

A VILÁGHÍRŰ SCI-FI ÍRÓ UTOLSÓ MŰVE

ISAAC ASIMOV



ÚTIKALAUZ

ELMÉLKEDÉSEK A FÖLD ÉS AZ ŪR TITKAIRÓL

**Isaac Asimov**  
**ÚTIKALAUZ**

Elmélkedések a Föld és az Úr titkairól  
([Tartalom](#))

**Bevezetés**

A fizikai világ nagy és csodálatos hely, de zavarbaejtő is, s vele kapcsolatban sok az olyan dolog, amit igazából senki nem ért. Sok olyan jelenség is van, amit néhányan egész jól megértünk, mások viszont nem.

Az egyik oka annak, hogy legtöbbünk nem tud annyit a világról, amennyit lehetne, az, hogy nem törődünk azzal, hogy gondolkozzunk róla. Ami nem jelenti azt, hogy egyáltalán ne gondolkoznánk. Mindenki gondolkozik, de általában hajlamos olyan témákra összpontosítani, amelyek közvetlen jelentőségűnek tűnnek. Mi legyen vacsorára? Hogyan fizessem ki a számláimat? Hová menjek szabadságra? Mi módon kaphatnék előléptetést és fizetésemelést? Próbáljak randevúzni XY-nal? Mi ez a furcsa fájdalom, amit az oldalamban érzek?

Ezek olyannyira fontos kérdések számunkra, és az igény a megválaszolásukra olyan erős, hogy egyszerűen nem marad elég idő általánosabb olyan témákon gondolkodni, mint például: milyen alakú a Föld? A természetes válasz egy ilyen kérdésre ez lehet: „Kit érdekel? Miért zaklatsz ilyen hülyeségekkel? Számít ez valamit?”

Pedig számít. Nem lehet például az óceánt úgy áthajózni, hogy célját a lehető legrövidebb úton érje el az ember, vagy kilőni egy lövedéket és azt várni, hogy célba is találjon, anélkül, hogy ismernénk a Föld alakját.

De ettől eltekintve, s ez sokkal fontosabb, az ilyen kérdéseken való gondolkodás izgalmas, s a válasz megtalálása is egészen egyszerű, ha az ember módszeresen keresi. Ennek a könyvnek az a célja, hogy otthonosabbá tegye ezeket a kérdéseket, olyan módon feltárva a rájuk adott válaszokat, hogy az mindenki számára követhető legyen, így teljesen világossá téve a világegyetem összefüggéseit.

Az egyik kérdésből persze rendszerint következik a másik. A világról való tudás nem egyenes vonalú, hanem olyan, mint egy bonyolult szövegtől háromdimenziós csipke, így egyetlen kérdés megválaszolása néha egy másik magyarázatát igényli, ami viszont még egy másikat és így tovább.

Mindazonáltal megkíséreltem a lehető legnagyobb óvatossággal legombolyítani a fonalat, hogy sehol ne kelljen túl sok mindent egyszerre elmagyarázni. Ennek ellenére lehet, hogy egyszer-másszor kénytelen leszek valamelyest nekiszaladni, amiért elnézést kérek.

Azután, ahogy kérdésről kérdésre haladunk, az egyszerű magyarázat sem lesz minden esetben elég, tudnunk kell majd valamit arról, hogy mit figyeltek meg és mire következtettek a tudósok. De meg fogom próbálni ezt a munkát különös gonddal leírni, ahol csak lehetséges, bonyolult matematika és táblázatok nélkül. A gondolkodás mindig további gondolkodáshoz vezet, végeérhetetlenül. Azoknak, akiknek számára a gondolkodás élvezet, ez a tudomány diadala: Azoknak, akiknek számára nem élvezet az olyan dolgokról való gondolkodás, ami őket közvetlenül nem érinti, határtalanul riasztó annak szükségessége, hogy folyamatosan ezt tegyék, ezért elfordulnak a tudománytól. Remélem, ön az első csoportba tartozik.

Kezdjük tehát azzal a kérdéssel, amit feltettem már, s nézzük meg, hová vezet bennünket.

### **Milyen alakja van a földnek?**

Először is, nézzünk magunk köré, és láthatjuk, hogy a Földnek egyenetlen és nehezen leírható alakja van. Ha nem veszünk is tudomást a házakról és az egyéb embercsinálta tárgyokról, és ugyanígy az élőlényekről sem, még mindig egy kövekből, sziklákból és talajból álló egyenetlen felszín marad.

Az első következtetés, amire juthatnánk, hogy a Föld egy göröngyös tárgy hegyekkel és völgyekkel, sziklával és szakadékokkal. Olyan tájakon, mint Colorado, Peru vagy Nepál, ahol mérföldekkel emelkednek ki a hegyek, a Föld alakjának szabálytalansága igen szembeűnő. De Kansas vagy Uruguay vagy Ukrajna egyes részein alig találhatóak hegyek vagy völgyek: egészen egyenletesnek tűnő alföldeket lehet látni.

Ha dombokkal és hegyekkel találkozunk, a Föld emelkedik ezek egyik oldalán, de a másik oldalon ismét lefelé tart. A völgyek, vízmosások és szakadékok lejtenek az egyik oldalukon, de emelkednek a másikon. Nincs olyan része a Föld felszínének, amelyen mindig csak felfele vezetne az út, és olyan sincs, ahol csak lefele kellene menni, sohasem felfele. Ésszerűnek tűnik tehát a megállapítás, hogy a Föld, átlagosan, lapos.

Ugyanez a helyzet, ha olyan vizekre evezünk, ahonnan semmilyen irányban nem látszik a szárazföld, és csak a víz felszínét vehetjük figyelembe. Ez a felszín

egyenetlen, hiszen tele van hullámokkal. Ha éppen nincs szél, a hullámok nem olyan nagyok, és jól látható, hogy átlagosan a víz felszíne lapos. Valójában a víz felszíne minden időben sokkal inkább lapos, mint a szárazföldé.

Ezek után azt kell feltételeznünk, hogy a Föld lapos, és évezredekken keresztül pontosan ezt is hitték az emberek. Mivel a lapos Föld ezt az érzetet kelti és ez az érzet könnyen és gyorsan kialakul, miért pazarolna bárki is további időt arra, hogy ezen gondolkozzon?

Mindenki állt már hegycsúcson, miközben az alatta elterülő völgyet nézte. A völgy egészen laposnak tűnik és messze el lehet látni, láthatunk házakat, fákat, folyókat és más messzi dolgokat, és minél távolabbról tűnik fel valami, annál kevesebb részletet lehet kivenni. Ráadásul a levegő általában nem egészen tiszta: köd és szmog homályosítja el a legtávolabbi részeket, és kékes párává válik a messzeség, ahol a Föld és az ég mintha találkozának.

A helyet, ahol a Föld és az ég találkozik, horizontnak hívják, ami görögül határt jelent. Ha körbenézünk a Föld egy lapos részén, a horizont egyenletesen fut jobbról balra, ezért az ilyen vonalat horizontálisnak nevezzük.

Tegyük fel, hogy egy másik irányba nézünk, ahol egy másik hegycsúcst találhatók. Nem nézhetünk a hegycsúcs mögé, mert csak egyenesen lehet nézni. Ezért a hegycsúcs felé nézve csak az ég látható felette, nem a másik oldalon lévő lejtő mögötte. Egy éles vonal látható egészen közel hozzánk, amely elhatárolja a hegyet az égtől. Ezért, ha elnézünk egy táj felett és távoli ködös horizontot látunk, tudjuk, hogy lapos terület van előttünk, de ha közelinek tűnő éles horizontot látunk, akkor éppen egy domb vagy hegy teteje felé nézünk.

Képzeld el, hogy kint vagyunk az óceánon, egy hajó fedélzetén. Tiszta, ragyogó napos idő van, a tenger nyugodt. A tengeri levegő rendszerint kevésbé poros és ködös, mint a szárazföld levegője, így messze el lehet látni, és a messzi horizont – éles. A tenger egy tiszta horizontális vonalban találkozik az éggel. Mintha csak egy hegyet néznénk.

Hogyan lehet ez? Az óceánon nincsenek hegyek, csak a lapos víz. Az egyetlen lehetséges válasz az, hogy az óceán nem lapos, hanem görbül, és a hajó fedélzetének magasságából csak addig lehet ellátni, ameddig a tekintet nem találkozik a görbület tetejével, mert nem lehet a görbület mögé látni. Ha magasabb fedélzetre megyünk, messzebb elláthatunk, mint az előbb, amikor a görbülettől nem láttunk tovább, és az alacsonyabb fedélzetről nem tekinthetünk olyan messze. Ráadásul, egy helyben állva és körbenézve minden irányban ugyanaz az éles horizont látszik ugyanolyan távolságban: nem elég, hogy görbül az óceán, de minden irányban egyforma távolságban, egyformán görbül –

legalábbis annyira egyformán, ahogy ez szabad szemmel megállapítható.

De miért görbül az óceán? Az óceánnak követnie kell a szárazföld felszínét, így a szárazföldnek is görbülnie kell minden irányban. A görbülés kevésbé észrevehető a szárazföld esetében, mert a felszíne egyenetlenebb, mint a tengeré, és a szárazföld felett a levegő ködösebb.

Tudjuk tehát, hogy a Föld görbül, de miféle görbület ez? Ha a Föld minden irányban azonos módon görbül, akkor gömbnek kell lennie, minthogy ez az egyetlen ismert test, amely minden irányban egyenlően görbülő felszínt ad. Így, csak nézelődés és gondolkodás útján, láthatjuk, hogy a Föld egy gömb.

Azt kérdezhették bárki, hogy miért nem tanulmányozták az emberek a horizontot és jöttek rá ugyanerre néhány ezer évvel ezelőtt. A gond az, hogy egyáltalán alig gondolkozott ezen valaki. Sokkal egyszerűbb volt arra gondolni, hogy a Föld lapos, mivel a lapos felület semmilyen gyakorlati problémát nem vetett fel a régi időkben. Egy gömbölyű Föld, ahogy ezt hamarosan látni fogjuk, problémákat vet fel, amelyek további gondolkozásra készítenek.

Azt kérdezhették: Hihetünk a szemünknek? Elég csak annyi, hogy a horizontot nézzük? A jelen esetben igen, még ha gyakran előfordul is, hogy a szemünk félrevezet minket, ha nem vizsgáljuk meg gondosan, amit látunk.

Például tegyük fel, hogy a tengeren vagyunk és ki tudunk venni a távolban egy hajót, amint a horizont felé tart. Nézzük, ahogy közelít a horizonthoz, s egyszer csak nem látjuk többé az alsó fedélzetet: majd kis idő múlva, már a felső fedélzetet sem. Már csak a kéménye látszik (vagy a vitorláit, ha vitorlášhajó), majd az is eltűnik. Mindez nem csak a távolság miatt van, mivel ha lenne távcsövünk, amin keresztül a hajó nagyobbak és közelebbnek tűnik, akkor is azt látnánk, hogy először az alsó, majd a magasabb, majd a még magasabb részei tűnnek el. Ilyenkor azt látjuk, ahogy a hajó a Föld görbületének tetején át vitorlázik, át a másik oldalra.

Az első ember azok közül, akikről tudjuk, hogy gömbölyűnek tartották a földet, a görög Pitagorász (i. e. 580-500) volt.

Vannak egyéb bizonyítékai is annak, hogy a Föld gömbölyű. Bizonyos csillagok a Föld egyes pontjairól láthatóak, másokról nem, valamint a holdfogyatkozásokkor a Föld árnyéka a holdra esik, és az árnyék görbülete megfelel egy gömb részének. Arisztotelész (i.e. 384-322), görög filozófus, a Föld gömbölyűségének valamennyi bizonyítékát feljegyezte i. e. 340 körül, s noha az idő tájt általánosan nem fogadták el a nézeteit, tanult ember azóta nem kételkedik ezekben. Ma, az űrkorszakban a világűrben készített fotókon láthatjuk, hogy a Föld gömbölyű.

## Mekkora a Föld?

Amíg az emberek azt hitték, hogy a Föld lapos, nem volt sok értelme azon gondolkozni, hogy milyen nagy. Elnyúlhatott a végtelenbe, ahogy sokan gondolták, de a végtelen fogalmát nehéz elképzelni. Sokkal könnyebb azt gondolni, hogy a Földnek meghatározott mérete van, és valahol megtalálható a vége. Még ma is mondják azt az emberek, hogy „elutazni a világ végére”, bár manapság ez csak egy szóolás, senki nem érti szó szerint.

A Föld szélének gondolata természetesen problémákat vet fel. Tegyük fel, hogy hosszú utazás után elérkezünk a Föld széléhez. Leeshetünk? Ha az óceán kiterjedne a szélekig, addig ömlene lefelé, míg el nem fogy? Akiket ilyen gondolatok gyötörtek, ki kellett hogy dolgozzák annak a módját, hogy ez ne történjék meg. Talán a világ magas hegyekből álló erős gáttal van körülvéve, így olyan, mint egy serpenyő, és semmi nem eshet le róla. Vagy az égbolt kemény anyagból van, és úgy görbül, mint egy lapított félgömb (így is tűnik), és a Föld különböző oldalával érintkezik. Így a Föld olyan, mint egy lapos tál fedővel, ami szintén a helyükön tartja a dolgokat. Mindkét megoldás kielégítőnek tűnt.

Még mindig fennáll a kérdés, hogy mekkora is volt a lapos világ. A nagyon régi időkben, amikor az emberek csak gyalog tudtak közlekedni és nem utaztak sokat, feltételezték, hogy a világ egészen kicsi, és csak egyes régiók léteztek. Ezért van az, hogy amikor i. e. 2800-ban borzalmas árvíz volt a Tigris-Eufrátesz völgyében, az ott élő sumérek azt gondolták, hogy az egész világot elöntötte a víz, s ez a naiv elképzelés úgy maradt ránk, mint a Noéről és az özönvízről szóló bibliai történet.

Ahogy az emberek megtanultak kereskedni, vagy akár hadseregeket küldtek ide-oda, és lovagolni kezdtek, a világ horizontja kitágult. I.e. 500-ra a Perzsa Birodalom kelet-nyugati irányban több mint 4800 kilométeren terült el. A birodalom nyugati részén volt Görögország, Itália és egyéb országok, de a Föld szélének nyoma sem volt.

Amikor a görög filozófusok rájöttek, hogy a Föld gömbölyű, tudták azt is, hogy meghatározott méretűnek is kell lennie, és nem intézhető el a kérdés azzal, hogy csak annyit mondunk: „nagyon nagy”, vagy hogy „ki tudja meddig” terjed. Ráadásul, a gömb mérete megállapítható volt anélkül, hogy nagyon messze kellett volna menni az otthontól.

Mínt hogy a lapos Föld a végtelenbe nyúlhat, a gömbölyű Föld görbül, és a

görbületnek önmagába kell visszatérnie. A Föld méretének meghatározásához csak azt kell tudnunk, hogy mennyire görbül a Föld: minél nagyobb ívben görbül, annál kisebb a gömb, és minél kisebb ívben görbül, annál nagyobb.

Abban az egy dologban biztosak lehetünk, hogy a görbület íve igen nagy, így a gömb is igen nagy méretű. Ez már abból is látszik, hogy annyi időbe telt kimondani: a Föld gömbölyű. Ha a gömb kicsi lenne, a görbület olyan ívű lenne, hogy lehetetlen lenne nem észrevenni. Minél kisebb ívű a görbület, annál laposabbnak tűnhet a Föld egy kis régiója.

De hogyan állapítjuk meg a Föld görbületének kiterjedését?

Van egy módja. Vegyünk egy vékony fémszalagot és teljesen nyomjuk rá a Földre úgy, hogy minden pontjában érintse a Földet. Tehát úgy alakítjuk a szalagot, hogy kövesse a Föld görbületét. Ezután felvehetjük a fémszalagot és megnézhetjük, hogy mennyit görbül lefelé. Ha a fémszalag egy kilométer hosszú, akkor 12 és fél centimétert kell lefelé görbülnie.

Ezzel a módszerrel az a gond, hogy nehéz lenne találni a Földön egy kilométer hosszú abszolút egyenletes felszínt, és nehéz lenne erre olyan pontosan ráilleszteni egy fémszalagot, hogy a kapott eredményben feltétel nélkül higgyünk. A fémszalag alakjának egy kis hibája nagy hibát eredményezne a Föld méretének kiszámításában. Más szavakkal, néhány kísérlet kitűnően működik elméletben, de alig megvalósítható a gyakorlati valóságban, és az említett módszer is ezek közé tartozik. Valami más után kell néznünk.

Vegyünk egy hosszú egyenes rudat, amely végét úgy szúrjuk a Földbe, hogy a rúd teljesen egyenesen áll. Ha tiszta, napos idő van és a nap éppen felettünk áll, a rúd nem ad árnyékot, mert a nap minden oldalról éri.

De tegyük fel, hogy egy másik rudat úgy szúrunk a Földbe, hogy a függőlegessel valamilyen szöget zár be. A nap most úgy éri a botot, hogy az árnyékot ad. Ha egész sor botunk van és mindegyik hatlábnyira\* áll ki a talajból, de különböző szögekben, mindegyik különböző méretű árnyékot ad.

Minél nagyobb az elbillenés szöge, annál hosszabb az árnyék. [*\*A kötetben előforduló angolszász mértékegységek: 1 inch (hüvelyk) = 2,54 cm, 1 láb = 30,48 cm, 1 yard = 91,44 cm, 1 mérföld = 1609,33 m.*]

Ezek után, ha összevetjük az árnyékok hosszúságát a botok hosszúságával, kiszámíthatjuk a billenés szögét anélkül, hogy kifejezetten a szöget mértük volna. A matematikának az az ága, amely ezt lehetővé teszi, a trigonometria, amelyet régi görög matematikusok dolgoztak ki egészen korán. Thálész (i. e. 624-546) görög filozófus feltételezhetően már i.e. 580-ban felhasználta a trigonometriát ahhoz, hogy megállapítsa az egyiptomi piramisok magasságát az

általuk vetett árnyékok hosszúságából.

