem zárt és nyitott modelljein?

146



OLDJUK MEG EGYÜTT!

1. feladat. Egyes kozmológiai modellek feltételezik, hogy a teljes Világegyetem sokkal nagyobb, mint a megfigyelhető része. Milyen következtetéseket vonhatunk le ebből?

Megoldás. Elméletileg a megfigyelhető Világegyetem határa eléri a kozmológiai szingularitást, viszont a gyakorlati határt a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás jelenti. Ez a sugárzás (pontosabban az utolsó szóródási felület) a korszerű tudomány által tanulmányozható legtávolabbi objektum a Világegyetemben. Napjainkban az utolsó szóródási felület méreteit tekintve úgy változik, hogy tágulnak a Metagalaktika határai, és növekszik a Világegyetemben megfigyelhető anyag tömege.

A megfigyelhető Világegyetemet egy gömbként képzelhetjük el, a megfigyelővel a közepében. A megfigyelhető Világegyetem mérete fényévekben kifejezve megfelel a tér egyenletes terjedési korának, és egyenlő a 13-tól 18 milliárd fényévig terjedő sugarral. Az utolsó elismert számítások 13,4–15 milliárd fényév értéket adnak.

2. feladat. Nevezzétek meg a Világegyetem fejlődésének három lehetséges változatát Friedmann elmélete szerint!

Megoldás. Friedmann elmélete szerint a Világegyetem fejlődésének három lehetséges változata létezik: zárt, nyitott és pulzáló Világegyetem. A közös bennük az, hogy egy bizonyos időpontban a múltban (10 vagy 20 milliárd éve) a távolság

¹ A lehetséges sorsok: 1) Nagy Reccs – a Világegyetem gravitációja erősebb, mint az ősrobbanásból származó erő, ezért a tágulás megáll, és a visszajára fordul; az Univerzum egyre forróbb és sűrűbb lesz, végül szingularitássá omlik össze, amelyből akár új Világegyetem is keletkezhet; 2) Nagy Fagy – a Világegyetemben túl kevés anyag van jelen, ezért a gravitáció nem tudja megállítani a tágulást; bár a tágulás lassul majd, a galaxisok szétesnek, a csillagok kihunynak, s végül az atomok is alkotóelemeikre esnek szét; 3) Módosított Nagy Fagy – ha nem változik a Világegyetemben a sötét energia által képviselt erő, a tágulás üteme felgyorsul, a galaxisok egyre távolabb kerülnek, s az Univerzum sorsa elkerülhetetlenül a Nagy Fagy; 4) Nagy Szakadás – ha a sötét energia tovább gyorsítja a tágulást, évmilliárdok múlva a gravitáció mellett az atomok között és azokon belül ható erőket is felülmúlja; az anyag egy kataklizmikus Nagy Szakadás formájában szétszakad, és az idő is véget érhet.

a Világegyetem objektumai között nulla volt. Ebben, a Nagy Bummnak nevezett pillanatban a Világegyetem sűrűsége és a tér görbülete végtelenül nagy volt, ezért a Világegyetemnek egyetlen pontnak kellett lennie, amit a matematikusok szingularisnak neveznek. Ebben a pontban a fizikai törvények elvesztik hatásukat, ezért vizsgálhatjuk úgy, mint egy új fizikai valóság matematikai megjelenését. A kozmikus anyag átmenetének folyamata ebből a pontszerű állapotból a tágulás állapotába maga a Nagy Bumm. Ettől a pillanattól veszi kezdetét a Világegyetem történelme.

3. feladat. Magyarazzátok meg, hogyan határozható meg a galaxisok távolsága spektroszkópiai megfigyelések alapján!

Megoldás. Hubble megállapította, hogy összehasonlítva a mozdulatlan objektumok színképével, az ismert galaxisok színképének vonalai eltolódtak a vörös tartomány felé. A megfigyelések alapján sikerült felállítani a galaxisok távolsága és távolodási sebessége közötti összefüggést: $v = Hr$, ahol $H = 75 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$ – a Hubble-állandó. Ezzel együtt: $v = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda}$, ahol $\Delta\lambda$ – a λ hullámhosszúságú színképvonal

eltolódása; c – a fény sebessége légüres térben. Végül megkapjuk: $r = \frac{v}{H} = \frac{c\Delta\lambda}{H\lambda}$.



FELADATOK ÉS GYAKORLATOK

- 7.1. Hányszor került meg létezése alatt a Nap a galaxis középpontját?
- 7.2. Határozzátok meg a csillag térbeli sebességét, ha a radiális és tangenciális sebesség-összetevők modulusai rendre 30 és 25 km/s! Készítsetek rajzot!
- 7.3. Milyen csillagok találhatóak a Galaktika síkjában?
- 7.4. Milyen lehet a galaxisok szerkezete?
- 7.5. Hogyan határozható meg egy galaxis távolsága Hubble törvénye segítségével?
- 7.6. Végbemehet-e galaxisok ütközése?
- 7.7. Mit nevezünk galaktikus évnak, és mennyi a Nap kora galaktikus években kifejezve?
- 7.8. A csillagos égbolton sötét ködöket figyelünk meg. Minek köszönhetően látjuk őket, annak ellenére, hogy nem sugároznak látható fényt?
- 7.9. Hogyan lehet a színképek segítségével megállapítani a kvazárok távolságát?
- 7.10. Hogyan határozható meg a galaxisok távolsága a szupernóvák kitörései segítségével?
- 7.11. Mit nevezünk kozmikus háttérsugárzásnak?
- 7.12. Melyik világűrűből érkező sugárzást láthatjuk csukott szemmel?
- 7.13. Melyik világűrűből érkező sugárzás tanúskodik a Nagy Bummról?
- 7.14. Mi a zárt Világegyetem sorsa?
- 7.15. Mi vár a jövőben a nyitott Világegyetemre?
- 7.16. Milyen eseménnyel kezdődött a Világegyetem tágulása?
- 7.17. Miről tanúskodik a Világegyetem kozmikus háttérsugárzása?
- 7.18*. A galaxis 100 millió pc távolságban található. Határozzátok meg, mennyi idő alatt éri el a fénye a Földet!
- 7.19*. Miért nem a korai Világegyetemben ment végbe a nehéz kémiai elemek kialakulása, hanem jelenleg zajlik a csillagok magjában?
- 7.20*. Mekkora sebességgel távolodik tőlünk a galaxis, ha 10^9 fényév távolságra van a Földtől?

**ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!****Ellenőrző kérdések**

1. Milyen kémiai elemekből keletkezett a legnagyobb mennyiség a Világegyetemben, és azok mikor jöttek létre?
2. Homogén-e a Világegyetem?
3. Véges vagy végtelen-e a Világegyetem?
4. Mennyi a Világegyetem kora?
5. Milyen szerves anyagokat fedeztek fel a világűrben?

Amit tudok, és amire képes vagyok**● Tudok csillagászati feladatokat megoldani**

1. Napjainkban az ősrobbanás következményeként megfigyelhető egy tény – a galaxisok távolodása. Miért nem távolodnak egymástól egy konkrét galaxis határain belül a csillagok?

2. Egy nagyon távoli galaxis színeképében nagyon fényes vonalakat figyeltek meg a spektrum kék tartományában, amelyek a földi laboratóriumokban, ebben a színképtartományban nem láthatók. Miről tanúskodik a megfigyelt jelenség?

● Tudom, mi megy végbe a Világegyetemben

3. Milyen „kozmosz vendégnek” állítottak a világon egyedülálló emlékművet, és melyik űrlény sajtósága emlékmű?

4. Mikor nem lesznek galaxisok a Világegyetemben?

5. Visszafordítható-e az anyag fejlődésének folyamata a Világegyetemben?

148

**TESZTFELADATOK**

1. A *galaxis* görög szó jelentése:

- A Sófuvarosok (csumákok) Útja
- B ezüst út
- C fekete út
- D nagy út
- E Tejút

2. Mi található a Galaktika magjában?

- A csillaghalmaz
- B fekete lyuk
- C vörös óriás
- D fehér törpe
- E fekete felhő

3. A galaktikus év egyenlő:

- A a Galaktika tengelyforgási periódusával
- B a Nap keringési periódusával a Galaktika középpontja körül
- C a fény által az Androméda-galaxisig megtett távolság
- D a Galaktika keringési periódusa a Világegyetem középpontja körül
- E a Galaktika gömbösszetevőjét alkotó csillagok keringési periódusával a Galaktika középpontja körül

4. A *Nagy Fal* kifejezés jelentése a csillagászatban:

- A új csillagok és bolygórendszerek kialakulása
- B nagy galaxishalmazok a Szűz és Bereniké Haja csillagképek irányában
- C a galaktikus civilizációk által létrehozott védelmi létesítmények