De ne mi magunk döntsük meg a rudakat. Legyen egy teljesen egyenes rúd az egyik helyen és egy másik teljesen egyenes rúd néhány száz mérfölddel odébb. A két hely között a Föld görbül, így ha az egyik rudat egyenesnek vesszük, akkor a másik szöveget zár be vele, és a szög mérete függ a Föld felszínének görbülésétől.

I.e. 240 körül Eratoszthenész (i.e. 276-196) görög filozófus kísérletet tett erre a megfigyelésre. Elmondták neki, hogy az egyiptomi Syene városban június 21-én délben a nap éppen merőlegesen sütött, így egy függőlegesen a földbe szúrt bot nem vetett árnyékot. Ugyanazon a napon, az egyiptomi Alexandriában, ahol Eratoszthenész élt, egy függőleges bot kis árnyékot vetett.

Eratoszthenész megmérte az árnyék hosszát, összehasonlította a bot hosszával, és ebből képes volt kiszámítani, hogy mennyire billentette meg a Föld görbülete az alexandriai botot a syenei bothoz képest. Ismerte a távolságot Syene és Alexandria között, így a távolságra eső görbületből ki tudta számolni, hogy mekkorának kell lennie a görbületnek ahhoz, hogy önmagába visszatérjen és teljessé tegye a gömböt: 40 000 kilométernek megfelelő távolságban határozta meg a Föld kerületét az Egyenlítő körül, és 12 800 kilométernek megfelelő távolságban a Föld egyik oldalától a másikig való méretét, vagyis átmérőjét.

Egészen pontos volt, és figyelemre méltó, hogy ezt a felfedezését huszonnégy évszázaddal ezelőtt tette anélkül, hogy elhagyta volna otthonát, mindössze a helyes gondolatai és egyszerű számítások segítségével.

Mindez nem jelenti azt, hogy Eratoszthenész munkáját teljesen elfogadták volna. Mások is csináltak hasonló méréseket és kisebb számokat kaptak. Még Kolumbusz Kristóf (1451-1506) idején is az volt az általános nézet, hogy a Föld kerülete körülbelül mindössze 29 000 kilométer, kevesebb, mint a háromnegyede a valódi kerületnek. Kolumbusz nyugat felé indult 1492-ben, mert azt hitte, Ázsia csak 4 800 kilométerre van. Valójában a távolság 16 000 kilométer, és ha az amerikai kontinens nem esik útba, nem lett volna képes befejezni az utazását, és sohasem hallottak volna újra felőle.

A vitát csak 1522-ben zárták le, amikor egy expedíció, melyet a portugál felfedező, Ferdinand Magellán (1480-1521) kezdett meg, elsőként hajózta teljesen körbe a világot. Magellán nem fejezte be az expedíciót, mert útközben megölték a-Fülöp-szigetekenél, de egy hajó tizenhét emberrel a fedélzetén visszaérkezett, és ez az utazás bebizonyította, hogy Eratoszthenész számításai helyesek voltak.



## **Ha a Föld gömb alakú, miért nem csúszunk le róla?**

Amikor a gyerekeknek először mondják, hogy a Föld gömbölyű, úgy tűnik, zavarba jönnek. Az emberek a Föld másik oldalán (például Ausztráliában, ha az Egyesült Államokból nézzük) fejjel lefelé, lábbal felfelé kell, hogy sétáljanak, miért nem esnek hát le mindannyian a Földről? Végül is, ha valaki a plafonon próbálna sétálni, leesne.

A helyzet még ennél is rosszabb. Tegyük fel, hogy valaki a gömbölyű Föld legtetején él (ahogy bárkinek tűnhet, mivel a Föld minden irányban egyformán görbül). Ebben az esetben valaki csak addig van biztonságban, amíg ott marad, ahol volt. Bármilyen irányban elindulva, először megcsúszna, majd megindulna lefele a lejtőn. Minél messzebb haladna, annál meredekebb lenne a lejtő, egyre gyorsabban csúszna, egyre reménytelenebb lenne a helyzete, végül teljesen leesne a Földről. Ha ez igaz lenne, már régen eláramlottak volna az óceánok és az összes levegő. Más szavakkal, arra a látszólag ésszerű következtetésre jutunk, hogy lehetetlen gömbölyű Földön élni, s éppen ezért a Föld nem lehet gömbölyű.

De mivel a Föld gömbölyű, kell lennie valami hibának a gondolkodásunkban, és ez abból ered, amit mi úgy hívunk: lent. Amikor állunk és a lent irányát akarjuk mutatni, a lábunkra mutatunk. Amikor így cselekszünk, a Föld középpontja felé is mutatunk, amely kb. 6350 kilométerrel van a lábunk alatt. Feltételezve, hogy a lent mindig a Föld középpontját jelenti, akárhol is vagyunk a Föld felszínén, ha állunk, a talpuk mindig abba az irányba néz. Azok az ausztrálok, akik szintén állnak, talpukat a Föld középpontja felé fordítják, és számukra a lent a lábuk irányába látszik, mint nekünk.

Lefelé húz minket valami, mint mindent, aminek súlya van, ami azt jelenti, hogy a Föld közepe felé húz minket, mint mindent ennek a bolygónak a felszínén, tekintet nélkül arra, hogy hol található. Mivel nem érezzük utazás közben, hogy a Föld gömbölyű, s mivel a felszíne egyre inkább horizontálisnak tűnik és a lent mindig a lábunk irányát jelenti, ha állunk, a Föld laposnak tűnik, és semmi nem esik le róla soha, ami egy másik ok arra, hogy miért került olyan sok időbe kitalálni, hogy gömbölyű. Az első ember, aki világossá tette, hogy a Földön mindenre vonzerő hat a Föld közepének irányában, Arisztotelész volt, és az ezért felelős erőt gravitációnak hívják, a latinul súlyost jelentő szó nyomán.

Képzeljünk el valamilyen nagy mennyiségű anyagot, bármilyen alakja legyen is, amelynek minden része vonz minden részt, így az anyag annyira

összesűrűsödik, amennyire csak lehet. Amikor minden részében a lehető legjobban összesűrűsödött és már nem kerülhetnek közelebb egymáshoz a részei, egy gömb alakját veszik fel. Semmilyen más szilárd alakzat részei nincsenek annyira közel egymáshoz átlagban, mint a gömb esetében, amely, akár a Föld, mindent a középpontja felé vonz.

### **Mozog-e a Föld?**

A régi időkben a legtöbb ember számára minden bizonnyal ez tűnt az elképzelhető legostobább kérdésnek: hogy juthat valakinek egyáltalán az eszébe? Láthatjuk, hogy a Föld egész egyszerűen nem mozog. A kérdés feltevése bizonyára már önmagában az elmebaj egy tünetének számított.

Akkor miért tették fel az emberek ezt a kérdést?

Az egyik ok, hogy az égen minden mozog. A nap felkel keleten, áthalad az égbolton és nyugaton leszáll. Ugyanígy tesz a hold is. A csillagok, úgy tűnik, hatalmas köröket írnak le az Északi Csillag körül. Azok a csillagok, amelyek nincsenek közel az Északi Csillaghoz, elég nagy kört írnak le, átszelik a horizontot, így ezek is keleten kelnek és nyugaton szállnak le.

Ez a mozgás az égen a legtöbb embert nem lepte meg. Számukra természetesnek tűnt, hogy a Föld teljesen nyugodt és mozdulatlan marad, és az égi objektumok körülötte forognak, minden nap egy kört leírva. Hiszen így látszott, és miért kételkedett volna bárki is érzékei bizonyosságában? Csak néhány ember volt, aki kitartóan kutatta annak lehetőségét, hogy az égbolt áll mozdulatlanul, és a Föld forog alatta. A legtöbbször számára ez nem tűnt ésszerű alternatívának. Egyszerűen túl nyilvánvaló volt, hogy a hatalmas Föld nem mozog.

Mindannyian ültünk már várakozó vonaton, amikor az éppen mellettünk levő vonat váratlanul megindult lassan hátrafelé. Megdöbbszünk: miért megy ez hátrafelé? Végül annyira hátrament, hogy az eleje az ablakunk mögé került, előtűnt a táj, és lám, a táj is hátrafelé mozog! Amíg a mi vonatunk lassan, csendesen mozgott, nem tudtuk megmondani, hogy melyik vonat mozog és melyik áll mozdulatlanul.

Az elődeink viszont nem voltak abban a szerencsés helyzetben, mint mi: nem szoktak ahhoz, hogy olyan csendesen utazzanak, hogy maguk se tudják, mozognak-e. Gyalogoltak, futottak, göröngyös utakon utaztak szekerekben, és ügető vagy vágató lovakon ültek. Mindezek a mozgásnak olyan jellegzetességet adtak, hogy fel sem merült, mozognak-e éppen vagy sem. Ezért, mivel a Föld nem keltette azt az érzetet, hogy mozogna, arra

következtettek, hogy egyszerűen nem mozog.

Most képzeljük magunkat megint a vonatunkra, ahogy nézzük a mellettünk lassan hátrafelé mozgó vonatot. Hogy leellenőrizzük, az mozog-e vagy a mienk, csak annyit kell csinálni, hogy a másik irányba nézünk. A másik oldal ablakából az állomást vagy egy városi utcát láthatunk. Ha az is hátrafelé mozog, tudhatjuk, hogy mi mozgunk, nem a másik vonat. A Föld és az ég esetében nincs ilyen semleges támpont, amit nézhetünk.

Aki tudomásunk szerint először felvetette, hogy a Föld forog és nem az ég, Herakleidész (i.e. 390-322) görög filozófus volt, i.e. 350 tájékán. Nem vették komolyan. 1609-ben azonban egy olasz tudós, Galileo Galilei (1564-1642) egy igen primitív távcsövet fordított az ég felé. Felfedezései között szerepelt az a tény, hogy sötét foltok vannak a napon.

Ahogy napról napra nézte ezeket, észrevette, hogy a foltok lassan mozognak a nap körül, s arra a következtetésre jutott, hogy a nap lassan forog, egy képzeletbeli vonal körül, mely a tengelye, s közel huszónhét naponta tesz meg egy teljes fordulatot.

Ha a nap forog, gondolta, miért ne foroghatna a Föld is, huszonnégy óránként egyet? Igen erős volt a feltevással szembeni ellenállás, és 1633-ban a katolikus egyház arra kényszerítette Galileit, hogy nyilvánosan tagadja meg nézeteit és jelentse ki, hogy a Föld mozdulatlan.

De mindez nem segített a konzervatívokon, és 1655-ben az olasz-francia csillagász Gian Domenico Cassini (1625-1712) meg tudta mutatni, hogy a Mars bolygó minden huszonnégy és fél órában fordul egyet. 1668-ban kimutatta, hogy a Jupiter bolygó minden tíz órában fordul egyet. Ezek után a tudósok sejteni kezdték, hogy a Föld is forog: azt olyan szabályosan és simán teszi, hogy senki sem érezheti. Ráadásul a Föld forgásának azonfelül, hogy más bolygók is forognak, további bizonyítéka is van. Ahogy a csillagászok rájöttek, hogy milyen hatalmas is az univerzum valójában (s ehhez mi magunk is hozzáteszünk később), egyre inkább képtelennek tűnt az a feltevés, hogy a Föld mozdulatlan, és a hatalmas világegyetem forog körülötte.

Mégis, csak 1851-ben sikerült valakinek demonstrálnia a forgást úgy, hogy az emberek lássák is, hogyan történik mindez. Egy francia fizikus, Jean B. L. Foucault (1819-1868) hosszú, nehéz ingát lógatott le egy templom mennyezetéről. Volt egy szög az inga alján, amely barázdákat rajzolt a templom padlóján levő homokba. Az inga órákon át ugyanabban a síkban lengett, de a jel a homokban lassan megváltoztatta az irányát, ahogy a Föld forgott az inga alatt. Ez volt az első alkalom, amikor az ingát néző tömeg láthatta, amint a Föld

éppen forog. Napjainkban már embereket küldünk a Holdra, onnan nézzük a Föld forgását.

### **Ha felugrunk, miért nem esünk máshova vissza?**

Amikor a csillagászok kezdtek kitartani amellett, hogy a Föld forog, már az 1600-as években, azok, akik nem hitték ezt, ellenvetéseket tettek. Ha a Föld forogna, mondták, egy egyenesen felfele ugró ember alatt a Föld elfordulna, s ő a kiindulópontjától kissé távolabb érne újra a Földre, ha feldobunk egy labdát, az még távolabb érne vissza, s ha egy madár kirepül a fészkeből, sohasem találná a visszautat. Mivel ezek nem történtek meg, érveltek, a Föld nem mozoghat.

Ezek az ellenvetések logikusaknak tűnnek, s ha valaki éppen csak most tanulta, hogy a Föld forog, könnyen alulmaradhat a vitában, ezért szükséges lehet gondolkozni egy kicsit.

Tegyük fel, hogy ül valaki a vonaton az ülések közti folyosó mentén és egy barátja éppen a folyosó másik oldalán ül. A vonat várakozik az állomáson, s mivel nincs jobb dolguk, az egyikük labdát dob a másiknak, aki elkapja és visszadobja – nincs ezzel semmi probléma. Most képzeljük azt, hogy a vonat nem várakozik, hanem óránként 96 kilométeres sebességgel száguld a sima és egyenes pályán. Ha valaki odadobja a labdát a barátjának – befolyásolja-e a vonat mozgása a labda röptét úgy, hogy az nem a másikhoz repül, hanem a mögöttük ülők közül talál el valakit? Nem, valóban nem. A labda pont ugyanúgy repül keresztül a folyosón, mintha a vonal állna. Ha kicsit is elgondolkozunk ezen, a mindennapi tapasztalataink azt sugallják, hogy a labdával valóban az fog történni, amit leírtam, nem kell ezt külön ki is próbálnunk. (Az ilyen gyakorlatokat, hogy valaki el tud képzelni valamit anélkül, hogy az ténylegesen meg is történne, hívják „gondolati kísérletnek”.)

Miért ugyanolyan könnyű egy robogó vonaton labdát dobni, mint egy álló vonaton? Mert ahogy a vonat száguld a pályáján, minden ami benne van, ugyanazzal a sebességgel mozog – az emberek, a levegő körülöttük és a labda, amelyet átdobtak a folyosón. Ha minden ugyanazzal a sebességgel mozog előre, már nem számít, hogy ez a sebesség 96 kilométer óránként, vagy nulla.

A Föld forgásának sebessége körülbelül 1600 kilométer óránként az egyenlítőnél, de ezzel a sebességgel mozgunk mindannyian, a levegő is, és bármely eldobott labda is, úgyhogy bárhol a bolygón nyugodtan baseballozhatunk, nem kell aggódnunk a Föld mozgása miatt.

Az elődeinknek természetesen nem voltak vonataik, így Galilei is más gondolati kísérlethez folyamodott. Képzeljünk el egy vitorlášajót, amint széltól hajtva szeli a tengert. A legmagasabb árbocra felmászva leejtünk egy kötélbontó vasat, vagy bármi más szerszámot, amit a tengerészek használnak. A szerszám esik, de amíg esik, a hajó olyan gyorsan mozdul előre, hogy mire a szerszám eléri a hajó fedélzetének szintjét, a hajó talán már elmozdult, s mögötte a szerszám a vízbe esik.

Ezerszám vannak vitorlások, amelyeken a tengerészek ezernyi szerszámot ejtenek le véletlenül az árbocok tetejéről, s azt mindenki tudja, hogy a szerszámok sohasem esnek a vízbe. Minduntalan az árboc tövébe esnek. Amíg esnek, előre is haladnak a hajóval.

Tehát ez a fajta érvelés a Föld forgása ellen nem állja meg a helyét. Valójában még senki soha nem adott elő egyetlen sikeres érvelést a Föld forgása ellen. A Föld forog!

### **Mitől fúj a szél?**

Ha a levegő együtt mozog a Földdel, ahogy az forog, miért van szél? A szél mindenekeelőtt mozgó levegő, s talán éppen azért tűnik úgy, hogy mozog, mert valójában nyugodtan áll, csak a Föld mozog alatta.

Sajnos ez a feltételezés rossz.

A Föld nyugatról keletre fordul, emiatt tűnnek úgy az égi tárgyak, mintha keletről nyugatra tartanának, mint ahogy a mellettünk levő vonat látszólag hátrafelé halad, amikor mi elindulunk. Ráadásul a Föld óránként 1600 kilométeres sebességgel forog nyugatról keletre az egyenlítő mentén. Északra és délre eltávolodva az egyenlítőtől a Föld lassabban mozog, mert a Föld felszínének északi és déli pontjai kisebb köröket írnak le ugyanannyi idő alatt. (Az Északi- és Déli-sarkon egyáltalán nincs mozgás.)

Ha a levegő mozdulatlan lenne, amíg a Föld forog, igen komoly erősségű, óránként 1600 kilométert száguldó keleti széllel találkoznánk az egyenlítő körül. Máshol a szél kisebb erősségű lenne. Mivel nem ez történik, a szél nem származhat elsődlegesen a Föld forgásából.

Amikor Kolumbusz átszelte az Atlanti-óceánt 1492-ben, erős keleti széllel találkozott (ma ezt passzátszélnek vagy kereskedelmi szélnek hívjuk), amely végig vitte az útján. Visszafelé északnak hajózott, míg nem talált erős nyugati szelet, amely hazavitte. Ez a felfedezés igen fontos volt, mivel addig a nyugati hajósok a szeleket szeszélyes erőknek tartották, amelyek jelenléte, hiánya és

iránya isteni lények akaratától függ. Kolumbusz utazása után világossá vált, hogy a szelek bizonyos szabályok szerint fújnak, és ezt ki lehet használni a tengeri kereskedelemben (innen a kereskedelmi szél elnevezés). Amit abban az időben nem tudtak, az, hogy miért viselkedik a szél ilyen rendezett módon.

Az első próbálkozás ennek megválaszolására 1686-ból származik: Edmund Halley (1656-1742) angol tudós rámutatott, hogy ha a Föld atmoszférája egyenletesen meleg lenne, a Föld felszínén a levegő többé-kevésbé nyugodt lenne és nem lehetne szélről beszélni. De a nap melegebb a trópusokon és a levegő melegebb, mint a délre vagy északra fekvő tájakon. A felmelegedett levegő kiterjed, könnyebbé válik és felemelkedik, míg északról és délről hidegebb levegő áramlik be ennek pótlására. Ez a beáramló hidegebb levegő a passzát szél.

Bárki azt gondolhatná, hogy a hidegebb levegő egyenesen északról jön az egyenlítő északi oldalán és egyenesen délről jön az egyenlítő déli oldalán, de ez nem így van. Az északi kereskedelmi szél északkeletről jön, míg a déli passzát szél délkeletről.

Halley nem tudta megmagyarázni ezt a jelenséget, de egy angol ügyvéd, George Hadley (1685-1768) 1735-ben már igen. Az északi hidegebb szél lassabban mozog, mint az egyenlítő levegője, s ahogy ez a hideg szél délre érkezik, megtartja ezt a lassúságot, s kisebb a sebessége, mint a Föld mozgásának, amely nyugatról keletre tart. Ennek eredményeként alakul ki az északkeleti szél. A Föld mozgásának és a délről érkező lassabb szélnek ugyanilyen kölcsönhatásaként alakul ki a délkeleti szél.

Ennek megfordításaként, amikor a levegő az egyenlítőtől észak felé áramlik, gyorsabban halad, mint az északi föld, megelőzi azt, s ettől tűnik úgy, mintha a szél nyugatról jönne. Ezek a nyugati szelek.

Ezt a rendszert matematikai részletességgel egy francia fizikus, Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843) dolgozta ki 1835-ben. Ezért a szél irányának változása és a Föld különböző részeinek forgási sebességei közti összefüggést Coriolis-effektusként ismerjük. Ez az effektus okozhat különböző erősségű forgó szeleket, egyszerű viharokat, hurrikánokat, sőt tornádókat.

A szelek fontos szerepet játszanak. A Szelek biztosítják a Föld légkondicionálását, elosztják a hőt, s így a meleg területek nem annyira melegek, mint egyébként lennének, és a hideg területek sem annyira hidegek. A szelek viszik el a párát az óceánok fölül azzal, hogy felmelegítik a vizet, és a szelek adják vissza a vizet eső formában, amikor lehűlnek, így a kontinensek friss vizet kapnak, amely lehetővé teszi az életet a szárazföldön.

Ha teljesen megértenénk a levegő és a szél mozgását irányító szabályokat, pontosan meg tudnánk jósolni az időjárást, beleértve a meleg és hideg frontokat, az esőt, viharokat, stb. De ezek a szabályok annyira bonyolultak, hogy még ma sincs pontos időjárás.

Valójában talán sohasem leszünk képesek hibátlanul megjósolni az időjárást, mert soha sem lehetünk képesek pontosan felmérni a kezdeti feltételeket, és a legkisebb változás ezekben a feltételekben a legnagyobb eltérést okozhatja a végső kifejtésben. Ez a helyzet a káosz, és úgy tűnik, egyre több természeti jelenségnek vannak kaotikus tulajdonságai, amelyeket nehéz előre jelezni, ha egyáltalán lehet. Ez rámutat a tudomány hiányosságaira és az emberi ismeretek korlátaira, de ha van valami, amit ezekkel a korlátokkal lehet csinálni, az, hogy bölcsen tudomást veszünk róluk.

### **Miért melegebb a nyár, mint a tél?**

Az előző fejezetben arra mutattam rá, hogy a trópusokon magasabb a hőmérséklet, mint bárhol másutt a Földön, azért, mert a nap merőlegesen süt a trópusokra, így azok a nap melegét a legkoncentráltabb formában kapják. Északra és délre eltávolodva a nap sugarai ferdén esnek be, és nagyobb területen szóródnak szét, így a meleg kevésbé koncentrált.

Mindamellet az emberek, akik északibb területeken élnek, mondjuk az Egyesült Államokban vagy Európában, tudják, hogy az időjárás akkor is melegsik vagy éppen hidegebbé válik, ha nem hagyják el otthonaikat. A július és az augusztus igazán melegebb, mint a január és a február. (A déli féltekén éppen ellenkező a helyzet.) A legegyszerűbb magyarázat az lenne, hogy nyáron a nap közelebb van a földhöz és ezért melegebben süt ránk – de ez nem igaz. A nap közel ugyanannyi meleget ad egész évben.

A napnak az égen elfoglalt helyzete számít. Ha a nap mindig éppen az egyenlítő felett sütne, az egyenlítő minden pontján délben éppen a fejünk felett lenne. Az egyenlítő felett északra fekvő területekről a nap minden délben a déli égbolton látszana, míg a déli területekről nézve mindig az északon. Minél északabbra vagyunk a Földön, annál délebbre látszana a nap délidőben, és minél délebbre megyünk, annál északabbra lenne a déli nap.

A nap pályája szöveget zár be az egyenlítővel. Minden évben március 20-án délidőben a nap merőlegesen süt az egyenlítőre, és ezen a napon a nappal és az éjszaka egyaránt tizenkét órával az egész Földön. Ez a nap úgy ismert, mint a tavaszi napéjegyenlőség, latinul vernal equinox. Ezek után, napról napra, a déli

nap észak felé tart, június 21-ig, amikor merőlegesen süt a Ráktérítőre, amely éppen átszeli Havanna északi részét. Ekkor a nap megfordul, és újra dél felé húzódik. Július 21-ének latin neve solstice („a nap még áll”).

A nap, amely újra dél felé tart, szeptember 23-án áll ismét pontosan az egyenlítő felett (ősz napéjegyenlőség) majd megy tovább déli irányba, amíg nem kerül a Rio de Janeirót átszelő Baktérítő fölé december 21-én. Ekkor a nap elkezd visszahúzódni délről, hogy újra északnak tartson, március 20-án keresztezi az egyenlítőt, és évről évre megismétli ugyanazt a ciklust.

Az északi féltekén élő emberek a délidőben sugárzó napot egyre magasabban látják, egészen június 21-ig. Onnantól a nap egyre alacsonyabban jelenik meg, december 21-ig. Minél magasabban van a nap, annál hosszabbak a nappalok, és annál rövidebbek az éjszakák. Június 21-én New Yorkban tizenhat óras a nappal és nyolc óras az éjszaka. De a helyzet megfordul december 21-én, amikor tizenhat óras az éjszaka és nyolc óras a nappal. Az éjszaka és a nappal közötti egyenlőtlenség annál nagyobb, minél északabbra megyünk. A sarkvidéken van egy időszak, centrumában június 21-ével, amikor a nap sehol sem nyugszik le: a nappal – attól függően, hogy milyen közel vagyunk az Északi-sarkhoz – közel hat hónapig tart.

A déli féltekén minden pont fordítva történik. Amikor a déli nap egyre magasabban van északi féltekén, akkor egyre alacsonyabban áll a délin, és vice versa. A nyári napforduló északon megfelel a téli napfordulónak délen, és így tovább.

Természetesen minél magasabban áll a nap az égen, annál többet is tartózkodik ott, és annál több meleget ad, így az északi félteke a nyári napforduló idején több meleget nyer nappal, mint veszít éjszaka. A legnagyobb meleg júliusban és augusztusban van – jóllehet a nap már ismét egyre alacsonyabban áll –, mert ez alatt a két hónap alatt még mindig több meleget nyer, mint veszít ez a régió. Hasonlóan ehhez, több meleg vesz el éjszaka, mint amennyit nyer nappal a félteke a téli napforduló idejében, és a leghidegebb idők januárban és februárban jönnek. A déli féltekén mindez fordítva van, a július és az augusztus a hideg hónapok, január és február a melegek.

Az őszi időkben a nap fokozatos süllyedését különleges riadalommal figyelték azok, akik nem értették az emelkedő és süllyedő nap természetét. Minden alkalommal attól féltek, hogy a nap folytatja süllyedését, és végül teljesen eltűnik. Így hát a téli napforduló eljövetele, amikor a nap újra elindult észak felé, a megkönnyebbülés és az örömteli ünnepek ideje volt. Ennek az ünnepnek napjainkban is megvannak a nyomai, a karácsony-újévi időszakban.



## Hogyan mérjük az időt?

Az időt több nézőpontból vizsgálhatjuk, amelyek lehetnek pszichológiaiak és fiziológiaiak. Úgy tűnik, az idő sokkal lassabban telik, ha betegek vagyunk, mint amikor jól érezzük magunkat, lassabban, ha szomorúak vagyunk, unatkozunk, valami utálatos dolgot csinálunk, mint amikor vidámak vagyunk, és olyan dolgokkal vagyunk elfoglalva, amiket szeretünk. Függetlenül attól, hogy milyen következtetlően rohan vagy lassan mászik az idő, annyi bizonyos, hogy mindig előre halad. S azzal is mindannyian tisztában vagyunk, hogy az időnek van egy objektív oldala, amelynél nem számít, hogy milyennek tűnik számunkra. Tekintet nélkül a lelki vagy testi állapotunkra, az idő valójában állhatatosan halad előre, változatlan ütemben. Ez az a fizikai idő, amelyet mérni szeretnénk.

Képzeld el, hogy nincs eszközünk arra, hogy megmondjuk az időt, de nyomon akarjuk követni. Bizonyára az a logikus – és valójában az egyetlen – módja annak, hogy mérjük az idő múlását, hogy találjunk valami változást, ami rendszeresen ismétlődik, és megszámloljuk, hogy hányszor történt ez meg. Egy ilyen változás, amit bizonyára már az őseink is egészen korán észrevettek, a nappalok és éjszakák végnélküli váltakozása. A napok könnyen számlálhatóak és könnyű utalni rájuk, senki nincs gondban az olyan kifejezések megértésével, mint „ma”, „holnap”, „tegnap”, „tegnap este”, „három nappal ezelőtt” és „öt nap múlva”.

A napok számlálása mégis kényelmetlenné válik, ha hosszú időtartammal akarunk foglalkozni. Túl könnyű összekeverni a számolást. Egy máik, nem ennyire egyértelmű, de már a történelem előtti időkben is jól ismert változás a hold éjszakáról éjszakára változó alakja. A hold egy vékony félholdból teliholddá változik, majd megint vékony félholddá, s ez újra meg újra megismétlődik. (Később még visszatérünk arra, hogy ez miért van.) Egy komplett hold-ciklus huszonkilenc és fél napig tart, amit úgy is nevezünk, hogy holdhónap.

E hónapok sora megszámlálható és kalendáriummá használható. A kalendárium szó latin eredetű, kiáltványt jelent. A római papok ugyanis kiáltványokat intéztek az éjszakába, hogy megjelenjen az újhold az égen, jelezve egy új holdhónap kezdetét.

A holdhónap átlagosan huszonkilenc és fél napos: 29 és 30 napos hónapok váltják egymást. Tizenkét ilyen hónap majdnem elegendő volt ahhoz, hogy

illeszkedjen az évszakok tavasszal kezdődő, és a nyáron, őszön, télen keresztül újra a tavaszba visszatérő ciklusához.

Az évszakok ciklusa tesz ki egy teljes évet. Az évszak-ciklus egy kicsit zavarosabb, mint az éj-nappal ciklus vagy a holdfázis-ciklus, de a hosszúsága kiszámítható: átlagosan 365 és egy negyed nap.

Tizenkét holdhónap tehát nem ad ki pontosan egy évszak-ciklust: tizenkét holdfázis-ciklus 354 napot tesz ki – 11 nappal kevesebbet, mint egy év. Ez azt jelentette, hogy mindig hozzá kellett adni egy tizenharmadik hónapot is, hogy a holdhónapok ciklusa egybevághjon az évszakok ciklusával. Ez nagyon fontos volt, mert a kalendárium mondta meg az embereknek, hogy mikor van ideje a vetésnek vagy az aratásnak, mikor lehet esős, mikor száraz évszakra számítani, és így tovább. A babiloniak kidolgoztak egy rendszert arra, hogy egy tizenkilenc éves ciklusban bizonyos évekhez hozzáadjanak egy-egy hónapot, s ezzel a hold-kalendárium tökéletesen fedte az évszakokat. Ez a kalendárium ma is használatos vallási célokra a judaizmusban.

A régi Egyiptomban nevezetes eseménynek számított a Nílus áradása, amely új, termékeny talajt terített el a mezőkön, s ez 365 napos intervallumokkal ismétlődött. Ez olyan fontos volt az egyiptomiak számára, hogy meg sem kísérelték a hold változásainak követését, minden hónapot 30 napban határoztak meg. Tizenkét hónap után hozzáadtak még öt napot, majd kezdték előlről az egészet. Ez már nap-kalendárium volt.

Az egyiptomiak kalendáriumát vették át a rómaiak i.e. 44-ben. Az öt extranapot szétterítették az évben és minden negyedik év 366 napos volt, számításba véve azt a tényt, hogy egy év az 365 és egy negyed napos. Néhány apróbb változtatással ugyan, de ezt a kalendáriumot használjuk ma is.

### **Hogyan mérjük a nappal rövidebb időszakokat?**

A természetben nincs olyan rendszeresen ismétlődő változás, amely magára vonná az emberek figyelmét, és gyakrabban kerülne rá sor, mint a napok váltakozása. Ugyanakkor már az ókori ember is szükségét érezte annak, hogy azonosítsa a nappal egyes szakaszait.

A nappal folyamán ez megtehető a Nap égbolton elfoglalt helyzetének megfigyelése révén. Hajnalról beszélhetünk, amikor a Nap felbukkan a hajnali látóhatár felett, reggelről, amikor tovább emelkedik az égbolton, délről, amikor a legmagasabban áll, délutánról, amikor hanyatlani kezd az égbolton, naplementéről, amikor a nyugati látóhatár alá bukik, és alkonyról, amikor a

homály megelőzi a tényleges éjszakát. Éjjel mindez kissé nehezebben megy, de azok az emberek, akik kénytelenek ilyenkor dolgozni (különösen a hajósok), viszonylagos fogalmat alkothatnak maguknak az idő múlásáról a csillagok helyzete alapján, amelyek körbejárnak az égen.

Természetesen szeretnénk az időt ennél finomabban mérni, hogy meghatározhassuk a Nap pontos helyzetét. A baj csupán az, hogy a Nap megfigyelése helyzetének meghatározása céljából vakságot okozna.

Ezért a régebbi korok emberének olyan módszert kellett kidolgoznia a Nap helyzetének megállapítására, hogy ne kelljen belenéznie a tüzes korongba, és a megoldás nagyon egyszerű volt. Elvégre a Nap árnyékot vet, és ha egy botot a földre szúrunk, annak hajnalban lesz a leghosszabb az árnyéka, amikor a Nap a keleti látóhatáron helyezkedik el, és ez az árnyék természetesen nyugati irányba fog mutatni. Ahogy a Nap áthalad az égen, az árnyék fokozatosan rövidül, a legrövidebb és (az északi féltekén) északi irányba mutató pedig pontosan délben lesz. Ezután ismét növekedni kezd, de kelet felé fog mutatni.

Ha szemmel tartjuk ezt az árnyékot, fokról fokra nyomon követhetjük a Napot anélkül, hogy veszélyeztetnénk a szemünket. Ilyen napórákat először Egyiptomban használtak i.e. 3000 évvel. A bot, vagy más nevén a gnomon (a görög kifejezés nyomán, amelynek jelentése: az, aki tudja az időt, természetesen) északi irányba dőlt, úgyhogy az árnyék vége egy félkört rajzolt ki, amelyet tizenkét egyenlő részre osztottak, és ezeket horáknak nevezték (a görög kifejezés után, amely a nap idejét jelenti). Az ókori sumérok elsőként használták a tizenkettőt általános osztószámként. A napóra jól működött Egyiptomban, ahol a nap folyamán szinte sohasem borul be az ég, és a nappalok hosszúsága sem változik számottevően az évszakok során. Észak felé haladva azonban egyre nagyobb eltérések mutatkoznak a nappalok időtartamában, és az eget is gyakran felhők borítják, márpedig a napóra ilyenkor egyáltalán nem működik.

Persze az emberek választhattak más, megbízható folyamatot is, amely nem függött a napfénytől. Például megragadhatták az időt úgy is, hogy szabványméretű, azonos anyagból készült gyertyákat égettek. A gyertya egy bizonyos része, mondjuk, egy óra alatt ég el. Vagy pedig száraz homokszemcséket folyathattak egy szűk nyíláson át egy felső edényből az alsóba, miközben tudták, hogy a teljes mennyiség alácsorgásához, mondjuk, két órára volt szükség. Ezek az eszközök működhettek éjjel-nappal, derült vagy borús időben egyaránt, amellet hordozhatóak is voltak.

Az idő mérésének folytatására is volt lehetőség új gyertyák öntése vagy a

homokóra újbóli fejreállítására révén. Azonban ezeknek az eszközöknek is megvolt a maguk hiányossága. Különböző gyertyák eltérő ideig égtek, sőt még az azonosak sem mindig egyforma gyorsan tették ezt, ami nagyban függött a levegő áramlásától. A homok is gyorsabban folyt át a nyíláson, amíg a felső edény tele volt, majd egyre lassabban, amint az ürülni kezdett, úgyhogy csak a teljes homokmennyiség átfolyásának idejét tudta pontosan mérni, mást nem.

A régebbi korok talán legpontosabb órája a clepsydra, vagyis vízóra volt (innét az angol clock elnevezés, amely a francia csengő szóból ered, az órák múlását ugyanis csengőszó jelezte), a vízórában a víz folyt alá egy kicsi nyíláson egyik edényből a másikba. A legelső vízórák eredete i.e. 1400-ig vezethető vissza, i.e. 100-tól pedig még hatékonyabbra készítették őket, ugyanis a felső edénybe, amelyet túlcsgatóval láttak el, állandóan folyt a víz. Így a felső edényben mindig ugyan-az volt a vízmennyiség, ezáltal a csepegés gyorsasága sem változott. A vízórákat alkalmanként kis lebegőkkel egészítették ki, amelyek mutatókat támasztottak alá, így azok a víz szintjével együtt emelkedtek az alsó edényben. Ezáltal a mutató automatikusan jelezte minden óra elmúlását.