D gáz- és porhalmaz a galaxisközi térben

E az ismeretlen sötét anyag halmaza, amely elnyeli a távoli galaxisok fényét

5. Hubble törvénye szerint a galaxisok minden irányban távolodnak. Mi található a távolodás középpontjában?

A a Föld

B a Tejútrendszer

C az *M31* galaxis az Androméda csillagképben

D galaxishalmaz a Szűz csillagképben

E nincs középpont, mert a végtelen Világegyetemben nincs középpont és környező területek

6. Mit jelent a csillagászatban a *Nagy Bumm* kifejezés?

A nóva kitörése

B galaxismag kitörése

C galaxisok ütközése

D a kozmikus tér tágulásának első pillanata

E a galaxisok keletkezésének pillanata

7. Mikor történt az Ősrobbanás?

A 10 éve

B 2003 éve

C i. e. 1 000 000 évvel

D i. e. 1 milliárd évvel

E i. e. 15 000 000 000 évvel

8. Mikor keletkezett a Naprendszer?

A i. e. 6000 évvel

B i. e. 100 000 évvel

C i. e. 1 000 000 évvel

D i. e. 5 milliárd évvel

E i. e. 15 milliárd évvel

9. A világuír melyik részében ment végbe az Ősrobbanás?

A az Univerzum közepében

B a Tejútrendszer magjában

C a Szűz csillagképben levő galaxishalmazban

D mindenhol, mert a galaxisok nem a Világegyetemhez viszonyítva mozognak

E egy másik dimenzióban a Világegyetem határain túl

10. Mennyi a Világegyetem átlaghőmérséklete?

A 0 °C

B 0 K

C -270 °C

D 2,7 K

E -300 °C

F 300 K



8. fejezet

ÉLET A VILÁGEGYETEMBEN

Talán nincs semmi más, ami jobban foglalkoztatná az embert, mint az élet és értelem keresése a Világegyetemben. Az emberiség nem lelhet teljes nyugalomra, amíg meg nem fejtí származása titkát. Ehhez azonban meg kell ismerni az Univerzum születésének rejtélyeit, az élet eredetét, és megérteni az elme működését. A csillagászok és fizikusok a Világegyetem keletkezését és fejlődését vizsgálják. A biológusok és pszichológusok az élőlényeket tanulmányozzák, és az elme titkait kutatják. Az élet eredetét azonban mindenki, köztük csillagászok, fizikusok, biológusok, kémikusok szeretnék megismerni. Sajnos csak egyetlen életformát ismerünk – a fehérje alapú életet, és egyetlen helyet, ahol ez az élet létezik – a Föld bolygót. Ha felfedeznénk más lakott bolygókat, hamarabb megfelfedhetnénk az élet keletkezésének rejtélyét. Főleg ha azokon a bolygókon értelmes élet lenne... Elakad a lélegzetünk, ha csak elképzeljük az első beszélgetést a távoli értelmes lényekkel.

150

30. §. AZ EMBER A VILÁGEGYETEMBEN. A FÖLDÖNTÚLI ÉLET KERESÉSE

1. Az antropikus elv. Az élet valószínűsége más bolygókon. Az élet a Világegyetem nagy titkainak egyike. A Földön nagyon változatos az élővilág, de nem tudunk semmit más bolygókon található más életformákról. Minden élőlény utódokat hoz világra, majd előbb vagy utóbb meghal, azaz a testük élettelen anyaggá változik. De a Földön még senki nem figyelte meg élő biológiai sejtek keletkezését közvetlenül az élettelen kémiai vegyületekből. Ezzel kapcsolatban **Francis Crick** (1916–2004) angol biológus így nyilatkozott: „Nem látjuk az utat az őslévestől a természetes kiválasztódásig. Levonhatjuk a következtetést, hogy az élet csoda, de ez csak a tudásunk hiányáról tanúskodik.”

Az antropikus elv: a fizikai Univerzum megfigyelhetőségének kompatibilisnek kell lennie egy őt megfigyelő tudatos élet létrejöttével. A nyitott rendszer állandó energia- és információáramlásban van a környezettel.

Az élő szervezet egy sejtje által tárolt információmennyiség – 1022–1023 bit. A korszerű számítógépes lemezek ennél milliárdszor kisebb információ tárolására képesek. Civilizációnk jelenlegi fejlettségi szintjén a számítógépeknek köszönhetően szintén jelentősen megnövekedett az emberiség által birtokolt információmennyiség. Az automatikus bolygóközi állomások segítségével elkezdtünk információt gyűjteni a távoli bolygókon, és elindítottuk a földönkívüli élet közvetlen keresését. A Naprendszer más bolygóján nagyon kicsi a valószínűsége az élet létezésének, ezért az új civilizációk keresése más csillagok közelében folyik. A közelmúltban a csillagok mellett több tíz sötét kísérőt fedeztek fel, ami más bolygórendszerek létezésére utal, amelyeken élhetnek eddig ismeretlen civilizációk.

A civilizációk közötti kapcsolat elsősorban információcserét jelent. Ha a Világegyetemben léteznek más civilizációk, és rendelkezésükre áll bizonyos mennyiségű

információ a saját Galaktika-részükről, akkor a velük folytatott információcsere az információ általános növekedéséhez vezetne, tehát ez a folyamat a biológiai fejlődés elmélete szerint progresszívnek tekinthető.

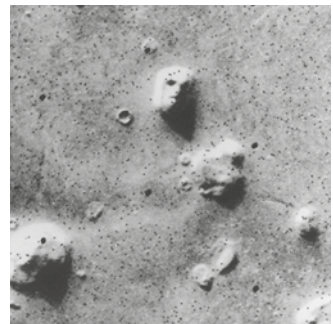
Az antropikus elv lényege az, hogy az értelmes élet megjelenése elengedhetetlen része a Világegyetemnek, fejlődésének természetes következménye. Univerzumunk régóta meglepően adaptált az élet keletkezéséhez és fejlődéséhez. A végtelen számú kezdeti feltétel és fizikai állandó közül, amelyek valószínűleg kialakultak a korai Világegyetemben, csak azok valósultak meg, amelyek alkalmasak értelmes élet létezéséhez. Íme néhány példa. 1. Háromdimenziós térben élünk. De csak ilyen térben valósulhatnak meg állandó bolygómozgások (gravitációs kölcsönhatás). 2. Ha a gravitációs állandó néhányszor nagyobb lenne, a Nap mint csillag életkora is néhány tízmillió év lenne. 3. Ha az elektron tömege egyenlő lenne a jelenlegi tömege háromszorosával, a proton élettartama is kicsi lenne. A proton elektronnal való kölcsönhatása következtében a proton neutronra és neutrínóra esne szét. Ebben az esetben a csillagok és galaxisok neutronokból épülnének fel, és bonyolultabb formák nem létezhetnének. 4. Ha az anyag átlagos sűrűsége a Világegyetemben sokkal kisebb lett volna, a tehetetlenségi erők (a tágulásért felelős erők) legyőzték volna a gravitációs erőket. Ezért nem érkeztek volna kialakulni a csillagok és galaxisok. A sort még hosszan folytathatnánk. Tehát mindenképpen egy következtetést tudunk levonni: a Világegyetemünk egy egységes egészet alkot, amelyben helye van az élet létezésének.

2. Élet keresése a Naprendszerben. Az élet – kémiai és biológiai vegyületek összetett rendszere, nagyfokú rendezettséggel, amely hatalmas információmennyiséget tárol önmagáról és a környező világról. A környezet instabilitásának növekedése következtében az élő szervezetben megnövekszik az információmennyiség, amely aztán a jövőben átadódik az utódainak. Több paraméter alapján a Föld zárt rendszer, ezért az emberiség túlélésének problémája szoros összefüggésben van a világűr felderítésével. Civilizációnk megtette az első lépéseket ebbe az irányba – elkezdte a Naprendszer tanulmányozását. De a világűr meghódításának folyamatában az emberiség előtt felmerül az idegen civilizációkkal való kapcsolat problémája.

Az emberiséget régóta foglalkoztatja az idegen életformák létezése. Egykor az emberek azt hitték, hogy minden bolygó lakott, még a Hold is. Azonban minél többet sikerült megtudni a tudósoknak a bolygókról, annál kevésbé lett optimista ez a feltételezés. Idővel a tudósok azt a következtetést vonták le, hogy élet a Vénuszon és a Marson lehetséges. De a Vénusz felszínének tanulmányozása megmutatta, hogy a bolygón semmi élő nem maradhatna életben. Jelenleg a kutatók az élet kialakulására legalkalmasabb helynek a legrejtélyesebb bolygót, a Marsot tartják.