A vízórák viszont piszkosak voltak, időről időre felborultak, kilötytönt belőlük a víz, és fel kellett törölni körülöttük. A középkorban ezért a gravitációs erőt használták. Egy súlyos nehezék zsinórt húzott lefelé, amely tengelyre volt feltekerve. A súlyt a nehézkedési erő húzta lefelé, így az forgásra készítette a tengelyt, amelyhez egy mutató kapcsolódott, és az egy számlapon jelezte az órák múlását. A trükk az instrumentum munkájának beállításában volt, a mutatónak ugyanis tizenkét óra alatt kellett körbejárnia a számlapon, vagyis napjában kétszer. Az 1300-as évek körül feltaláltak valamit, amit meredek rézsűzésnek neveztek el. Ez egy fogakkal ellátott szerkezet volt, amely beleakadt a tengelybe, és csak bizonyos fokig engedte elfordulni azt. Azután kioldotta a tengelyt, hogy a következő fog akadjon bele, ami lehetővé tette, hogy a tengely kellő lassúsággal és állandósággal forogjon ahhoz, hogy egy teljes nap ideje mérhető legyen vele.

De még a legjobb gravitációs órák is siettek vagy késtek legalább egy negyedórát a nap folyamán, úgyhogy állandóan hozzá kellett őket igazítani a napórákhoz. Ekkora pontosság a legtöbb célnak megfelelt, de tudományos kísérletezéshez korántsem volt elég jó, hiszen a tudomány szempontjából döntő, hogy lemérhessük a történések konkrét időtartamát.

1581-ben Galilei (aki akkoriban mindössze tizenhét éves volt) a pisai katedrális istentiszteleteit látogatta, és azon kapta magát, hogy egy himbálódzó

csillárt néz, amelyet a légáramlatok mozgattak, hol szélesebb, hol kisebb körívben. Galileinek úgy tűnt, hogy bármekkora legyen is a kilengés szöge, a csillár azonos időközökben lendül előre és hátra. Ezt pulzusának tapintásával ellenőrizte le (ami nem használható megbízható időmérőként, hiszen gyorsasága egyéenként változik a szellemi állapot és a fizikai megterheltség függvényében). Hazafelé menet azzal kísérletezett, hogy zsinegen függő súlyokat hintáztatott kisebb-nagyobb ívekben. Ilyen módon fedezte fel az inga elvét. (az inga latin neve, a pendulum annyit jelent, mint függeni vagy lengeni). Az ingának olyan a mozgása, amely elvben nagy rendszerességgel képes működtetni egy időmérő szerkezetet. Két hiányossága, hogy mozgásban kell tartani, és hogy lengése nem tökéletesen szabályos.

1656-ban egy holland fizikus, Christiaan Huygens (1629-1695) két hajlított korlát közé helyezte az ingát, amely ennek következtében cikloid típusú ívben kezdett mozogni, a lengés periódusai pedig állandóak lettek. Kidolgozott továbbá egy módszert, amelyben akkora súlyokat alkalmazott, amekkorák az ingának éppen elég erőt adtak ahhoz, hogy korlátlan ideig lengésben maradjon. Huygens ingaórája volt az első időmérő szerkezet, amely elég pontos volt ahhoz, hogy tudományos célokra is megfeleljen. Mérti tudta az óra hatvanad részét, – vagyis a percet – így az órának első ízben még egy mutatót adhattak. A percmutató minden alkalommal leírt egy teljes kört, miközben az óramutató egy órányit előrébb haladt. Azóta az órákat úgy fejlesztették tovább, hogy azok képesek legyenek a perc hatvanad részének mérésére is, így került a számlap elé a harmadik, a másodpercmutató is.

Ma viszont már a másodperc parányi tört részét is pontosan tudjuk mérni.

### **Milyen idős a Föld?**

Most, hogy az idő mérésével volt dolgunk, tegyük fel a Földre vonatkozóan is egy időhöz kapcsolódó kérdést: milyen idős lehet a bolygónk? Egészen bizonyosan tudjuk, hogy 5000 évvel ezelőtt a Föld már létezett, hiszen első írásos emlékeink i.e. 3000-ből erednek, amikor a sumérok feltalálták az írást. De emberek által megmunkált tárgyak, fazekas termékek és szobrocskák még ennél korábbi időkből is maradtak ránk. Majdnem az 1800-as évekig a nyugati hagyományok értelmében szinte mindenki úgy vélte, hogy a Föld kb. 6000 éves lehet. Azok, akik hittek ebben, kizárólag azért tették, mert így értelmezték a Biblia szavait, melyet isteni igazságként fogadtak el, de ez hit, és nem tudományos bizonyítás dolga volt.

Természetesen voltak olyanok is, akik bizonyítékokat gyűjtöttek, és olyan következtetésekre jutottak, amelyek nagyban eltértek attól, amit a biblia kínált. Ezek a gondolkodók úgy vélték, hogy a természeti erők – az eső, a szél, a hullámok partmosása – lassan megváltoztatják a Föld arculatát. Úgy hitték, hogy ezek az erők nagyban hozzájárultak a Föld mai megjelenésének kialakításához, de csak abban az esetben, ha elég hosszú, 6000 évnél jóval hosszabb ideig dolgozhattak rajta. 1570 körül egyike volt az így vélekedőknek egy francia tudós, Bernard Palissy (kb. 1510-1589).

Azok, akik elfogadták a Föld 6000 éves korát, nem vonták kétségbe a változások végbemenését, de azokat Noé és az Özönvíz legendájához kötötték. Palissy elutasította egy ilyen világméretű áradás lehetőségét, és azt állította, hogy a Föld jelenlegi arculatát hosszú távon ható, lassú változások alakították ki. 1589-ben máglyára vetették. Akkoriban nem volt tanácsos ilyen eretnek gondolatokat terjeszteni.

Még annyival később is, mint 1681, egy angol lelkész, Thomas Burnet (kb. 1635-1715) olyan könyvet írt, amelyben alátámasztja az Özönvíz történetét, ugyanakkor 1692-ben, egy másik művében kétségbe vonta Ádám és Éva legendájának hihetőségét. Ez tönkre is tette pályafutását.

1749-ben egy francia természettudós, Georges Louis de Buffon (1707-1788) terjedelmes enciklopédiát kezdett írni, amelyben megpróbálta a világot természettudományos fogalmakkal megmagyarázni. Azt állította, hogy a Földnek legalább 75 000 évre volt szüksége ahhoz, hogy kialakítsa jelenlegi arculatát. Ez azután bajba sodorta a férfiút, akit Galileihez hasonlóan arra kényszerítettek, hogy vonja vissza tanait.

Mindazonáltal semmi sem akadályozhatja meg az embereket abban, hogy gondolkodjanak. A fordulópont 1795-ben következett be, amikor egy skót geológus, James Hutton (1726-1797) megírta A Föld elmélete című könyvét, amelyben gondosan összegzi azokat a bizonyítékokat, amelyek a hosszú távon érvényesülő lassú változások mellett szólnak. A következő több, mint fél évszázad folyamán a tudósok elfogadták Hutton álláspontját, amely a lassú, állandó változásról szólt. Ez az elmélet mindazonáltal nem zárta ki az időnkénti természeti katasztrófák, például a gigantikus vulkánkitörések lehetőségét sem.

Ezután a tudósok azokra a változásokra összpontosították figyelmüket, amelyek a jelenben játszódnak le, és próbáltak rájönni, hogy milyen gyorsasággal mennek végbe. Ha valaki feltételezi, hogy ezek a folyamatok mindig ugyanazzal a sebességgel játszódnak le, akkor felbecsülheti, mennyi ideje kell már tartaniuk ahhoz, hogy a Föld ma úgy nézzen ki, ahogyan kinéz.

Az első ember, aki erre kísérletet tett, Edmund Halley volt, aki elsőként fejtette meg azt is, hogy miért fúj a szél. 1715-ben a tengerek sótartalmát vizsgálta, és megfejtette, hogy a só a beömlő folyók viszik magukkal, amelyek azt kis mennyiségekben a magukkal sodort talajból mossák ki. Mi több, arra is rájött, hogy a víz elpárologhat a tengerekből, de a só nem, ezért az eső, amely hullik, édesvíz, de a folyókat táplálva ismét visszajut a tengerbe, és újabb sómennyiséget visz magával az óceánba.

Ha elképzeljük, hogy az óceán kezdetben tiszta édesvíz volt, és kiszámítjuk, hogy a folyók évente mennyi sóat visznek bele, akkor azt is megfejtethetjük, hogy hány évnek kellett eltelnie az óceán jelenlegi sószintjének eléréséhez. Ez az okoskodás jól hangzik, de megvannak a maga bizonytalan pontjai. Mindenekelőtt lehetséges, hogy az óceán sohasem volt édesvíz, hanem már eleve tartalmazott bizonyos mennyiségű sóat. Ugyanígy az sem volt ismeretes, hogy az összes folyók évente mennyi sóat moshatnak a világtengerbe. Halley idejében valójában semmit sem tudtak az Európán kívüli folyókról. Azután adva volt annak a lehetősége is, hogy a jelenleg bevitt évi sómennyiség több vagy kevesebb az évszázadokkal korábbi mennyiségnél. Arról nem is beszélve, hogy léteznek olyan folyamatok is, amelyek eltávolítják a sóat az óceánból. A közönséges elpárologás általában nem járul hozzá ehhez, viszont az óceán sekély nyúlványai néha leszakadnak és kiszáradnak, hatalmas területeket hagyva maguk mögött, amelyekből sóbánya lesz.

Halley megpróbálta számításba venni az efféle szabálytalanságokat is, és végül arra a megállapításra jutott, hogy az óceán mostani sótartalmának kialakulásához a Földnek kb. egymilliárd évesnek kellett lennie. Ez a szám akkoriban olyan elképzelhetetlenül nagynak tűnt, hogy senki sem vette komolyan. Ez majdnem 13 000-szerese volt annak, amennyire Buffon becsülte a Föld életkorát, de az angliai körülmények akkor jóval kedvezőbbek voltak, és Halley-nek nem esett bántódása.

A Föld életkorát felbecsülhetjük az iszaplerakódás üteme alapján is. A folyók, tavak és óceánok sarat és üledéket ülepítenek le medrük fenekére, amit szedimentumnak nevezünk (a latin lerakódás szó nyomán). Ahogy újabb rétegek rakódtak le, azok súlya nyomni kezdte az alsóbb rétegeket, és azokból szediment kőzetek keletkeztek. Az ember fel tudja becsülni, hogy ez a lerakódás a jelenben milyen gyorsasággal zajlik, és ha feltételezzük, hogy a folyamat sebessége mindvégig azonos volt, akkor kiszámítható, hogy mennyi idő alatt jöhetett létre a Földön található szediment kőzetek keménysége. Az így begyűjtött eredmények alapján úgy tűnik, hogy a Földnek több mint félmilliárd

évesnek kell lennie.

Ezek a becslések a durvább fajtából valók voltak, hatottak ugyan a képzeletre, de nem hoztak meggyőződést. Ehhez egy olyan, abszolút szabályos változásra lett volna szükség, amely már a kezdetektől jelen volt a Földön, ugyanakkor általunk könnyen mérhető is. Halley vagy Hutton idejében senkinek sem jutott eszébe, hogy mi is lehetne ez a változás, és amikor végül mégis felbukkant a színen, egy századdal Huttont követően, akkor felfedezését teljes egészében a véletlennek köszönhette.

### **Hogyan határozták meg a Föld korát?**

1896-ban egy francia fizikus, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) egészen véletlenül (ugyanis valami más után kutatott) felfedezte, hogy egy bizonyos elem, amely urániumatomokat tartalmaz, sugárzást bocsát ki, amely mindaddig ismeretlen volt. A lengyel-francia vegyész, Marie Skłodowska Curie (1867-1934) tovább tanulmányozta a jelenséget, és 1898-ban arra a következtetésre jutott, hogy az új sugárzás a radioaktivitás következménye volt. Az uránium, és egy másik atom, a tórium (amely nagyon hasonlít az előbbihez) radioaktív volt, és egy angol vegyész, Frederick Soddy (1877-1956), 1914-ben másokkal egyetemben rámutatott, hogy a radioaktivitás következtében az uránium és a tórium valamivel egyszerűbb atomokká bomlik, amelyek később még tovább bomlanak, míg végül ennek a radioaktív láncnak a végén ólomatomok keletkeznek. Ezek az ólomatomok már nem radioaktívak, vagyis a bomlás folyamata velük véget ér.

Soddyval együttműködve az új-zélandi Ernest Rutherford (1871-1937) rámutatott, hogy minden radioaktív elemnek van egy tulajdonsága, amit ő felezési időnek nevezett el. Más szóval minden radioaktív elem adott mennyisége egy jellemző idő alatt veszíti el tömegének felét a bomlási folyamat révén, miután a megmaradt mennyiség felét is még egyszer annyi idő alatt, majd az így fennmaradó tömeg felét is – és így tovább. Ez azt jelentette, hogy pontosan előre lehetett jelezni, hogy adott számú év elteltével tetszőleges mennyiségű urániumból vagy tóriumból mennyi fog megmaradni.

Mint kiderült, az uránium és a tórium is rendkívül lassan bomlik el. Az uránium felezési ideje 4,5, a tóriumé pedig 14 milliárd évet tesz ki. Ennek a hosszú felezési időnek köszönhető egyébként, hogy az uránium és a tórium még mindig fellelhető a Föld kérgében, annak ellenére, hogy Halley és társai helyesen tételezték fel, hogy bolygónk életkora egymilliárd év körül mozoghat.



Ez ugyanakkor felső határt is szabott a Föld korának: ha például egy billió (ezermilliárd) éves lenne, uránium- és tórium-készletének nagyobb része már lebomlott volna.

1907-ben, még mielőtt a radioaktív bomlás jelenségét teljes egészében megfejtették volna, egy amerikai fizikus, Bertram Borden Boltwood (1870-1927) azt állította, hogy ha egy kőzet urániumot tartalmaz, ez az uránium azonos részletekben bomlik le ólomra. Az ólom mennyiségéből pedig ki lehet számítani, hogy az illető kőzet mennyi ideje fekszik a helyén szilárdan és zavartalanul.

A dolog azért nem ilyen egyszerű, mert a kőzetben már eredetileg is lehetett bizonyos mennyiségű ólom. Mindazonáltal az ólom négy, nagyon szoros rokonságban álló változat, azaz izotóp formájában fordul elő. Ezek közül az egyik nem radioaktív bomlás útján jön létre, és ha megmérjük ennek arányát a kőzetben, akkor következtethetünk arra, hogy az eleve mennyit tartalmazhatott a többi izotópból. Így csak az az ólom mennyiség számít a kőzet élettartamának meghatározásakor, amely ezen a tömeg felül található benne.

Nem volt nehéz olyan kőzetet találni, amely egymilliárd évesnek bizonyult, és Halley becslése többé senkinek sem tűnt nevetségesnek. Mi több, 1931-ben kétmilliárd éves kőzeteket fedeztek fel, az eddigi legrégebbi mintát pedig, amelynek életkora 3,8 milliárd év, Nyugat-Grönlandon találták.

De mindez csupán azt árulja el számunkra, hogy hány évesek a Földön található legrégebbi kőzetek. Bolygónk maga ennél idősebb lehet, de a 3,8 milliárd évet megelőző időkben a vulkánaktivitás újra és újra felolvashatta a kőzeteket, úgyhogy egy sem maradhatott fenn változatlan formában abból a periódusból. A tudósoknak azonban sikerült megoldaniuk ezt a problémát, még hozzá oly módon, amelyről a későbbiekben még szó esik ebben a könyvben, és ma általánosan elfogadott, hogy a Föld bolygó 4,6 milliárd éves.

### **Mi a tömeg?**

Annak érdekében, hogy a Földről többet tudjunk meg, meg kell határoznunk, mit értünk azon a szón, hogy tömeg. Azonban mielőtt ezt meghatároznánk, azt is tudnunk kell, hogy mi az a súly.

A súly a Föld vonzásának az eredménye, amit bizonyos tárgyakra fejt ki. Néhány tárgyat a Föld olyan erővel vonz, hogy azokat nehéz lenne a gravitáció erejével szemben megemelni, ezek a tárgyak súlyosak. Más tárgyakat kisebb erővel vonz a Föld, ezeket könnyebb megemelni, így tehát könnyebbek is. A

tárgyak súlyát kilogrammokban mérjük.

Newton gravitációs törvényének megfelelően a Föld vonzása a távolsággal változik. A Föld vonzása úgy viselkedik, mintha annak központjára koncentrálna, és mi a Föld felszínén, 6350 kilométer távolságban lennénk. A legtöbb esetben nem vagyunk tudatában annak, hogy a gravitáció változik. Mindezek ellenére mi mindig ugyanolyan távolságban állunk a Föld közepétől. Akár a legmagasabb hegy tetejére mászunk fel, akár a legmélyebb óceán mélyére ereszkedünk le, nem nagyon történik változás. A súlyról tehát általában úgy gondolkodunk, mint ami sohasem változik.

De hogyha 6350 kilométer magasságba elrugaskodnánk a Föld felszínétől, akkor kétszer olyan távol lennénk a Föld magjától, mint amennyire most vagyunk, és a gravitáció a negyedére csökkenne. Ha ebben a magasságban egy mérlegre tudnánk állni, akkor azt tapasztalnánk, hogy csak az egy negyedet nyomnánk a Földön mért súlyunknak. Ha még magasabbra mennénk, akkor pedig még kevesebb lenne a súlyunk.

Isaac Newton, aki 1687-ben kidolgozta a mozgástörvényeket, olyan mérőeszközöket keresett, mint pl. a súly, aminek semmi köze a gravitáció vonzásához, és nem változik a Földtől mért távolsággal. Ha egy tárgy nehezebb, mint egy másik, ennek az az oka hogy az első tárgyat a Föld erősebben vonzza. Van-e más módja annak, hogy megítéljük ezt a különbséget? Newton úgy gondolta, hogy egy tárgynak a sebessége növelhető, csökkenthető vagy megváltoztatható egy adott irányba, ha erőt fejtünk ki rá. A nehezebb tárgyak elmozdításához pedig nagyobb erő kell, mint a könnyebbekéhez.

Ez egyébként az emberek általános tapasztalata. Képzeljük el, hogy van egy kosárlabdánk, ami a földön hever és mozgásba akarjuk hozni. Ez nem olyan nehéz feladat. Ha meglökjük, akkor az megmozdul, és ha már mozog, akkor egy másik lökés megváltoztathatja az irányát, vagy pedig megállíthatja azt. Most képzeljük el azt, hogy van egy kosárlabda méretű vas ágyúgolyónk, ami szintén a földön hever. Persze ez sokkal nehezebb, mint egy kosárlabda. Ha mozgásba akarjuk hozni, akkor sokkal nagyobb erőt kell kifejtenünk, és ha már mozog, akkor ahhoz is nagyobb erő kifejtésre lesz szükség, hogy irányát megváltoztassuk vagy esetleg megállítsuk.

A tárgyak mozgással szembeni ellenállását inerciának nevezzük. Egy tárgy inerciájának mennyisége pedig a tömeg. A tömeg nem változik a gravitációs mező erősségével vagy gyengeségével, ezért a tudósok szívesebben beszélnek tömegről, mint súlyról. Azt mondják, hogy egy tárgy nehéz vagy kevésbé nehéz, nem pedig azt, hogy könnyebb vagy súlyosabb.

A tömeget, ugyanúgy mint a súlyt, kilogrammokban mérjük (ami valójában hiba, de a tudósok rossz szokásává vált). Tömeget kétféleképpen mérhetünk, meghatározzuk azt a súlyt, ami azáltal keletkezik, hogy a gravitációs mező erejét számításba vesszük, vagy pedig úgy, hogy meghatározzuk az inerciát. Ebben az esetben azonban a gravitációs mező nem számít. Ennek a két módszernek semmi köze nincs egymáshoz, de eredményük mindig ugyanaz, tehát a gravitációs tömeg és az inerciális tömeg mindig egyforma, és ez zavarba hozza a tudósokat.

### **Mennyi a Föld tömege?**

A Föld tömegét meghatározni elég problematikus. Nem tudjuk megmérni a Föld inerciális tömegét, mert az olyannyira nehéz, hogy nem tudunk olyan erőt létrehozni, amely bármilyen mérhető módon megváltoztatná annak mozgását. De nem is igazán kell megmérni a Föld tömegét. Ha veszünk egy bármilyen mindennapi tárgyat és megmérjük a gravitációs vonzását bizonyos távolságból, akkor összehasonlíthatjuk ezt a Föld által kifejtett gravitációs erővel a közepe és a felszíne között lévő sokkal nagyobb távolságból. Ha tudjuk egy mindennapi tárgynak a tömegét, akkor a Föld súlyát is kiszámíthatjuk ebből. A probléma csak az, hogy a gravitáció egy olyan hihetetlenül gyenge erő, hogy csak óriási tárgyakkal kapcsolatban mutatható ki. Úgy gondolkodunk a gravitációról, mint valami nagyon erősről, ami elég hatalmas ahhoz, hogy öljön, de ennek csak az az oka, hogy kapcsolatba hozzuk az óriási Földdel. Egy mindennapi tárgy, mint pl. egy darab vas olyan kicsi gravitációs vonzást vált ki, hogy azt meg sem tudjuk mérni. Legalábbis úgy tűnik, hogy ez nem járna sikerrel. Henry Cavendish angol tudós, (1731-1810) ezzel a problémával foglalkozott 1798-ban. Egy könnyű pálcát egy madzaggal felfüggesztett annak a közepénél fogva, és a pálca mindkét végéhez egy-egy ólomgolyót rögzített. A pálca úgy tudott forogni a madzag körül, hogy csak a golyókra kifejtett kis erő hozta mozgásba a rendszert. Így Cavendish meg tudta mérni, hogy mekkora forgást okoztak a különböző kis erők.

A következő lépésben, a pálca mindkét végéhez a kis golyók mellé két nagy vasgolyót rögzített. A kis és a nagy golyók közötti gravitáció alig hozta mozgásba a madzagot, és Cavendish a forgás kiterjedéséből számította ki a két páros golyó közötti gravitációs erőt. Ismerte a közöttük lévő távolságot, és ismerte a tömegeket is. A gravitációs nyomás erejének különbségeiből pedig ki tudta számolni a Föld tömegét.

Arra a következtetésre jutott tehát, hogy a Föld tömege  $6 \times 10^{24}$  kilogramm. Még mindig úgy gondoljuk, hogy Cavendish nagyon jó számításokat végzett az első kísérletre.

### **Mi a sűrűség?**

Úgy tűnhet számunkra, hogy egy nagy tárgy mindig nehezebb, mint egy kicsi, de tapasztalatból tudjuk, hogy ez nem igaz. Egy nagy, parafából készült tárgy kevésbé nehéz (egyébként a súlya is kisebb), mint egy kisebb ólomból készült tárgy; néhány tárgy tehát egy adott térfogatba sokkal nagyobb tömeget csomagol, mint mások.

Egy víz-kockának, amelynek minden oldala egy centiméter (1 köbcentiméter), a súlya csak egy gramm.

Ha tudjuk bármilyen tárgynak a tömegét grammokban és tudjuk a térfogatát is köbcentiméterekben, eloszthatjuk a tömeget a térfogattal, és megkapjuk azt a számot, ami a tárgy sűrűségét fogja jelenteni.

Az ókori görögök felfedezték, hogyan határozható meg egy kör térfogata az átmérőjéből, és miután mi ismerjük a Föld átmérőjét, ki tudjuk számolni a térfogatát. Amikor Cavendish kiszámította a Föld térfogatát, akkor a sűrűséget is ki tudta számítani úgy, hogy a tömeget a térfogattal elosztotta. Ezáltal azt kapjuk, hogy a Föld sűrűsége átlagban 5,518 gramm köbcentiméterenként, tehát 5,518-szor sűrűbb, mint a víz.

### **Igaz, hogy a Föld üreges?**

Ez a kérdés megriaszthatja azokat, akiknek eddig még soha nem jutott eszébe, hogy a Föld lyukas is lehet. De nagyon sok ember volt a történelem folyamán, aki hitt ebben, úgyhogy ez az ötlet sok történetnek és legendának lett az alapja. A legmélyebb barlang, amelyről tudomásunk van, a Pireneusok nyugati részén található, és 1170 méter mély, ami elég sekély a Föld középpontjáig mért 6350 kilométeres távolsághoz képest. Persze mindig akadtak olyan emberek, akik azt gondolták, hogy találnak egy olyan barlangot, amely elvezeti őket a Föld üreges belsejéig.

Ez az elképzelés, miszerint a Föld üreges, nagyon régről származik. A görög mitológiában azok az óriások, akik felláztak Zeusz ellen, a Föld alatt voltak megláncolva, és az a hit járta, hogy gyötrődésük okozza a földrengéseket. A görögök Hádésza és a zsidók Sheolja is a föld alatt helyezkedik el, és a

vulkánok létezése is azt bizonyította, hogy a Föld belseje a tűz és a kénkő otthona, tehát a kínzásokra alkalmas hely.

A tudomány korai időszakában néhány tudós azon fáradozott, hogy bebizonyítsa ezt a vallásos elképzelést a Föld üreges mivoltáról. 1665-ben a német tudós, Athanasius Kircher (1601-1680) megjelentette az akkor legméltaottabb földrajzkönyvet, amelyben úgy jellemzi a Földet, mint ami barlangokkal és csatornákkal van átszagatva. Ezekben pedig sárkányok élnek. Az 1800-as évek elején, az amerikai katona, John Cleve Symmes (1742-1814), kidolgozott elméletet tárt a nagyközönség elé, és azt állította, hogy az Északi-sark régiójában vannak a nyílások, ahol az emberek megtalálhatják az utat a Föld belsejébe. Ez az elképzelés sok embernek ragadta meg a képzeletét, mint ahogy az ilyen örült fantazmagóriák általában. Symmes idejében rengeteg science fiction regény született olyan utazókról, akik a Föld belseje felé tartottak. 1864-ben a francia író, Jules Verne tollából született a legjobb ezek közül „Utazás a Föld középpontja felé” címmel, amelyben leírja a föld alatti óceánokat, dinoszauruszokat, az emberszabású majmokat. Ő azt az álláspontot képviselte, amely szerint a Föld belsejének bejárata Izlandon van.

Korábban Edgar Allan Poe (1809-1849) írt egy ilyen történetet, és szintén az Északi-sarkot jelölte meg a bejárat helyeként.

Természetesen, amikor az amerikai felfedező, Robert Edwin Peary (1856-1920) elérte az Északi sarkot 1909-ben, nyilvánvalóvá vált hogy semmilyen nyílás nincs a távoli északi régióban, amely a Föld belseje felé vezetne. Bár erre alapozott történetek még később is születtek. Az üreges Földről szóló történetek között a legnépszerűbb Edgar Rice Burroughs (1875-1950) sorozata volt, aki a Pellucidar nevet adta a föld alatti világnak. Az első ezek közül 1913-ban jelent meg.

1798 óta tudjuk, hogy a Föld nem üreges és nem is lehet az. Mióta Cavendish megmérte a Föld tömegét, tudjuk, hogy a sűrűsége 5,518 gramm köbcentiméterenként.

A földkéreg közeteinek sűrűsége átlagban 2,8 gramm köbcentiméterenként. Hogyha a Föld üreges volna, és az üregek feltételezhetően levegővel lennének telve, akkor az átlagsűrűség kevesebb lenne, mint 2,8 gramm köbcentiméterenként. Az a tény, miszerint a Föld átlagsűrűsége 5,518 gramm köbcentiméterenként, arról árulkodik, hogy valójában a Föld belsejének még sokkal sűrűbbnek kell lennie, mint a kéregközeteknek. A Föld egyszerűen nem lehet üreges. Sok más érv is szól amellett arra, hogy miért nem lehet az, de a sűrűség maga is elegendő bizonyíték.

### **Milyen valójában a Föld belseje?**

Miután tudjuk, hogy a Föld kéregközetének sűrűsége 2,8 gramm köbcentiméterenként, a Föld egészének sűrűsége, pedig 5,5 gramm/cm<sup>3</sup> körüli, nyilvánvaló, hogy a Föld belső sűrűségének nagyobbak kell lennie, mint 5,5 ahhoz, hogy kijöjjön az átlagolt szám.

Ha egy kicsit jobban belegondolunk ebbe a ténybe, az is igaz lehet, hogy ez csak a mi elvárásunk. Egy közönséges golyó mérete, amivel laboratóriumi körülmények között dolgozhatunk, olyan kicsi, hogy a gravitáció hatása elhanyagolható. A Föld esetében azonban óriási a gravitációs nyomás, ami a szilárdságát biztosítja. Ha feltesszük, hogy a Föld csak kőzetekből áll, akkor a kőzetek mélyebb rétegei összetörnének a felsőbb rétegek súlya alatt. Ez a súly nagy nyomást gyakorol a belső rétegekre, és összenyomja az egész tömeget egy kisebb térfogatra. A belsőbb rétegeknek ezért természetesen nagyobb a sűrűsége, mint más rétegeknek, és ezzel a probléma meg is oldódik.

Azonban ez nem egészen működik így. Az ember kifejthet egy bizonyos nyomást a kőzetekre és kiszámíthatja, hogy ez a nyomás mennyire préseli azt össze, és ebben az esetben mennyivel nő a sűrűség. Ekkor azonban kiderül, hogy a Föld legkülső rétegének egésze nem tudja annyira összenyomni a belső rétegeket, hogy azok elérjék az 5,5 grammos köbcentiméterenkénti átlagot.

Így hát csak azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a Föld nemcsak szilárd kőzetekből áll, hanem a Föld mélyebb rétegeiben kell lenniük más anyagoknak is, amelyek sűrűbbek, mint a kőzetek. De vajon mik ezek az anyagok és hogyan szerezhettük információkat róluk? Azt már említettük, hogy a legmélyebb barlang is elenyésző mélységű a Föld közepéhez képest. A legmélyebb olajkút, amelyet eddig fúrtak, 9,6 kilométer mély, ami a Föld közepéig mért távolságnak körülbelül az 1/670-ed része.

Ezek szerint teljesen képtelenek lennénk arra, hogy bármit is megtudjunk a Föld belsejéről? Valójában nem. Időnként vannak földrengések, amelyek megbolygatják a Föld felszínét, és egy erőteljes rezgést eredményeznek, amely a Föld belsejében hullámok formájában megy végig. A hullámmozgások arra hasonlítanak, amikor a tó felszínén átsuhanó hullámokat megzavarjuk, vagy ahogy a hanghullámok terjednek a levegőben. Valójában a földrengések hullámainak, amelyeket elsődleges hullámoknak vagy P (primary) hullámoknak nevezünk, vannak a hanghullámokra jellemző sajátásaik, míg másfajta földrengéshullámok, a másodlagos vagy S (secondary) hullámok a

vízhullámokkal mutatnak közös jellemzőket.

Ezek a hullámok keresztülmennek a Földön, és az eredeti kitöréstől jelentős távolságra törnek a felszínre. Az első egyszerű eszközt, amely alkalmas volt a hullámok tanulmányozására, a szeizmográfot, egy olasz fizikus, Luigi Palmieri (1807-1896) 1855-ben találta fel. A szeizmográfok gyorsan fejlődtek az elkövetkező időszakban. Az 1890-es években egy angol mérnök, John Milne (1850-1913) egy sorozat szeizmográfot állított fel a világ különböző pontjain. Most több mint 500 komoly szeizmográf működik bolygónk felületének különböző pontjain.

A szeizmográfok előre jelzik, hogy egy földrengési hullám hol és mikor fog újra feltünni, és ezeken a helyeken a tudósok feltérképezik az útvonalat, amelyen azok a Föld szerkezetén keresztül a felszínre érnek. Ha a Föld anyaga mindenhol ugyanolyan minőségű lenne, akkor ezek a hullámok ugyanakkora sebességgel egyenes vonalban közelítenék meg a Föld felszínét. Azonban a Föld sűrűsége a mélységgel növekszik, részben a nyomásnak és tömörítésnek köszönhetően a hullámok útvonalai elgörbülnek. Az elhajlások természetéből a tudósok meg tudják állapítani, hogy a Föld sűrűsége milyen mértékben változik a mélységgel. Bizonyos mélységekben a hullámok nagyon élesen változtatnak irányt, amely egy hirtelen változást jelez a sűrűsége nézve. Ez pedig inkább a kémiai szerkezetnek köszönhető, nem pedig a nyomás által okozott állandó változásnak. A földrengések keltette hullámokkal kapcsolatban folytatott tanulmányok a Föld szerkezetét három fő részre osztják. A legkülsőbb réteget hívjuk kéregnek, amely általunk is ismert kőzetekből áll. Körülbelül 33 kilométerre a Föld felszínétől van egy éles váltás, amelyet először 1909-ben egy horvát geofizikus észlelt, Andrija Mohorovicic (1857-1936). Ezt úgy nevezzük, hogy Mohorovicic-megszakadás, rövidebben Moho-megszakadás. A földkéreg alatt van egy köpeny, ami szintén kőzetekből áll. Ez a köpenykőzet is sűrűbb, mint a kéregkőzet, részben azért, mert össze van préselve, részben pedig azért mert az önmagában is egy sűrűbb anyag. De ez a köpönyeg sem elég sűrű ahhoz, hogy kiadja a Föld egész sűrűségét, 2900 kilométeres mélységben a földrengési hullámok megint élesen irányt változtatnak, ezt először 1914-ben a német geológus, Beno Gutenberg (1889-1960) mutatta be. A Földnek ez a belső régiója, magja, már elég sűrű ahhoz, hogy kiadja a Föld teljes sűrűségét. A tudósok észrevették, hogy azon a P hullámok átjutnak, az S hullámok pedig nem. Ezáltal meg tudták határozni a mag összetételét. Az S hullámok olyan minőségűek, hogy a folyadékban nem tudnak terjedni, míg a P hullámok erre képesek. Ebből levonhatjuk azt a következtetést, hogy a Föld magjának nagy

része folyékony. (A Föld kérge, köpenye és folyékony magja ugyanolyan viszonyban áll egymással, mint egy tojás héja, sárgája és fehérje része, bár ez egyszerűen egy érdekes egybeesés és semmi több.)

Már csak az maradt hátra, hogy meghatározzuk, miből van a mag. Az biztos, hogy olyan anyagnak kell lennie, amelyik sűrűbb és olvadási pontja alacsonyabb, mint a kőzeteké. A legvalószínűbbnek az tűnik, hogy különféle fémekből tevődik össze, tehát az a gyanúnk, hogy a Föld magja folyékony és fémes. De vajon melyik fémről van szó?

Valójában egy valószínű válasz már akkor született, mielőtt a földrengési adatok feltárták volna a Föld belső szerkezetének pontos adatait. Sokszor csapódnak be a Föld felszínére meteoritok (a könyv egy későbbi fejezetében ezekről még esik szó), amelyeknek nagy része kőzeti eredetű, 10%-uk pedig fémes eredetre utal. Ez majdnem mindig vas, kiegészítve a fém eredetű nikkellel. Az arány 9 az 1-hez.

A francia geológus, Gabriel August Daubrée (1814-1896) már 1886-ban úgy gondolta, hogy a Föld magja a vas és a nikkell keverékéből állhat. Ez az elképzelés akkor ésszerűtlennek tűnt, most azonban a tudósok többsége azt tartja, hogy a Föld magja valószínűleg 90%-ban vas és 10%-ban nikkell keverékéből áll. Bár vannak amellet is érvek, hogy oxigén vagy kén vagy mindkettő jelentős mennyiségben képviselteti magát a Föld magjában.

### **Mozognak-e a kontinensek?**

Miután megemlítettük a földrengéseket, jogosan merül fel a kérdés, hogy azokat vajon mi okozza. Ahhoz, hogy erre választ adjunk, először azt a kérdést kell feltennünk, hogy vajon mozognak-e a kontinensek. Természetesen mozognak abban az értelemben, hogy a Föld tengelye körül forognak, mint a bolygó szilárd részei, de vajon egymáshoz viszonyítva is elmozdulnak-e?