A Viking űrszonda (automatikus orbitális és leszállóegységekkel) fő célja az élet keresése volt a Marson. Több összetett biológiai kísérletet végeztek el. A marsi talaj elemzésekor nem találták szerves vegyületeket, a mikroorganizmusok élettevékenységének termékeit. Egy ugyanolyan eszköz az antarktikus talajminta vételekor jelentős mennyiségű fosszilis szerves vegyületet talált. 1976-ban a Viking egység egy sejtelmes, 1,5 km átmérőjű objektum fotóját küldte a Földre (a Cydonia régióból), amely *Az arc* nevet kapta (8.1. ábra).

Született egy elmélet arról, hogy ez az objektum egy ősi civilizáció építészeti alkotása. De 2001-ben a *Mars Global Surveyor* űrszonda részletesebb képet küldött erről a képződményről (8.2. ábra).



8.1. ábra. Az arc fotója a Marsról (1976)



8.2. ábra. Nagyobb felbontású fotó Az arcról (2001)

Az új felvételen kivehető, hogy Az arc – természetes képződmény. Addig, amíg az élet keresése a Marson nem járt sikerrel, a Galileo űrszonda, amely a Jupitert és holdjait tanulmányozta, üzenetet küldött, miszerint az egyik nagy holdon, az Európén meleg vízű óceán jelenlétét sikerült felfedezni, amely jégpáncél alá van zárva. Az Europe felszíne vízzel van borítva, legfeltűnőbb jellegzetességei a teljes felszínt beborító, keresztül-kasul futó árkok, repedések és barázdák vagy más néven *lineák*.

Az eltérő időben készült felvételek elemzése során kimutatták, hogy a jég kis mértékben elmozdul (hasonló jelenség tapasztalható a Földön, a sarki tengereken a tavaszi jégolvadáskor). A jég repedéseinek méretéből és geometriájából a tudósok feltételezik, hogy az Europe holdon vékony jégréteg takarja a vizet vagy kásás, részben megolvadt jeget. A felszíni formák – lineák – kialakulásának valószínűsíthető oka a hidrotermális források (gejzírek) működése. Tehát, ha a Marson van meleg víz, létezhetnek valamilyen

életformák. Ezek kimutatása azonban csak akkor lehetséges, ha „földet érünk” a bolygó felszínén.

152

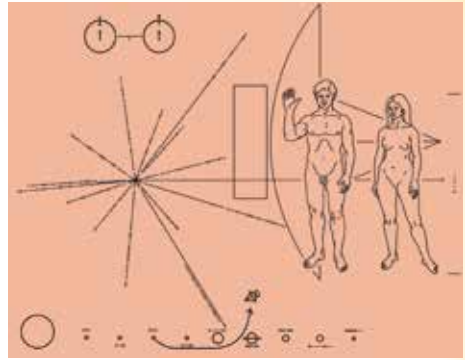
3. Az élet keresése a Tejútrendszerben. A Drake-formula. A korszerű tudomány úgy határozza meg a földöntúli civilizációkat, mint értelmes lények feltételezett társadalmait, amelyek a Földön kívül alakultak ki és léteznek.

A földönkívüli civilizációk számának meghatározásához **Frank Drake** amerikai rádiócsillagász a következő képletet javasolta: $N = RfnkdqL$, ahol N – a földönkívüli civilizációk száma a Galaktikában; R – a csillagok keletkezési sebessége a Galaktikában (közel 10 csillag évente); f – a bolygórendszerrel rendelkező csillagok aránya; n – a lakható bolygók átlagos száma egy bolygórendszerben; k – azok a bolygók, amelyeken ténylegesen megjelent az élet; d – értelmes lények kialakulásának valószínűsége; q – technikai civilizáció kialakulásának valószínűsége, amely képes kommunikálni más civilizációkkal; L – a földönkívüli civilizációk (kozmosz, technikai) várható élettartama.

A képletben szereplő mennyiségek értéke sajnos majdnem teljes mértékben ismeretlen, a csillagok számán kívül minden másik tényező csak a tudósok feltételezésein alapul. Ezért az N teljes mennyiség értéke bizonytalan. Egyes számítások azt mutatják, hogy napjainkban mindössze néhány földihez hasonló civilizáció galaxisa (amelyekben 10^{11} csillag van) áll készen a velünk való kapcsolatfelvételre. Más, optimistább becslések szerint ilyen civilizációk lényegesen nagyobb számban is létezhetnek. Annak egyik bizonyítéka, hogy a földönkívüli élet nagyon ritka jelenség, az, hogy még semmilyen formában nem sikerült a tevékenységükre utaló jeleket találni.

A földönkívüli civilizációk által sugárzott jelek keresésével elsőként Drake kezdett foglalkozni 1960-ban. A legközelebbi csillagok (τ Ceti, ϵ Eridani) rádiósugárzását tanulmányozta 21 cm hullámhosszon. Bár nem tudott mesterséges jeleket kimutatni, ezzel elkezdődött a nem földi civilizációk jelei után való kutatás időszaka. Napjainkban a kozmosz teret egyidejűleg több tartományban figyelik meg. A rádióteleszkópok által érzékelt jeleket számítógépek dolgozzák fel. 1967-ben először észleltek a csillagközi térből érkező periodikus jeleket, és elnevezték őket pulzároknak. A jelek elemzése kimutatta, hogy a pulzárak és az idegen civilizációk között semmilyen összefüggés nincs, mivel ezeket a jeleket neutroncsillagok bocsátják ki.

Ezzel párhuzamosan folyik az a munka, amelynek célja a földönkívüli civilizációk informálása a mi földi civilizációkkal kapcsolatban. 1974-ben az Arecibo obszervatóriumból a Földtől 24 ezer fényév távolságban levő M31 gömbhalmaz felé (Herkules csillagkép) egy üzenetet küldtek, amely kódolt formában tartalmaz egy szöveget az életről és a civilizációról a Földön. A földi civilizációval kapcsolatos információt szállított a világűrbe 4 űrszonda: Pioneer-10 (start 1972. 03. 03), Pioneer-11 (1973. 04. 06), Voyager-2 (1977. 08. 20) és Voyager-1 (1977. 09. 05). A Pioneer-szondák fedélzetre aranyozott táblákat erősítettek, amelyek a földlakókról szóló adatokat (a Föld pontos



8.3. ábra. Földönkívüli civilizációk képviselőinek címzett üzenetet tartalmazó tábla

helye a pulzárakhoz és más bolygókhoz viszonyítva, a férfiak, nők és gyermekek külső megjelenése) tartalmaztak. A Voyager-szondák ezeken kívül magukkal vittek egy lemezt, amely több száz, a Földet, állatokat, embereket, városokat, technikai eszközöket ábrázoló színes és fekete-fehér fotót, a bolygó több nyelvén rögzített üdvözlést, dalokat, állathangokat és a természet hangjait tartalmazta (8.3. ábra). Sajnálatos, hogy ezek az űrszondák évmillióig repülnek majd anélkül, hogy valaha is megtalálják őket más értelmes lények képviselői. Megalakult a *SETI* (ang. *Search of Extra Terrestrial Intelligence* – földönkívüli intelligencia keresése) nevű szervezet, amely jelentősen kiszélesítette a földönkívüli élet keresésének programját.

153

Ha egy idegen civilizáció nagyon megelőzte az emberiséget intelligenciában, akkor már meg tud valósítani csillagközi repüléseket. A civilizációk közötti kapcsolatteremtés csillagközi konfliktusok kialakulásához vezethet, amelyekre fel kell készülnünk.

Az utóbbi időben a tudósok és filozófusok körében egyre elterjedtebb az a vélemény, hogy az emberiség egyedül van, ha nem is az egész Világegyetemben, de legalábbis a Tejútrendszerben. Ebből levonhatjuk a legfontosabb következtetést civilizációknak jelentőségéről, értékéről és egyediségéről. Vagyis, az emberiség hatalmas mértékben felelős nem csak a bolygónkért, de a teljes Világegyetemért is.

Mégis mi fenyegeti a civilizációkat a bolygónkon? Ökológiai katasztrófa, amelyet a környezetet ipari hulladékokkal szennyező vállalatok okozhatnak. Éghajlatváltozás a Földön a szén-dioxid megnövekedett mennyisége miatt a légkörben, az üvegházhatás erősödése és a hőmérséklet emelkedése. Az ózonlyukak növekedése miatt a légkörben egyre nagyobb lesz az ultraibolya sugárzás aránya a Nap sugárzásában, s ennek következtében elpusztulhat bolygónk flórája és faunája.