Magától értetődőnek tűnik, hogy a válasz: nem. Végül is hogy tudnának mozogni? Bár már nagyon régen is volt egy olyan érzés, hogy a kontinensek vagy legalábbis bizonyos részeik mozognak, legalább annyiban, hogy emelkednek vagy süllyednek. I.e. 540-ben a görög filozófus, Xenophanész (i.e. 560-480) észrevette, hogy a tengeri kagylók magas hegyek kőzeteibe vannak beágyazódva. Ebből levonta a következtetést, hogy valamikor ezeknek a magasságoknak a víz alatt kellett lenniük. Úgy gondolta, hogy a kontinenseket alkotó kőzetek kevésbé sűrűek, mint amelyek a tenger fenekén találhatóak. A kontinensek „lebegtek” a tengerfenék fölött, majd az óceán felszíne fölé



emelkedtek. A hegyvidékes területek olyan kőzeteken nyugodtak, amelyek még kevésbé voltak sűrűek, ezért tudtak a Föld átlagos szintje fölé emelkedni. Dutton úgy nevezte ezt a jelenséget, hogy izosztázia. Ha belátjuk, hogy a kontinensek vagy azok bizonyos részei vízszintes irányban mozognak, ez még nem jelzi azt, hogy oldalirányban is mozogniuk kellene.

Bár a Föld térképe nagyon sokat elárul. Amikor felfedezték az amerikai kontinenst és feltérképezték az Atlanti-óceán partjait, akkor egy furcsa tény került felszínre, amelyre először 1620-ban az angol filozófus, Francis Bacon (1561-1626) figyelt fel. Ha egy pillantást vetünk Dél-Amerika keleti partjára, akkor észrevehetjük, hogy az pontosan illeszkedik Afrika nyugati partjához. Ha rápillantunk a térképre, lehetetlen, hogy ne feltételezzük azt, hogy Afrika és Dél-Amerika valamikor egy földrész voltak, amelyek később kettéhasadtak és eltávolodtak egymástól.

1912-ben a német geológus, Alfred Lothar Wegener (1880-1930) részletesebben foglalkozott ezzel a kérdéssel, és leszögezte, hogy a két kontinens elsodródott egymástól az óceán alatt lévő nehezebb kőzeteken csúszva. Valójában ő azt az elméletet fejtette ki, hogy valamikor az egész kontinens egy nagy darab földmassza volt, ezt ő úgy nevezte el, hogy Pangaea (a görög szóból, ami azt jelenti, hogy minden föld), és ez összetört kisebb földdarabokra. Ezt a jelenséget úgy hívjuk, hogy kontinentális sodródás. Bizonyos szempontból igaza volt, de az nem állja meg a helyét, hogy a kontinensek az óceán mélyén, lebegtek volna. Az alapot alkotó kőzetek túl merevek voltak ehhez, ezért az ötletet elvetették, azaz lehetetlennek tartották egészen 1960-ig.

Született azonban egy új elképzelés. Az 1850-es években kísérletek történtek arra, hogy az Atlanti-óceán fenekén egy kábelt fektessenek le, amely lehetővé teszi a távirati összeköttetést Észak-Amerika és Európa között. Egy amerikai oceanológus, Matthew Fontaine Maury (1806-1873) méréseket végzett az Atlanti-óceán mélységéről, hogy megtalálja a kábel legmegfelelőbb útvonalát. A mérések folyamán észrevette, hogy az Atlanti-óceán kevésbé mély a közepén, mint a két szélén. Azt gondolta, hogy volt egy hátság az óceán közepén, amelyet ő Távíró-hátságnak nevezett el.

Nagyon nehéz volt a tengerfenéken mélységet mérni. Le kellett eresztetni egy mérőkábelt, amelynek több kilométer hosszúnak kellett lennie, majd jelezni, mikor ért le az óceán fenekére, visszahúzni és végül megmérni a hosszúságát. Ez egy nagyon kimerítő és bizonytalan munka volt. Egy új alkalmával csak néhány ponton lehetett pontos méréseket végezni, tehát Maury munkája csak a

kezdett volt.

1872-ben a Charles Wyville Thomson (1830-1882) által vezetett angol expedíció résztvevői 4 évet töltöttek a tengeren, 125 000 kilométert utaztak, és 372 mélytengeri mérést végeztek 6,4 kilométeres kábelekkel. A következő fél évszázadban ennél pontosabb méréseket senki nem végzett, de ez az expedíció sem adott tisztább képet az óceán fenekéről. Később az I. világháború idején kifejlesztették a visszhangmérés technikáját. Ez a hangsebességen túli hanghullámokat használta, amelyek túl magasak voltak ahhoz, hogy az emberi fül érzékelni tudja őket. Ezek behatoltak az óceán mélyébe, majd néhány pillanaton belül visszaverődtek: Abból az időközben, ami a hullámok elnyelése és visszaverődésük fogadása között eltelt, az óceán mélységét meg lehetett becsülni. Egy német hajó alkalmazta először ezt a technikát 1922-ben, úgyhogy az emberiség megismerkedhetett az óceán fenekével.

Az óceán fenekének legnagyobb ismerője egy amerikai geológus volt, William Maurice Ewing (1906-1974), aki megszámlálhatatlan mérést végzett, és kimutatta az 1950-es évek elején, hogy a Távíró-hátság valójában nem hátság, hanem egy hosszú, egyenetlen hegyláncolat az Atlanti-óceán közepén, a legmagasabb csúcsai közül pedig néhány kiemelkedik a víz felszíne fölé, és szigeteket alkot. 1956-ban Ewing kimutatta, hogy ez a hegyláncolat Afrika körül húzódik, és benyúlik az Indiai-óceánba, de a Déli-sarkvidék környékén is megtalálható, ott pedig a Csendes-óceánig terjed. Ez egy az egész világot behálózó rendszer volt, amelyik az Óceánközepi hegygerinc nevet kapta. 1957-ben Ewing kimutatta, hogy volt egy mély vetődés, a Nagy Globális Törés, amely a hegygerinc közepe felé szalad le, és úgy néz ki, mintha a földkéreg sokszorosan összeálló lemezre lenne töredezve. Ezeket úgy nevezték el, hogy tektonikus lemezek, a görög ács szóból, mert a részek olyannyira illeszkedtek egymáshoz, mint egy remekbe szabott ácsmunka.

Egy másik amerikai geológus, Harry Hammond Hess (1906-1969) foglalkozott a tektonikus lemezekkel, és 1962-ben arra a következtetésre jutott, hogy a Föld mélyebb régióiból származó anyagok kiömlöttek a Nagy Globális Törésen keresztül az Atlanti-óceán közepén, és a két lemezt két irányban eltávolították egymástól. Az a lemez, amelyik Afrikát cipelte, keletre mozdult el, a Dél-Amerikát szállító pedig nyugati irányban, míg közöttük az óceán kiszélesedett. Ezt a folyamatot úgy nevezzük, hogy a tengerfenék kiterjedése. Ezt a koncepciót gyorsan elfogadták más geológusok is. Dél-Amerika és Afrika valójában eredetileg ugyanahhoz a földtömeghez tartozott és Wegener úgy gondolta, hogy a kontinensek nem lebegéssel vagy sodródással távolodtak el

egymástól, hanem egy nagy erő következményeképpen. Wegener levonta a helytálló következtetést, de abban a mechanizmusban tévedett, hogy mi okozza ezt a jelenséget. Az új mechanizmus már helytálló, most az egész geológiát a lemeztectonika alapján magyarázzák, ami a tektonikus lemezek lassú mozgásának tudománya.

### **Mi okozza a földrengéseket, vulkánkitöréseket?**

Földrengések és vulkánok már nagyon régóta léteznek. Általában nagy rombolást végeztek, és mindig megrettentették az emberiséget azzal, hogy néhány pillanat alatt több ezer élőlény halálát okozták. A régi idők leghatalmasabb vulkánkitörése lerombolta az égei-tengeri Thera szigetét, Kréta szigetének északi részét, körülbelül i.e. 1500-ban. A sziget nem adta semmi jelét annak, hogy bármilyen potenciális vulkán lenne rajta: az ott élő emberek legalábbis nem tudtak semmiről, de a föld mélyében elég nyomás halmozódott fel, hogy feltörje a vulkán tetejét és az kitörjön. Ez a vulkánkitörés nemcsak a Therát rombolta le, ami az Atlantisz-legenda megszületésének is alapot adott, hanem Krétát is olyannyira tönkretette a porzuhatag és a szökőár, hogy az ott virágzó civilizáció nem tudott fennmaradni. Valójában az egész keleti földközi-tengeri kultúra káoszba süllyedt, és az Egyiptomi Birodalom is fokozatos hanyatlásnak indult.

Az olasz vulkán, amely Nápoly közelében volt, olyan sokáig nem hallatott magáról, hogy az emberek már meg is feledkeztek a veszélyről. Azonban 79-ben megint kitört, és felégette Pompeji és Herculaneun városokat. A nagy római író, Plinius (23-79), abba halt bele, hogy túl közel ment a veszélyhez. A kitörést akarta megfigyelni és leírni. Ez a vulkán körülbelül 4000 ember halálát okozta. A szicíliai Etna azonban, amely a legmagasabb és a legaktívabb Európa vulkánjai között, egy 1669-es kitörés alkalmával közel 20 000 embert ölt meg. 1873-ban Izlandon volt egy másik nagy kitörés. 1815-ben az indonéziai Tambora tört ki Sumbawa szigeten, 1883-ban pedig egy másik indonéziai vulkán követte a példáját. Mind a három eset rengeteg emberéletet követelt. 1902-ben a Mt. Pelée tört ki Martinique nyugat-indiai szigetén. A forró, vörös, mérgező gázok a hegyoldaton lehömpölyögtek Martinique előző fővárosára, Saint Pierre-re. Néhány perc alatt végzett a város 38 000 lakójával. (Egyetlen ember maradt életben egy föld alatti börtönben, egy elítélt gyilkos, aki a kivégzésre várt.)

A földrengések még több halált tudnak okozni. 1556. január 24-én földrengés

rázta meg Kína Senszi tartományát, és néhány másodperc alatt 800 000 ember halálát okozta. 1703-ban Tokióban a földrengés 200 000 embert ölt meg, és 1737-ben Kalkuttában 300 000 ember esett ugyanennek áldozatul. A modern idők legnagyobb európai földrengésének Lisszabon volt a helye 1755. november 1-jén. Ezt a földrengést tűz és szökőár követte, lerombolta a portugál várost, és 60 000 embert ölt meg. 1812-ben a Mississippi folyó mentén volt egy óriási földrengés, közel a mai New Madrid városához, de mivel akkoriban csak kevés ember élt azon a környéken, itt nem volt halálos áldozat.

Mi okozza ezt a jelenséget? Az már bizonyos, hogy nem bosszúvágó istenek, tűszellemek vagy hasonlók. Arisztotelész úgy gondolta, hogy a föld alatt különböző helyeken bennrekedt a levegő, a földrengéseket pedig a bennrekedt és kiszabaduló levegő okozza. Amikor az emberek elkezdtek módszeresen gondolkodni a vulkánokról és a földrengésekről, akkor rájöttek arra, hogy azok a bolygónak csak bizonyos részein fordulnak elő. A Föld 500 működő vulkánjából közel 300 található egy nagy ívben a Csendes-óceán határai körül. Még nyolc található az indonéziai szigetek láncolata körül, és a Földközi-tenger vonalában is van néhány. A földrengések nagy része, ugyanúgy mint a vulkánoké, szintén ezekben a régiókban regisztrálható. Ez azt jelzi, hogy a vulkánok és a földrengések valahogyan kapcsolatban állnak egymással, lehet hogy mindkettőnek ugyanaz a magyarázata.

A lisszaboni földrengés a probléma tudományos kutatását ösztönözte, és mint ahogy azt korábban is említettem, rengeteg szeizmográfot állítottak fel. Később, 1906-ban egy földrengés romba döntötte San Francisco városát. Ekkor egy amerikai geológus, Harry Fielding Reid (1859-1944), aki azért jött, hogy megvizsgálja a helyzetet, észrevette, hogy a város környékén a föld megcsúszott: Az egyik oldal, ami úgy nézett ki, mint egy repedés a földben, előre felé mozdult el a másik oldallal szemben. Sokan azt gondolták, hogy a törést a földrengés okozta, de Reid nem osztotta a véleményüket. Úgy tűnt neki, hogy ez a vetődés mindig is ott volt. (Most úgy nevezzük ezt, hogy Szent András árok.) Idővel a felhalmozódott nyomás a vetődés két oldalát egymás ellen fordította. Rendszeren a két oldalt a súrlódás tartotta egy helyben, de ahogy fokozódott a nyomás, az egyik oldal előrébb mozdult és a másiknak dörzsölődött egy rázkódássorozatban, amely rezgést váltott ki. Ez pedig elég nagy volt ahhoz, hogy megrázzon egy egész várost és életek ezreit oltsa ki.

Annak ellenére, hogy Reid jó nyomon járt, a földrengés okai nem váltak teljesen világossá addig, ameddig a tektonikus lemezeket fel nem fedezték. Akkor megértették, hogy a Föld mélyén rejlő erők eredményeképpen a lemezek

nagyon lassan, de mindig mozognak, de a lemezek határainál az erők néha oldalirányú mozgást indukálnak, mint ahogy azt Reid a San Francisco-i földrengésnél is észrevette. A Szent András árok végül is az Észak-Amerika alatti és a csendes-óceáni lemez határán van.

Ráadásul a törésvonalak mentén világszerte vannak gyenge pontok, amelyeken keresztül forró közet szivároghat felfelé és idézhet elő vulkanikus kitöréseket, és amikor két lemez szembetalálkozik egymással, a peremeik összegyűrődnek és hegyvonulatokat hoznak létre. A Himalája hegység, a Föld legnagyobb felgyűrődött régiója akkor született, amikor az Indiát magán hordó lemez lassan beleütközött az Ázsia maradék-részét magán hordó lemezbe. Néha az egyik lemez a másik alá csúszik, lefelé átfúrja a tenger fenekét, és mély részeket hoz létre ott. Ezek akár a 11 kilométert is elérhetik.

Lehetetlennek bizonyult az, hogy teljesen megérthessük a földkéreggel kapcsolatos különféle jelenségeket, amíg a lemeztectonikát fel nem fedezték.

### **Mi a hő?**

Most kellene megkérdeznünk, hogy melyek ezek a Föld mélyén lévő erők, amelyek vulkánokat és földrengéseket eredményeznek. De előtte még válaszolnunk kell arra a kérdésre, hogy mi a hő.

A hőt mindannyian tapasztaljuk és természetesnek tekintjük. Elsődlegesen a naptól jön, ezért van az, hogy hőséget érzünk a napfényben, az árnyékban pedig nem. Kisebb mértékben, de érezzük a tűz, az elektromos villanykörték, a radiátorok, egy kanna forró víz hőjét is. Néha nem is tudjuk azonosítani a hőforrásokat, de azt tudjuk, hogy hogyan zajlik le a folyamat: egyik testből a másikba áramlik át. Ha fázunk, akkor a tűz élé állunk, és átvesszük a hőt a tűztől. Hogyha túl sokáig állunk ott, akkor túl sok hőt veszünk fel, és egyre kényelmetlenebbül érezzük magunkat, úgyhogy arrébb megyünk. Ha egy kanna hideg vizet helyezünk egy gáztűzhely fölé, a hő a lángokból átáramlik a kannába, és a hideg víz olyan forró lesz, hogy végül elkezd forni.

Még sok hasonló példát hozhatnánk, de már ennyi is elég ahhoz, hogy nyilvánvaló legyen számunkra, a hőség egyfajta finom folyadék, amely egyik tárgyból a másikba áramlik át, körülbelül úgy, ahogy a víz folyik. Egy bizonyos anyag adott körülmények között csak egy korlátozott mennyiségű folyékony hőt tartalmaz. Az is biztos, hogy ha egy kanna forró vizet hideg felületre helyezünk, és ott tartunk egy ideig, ez fokozatosan elveszti az összes hőjét, és végül teljesen kihűl.

1798-ban egy amerikai-angol fizikus, Benjamin Thompson, Lord Rumford (1735-1814) fémtömböket fűrt ki hosszú henger formába, hogy ágyúgolyókat gyárthasson. Észrevette, hogy a fűrészerkezet olyannyira felmelegítette a fémet, hogy azt folyamatosan le kellett hűteni hideg vízzel. Ezt úgy magyarázták, hogy ahogy a fémet súrolta a fűrészerkezet, a hő-folyadék kiszabadult és kifolyt.

Rumford észrevette, hogy a hőség addig képződött, amíg a fűrés tartott, és semmi jelét nem mutatta annak, hogy valahol felhasználódott volna. Elég hő ömlött ki ahhoz, hogy nagy mennyiségű vizet felforraltson, és ha az a sok hő mind visszaáramlott volna a fémbe, akkor az olyan forró lett volna, hogy végül megolvad. Magyarán több hő jött ki a fémből, mint amennyit az magában tudott tartani szilárd formában.

Rumford tovább kísérletezett, és olyan fűrészközzel próbálta kifűrni a fémet, amelyik olyan tompa volt, hogy egyáltalán nem tudott behatolni a fémbe, így nem kellett kiengednie semennyi hő-folyadékot. Ez azonban nem így volt, mert valójában egy tompa fűróval sokkal nagyobb hőt lehetett előidézni, mint egy hegyessel. Ebből a kezdetleges kísérletből Rumford azt a konzekvenciát vont le, hogy a hő nem egy folyadék, hanem egy mozgásforma. Azt feltételezte, hogy a fűrészköz mozgása valahogy kapcsolatba lépett a fémmel, és a fém kis darabkái (amelyek olyan kicsik, hogy nem is láthatóak) felvették ezt a mozgást. Ez volt az, amit ő hőként észlelt.

Rumford rátalált a helyes nyomra. 1803-ban az angol kémikus, John Dalton (1766-1844) tovább fejlesztette azt a nézetet, mi szerint minden anyag kicsiny részecskékből áll, amelyek szabad szemmel nem is láthatóak. Ezeket ő úgy nevezte el, hogy atomok. Végül is azt állította, hogy minden anyag atomokból áll, amelyek molekuláknak nevezett csoportokban egyesülnek. Az 1860-as évek folyamán James Clerk Maxwell (1831-1879) és az osztrák fizikus, Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906) egymástól függetlenül kimutatták, hogy a hőt atomok és molekulák szabálytalan mozgásaként értelmezhetjük legszemléletesebben – függetlenül attól, hogy a térben mozog, rezeg vagy forog. Ez a magyarázat a hő kinetikus elmélete,(a görög mozgás szóból származik).

### **Mi a hőmérséklet?**

Bizonyos dolgok forróbbak, mint mások. Egy adott kanna víz lehet kézmeleg, lehet a forrás közelében, mindig könnyen megítélhetjük a különbséget, hogyha a kezünkkel megérintjük őket. Valójában meg sem kell érintenünk őket, hogyha

csak a közelébe tesszük a kezünket, néhány centiméterre a két kannától, akkor is gyorsan megmondhatjuk, hogy melyik van a forrás közelében.

Miért forróbbak bizonyos dolgok, mint mások? Igaz, hogy a melegebb dolgok több hőt tartalmaznak, mint a hidegebbek? Ez az ötlet olyan meggyőzőnek tűnt, hogy senki sem tudott ellene érvelni.

1760-ban az angol kémikus Joseph Black (1728-1799) kimutatta, hogy a hó pusztán mennyisége nem adott elegendő magyarázatot a „hősegre” vagy a hőmérsékletre, ahogy azt akkor nevezték. Képzeljünk magunk elé egy darab vasat és egy darab ólmot, amelyeknek ugyanakkora súlya és mindkettő egyformán meleg. Mindkettőt behelyezzük két különálló kanna hideg vízbe. A fémek mindkét esetben elvesztik a hőjüket, ami átmegy a vízbe, tehát a fémek lehűlnek, a víz pedig felmelegszik addig, amíg a hó átadása be nem fejeződik. Az a víz, amelybe a forró vasat tettük, sokkal melegebb, mint az a víz, amelybe az ólmot helyeztük el. Mind a két fém egyformán forró volt, tehát egyforma volt a hőmérsékletük, de a vas jobban tartotta a hőt.

Ha egy darab forró vasat teszünk víz és jég keverékébe, akkor a vas a lehülése közben felolvasztja a jég egy részét, a víz és a jég keverékének, (most több a víz, mint a jég) ugyanaz a hőmérséklete, mint korábban. Tehát lehetséges felmelegíteni egy anyagot anélkül, hogy annak növelnénk a hőmérsékletét. Helyette a hő más következményekhez vezet, például ahhoz, hogy feltöri a szilárd jég molekuláit és a folyékony víz egy sokkal lazább molekula szerkezetévé alakítja azt át.

Ahhoz, hogy ezt megértsük, össze kell hasonlítanunk a folyó hőt a folyó vízzel. Annak ellenére, hogy a hó nem egy olyan folyadék, mint a víz, vannak közöttük hasonlóságok, és a víz természete segít nekünk abban, hogy megértsük a hó természetét.

A hó mennyiségét össze tudjuk hasonlítani a víz mennyiségével, míg a hőmérsékletet a víz nyomásával hozhatjuk párhuzamba. Így ha vizet töltünk egy adott hosszúságú hengerbe, ez kifejt bizonyos nyomást a henger aljára. Egy adott vízmennyiség, amelyet egy széles hengerbe öntünk, nem emelkedik olyan magasra, mint hogyha ugyanazt a vízmennyiséget egy vékonyabb hengerbe öntenénk bele. A vékony hengerbe öntött víz tehát nagyobb nyomást fejt ki a henger aljára, mint a szélesebb hengerben lévő víz, annak ellenére, hogy a szélesebb hengerben lévő víz mennyisége ugyanakkora, mint a vékonyabb hengerben lévő. Ugyanígy több hőt igényel az, hogy megemeljük a vas hőmérsékletét egy bizonyos hőmérsékletig, mint az, hogy ugyanaddig a hőmérsékletig emeljük egy darab ólom hőmérsékletét. A vas tehát olyan, mint

egy szélesebb henger, nagyobb tehát a hőképesége.

A hő nem feltétlenül áramlik nagy mennyiségű hőt tartalmazó tárgyaktól kevesebb hőt tartalmazók felé, hanem inkább magasabb hőmérsékletű tárgyaktól áramlik az alacsonyabb hőmérsékletű tárgyak felé, függetlenül a bennük lévő hő összmenyiségétől. Hasonlóképpen, ha van egy hengernyi vizünk egy dugóval lezárva a végén és ezt elhelyezzük egy fürdőkádnyi vízben, akkor a hengerben lévő víz szintje sokkal magasabb lesz, mint a kád vízszintje, még akkor is, ha a kádban sokkal több víz van, mint a hengerben. Ha kihúzzuk a henger dugóját, akkor a nyomás is kiegyenlítődik. A víz a hengerből belefolyik a kádba – a magasabb nyomásból az alacsonyabb nyomás felé. Nem a nagyobb vízforrás folyik a kisebbik felé, tehát nem a kádból folyik a víz a hengerbe.

Ugyanígy néhány csepp forró víznek nagyobb a hőmérséklete, mint a kézmeleg fürdőkádvíznek, bár a kézmeleg víz teljes hője sokkal nagyobb mennyiségű, mint a kis mennyiségű forró víz hőmérséklete. Hogyha egy fecskendőnyi forró vizet öntünk a kádba, a hő a felől a néhány csepp forró víz felől áramlik a kád kézmeleg vize felé, nem pedig fordítva. Mivel a hőmérséklet szabja meg a hő áramlásának irányát, a tudósokat sokkal jobban érdekli a hőmérséklet, mint a pusztán hő mennyisége.

### **Hogyan mérjük a hőmérsékletet?**

Könnyen meg tudjuk mondani, hogy egy anyag melegebb-e, mint egy másik, pusztán azzal, hogy megérintjük őket vagy pedig összehasonlítjuk őket, de az érzékelési képességünk, nem elég fejlett ahhoz, hogy azt is megmondjuk, mennyivel melegebb az egyik anyag, mint a másik. Valójában van egy ehhez nagyon hasonló tapasztalási módszer. Az egyik kezünket elég forró, a másikat pedig elég hideg vízbe mártjuk, és mindkettőt otthagyjuk egy rövid ideig. Utána mindkét kezünket kézmeleg vízbe tesszük. A meleg kezünk a kézmeleg vizet hidegnek fogja érezni, a hideg kezünk pedig melegnek.

Röviden, nem tudjuk jobban megítélni a hőmérsékletet tapintással, mint a hosszúságot szemmel. Szükségünk van mérőeszközre ahhoz, hogy megmérjük a távolságot és a hőmérsékletet. Szükségünk van valamilyen dologra, ami növekedéssel és csökkenéssel jelzi a változást a hőmérsékletben, és ezeket a változásokat jól használható egységekben jelzi. Galilei volt az első, aki szerkesztett egy ilyen eszközt. 1603-ban egy felforrósított levegővel telt csövet belefördítött egy vízzel telt edénybe. Ahogy a levegő kihűlt, összehúzódott és beszívta a vizet a csőbe. Amikor a szoba melegebb lett, a levegő a csőben



kiterjedt és a vízszint leesett, amikor pedig a szoba hűvösebb lett, akkor a csőben lévő levegő összehúzódott, a vízszint pedig megemelkedett. A vízszint mérésével meg lehetett ítélni, hogy milyen a szoba hőmérséklete.

Galilei szerkezete volt az első egyszerű termométer (a szó a görög hő mérni szóból ered). Ugyanakkor ez volt az első tudományos eszköz, amely üvegből készült. Nem volt igazán jó termométer, mivel nyitott volt a levegő felé, a csőben lévő vízszintre hatással volt a levegő nyomása, és ez egy kicsit megzavarta az eredményeket. 1654-ben Toszkána nagyhercege, II. Ferdinánd (1610-1670) feltalált egy olyan termométert, amelyre nem volt hatással a levegő nyomása. A folyadék el volt zárva egy jókora üveggömbben, amiből egy vékony cső állt ki, amelyikben nem volt levegő. A folyadékok szintén kiterjednek, ha a hőmérséklet emelkedik és összehúzódnak, ha a hőmérséklet esik. Nem terjednek ki és húzódnak össze olyan mértékben, ahogy ezt a levegő teszi, de még egy kis kiterjedés vagy összehúzódás is jelentős változást okoz a csőben lévő folyadék szintjében.

Erre a célra először folyadékként vizet vagy alkoholt használtak, de egyik sem volt kielégítő. A víz keményre fagyott, úgyhogy nem tudta a hőmérsékletet mérni a téli hideg napokban, az alkohol pedig túl gyorsan felforrt, úgyhogy például forró víz hőmérsékletét nem lehetett vele megmérni. Körülbelül 1695-ben egy francia fizikus, Guillaume Amontons (1663-1705) javasolta a higany használatát, ami ideális folyadék volt erre a célra. Szélsőséges körülmények mellett is folyékony halmazállapotú maradt, nem úgy, mint a víz vagy az alkohol, és pontosan olyan egyenletes szabályossággal terjedt ki vagy húzódtott össze, ahogy a hőmérséklet változott.

Egy német-holland fizikus, Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736) 1714-ben szerkesztett egy termométert, amelyben vékony higanyszál emelkedett fölfelé egy vékony csőben, egy vákuumos tartályból, ami egy higanyal telt üveggömb volt. Egy jelet tett a termométerre a higany szintjénél, amikor azt olvadó jégbe tette és egy másik jelet is tett, amikor pedig forrásban lévő vízbe tette. A közöttük lévő távolságot 180 egyforma részre osztotta, ezeket ma úgy hívjuk, hogy Fahrenheit-fokok. Az olvadó jég hőmérséklete  $32\text{ F}^\circ$ , a forrásban lévő víze pedig  $212\text{ F}^\circ$ . Van némi vita azt illetően, hogy Fahrenheit miért éppen ezeket a számokat választotta.

Anders Celsius svéd csillagász (1701-1744) megszerkesztette a mai Celsius-skálát 1742-ben. A víz fagypontját  $0\text{ C}^\circ$ -ban jelölte meg, a forráspontját pedig  $100\text{ C}^\circ$ -ban. A Celsius-skála világosabb, mint a Fahrenheit-skála, a világon mindenhol ezt használják, kivéve az USA-t, ahol valamilyen furcsa okból

kifolyólag ragaszkodnak a régebbi rendszerhez.

### **Mi az energia?**

A hő csak az egyik formája annak, amit a tudósok úgy hívnak, hogy energia. Így bármilyen jelenséget hívhatunk, aminek megvan arra a képessége, hogy munkát végezzen. Maga a szó egy görög megfelelőjéből származik, amelynek az a jelentése, hogy munkát tartalmaz. Figyelnünk kell arra, hogy a munka fogalom használata a tudósok nyelvezetében eltérő, és nem felel meg annak, mint ahogy azt mi a hétköznapi életben használjuk. A tudósok számára a munka azt jelenti, hogy egy távolságból erőt fejtünk ki az ellenállással szemben.

Ha felemelünk egy nagy tömegű tárgyat egyenesen egy méter magasságba a gravitáció vonzásának ellenállásával szemben, akkor tudományos értelemben a tömeggel végzünk munkát. Ha mozdulatlanul megtartjuk egy méter magasságban, akkor többet nem végzünk munkát. Azt hihetnénk, hogy igenis végzünk, mert egyre fáradtabbak leszünk, de valójában ez csak azért van, mert az izmaink megfeszülnek, hogy megtarthassuk azt a tárgyat. A tömeggel tehát nem végzünk munkát. Ha ezt a tömeget egy egy méter magasságban lévő párkányra akarnánk tenni, a párkány megtartaná ezt a tömeget meghatározhatatlan ideig, anélkül hogy elfáradna és munkát sem végezne. Akkor sem végzünk munkát, amikor azon gondolkozunk, hogy hogyan rendezzük el a szavakat egy könyvnek a szerkezetében, pedig utána elfáradunk.

A hő is csak tudományos értelemben végez munkát. Megemeli a higanyszintet a gravitáció ellenében. Az izmaink megemelik a tömeget. A mágnes megemel egy vasszöveget. Az elektromosság, a fény, a hang és a vegyszerek is végezhetnek munkát a megfelelő körülmények között. Ugyanígy bármilyen tárgy megteheti ezt, amelyik már mozgásban van és van kinetikus energiája (a görög mozgás energiája szóból). Vagy egy bizonyos magasságba felhelyezett tárgy, amely képes arra, hogy leessen és ilyen módon munkát végezzen. (Azt mondjuk, hogy a magasban lévő tárgynak potenciális energiája van.)

Ezek az energiafajták mind függetlenek egymástól, vagy kapcsolatban állnak egymással? Az elektromos áramnak lehet mágneses hatása és a mágnesesség is létrehozhat elektromos áramot. Az elektromos áram hangot hozhat létre a csengőben és hőt egy elektromos izzóban. A fény létrehozhat elektromosságot, a hang pedig eredményezhet mozgást. Valójában az energiának minden formája átalakítható az energia egy másik formájába, és egyetlen jelenséggel megmagyarázható az energia összes formája.

Amikor az energia egyik formája átalakul egy másik formába, akkor elvész-e valami a folyamat során? Vagy akkor elvész-e belőle valamennyi, ha ugyanabban a formában marad? Korábban ezekre a kérdésekre egy erőteljes igen lett volna a válasz.

Az az energiatartalom, amely a legismertebb volt és a legtöbbet foglalkoztak vele, az a mozgás kinetikus energiája volt. Az hogy egy súlyos ágyúgolyó olyan gyorsan mozog, hogy képes ledönteni, áttörni egy várfalat, az egy kifejező példája az energiának. De ha egy ágyúgolyó csak a földön mozog, akkor mozgása nem tartana örökké. Folyamatosan lelassulna, végül megállna, az ágyúgolyó energiataralma lecsökkenne. Mi történhetett vele? Már amennyire erre válaszolni lehet, az energia eltűnt.

Hosszú időbe telt, amíg a tudósok rájöttek, hogy akárhányszor az energia eltűnni látszik, akkor az valójában csak hővé alakul át. A guruló ágyúgolyó energiája a gurulás közben hővé alakul át, és a hő szétterjedt egy ilyen hosszú útszakaszon, ezért nem figyelhetjük meg. Ha figyelembe vesszük az ilyen hőt, energiavesztéssel jár-e az a folyamat, amikor az egyik energiaforma átalakul a másikba?

Először ezzel a problémával az angol fizikus, James Prescott Joule (1818-1889) foglalkozott. Az 1840-es évek folyamán megszámlálhatatlan tesztet végzett el, amelyekben az energia egyik formáját a másikba alakította át. Megmérte az eredeti energiataralmat és a létrejött energiát, beleértve a hőt is, és azt a következtetést vont le, hogy ezekben a folyamatokban sem plusz energia nem jön létre, sem pedig energia nem vesz el. 1847-ben leírta a kísérleteit és a következtetéseit, de mivel tudós, nem amatőr volt, nem vették őt komolyan. (Foglalkozását tekintve sörfőző volt.)

Ugyanabban az évben Hermann L. F. Helmholtz német fizikus (1821-1894) szintén ugyanerre a következtetésre jutott. Mivel professzor volt és az elmélet vizsgálatát figyelemre méltó gondossággal végezte, felfigyeltek rá. Ezért általában őt tekintik az elsőnek, aki kifejtette az energiamegmaradás törvényét. Ez annyit jelent, hogy energia nem keletkezik és nem is vesz el, csak megváltoztatja a formáját. Másképpen úgy is megfogalmazhatjuk, hogy „az univerzum egész energiataralma állandó”. Néhányan úgy tekintik ezt a koncepciót, mint az összes természeti törvény közül a legalapvetőbbet.

Mivel az energia tanulmányozása általában a hő áramlására korlátozódik, ezért a munka és az energia kicserélésének tudományát termodinamikának nevezzük. (A görög szóból, ami azt jelenti, hogy a hő mozgása.) Az energiamegmaradás törvényét gyakran nevezzük a termodinamika első tételének.

Ennek a törvénynek a jelentősége (ez minden más törvényre is vonatkozik) abban rejlik, hogy határokat állít fel arra vonatkozólag, hogy mi az ami lehetséges. Nem számít, hogy milyen jelenséget figyelünk meg, azt a kérdést kell feltennünk: honnan jön az energia és hová megy? Ha erre a kérdésre nem tudunk válaszolni, akkor valami probléma van: vagy a feltételezésünk nem igazolt, vagy a megfigyelésünk téves, vagy pedig hiányoznak még információk. Másrészt, az energiamegmaradás törvénye és más hasonló nagy általánosítások, nem bizonyíthatóak. Csak annyit mondhatunk, hogy a tudósok még nem találtak kivételeket. Hirtelen és váratlanul előbukkanhatnak kivételek, és ezek olyankor arra kényszerítenek bennünket, hogy újragondoljuk a törvényeinket, vagy megváltoztassuk, helyettesítsük, vagy kiszélesítsük azokat. Az energiamegmaradás törvénye azonban már másfél százada szilárdan tartja magát.

Bár a tudománynak még a legmegrendíthetlenebbnek tűnő törvényeit is felül kell vizsgálnia. Egészen 1900-ig. a nukleáris energia státusát nem ismerték el, az energiamegmaradás minden tényezője pedig befejezetlen volt enélkül. Szintúgy azt az elképzelést, amely szerint maga a tömeg-is egy nagyon koncentrált formájú energia, nem értették, amíg az energiamegmaradásról szóló tudásunk nem vált teljessé. A fizikusok nem éreztek semmilyen hiányt, mert a nukleáris energia és a tömeg ekvivalenciájának az energiája nem játszottak fontos szerepet az 1800-as évek tudományos kutatásaiban. Meg kell értenünk, hogy még ma is lehetnek az univerzumnak olyan kritikus aspektusai, amelyekről nem tudunk semmit, de ha egyszer tudomást szerzünk róluk, akkor majd revízió alá kell vennünk az elképzeléseinket. Nincs a tudományban olyan dolog, amin ne lehetne javítani vagy módosítani, Még az energiamegmaradás törvénye – amely a tudomány egy izgalmas jellegzetessége – sem olyan, amit a jövőben ne lehetne felülbírálni.

### **Lehetséges, hogy egyszer csak kifogyunk az energiából?**

Az energiamegmaradás törvénye tisztázza, hogy az energiát miért nem lehet elpazarolni. Ez úgy hangzik, mintha mindig a rendelkezésünkre állna elegendő energia, hogy olyan munkát végezzünk, amelyet akarunk. Végül is, hogy ha az energia használatával nem fogyasztjuk azt el, hanem csak megváltoztatjuk a formáját, akkor azt felhasználhatjuk az új formájában is (legalábbis ezt feltételezzük), bármilyen formában legyen is, meg tudjuk változtatni a formáját, és ez így megy tovább az idők végeztéig.