Egy aszteroidával vagy üstökössel való ütközés hirtelen hőmérsékletcsökkenéshez és új jégkorszak kialakulásához vezethet. A civilizáció egy atomháborúval öngyilkosságot követhet el. Az utolsó évek történései alapján ennek elég komoly esélye van, mivel több olyan országban elterjedtek az atomfegyverek, amelyek nem tudják megfelelően kontrollálni azokat.

Igy tehát a Föld, amelyen nem egyszerűen élet, hanem értelmes élet létezik, a természet egyedi alkotása, és talán az egyetlen hordozója azoknak a csodálatos kozmikus egybeeséseknek, amelyek biztosították az élet és az értelem megjelenését. Ha a Tejútrendszerben valóban nincsenek más képviselői az értelmes életnek, akkor mindent meg kell tennünk annak érdekében, hogy legalább itt, a Földön megőrizzük.

4. Más univerzumok létezésének kérdése. Multiverzum. A Világegyetem – a teljes létező anyagi világ, amely végtelen térben és időben. Szünet nélkül változik és folyamatosan tágul.

Szűkebb értelemben a Világegyetem – égitestek világa saját fejlődési- és mozgástörvényekkel, térbeli és időbeli eloszlással. Az anyag az Univerzumban nagyon egyenetlenül oszlik el, jelentős része az egyes, kisebb vagy nagyobb sűrűségű égitestekben: galaxisokban, csillagokban és ködökben összpontosul. Az egyes objektumok közötti távolságot fényévekben mérik, vagyis abban a távolságban, amelyet a fény egy év alatt megtesz (a Naptól a legközelebbi csillag több mint 4 év alatt ér el).

Azoknak a fundamentális fizikai állandóknak a viszonylag szűk esetleges változási határai, amelyek mellett létezhet az élet, az egyediségükről és jelentőségükről adnak tanúbizonyságot. Éppen ez a kivételességük teszi lehetővé az élet létezését. Az antropikus elv szerint Világegyetemünk végtelen számú tágulási és összeomlási cikluson ment át. Minden ciklus esetén új értéket kaptak a fizikai állandók, amelyek ciklusról ciklusra változnak. Mi abban az időszakban élünk, amelyben a fizikai állandók és egyéb tulajdonságok úgy alakultak ki, hogy azzal kedvező feltételeket teremtettek az összetett szerkezetek és élő rendszerek kialakulásához. Nem kizárt, hogy az anyagi világban létezik még végtelen számú különböző világegyetem, saját fizikai állandókkal és tulajdonságokkal.

A mi Univerzumunkban, a mi fizikai jelenségeinkkel, összefüggéseinkkel és fundamentális fizikai állandóinkkal, a stabilitást éppen azok a természeti törvények biztosítják, amelyek a környező világban valósultak meg. De létezhet más, számunkra szokatlan jelenségek rendszere, amelyek stabilitását más törvények biztosítják. Feltételezhetjük olyan univerzumok létezését más törvényekkel, más tér-idő tulajdonságokkal és univerzális állandókkal, amelyek nem kevésbé szervezettek, mint a miénk, sőt akár képesek biztosítani más, nem emberi életformák és értelmeik létezését. Tehát mi abban a Világegyetemben élünk, amelynek tulajdonságai kedvezőek az élőlények kialakulásához. Létezhetnek más univerzumok, amelyekben más fundamentális fizikai törvények hatnak, és akár gyökeresen eltérő életformák léteznek.

Multivilágegyetem, Nagy Univerzum, Multiverzum, Hiperuniverzum, Szuperuniverzum – a *multiverse* angol kifejezés fordításai. A Világegyetem területei hatalmas távolságokban vannak, sokkal nagyobb távolságban, mint az eseményhorizont, és egymástól függetlenül fejlődnek. Bármelyik megfigyelő kizárólag azokat a folyamatokat látja, amelyek az eseményhorizonttal megegyező sugarú „buborékban” mennek végbe. Ezeket a buborékokat vizsgálhatjuk a miénkhez hasonló, külön univerzumokként, amelyek nagy léptékben szintén homogének és izotrópok. Ezeknek a képződményeknek az összessége a **multiverzum**. A káoszelmélet megengedi az univerzumok végtelen változatosságát, amelyek mindegyike rendelkezhet a többitől eltérő fizikai állandókkal. Egy másik elmélet szerint az univerzumok kvantumdimenzióikban térnek el egymástól. A meghatározás szerint ezeket a feltételezéseket lehetetlen kísérletileg ellenőrizni.

A végtelen számú lehetséges multiverzumból szóló kérdés a fizikában és kozmológiában nem talál megértésre. Ha léteznek más multiverzumok, a létezésüket alapvetően más törvények szabják meg, mint a mi Világegyetemünkét. Ez viszont azt jelenti, hogy nem kaphatunk tőlük információt, hiszen fizikai kapcsolat különböző objektumok között akkor jöhet létre, ha azonos törvények szerint élnek.

Hogyan találjunk kapcsolatot valamihez, ami alapvetően nem hasonlít a mi világunkra? Egyes tudósok feltételezik, hogy a fekete lyukak az összekötő csatornák. Lehetséges, hogy a tér-idő akadályok, amelyek elkülönítik a mi Világegyetemünket más univerzumoktól, nem is áthághatatlanok. Nincs kizárva, hogy idővel a tudomány legyőzi ezeket az akadályokat, és egy teljesen új szintre emeli a világuírrol alkotott elképzeléseinket.



KÉRDÉSEK A TANULTAKHOZ

1. Mi az antropikus elv lényege?
2. A Naprendszer mely bolygóin tartják lehetségesnek az élet létezését a tudósok?
3. Hogyan lehet megállapítani az értelmes földönkívüli civilizációk számát a Galaktikában?
4. Miért ad bizonytalan eredményt a Drake-formula azon civilizációk számát illetően, amelyek készek kapcsolatba lépni velünk?
5. Hogyan próbálja az emberiség felvenni a kapcsolatot földönkívüli civilizációkkal?
6. Miben különböznek a következő kifejezések: *Világegyetem*, *világűr*, *metagalaktika*?
7. Mit nevezünk Multiverzumnak?



OLDJUK MEG EGYÜTT!

1. feladat. Létezik-e élet a Világegyetemben?

Felelet. A földönkívüli civilizációk a feltételezett objektumokhoz tartoznak, amelyek keresése nagy érdeklődést vált ki. Továbbra is zajlanak a viták a földönkívüli civilizációk valós létezéséről, de kizárólag a további megfigyelések és kísérletek alapján tisztázhatjuk majd, léteznek-e valamilyen lakott világok, vagy egyedüliek vagyunk, legalábbis a Tejútrendszerben. Ma levonhatjuk a következtetést, hogy eddig az egész világ összes tudósa sem volt képes bizonyítani, egyedül vagyunk-e a Világegyetemben vagy van-e értelmes élet más bolygókon is. Gyakran teszünk fel általános jellegű kérdéseket az Univerzum létezésével és tulajdonságaival kapcsolatban. De annak ellenére, hogy a kérdést megfogalmaztuk, még nem bizonyos, hogy választ is kaphatunk rá. Jogunkban áll-e feltenni a kérdést: a világ, amelyben élünk, miért éppen ilyen és nem másféle? Ahhoz, hogy a hasonló kérdésekre kimerítő választ kaphassunk, ki kellene lépnünk a megfigyelhető Univerzum határain kívülre, és felfedezni a világot teljes változatosságában. Ez azonban sajnos lehetetlen. Érthető, hogy a világban elvileg minden megismerhető. Abban az értelemben, hogy minden jelenségnek természetes okai vannak, és természeti törvényszerűségeknek engedelmeskednek. A gyakorlatban azonban messze nem ismerhetünk meg mindent. Elsősorban azért, mert a végtelen, változatos Világegyetem megismerésének folyamata maga is időben végtelen, és a tudomány bármilyen fejlettségi szintjén járunk is, mindig rejtve marad valami a környező világ titkai közül. Emellett nem tudjuk a világ minden folyamatáról megszerezni a megfelelő információt.

155

2. feladat. Milyen színképosztályhoz tartozó csillagok környezetében alakulhat ki és fejlődhet legnagyobb valószínűséggel az élet?

Felelet. Az élet fejlődéséhez a legegyszerűbb egysejtű lényektől az összetettebb létformáig óriási időközökre (3–4 milliárd év) van szükség. Ezért a forró fehér és kék csillagoknak, amelyek várható élettartama nem több 4 milliárd évnél, nincs jövőjük akkor sem, ha van bolygórendszerük. A Napnál sokkal kisebb tömegű csillagok szintén alkalmatlan jelöltek. Ahhoz, hogy egy ilyen csillagtól megkaphassa a szükséges hőmérsékletet, a bolygónak jóval közelebb kell lennie, mint a Föld a Naphoz. A bolygó mindig egyik oldalával fordulna majd a Napja felé, így jelentősen lelassulna az összetett kémiai vegyületek kialakulása. Ezenkívül nem jöhetnek szóba azok a csillagok sem, amelyek a csillagrendszer központi területein helyezkednek el, mivel az ott uralkodó halálos mértékű sugárzás már születésekor elpusztítja az életet. Így hát az élet keletkezése és fejlődése kizárólag a Naphoz hasonló alacsonyabb színképosztályú csillagok környezetében lehetséges, mert az ilyen csillagok élettartama elegendő az élet fejlődéséhez.

**FELADATOK ÉS GYAKORLATOK**

- 8.1. Milyen szerepet játszanak a kozmikus katasztrófák a földi élet fejlődésében?
- 8.2. Milyen alapjai vannak az élet keresésének a Naprendszer határain túl?
- 8.3. Mennyi ideig repülnének a korszerű űrhajók a legközelebbi csillagokig?
- 8.4. Lehetséges-e a korszerű rádióteleszkópok segítségével felvenni a kapcsolatot földönkívüli civilizációkkal?
- 8.5. Mit jelent a *hétköznapi élet* kifejezés? Az élet milyen formái létezhetnek még az Univerzumban?
- 8.6. Miért kell a személyzettel rendelkező, bolygóközi utazásokra tervezett űrhajókat a légkör határain túl, a kozmikus térben megépíteni?
- 8.7*. Mennyi ideig repülne a Marsig egy ellipszis alakú pályán a lehető legkisebb energiavesztéssel egy űrhajó?
- 8.8*. A hosszan tartó űrrepülések alkalmával felmerül a súlytalanság és a mesterséges gravitáció problémája. Mekkora sebességgel kell forognia a tengelye körül a 2 km átmérőjű űrállomásnak, hogy a földivel egyenlő mértékű gravitációt hozzon létre?
- 8.9*. Az égbolton feltűnt egy UFO, amelynek látszó átmérője akkora, mint a Holdé. Milyen kiegészítő méréseket kell végezni ahhoz, hogy meghatározhassuk az UFO földfelszín feletti magasságát és lineáris átmérőjét méterekben?
- 8.10*. Létezhetnek-e párhuzamos világok?

**ELLENŐRIZD A KÉSZSÉGEDET!**

156

Ellenőrző kérdések

1. Milyen feltételek mellett keletkezhet értelmes élet?
2. Hogyan alakult ki az élet a Földön?
3. Létezik-e élet a Naprendszerben?
4. Nevezzétek meg az élethez szükséges feltételeket a világűrben!

Amit tudok, és amire képes vagyok**● Tudok csillagászati feladatokat megoldani**

1. Mi a véleményetek egy esetleges számítógépes civilizáció létezéséről?
2. Gyakran érkeznek híradások ismeretlen repülő objektumokról (UFO) mint idegen civilizációk látogatásának bizonyítékairól a Földön. Ha valamikor volt már alkalmatok megfigyelni olyan szokatlan égi jelenséget, amely nem hasonlított az ismert égitestekre (csillagok, bolygók, üstökösök, bolidák), írjátok le! Jegyezzétek fel megfigyelésének dátumát és időpontját, fényességét a csillagokhoz és bolygókhoz viszonyítva, elmozdulásának sebességét az égbolton!
3. Magyarázzátok meg, miért jelent meg a csillagászatban a más univerzumok létezésével kapcsolatos hipotézis!

**TESZTFELADATOK**

1. A szinergika – egy új tudomány, amely tanulmányozza:

- A a kozmikus jogot
- B az összetett rendszerek fejlődését
- C a világ gazdaságát
- D a világ ökológiáját
- E a világűr ökológiáját

2. A földönkívüli civilizációkkal való kapcsolatot meghatározzák:

- A idegen civilizációkkal folytatott csillagháborúk
- B információcsere
- C sportversenyek földönkívüliekkel

- D kereskedelem földönkívüliekkel
- E információátadás a földönkívüliek által

3. Mit jelent az UFO abbreviatúra (rövidítés)?

- A repülésképtelen könnyű objektum
- B ismeretlen könnyű objektum
- C ismeretlen repülő objektum
- D új repülő objektum
- E ultramodern repülő objektum

4. Milyen problémán dolgozik a *SETI* nemzetközi szervezet?

- A élet keresése a Világegyetemben
- B élet keresése a Világegyetem határain túl
- C idegen civilizációk rádiójeleinek keresése
- D földönkívüli űrhajók keresése
- E marslakók keresése

5. Mit jelent az *antropikus elv* kifejezés?

- A a világűrben minden azért létezik, hogy a Földön emberek élhessenek
- B az értelmes élet keletkezésének alapfeltételei a Világegyetem bizonyos fizikai tulajdonságai
- C a világűrben létezhetnek az emberekhez hasonló értelmes lények
- D a Világegyetem valamennyi értelmes lényé közül a legértelmesebbek a földi emberek
- E az első értelmes lények a Világegyetemben csak a Földön jelentek meg

6. Mit jelent a DNS rövidítés?

- A a világűr demográfiai bizonytalansága
- B diklórfoszfor nukleinsav
- C önkéntes népi szervezet
- D dezoxiribonukleinsav
- E dixonukleinsav

7. Melyik kémiai anyagok képezik minden élőlény alapját a Földön?

- A hidrogén
- B oxigén
- C szilícium
- D víz
- E szén

8. Mekkora információmennyiséget örökít át az ember az utódaira a gének segítségével?

- A 10 GB
- B 10^{23} B
- C 10^{20} kB
- D 10^{23} MB
- E 10^{33} B

9. Milyen esemény tekinthető harmadik típusú kapcsolatnak a földönkívüli civilizációkkal?

- A információcsere a földönkívüli civilizációkkal elektromágneses hullámok segítségével
- B bolygóközi sportversenyek marslakókkal
- C csereprogram földönkívüli diákok számára a Földön, és földi diákok számára a galaktikus egyetemen
- D idegen civilizációkkal vívott csillagháború
- E információcsere a földönkívüliekkel robotok segítségével

10. A Földtől számítva mekkora távolságra terjedtek el a világűrben a rádióállomásaink „értelmes jelei”?

- A 100 fényév
- B 1000 fényév
- C 200 fényév
- D 50 fényév
- E 10 fényév

A FELADATOK MEGOLDÁSAI

1.20. Napfogyatkozás akkor megy végbe, amikor a Hold a Nap és a Föld között van, és eltakarja a Nap fényét. A földfelszín különböző pontjairól vizsgálva a napfogyatkozás eltérő módon látható. A napkorong azon megfigyelők számára van teljesen eltakarva, akik az árnyék kúpjában helyezkednek el. Átmérője a Földön nem több 270 km-nél, miközben a Hold átmérője 3482 km. Tehát a Hold teljes árnyékának átmérője a Föld felszínén csaknem 13-szor lesz kisebb a Hold átmérőjénél. **1.24.** 29,3 CsE. **1.26.** A Nap körül körpályán keringő test mozgása nincs ellentmondásban Kepler első törvényével. A bolygók keringési pályái alig különböznek a kör alaktól, mert nem túl nagy az excentricitásuk ($e = c / a$). **1.28.** Ez Kepler

harmadik törvényéből következik $\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$. Mivel a Mars pályájának fél nagytengegye nagyobb, mint a Vénuszé, a Nap körüli keringésének periódusa is nagyobb.

1.30. Kepler harmadik (pontosított) törvénye alapján $\frac{T_1(M + m_1)}{T_2(M + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$, minél nagyobb a tömeg, annál kisebb a periódus. Figyelembe véve, hogy m_1 és $m_2 \ll M$, a

periódus változása jelentéktelen lesz. **1.31.** A keringési periódus a $T = \frac{2\pi R}{v}$ összefüggéssel határozható meg, ahol R – a keringési pálya sugara. A sebességet Newton

második törvényéből számítjuk ki: $\frac{mv^2}{R} = G \frac{Mm}{R^2}$. Innen: $v = \sqrt{G \frac{M}{R}}$, ahol M – a

158

Nap tömege. Láthatjuk, hogy a keringési idő független a Föld tömegétől. Tehát a keringési periódus nem változik. **2.10.** 11 941 549 = 12 000 000 km távolságban.

2.11. 4 780 882 800 = 4 800 000 000 km távolságban. **2.12.** 1 349 466 226 = 1 350 000 000 km távolságban. **2.13.** A légkör zavaró hatása és a levegő szennyezettsége miatt. **2.14.** A Dnyeper látható, mert szélessége $\alpha = 500^\circ = 8'$.

3.10. A Naprendszer szélső bolygói, a Merkúr és a Neptunusz rendelkeznek a legnagyobb excentricitású pályával. Legjobban a Vénusz keringési pályája közelíti meg a kör alakot, excentricitása 0,007. **3.11.** A Jupiter lapultsága a bolygó gyors tengely körüli forgásával magyarázható (az egyenlítői terület forgási periódusa 9 h 50 min).

A Nap is lapult, de a viszonylag lassú tengely körüli forgás következtében (az egyenlítői terület forgási periódusa 25,4 nap), ez a lapultság nagyon csekély – 73 km, és nem mérhető (0,1"). **3.13.** A jelenségek periódusa megegyezik a Mars szinodikus periódusával ($S = 780^\circ$).

4.1. A Nap 400 nm-től (a színek lila tartománya) 700 nm-ig (a színek vörös tartománya) bocsát ki, amelyek keveredését fehér fénynek nevezük. Az energia legnagyobb részét a Nap a színek sárgás-zöldek tartományában

sugározza, ezért a csillagászok joggal nevezhetik sárga csillagnak. **4.2.** $M_\odot = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2}$,

ahol a – a Föld keringési pályájának fél nagytengegye; G – gravitációs állandó; T – a Föld keringési periódusa a Nap körül. **4.3.** Az úgynevezett tömeghiányt Einstein

képlete alapján határozzák meg: $\Delta M = \frac{E_\odot}{c^2}$, ahol $E_\odot = 4 \cdot 10^{26}$ W – a Nap fényereje;

c – a fény sebessége. Egy másodperc alatt a Nap tömege $4,44 \cdot 10^9$ kg-mal csökken, egy év alatt $\Delta M = 1,4 \cdot 10^{17}$ kg. **4.8.** A Napon még meglátható folt szögátmérője nem lehet kisebb a szem felbontásánál $\alpha > 1$. A folt lineáris átmérője nem lehet kisebb 50 000 km-nél. **5.2.** A látható fényesség egyenlő azzal az energiamennyiséggel, amely eljut a csillagtól a szemünkbe, ha a Föld felszínéről figyeljük meg. Az abszolút fényesség egyenlő azzal az energiamennyiséggel, amely a szemünkbe jutna, ha a normál 10 pc távolságban helyezkednénk el. **5.5.** Például, ha a csillag a Vega, akkor 54-szer lesz fényesebb a Napnál. **5.6.** 8,3 pc = 27 fényév. **5.7.** Pogson

képlete segítségével kiszámítjuk: $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(2-0)} = 6,3$. **5.8.** 100. **5.9.** $R_A = 295R_\odot$.

5.19. Az átlagsűrűség $2,4 \cdot 10^8 \text{ g/cm}^3$. **5.20.** Az átlagsűrűség $1,2 \cdot 10^8 \text{ g/cm}^3$. **5.21.** A Nap fényereje a jövőben 55-ször nagyobb lesz. **5.22.** A Nap 71%-ban hidrogénből áll, és a termonukleáris reakciók során a hidrogénatommagokból héliumatommagok keletkeznek; a fehér törpék – öreg csillagok, amelyek már nem tartalmaznak hidrogént. **5.23.** A Nap periódusa 2 h 45 min lenne. **6.5.** A Galaktikában található csillagok eloszlásában megfigyelhető két jól látható szabályszerűség: 1) nagymértékű összpontosulás a galaktikus sík közelében; 2) nagy koncentráció a Galaktika középpontjában. A második szabályszerűség erősödik a Galaktika központi részéhez közeledve, ezt nevezik bulge-nak vagy a Galaktika magjának. Meghatározva a távolságokat, ahol már jelentős mértékben csökken a csillagok elhelyezkedésének sűrűsége, képet kaphatunk a Galaktika méreteiről, és a Nap helyéről a galaxisunkban. Megállapították, hogy a Nap a Galaktika középpontjától 10 000 pc távolságban helyezkedik el, a Tejútrendszer határa pedig a Naptól 5000 pc távolságra található. **7.1.** 20 fordulatot. **7.7.** A galaktikus év – a Nap keringési periódusa a Galaktika középpontja körül. A hossza 230 millió földi évvel egyenlő. A Nap kora galaktikus években kifejezve körülbelül 20 év. **7.9.** A kvazárok színeképében a színeképvonalak eltolódtak a spektrum vörös tartománya felé, és a Doppler-effektus segítségével meghatározható a sebesség, amellyel a kvazárok távolodnak tőlünk. Például, ha a kvazár sebessége 250 000 km/s, akkor Hubble törvénye segítségével megállapítható a távolsága: $r = \frac{v}{H} = 3 \text{ 600 Mpc}$. **7.10.** A szupernóvák abszolút fényessége a kitörés

maximumában $M = -21^m$. **7.13.** A Világegyetemet kitöltő hőmérsékleti sugárzás ($T = 2,7 \text{ K}$ feketetest-sugárzásnak megfelelő), vagy kozmikus mikrohullámú háttér-sugárzás, az ősrobbanás után eltelt rövid időszakban keletkezett elektromágneses sugárzás. A kozmikus sugárzás sűrűsége körülbelül 500 foton köbcentiméterenként. **7.20.** 20 000 km/s. **8.4.** A korszerű rádióteleszkópok lehetőséget nyújtanak akár 100 fényév távolságban is érzékelni a földi rádióállomások által kisugárzott elektromágneses hullámokat. Tehát, ha ezen a távolságon belül található olyan civilizáció, amely a földihez hasonló intelligenciaszinttel rendelkezik, létrejöhetne a civilizációk közötti információcsere. Sajnos azonban az ilyen kozmikus beszélgetések több száz évig tartanának. **8.7.** 254 nap. **8.8.** 1 perc.

TÁRGYMUTATÓ ÉS SZÓTÁR

- A**bszolút fényesség – абсолютна зоряна величина 113
Aktív galaxis – галактика з активними ядрами 140
Általános tömegvonzás törvénye – закон всевітнього тяжіння 34
Antenna-galaxisok – антенні галактики 141
Aszteroida – астероїд 78
Asztrológia – астрологія 8
Asztrometriai kettőscsillagok – астрометрично подвійні зорі 118
Azimut – азимут 15
Bolygók holdjai – супутники планет 74
Cefeidák – цефеїди 124
Csillag belső felépítésének modellje – модель будови зір 121
Csillag szögmagassága – азимут світла 15
Csillagászat – астрономія 4
Csillagászatj obszervatórium – астрономічна обсерваторія 47
Csillaghalmazok – зоряні скупчення 17
Csillagképek – сузір'я 10
Csillagok színképtípusai – спектральна класифікація зір 114
Csillagok tömege – маса зір 119
Csillagos égbolt térképe – карта зоряного неба 39
Csillagtársulások – зоряні асоціації 133
Csillagtérképek – зоряні карти 17
Doppler-effektus – ефект Доплера 56
Éggömb – небесна сфера 13
Éggömb pontjai – точки небесної сфери 13, 14
Égi koordináták – небесні координати 15
Égi mechanika – небесна механіка 6
Égitestek sugárzása – випромінювання планет 45
Egyenes emelkedés (rektaszenczió) – пряме піднесення світла 16
Ekliptika – екліптика 28
Elhajlás (deklináció) – схилення 16
Elliptikus galaxisok – еліптичні галактики 136
Eruptív csillagok – еруптивні зорі 123
Evolúciós elmozdulás – еволюційні переміщення 122
Exobolygó – екзопланета 118
Fáklyák – факелі 101
Fedési kettőscsillagok – затемнювано-подвійні зорі 117
Fehér törpek – білі карлики 120
Fekete lyukak – чорні діри 126
Felbontás – роздільна здатність 50
Fényév – світловий рік 113
Fénytörés (refrakció) – астрономічна рефракція 18
Fizikai változócsillagok – фізично-змінні зорі 123
Folytonos színkép – суцільний спектр 54
Forró Univerzum modell – модель гарячого Всесвіту 145
Fotoszféra – фотосфера 101
Galaktikus csillagászat – зоряна астрономія 7
Galaktikus egyenlítő – галактичний екватор 131
Galaktikus sík – галактична площина 131
Galaxis – галактика 136
Galaxis szuperhalmazok – надскупчення галактик 144
Gömbhalmazok – кульбові зоряні скупчення 131
Háromszögelés – триангуляція 35
Hertzsprung – Russell-diagram – діаграма Герцшпрунга-Рассела 119
Holdfázis – місячна фаза 30
Holdfogyatkozás – місячне затемнення 31
Hubble törvénye – закон Габбла 139
Időegyenlet – рівняння часу 20
Kepler törvényei – закони Кеплера 32, 33
Keringési periódus – період обертання 27
Kettőscsillagok – подвійні зорі 116
Kirchhoff törvénye – закон Кірхгофа 55
Konvektív zóna – конвективна зона 99
Kozmogónia – космогонія 7
Kozmológia – космологія 7
Kozmológiai elv – космогонічний принцип 144
Kuiper-öv – пояс Койпера 77
Kvazárok – квазари 142
Látszólagos fényesség – видима зоряна величина 111
Látszólagos nagyítás – видиме збільшення 50
Lentikuláris galaxisok – лінзоподібні галактики 138
Luminozitás (fényerő) – світність зір 113
Meteoritok – метеоріти 80
Meteorok – метеорі 83
Multiverzum – мультивсесвіт 154
Nap-Föld kölcsönhatások – сонячно-земні зв'язки 105
Nap aktivitása – сонячна активність 103
Napállandó – сонячна стала 97
Narfogyatkozás – сонячне затемнення 31
Narfoltok – сонячні плями 101
Narkorona – сонячна корона 102
Napszél – сонячний вітер 104
Naptár – календар 22
Neutrinó- és gravitációs hullámdetektorok – детектори нейтріно та гравітаційних хвиль 52
Neutroncsillag – нейтронна зоря 126
Nóvák – нові зорі 125
Nyílthalmazok – зоряні асоціації 133
Oort-felhő – хмара Оорта 77
Ősz napéjegyenlőség pontja – точка осіннього рівнодення 16
Parallaxis módszer – метод міжзоряних паралаксів 120
Parszek – парсек 112
Planetáris kód – планетарна туманність 122
Pogson képlete – формула Погзона 111
Protocsillag – протозоря 121
Protuberancia – протуберанція 102
Pulzáló változócsillag – пульсуючі перемінні зорі 123
Pulzár – пульсар 126
Rádiáns – радіант 83
Rádióinterferométer – радіоінтерферометр 51
Rádioteleszkóp – радіотелескоп 51
Reflektor (tükrös teleszkóp) – телескоп рефлектор 49
Refraktor (lencses teleszkóp) – телескоп рефрактор 48
Rosetta űrmisszió – космічна місія «Розетта» 88
Sávós színkép – смугастий спектр 54
Spektrográf – спектрограф 54
Spektroszkóp – спектроскоп 54
Spektroszkopiai kettőscsillagok – спектрально-подвійні зорі 118
Spírális galaxisok – спіральні галактики 137
Stefan-Boltzmann-állandó – стала Стефана-Больцмана 114
Szingularitás – сингулярність 126
Szinodikus hónap – синодичний місяць 22
Szupernóvák – нові зорі 125
Szuperóriások – надгіганти 120
Tavaszi napéjegyenlőség pontja – точка весняного рівнодення 16
Tejút – Чумацький Шлях 131
Tejútrendszer – Молочний шлях 131
Törpebolygók – карликові планети 76
Tropikus év – тропічний рік 22
Uránusz – Уран 72
Úrteleszkópok – космічні телескопи 86
Üstökösök – комети 81
Valódi szoláris nap – дійсна сонячна доба 19
Vevőkészülékek – приймачі випромінювання 47
Világidő – всевітній час 21
Vízszintes parallaxis – горизонтальний паралакс 36
Vonalas színkép – лінійчастий спектр 52
Vörös törpek – червоні карлики 120
Wien és Stefan-Boltzmann törvénye – закон Віна і Стефана-Больцмана 56
Wolf-szám – число Вольфа 103
Zenitávolság – зенітна відстань 16

TARTALOM

BEVEZETÉS	3
1. §. A csillagászat tárgya. Fejlődése és jelentősége a társadalom életében. A csillagászat kutatási objektumainak rövid áttekintése	4
1. fejezet. ÉGGÖMB.	
AZ ÉGITESTEK MOZGÁSA AZ ÉGGÖMBÖN	
2. §. Égitestek és éggömb. Csillagok. A csillagok nagyságrendje	10
3. §. Égi koordináták	15
4. §. A csillagászat és az idő meghatározása. A naptárak típusai	19
5. §. A bolygók látszólagos mozgása	24
6. §. A Nap és a Hold látható mozgása	28
7. §. Kepler törvényei	32
8. §. Az égitestek méretének, tömegének és távolságának meghatározása a Naprendszerben	34
1. sz. gyakorlati munka. Gyakorlat forgó csillagképpel. Az égitestek helyzetének meghatározása az éggömbön csillagtérkép segítségével	39
Feladatok és gyakorlatok	42
Ellenőrizd a készségedet!	43
Tesztfeladatok	44
2. fejezet. AZ ASZTROFIZIKAI KUTATÁSOK MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI	
9. §. Az égitestek elektromágneses sugárzásának vizsgálata	45
10. §. Modern földi teleszkópok. Az optikai és rádióteleszkóp, a neutrínó- és gravitációs hullámérzékelők felépítése és működési elve	47
11. §. Szinképelemzés a csillagászatban. A csillagászati kutatások módszerei	53
Feladatok és gyakorlatok	57
Ellenőrizd a készségedet!	58
Tesztfeladatok	59
3. fejezet. NAPRENDSZERÜNK	
12. §. A Föld és a Hold	60
13. §. Föld-típusú bolygók	64
14. §. Óriásbolygók	69
15. §. A bolygók holdjai	73
16. §. Törpebolygók és a Naprendszer apró égitestei	76
17. §. A Naprendszer és a Világegyetem felderítése űrszondák segítségével	84
18. §. Feltevések és elméletek a Naprendszer kialakulásáról	90
Feladatok és gyakorlatok	94
Ellenőrizd a készségedet!	95
Tesztfeladatok	95
4. fejezet. A NAP – A LEGKÖZELEBBI CSILLAG	
19. §. A Nap fizikai jellemzői. A Nap szerkezete és energiaforrásai	97
20. §. A Nap légkörének szerkezete	101
21. §. A Nap aktivitásának megnyilvánulásai és hatásuk a Földre	104
2. sz. gyakorlati munka. A Nap vizuális-teleszkópos megfigyelése	107
Feladatok és gyakorlatok	109
Ellenőrizd a készségedet!	109
Tesztfeladatok	110
5. fejezet. CSILLAGOK. A CSILLAGOK FEJLŐDÉSE	
22. §. A csillagok fő jellemzői	111
23. §. A csillagok mérete és tömege. A csillagok osztályozása. Átlagos csillagok... ..	114
24. §. Kettős csillagok. A csillagok tömege. Más csillagok bolygói	116
25. §. A csillagok fejlődése. Fehér törpék	119
26. §. Fizikai változócsillagok. Neutroncsillagok. Fekete lyukak	123
Feladatok és gyakorlatok	128
Ellenőrizd a készségedet!	129
Tesztfeladatok	129
6. fejezet. A GALAKTIKA	
27. §. Galaktika. Tejútrendszer. A naprendszer helye a galaktikában	131
Feladatok és gyakorlatok	135
Ellenőrizd a készségedet!	135
7. fejezet. A VILÁGEGYETEM SZERKEZETE ÉS FEJLŐDÉSE	
28. §. Csillagrendszerek – galaxisok. A galaxisok világa	136
29. §. A Világegyetem. A Világegyetem keletkezése és fejlődése. Az Univerzumból alkotott elképzelések fejlődésének története. A kozmológia megfigyelhető alapjai	143
Feladatok és gyakorlatok	147
Ellenőrizd a készségedet!	148
Tesztfeladatok	148
8. fejezet. ÉLET A VILÁGEGYETEMEN	
30. §. Az ember a Világegyetemben. A Földön túli élet keresése	150
Feladatok és gyakorlatok	156
Ellenőrizd a készségedet!	156
Tesztfeladatok	156
A feladatok megoldásai	158
Tárgymutató és szótár	160

Навчальне видання

СИРОТЮК Володимир Дмитрович
МИРОШНІЧЕНКО Юрій Борисович

АСТРОНОМІЯ

(рівень стандарту, за навчальною програмою
авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.)

Підручник для 11 класу з навчанням угорською мовою
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Переклад з української мови

Перекладачі

Дьєрі Беата Дежівна, Штерр Габрієлла Аттілівна

Угорською мовою

Редактор *Адальберт Варга*
Обкладинка *Світлани Железняк*
Художній редактор *Світлана Железняк*
Коректор *Габрієлла Турканич*

Формат 70×100/16.

Ум. друк. арк. 13,0. Обл.-вид. арк. 12,94.
Тираж 1023 пр. Зам. № 84П

Державне підприємство
«Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Світ»
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua
e-mail: office@svit.gov.ua
svit_vydav@ukr.net

Друк ТДВ «Патент»
88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011

LEGGYAKRABBAN HASZNÁLT CSILLAGÁSZATI KIFEJEZÉSEK

Jelölés	Elnevezés	Jelölés	Elnevezés
<i>N</i>	észak	<i>A</i>	oldalszög (azimut)
<i>NE</i>	északkelet	α vagy (<i>AR</i>)	rektaszenció
<i>S</i>	dél	δ	deklináció
<i>SE</i>	délkelet	λ	földrajzi hosszúság
<i>E</i>	kelet	<i>b</i>	galaktikai szélesség
<i>NW</i>	északnyugat	β	ekliptikai szélesség
<i>W</i>	nyugat	φ	földrajzi szélesség
<i>SW</i>	délnyugat	<i>z</i>	zenittávolság
<i>a</i>	év	μ	sajátmozgás
<i>d</i>	teljes nap	<i>l</i> aó <i>l'</i>	galaktikus hosszúság
<i>h, m, s</i>	óra, perc, másodperc	π	évi parallaxis
°, ', "	fok, perc, ívmásodperc	<i>v_r</i>	sugársebesség
<i>t</i>	égitest óraszöge	<i>h</i>	égitest magassága a horizont fölött
<i>s</i>	csillagidő	<i>p</i>	pólustávolság
<i>T_☉</i>	napidő	<i>T_*</i>	csillagév
Υ	Arles (Kos), egyben a tavaszi napéjegyenlőség pontja a Halak csillagképben		
\Libra	Libra (Mérleg), egyben az őszi napéjegyenlőség pontja a Szűz csillagképben		
\Taurus	Taurus (Bika)		
\Scorpius	Scorpius (Skorpió)		
\Gemini	Gemini (Ikrek)		
\Sagittarius	Sagittarius (Nyilas)		
\Cancer	Cancer (Rák), egyben a nyári napforduló pontja a Bika csillagképben (1990-től)		
\Capricornus	Capricornus (Bak), egyben a téli napforduló pontja a Nyilas csillagképben		
\Leo	Leo (Oroszlán)		
\Aquarius	Aquarius (Vízöntő)		
\Virgo	Virgo (Szűz)		
\Pisces	Pisces (Halak)		

UKRAJNA MEGYESZÉKHELYEINEK FÖLDRAJZI KOORDINÁTÁI

Város	φ	λ	Város	φ	λ
Vinnica	49,2	28,4	Poltava	49,6	34,6
Dnyipro	48,4	35,0	Rivne	50,6	26,1
Doneck	48,0	37,8	Szimferopol	45,0	34,1
Zsitomir	50,3	28,7	Szumi	50,9	34,8
Zaporizzsja	47,8	35,2	Ternopil	49,6	25,6
Ivano-Frankivszk	48,9	24,7	Ungvár	48,6	22,4
Kijev	50,5	30,5	Harkiv	50,0	36,3
Kropivnickij	48,4	32,2	Herszon	46,6	32,6
Luhanszk	48,5	39,3	Hmelnickij	49,4	27,0
Luck	50,8	25,3	Cserkaszi	49,5	32,1
Lemberg	49,9	24,0	Csernyihiv	51,5	31,3
Mikolajiv	47,0	32,0	Csernyivci	48,3	25,9
Odessza	46,5	30,75			

BOLYGÓK FIZIKAI JELLEMZŐI

Bolygó	Átlagos sugár		Tömeg		Sűrűség, kg/m^3	Gravitációs gyorsulás az egyenlítői egyenlítőn, m/s^2	Parabolikus sebesség, km/s	Sziderikus egyenlítői forgásperiódus	Látható csillagellipszis
	km	földsugárban	földtömegben	$\cdot 10^{24}$ kg					
Merkúr	2439	0,383	0,055	0,330	5500	3,72	4,3	58,65 ^d	-0,2 ^m
Vénusz	6052	0,950	0,815	4,87	5200	8,87	10,4	243,16 ^d	-4,1 ^m
Föld	6371	1,000	1,000	5,98	5500	9,78	11,2	23 ^h 56 ^m	-
Mars	3393	0,532	0,107	0,64	3900	3,76	5,0	24 ^h 37 ^m	-1,9 ^m
Jupiter	71398	11,19	317,89	1900	1300	25	61,0	9 ^h 50 ^m	-2,4 ^m
Szaturnusz	60000	9,41	95,17	568	700	11,0	36,0	10 ^h 14 ^m	+0,8 ^m
Uránusz	26200	4,11	14,6	87	1600	9,50	22,0	10 ^h 49 ^m	+5,8 ^m
Neptunusz	24300	3,81	17,2	103	1720	11,50	24,0	19 ^h 00 ^m	+7,6 ^m

Навчальне видання

СИРОТЮК Володимир Дмитрович
МИРОШНИЧЕНКО Юрій Борисович

АСТРОНОМІЯ

(рівень стандарту, за навчальною програмою
авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.)

Підручник для 11 класу з навчанням угорською мовою
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Переклад з української мови

Перекладачі

Дьєрі Беата Дежівна, Штерр Габрієлла Аттілівна

Угорською мовою

Редактор Адальберт Варга
Обкладинка Світлани Железняк
Художній редактор Світлана Железняк
Коректор Габрієлла Турканич

Формат 70×100/16.

Ум. друк. арк. 13,0. Обл.-вид. арк. 12,94.
Тираж 1023 пр. Зам. № 84пр

Державне підприємство
«Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Світ»
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua
e-mail: office@svit.gov.ua
svit_vydav@ukr.net

Друк ТДВ «Патент»
88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011

A LEGFÉNYESEBB CSILLAGOK

Csillag neve	Jelölése a csillagképpen	Egyenlítői koordináták		Látható csillagnagyság, ^m	Látható kulmináció éjféli körül	Sugar, R/R _☉	Tömeg, M/M _☉	Hőmérséklet, K	Szín	Évi parallaxis, π
		δ	α							
Aldebaran	α Tauri	4 ^h 34,5 ^m	+16°28'	0,86	December elején	45	5	3500	Narancssárga	0,048"
Altair	α Sas	19 ^h 49,6 ^m	+8°48'	0,76	Július közepén	1,6	2	8400	Fehér	0,196"
Antares	α Scorpii	16 ^h 27,9 ^m	-26°23'	0,91	Május végén	750	19	3100	Vörös	0,019"
Arktur	α Bootis	14 ^h 14,5 ^m	+19°19'	-0,05	Április végén	26	4	4100	Narancssárga	0,09"
Betelgeuse	α Orionis	5 ^h 53,8 ^m	+7°24'	0,42	December közepén	900	20	3100	Vörös	0,005"
Vega	α Lyrae	18 ^h 36,1 ^m	+38°46'	0,03	Július elején	3	3	10600	Fehér	0,123"
Deneb	α Cygni	20 ^h 40,6 ^m	+45°11'	1,25	Augusztus elején	50	15	9800	Fehér	0,004"
Capella	α Aurigae	5 ^h 14,8 ^m	+45°58'	0,08	December közepén	16	3	5200	Sárga	0,073"
Castor	α Geminorum	7 ^h 33,0 ^m	+31°57'	1,99 2,85	Január közepén	2,5 2,3	3 2,8	10000 10400	Fehér Fehér	0,072"
Pollux	β Geminorum	7 ^h 43,8 ^m	+28°05'	1,14	Január közepén	11	3,5	4600	Narancssárga	0,072"
Sarkcsillag	α Ursae Minoris	2 ^h 07,4 ^m	+89°09'	2,02	Október közepén	70	10	6200	Sárga	0,005"
Procyon	α Canis Minoris	7 ^h 38,0 ^m	+5°17'	0,37	Január közepén	2	1,5	6900	Sárga	0,286"
Regulus	α Leonis	10 ^h 07,0 ^m	+12°05'	1,34	Február végén	4	5	13200	Fehér	0,039"
Rigel	β Orionis	5 ^h 13,3 ^m	-8°14'	0,13	December közepén	90	20	12800	Fehér	0,003"
Sirius	α Canis Majoris	6 ^h 44,0 ^m	-16°41'	-1,46	Január elején	1,7	3	10400	Fehér	0,375"
Spica	α Virginis	13 ^h 23,9 ^m	-11°02'	0,97	Április közepén	7	15	16800	Fehér-kék	0,021"
Toliman	α Centauri	14 ^h 37,9 ^m	-60°44'	0,33 1,70	Május elején	1,0 1,2	1,0 0,6	5900 4200	Narancssárga	0,751"
Fomalhaut	α Piscis Austrini	22 ^h 56,3 ^m	-29°45'	1,3	Augusztus elején	1,6	2,5	9800	Fehér	0,144"