Ez azonban sajnos nem így működik. A tudósoknak az a tapasztalata, hogy minden alkalommal, amikor egy munkavégzéshez energia szükséges, az energiának csak egy része használható fel. A maradék átalakul hővé. Használhatjuk a hőt is a munka elvégzéséhez, de csak akkor ha az egyenlőtlenül van elosztva, ha van olyan régió, amelyik meleg és van olyan, amelyik hideg. Amikor ezt a különbséget használjuk fel a munkához, az adott energiának szintén csak egy részét tudjuk felhasználni. A maradék hő formájában elvész, de akkor már egyenletesebben oszlik el, mint korábban. Amikor egy hőmennyiség teljesen egyenletesen oszlik el, akkor több munkát nem végezhetünk vele. Az eredmény szerint bármikor használunk energiát a munkavégzéshez, végül egy olyan energiához jutunk, amely már erre a célra nem használható fel. Az energia, mint egész, nem semmisíthető meg, de a szabad energia – az energiának az a része, amely felhasználható munkavégzésre – fokozatosan csökken.

Ezt könnyebben felfoghatjuk, ha figyelembe vesszük, hogy az energia csak akkor használható fel munkavégzésre, amikor egyenlőtlenül oszlik el, és nem csak hő formában létezik. Mindig amikor munkát végzünk, hozzájárulunk az energia egyenletesebb eloszlásához. Az energia egyenlő eloszlásának mértékét (ezt úgy is meghatározhatjuk, hogy a rendszer rendetlensége, mert minél egyenletesebben oszlik el az energia, annál rendetlenebb a rendszer) úgy nevezzük, hogy entrópia. Minél magasabb az entrópia, annál kevesebb munkát tudunk végezni adott energiából. Ha ezt figyelembe vesszük, akkor úgy tekinthetünk az univerzumra, mint ami lassan, de kérés nélkül halad a kimerülés útján.

Minden, amit teszünk, növeli az univerzum entrópiáját. Valójában minden, ami az univerzumban történik – még ha az emberi lényeknek semmi közük sincs hozzá –, növeli az entrópiát. Az entrópiának ezt az állandó és elkerülhetetlen növekedését nevezzük a termodinamika második törvényének.

Az első tudós, aki utalt ennek a törvénynek a létezésére, Nicholas L. S. Carnot francia fizikus (1796-1832) volt. Ő 1824-ben nyilvánosságra hozott egy kis könyvet arról a kutatásáról, hogy a gőzgépek hogyan tudják a hő egyenlőtlen eloszlását munkává alakítani. 1850 elején behatóbban foglalkozott ezzel a témával a német fizikus, Rudolf J. E. Clausius (1822-1888), aki először jósolta azt meg, hogy az univerzum ki fog merülni.

De hogy lehet, hogy a szabad energia állandó csökkenése és az entrópia állandó növekedése mellett az univerzum már évmilliók óta létezik és még nem merült ki? Erre az a válasz, hogy az energiatartalék, amellyel a világegyetem

kezdődött, olyan nagy, hogy még évmilliók múlva sem fogy ki. Lehet, hogy a világegyetem kimerülőben van, de még sok millió év van hátra. Úgyhogy ezen most még nem kell törnünk a fejünket. Annak ellenére, hogy ma már sokkal többet tudunk a világegyetem végéről, mint Clausius másfél évszázaddal korábban, de még mindig nem tudunk annyit, mint amennyit szeretnénk. Nem vagyunk annyira bizonyosak a világegyetem végső pusztulásában, mint Clausius és a követői voltak annak idején.

### **Mekkora a Föld belső hőmérséklete?**

Most már visszatérhetünk a Földhöz, és további kérdéseket tehetünk fel, hogy milyen a Föld hőmérséklete mélyen a felszín alatt?

Mindig is voltak olyanok, akik hajlamosak voltak azt gondolni, hogy a Föld belseje forró a felszíne alatt. Végül is itt-ott vannak meleg források a Földön, és a vulkánkitörések is ezt bizonyítják. Valószínűleg a vulkánok miatt gondolták a korai emberek azt, hogy a Föld belsejében van a pokol, a soha véget nem érő tűz területe, ahol a kegyvesztett emberek lelkeit gyötrik örökkön örökké a bosszúszomjas és megbocsátani nem tudó istenségek.

Arra nincs bizonyítékunk, hogy pokol létezne a Föld mélyében, de azt már tudjuk bizonyítani, hogy a Föld belseje egy olyan terület, ahol nagy, örökké tartó forróság van. Amikor az emberek elkezdtek mélyen leásni a Föld belsejébe, hogy aranyat vagy gyémántot találjanak, hamar nyilvánvalóvá vált, hogy minél lejjebb mennek, annál magasabb a hőmérséklet. A mélyebb bányákban már elviselhetetlen a hőség, még a légkondicionálás mellett is.

Ha a mélységgel emelkedő hőmérséklet alapján ítélünk, akkor ésszerű azt feltételezni, hogy a Föld közepében 5000 C° lehet a hőmérséklet. Mivel már tudunk az energiamegmaradás törvényéről, fel kell tennünk azt a kérdést is: honnan származik az az energia, amelyik a hőt termeli? Válaszolni fogunk erre a kérdésre, amikor arról lesz szó, hogyan keletkezett a Föld.

### **Miért nem hűl ki a Föld?**

Ha elhalasztjuk is annak megválaszolását, hogy honnan származik a Föld belső hője, azt már megkérdezhetjük, hogy miért tartja meg ezt a hőt. Végül is 4,6 milliárd éve tartogatja, miért nem hűlt ki vajon ennyi idő alatt.

A termodinamika törvényei szerint a hőnek mindig a magasabb hőmérsékletű helyről kell az alacsonyabb hőmérsékletű helyre áramlania. Tehát a Föld forró

centrumából a felszín felé, onnan pedig az űrbe.

Fontos megjegyezni, hogy a Föld a hőt a Naptól kapja, és ezzel kiegyensúlyozza a Föld felszíni hőjének hiányát. A Föld hőmérséklete azonban még a Nap kiegészítő hőjével együtt sem több, mint átlagban  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mi ez az  $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -hoz hasonlítva? A hőnek kifelé kellene áramlania a nagyon forró centrumból, amíg az egész bolygó ugyanolyan hőmérsékletű nem lesz, mint a felszín. Bár a Föld közetes felszíne jó szigetelőanyag – ez azt jelenti, hogy a hőség csak lassan áramlik rajta keresztül, ami nagyjából visszatartja a belső hő kihűlésének folyamatát –, egyáltalán nem csökkenti az áramlást. Az világos, hogy 4,6 milliárd év alatt a Földnek lett volna elég ideje ahhoz, hogy kihűljön, de még mindig forró maradt. Vajon miért?

Lehet, hogy a termodinamika szabályai nem helytállóak, csak a tudósok nem akarják ezt beismerni. Először is azt akarják hinni, hogy a Földnek van egy rendelkezésre álló energiaforrása, amelyet még nem vettek számításba. Ez igaznak bizonyult.

Miután feltalálták a radioaktivitást, a francia kémikus, Pierre Curie (1859-1906), Madame Curie férje, észrevette, hogy a radioaktív atomok lebomlásakor mindig energia szabadul fel. 1901-ben ő volt az első, aki megmérte ezt az energiát. Röviden arra az eredményre jutott, hogy amikor egy radioaktív anyag atomja bomlik le, akkor sokkal több energia szabadul fel, mint egy gázolinmolekula vagy egy TNT molekula felrobbanásakor. Így felfedezte az új, nagy hatású energia formát, a nukleáris energiát, amelynek létét a tudósok soha nem is gyanították.

A radioaktív anyagok ezt az energiát olyan lassan adják le, hogy az események normális folyása mellett ezt észre sem vennénk, azonban ezt nagyon hosszú időn keresztül folytatják. 4,6 milliárd éve, amióta a Föld létezik, az eredeti urániumtartalmának csak a felét, az eredeti tóriumtartalmának pedig csak az egyötödét használta fel. Ebben a folyamatban a Föld közetrétegeiben található uránium és tórium hőt termeltek, amely hozzájárult a Föld hőellátásához és nem engedte, hogy az kihűljön. Sőt, ellenkezőleg, a Föld ez alatt az idő alatt egy kicsit felmelegedett. Ez pedig egy olyan hatás, ami még milliárd évekig fog folytatódni, bár mindig kisebb mértékben.

### **Igaz, hogy az égbolt a Földdel együtt fordul?**

Itt az idő, hogy az univerzum más részei felé forduljunk, amelyeknek a segítségével még néhány kérdést feltehetünk a Földről.

Régen a Föld képviselte az emberek számára az egész univerzumot, amibe csak a mennyország, a pokol és természetfeletti hatalmak tartoztak. Ezek létre azonban nincs tudományos alapú bizonyíték. Ami a Földön kívül létezett, az csak az ég volt, nappal kék, amikor a nap megvilágította, és éjszaka fekete, amikor csak a hold és a rengeteg csillag szolgált fényforrássul. (A Hold néha a nappali égbolton is előfordul, és homályosan látszik a napfény ellenére is.)

Az ég szilárd boltozatnak látszik, ami lezárja a Földet. Az emberek ezt így is gondolták. Azok számára, akik azt hitték, hogy Föld lapos, az ég egy lelapított félgömb alakú fedőnek tűnt, ami a világ végein mindenhol lejött a horizontra. Akik pedig azt hitték, hogy a Föld gömb, azok számára az ég egy nagyobb gömbnek tűnt, ami körülöleli a Földet. Bár még ők is egy vékony, kemény boltozatnak hitték. Abból a bibliai fogalomból, hogy firmament, a firm előtag mutatja, hogy az égboltot szilárdnak hitték. Ez annak a héber szónak a fordítása, ami azt jelenti, hogy vékony fémes lepel.

Ha az ég szilárd anyag lenne, fémes vagy más, akkor egy darabban kellene forognia. Mindennek, ami rajta van, összhangban kellene mozdulnia. Vajon így van-e ez?

Manapság az emberek már nem nagyon néznek az égre, mert a nagyvárosok, amelyekben a többségünk él, olyan fényesen meg vannak világítva éjjelenként, hogy az ég nevezetességei elvesznek bennük. A régi időkben a világ igazán sötét volt éjjel, és amikor az éjszakai égbolt tiszta volt – különösen, ha a hold sem volt az égen –, akkor a ragyogó csillagok igazi látványosságok voltak. A tengerészek azért nézték az eget, mert a csillagok állása alapján el tudták irányítani a hajóikat. Az asztrológusok azért nézték, mert úgy gondolták, hogy az ég bizonyos részletei felvilágosítást adhatnak nekik az egyének vagy a nemzetek jövőjéről. Mások pedig egyszerűen a szépségük miatt bámulták. Azok, akik olyan helyekről nézték az eget, mint Görögország, Babilónia vagy Egyiptom, azok észrevehették, hogy a csillagok az Északi sarkcsillag körül kigyóznak. Azok a csillagok, amelyek közel voltak az Északi sarkcsillaghoz, kis köröket alkottak, és minden éjszaka végig ott is maradtak. Azok a csillagok, amelyek ettől távolabbra estek, elmerültek a horizont alatt, ahogy körbe jártak, majd újra előkerültek. Ebben az volt a fontos, hogy úgy látszott, mintha mindannyian együtt mozogtak volna. Mintákat alkottak, és a nagyobb képzelőerejű emberek állatokat és konfigurációkat láttak beléjük (ezek a konstellációk). Az emberek megfigyelték, hogy ezek éjszakáról éjszakára ugyanolyanok maradtak. Olyan volt, mintha a szilárd égboltra csillogó flitterek lettek volna felragasztva, tehát mindannyian együtt fordultak és megmaradtak a



helyükön, ahogy az a valóságban is történt.

Ezért úgy utaltak rájuk, mint állócsillagokra. Az éjszaka folyamán közel hatezer látható közülük szabad szemmel. Néhány közülük nagyon fényes, de többségük meglehetősen homályos. De miért nevezték őket állócsillagoknak, hiszen sok csillag érzékelhetően elmozdul.

Az egyik ezek közül a Hold, amely az éjszakai égbolt legszembevetőbb égiteste, úgyhogy már az őskori emberek is biztos nagy figyelemmel tanulmányozták. A Hold keleten kel fel és nyugaton nyugszik le, mint ahogy a csillagok is, de a Hold elmarad mögöttük. Lehetetlen nem észrevenni, hogy a csillagokhoz viszonyítva változtatja a helyzetét az égbolton. Állandóan nyugatról keletre vándorol, egy teljes nyugat-kelet irányú kört ír le, minden 29 és fél napban.

A Nap ugyanezt teszi, de lassabban. Természetesen nem látható a Nap helyzete a csillagok között, amikor az világít, mivel az ég kék, a csillagok pedig nem láthatóak. De amikor a Nap lenyugszik és a csillagok feljönnek – mi pedig éjszakáról éjszakára figyelemmel kísérjük a helyzetét –, akkor észrevehetjük, hogy az összes konstelláció egy picit nyugati irányba mozdul el minden egymást követő napnyugtával. A legkönnyebben úgy magyarázhatjuk ezt el, hogyha azt mondjuk, hogy a Nap, ugyanúgy mint a Hold, nyugatról keletre vándorol a csillagokkal szemben, 365 és fél nap alatt egy teljes kört ír le az égbolton.

A Nap és a Hold különös égitestek, nem úgy néznek ki, mint az égbolt más objektumai, inkább olyanok, mint a fénylő korongok és nem mint fénylő pontok. Öt olyan objektum van, amelyek úgy néznek ki, mint a csillagok (bár szokatlanul fényesek). Ezek változtatják a pozíciójukat a többi csillag között. Ezeket az objektumokat már i.e. 3000 környékén tanulmányozták a sumérok, és olyan szokatlannak találták őket, hogy istenek neveit adományozták nekik. Ez a szokás fennmaradt, és először a görögök, majd a rómaiak is átvették ezt. Ma a római istenek neveit használjuk, amikor ezekre a csillagszerű objektumokra utalunk, mint a Merkúr, Vénusz, Mars, Jupiter és a Szaturnusz. Ez az öt objektum, plusz a Nap és a Hold a vándorló csillagok, úgy hívjuk őket, hogy bolygók, planéták, a görög vándorolni szóból. (Manapság a Napot és a Holdat nem nevezzük bolygóknak, ennek az okát később magyarázom meg.)

Ez a hét bolygó mindig is nagyon érdekelte az embereket, mert a képzetlenebbek ezek vándorlására úgy tekintettek, mint egyfajta kódra, ami az isteni üzeneteket reprezentálja a jövőről (ezt kihasználták azok a kapzsi asztrológusok, akik értéktelen üzeneteket dolgoztak ki pénzért). A hétnapos

hetet a babiloniak találták ki, hogy ezzel is a hét bolygóra emlékeztessenek, és a mai napig is sok európai nyelvben a hét napjai az egyes bolygók nevét kapták. Az angolban a Sunday, Monday és Saturday ilyenek (Nap, Hold, ill. Szaturnusz). A maradék négy napot skandináv istenekről nevezték el. A franciában a maradék négy nap a mardi (Mars), mercredi (Merkúr), jeudi (Jupiter) és vendredi (Vénusz).

Az ősi héberek átvették a babilóniai hetet, és megpróbálták vallásos jellegzetességeikkel felruházni őket a Teremtés első két könyvében, de a nevek még mindig jelzik a pogány eredetet.

Mivel a hét bolygó szabadon vándorol az égen, és nincs rögzítve az ég szilárd boltozatához, a régi görögök azzal érveltek, hogy akkor mind a hét bolygó a saját égboltjához van rögzítve, amelyek az ég (a csillagok külső égboltja) és a Föld között fordulnak meg. Mivel azok a belső égboltok nem voltak láthatóak, azt hitték, hogy azok teljesen átlátszóak, ezért kristályos szférának nevezték el őket a görög átlátszó szóból. Tehát a felelet arra a kérdésre, hogy az égbolt a Földdel együtt fordul-e, a régiek szerint néhány kivétellel, igen volt. Azonban ez helytelen válasz, mint ahogy ezt látni fogjuk.

## **A Föld a világegyetem központja?**

Ez egy másik kérdés, amelyről sokan azt gondolják, hogy nem érdemes feltenni. Az őskori és a középkori emberek számára magától értetődőnek tűnt, hogy a Nap az univerzum közepe. Az egész világegyetem, az ő felfogásuk szerint a Földből és az égből állt. Úgy látszott, mintha az ég mindig fölöttünk lett volna, mindentől ugyanakkora távolságra, és a Föld felületével együtt görbült. Ez körbefogta a Földet, ami maga volt a középpont, és ennél a pontnál be is fejeződött ez a gondolatmenet.

Az egyetlen bizonytalanságot a bolygók okozták. Pontosan hol helyezkednek el a Föld és az ég között? Miután különböző sebességgel forognak, a görögök azt gyanították, hogy minél gyorsabban látszott mozogni egy bolygó a háttérben lévő csillagokkal szemben, annál közelebb kell hogy legyen a Földhöz. Ez egy általános tapasztalat eredménye. Ha lovakat látunk futni a versenypályán, akkor a versenypálya másik oldalán lévőket úgy látjuk, mintha lassabban mozognának, de amikor közel futnak hozzánk, éppen mellettünk haladnak el, akkor úgy tűnik, hogy úgy rohannak, mint a szélvész. Ugyanezt figyelhetjük meg, hogyha autóversenyt nézünk. Hasonlóképpen, ha egy repülő alacsonyan repül az égen, akkor úgy tűnik, mintha nagyon gyorsan menne, habár ugyanaz a repülő, ha magasabban repül ugyanazzal a sebességgel, nagyon lassúnak látszik.

A mozgás sebessége után ítélve, a görögök arra a következtetésre jutottak, hogy a Hold van a legközelebb a Földhöz. Utána jön a Merkúr, majd a Vénusz, a Nap, a Mars, a Jupiter, a Szaturnusz sorrendben. Mindegyiknek megvan a maga kristályos szférája, összesen hét, és mögöttük van egy nyolcadik szféra, ahol az állócsillagok találhatóak.

Ez egy nagyon szép kép volt, de nem adott teljes magyarázatot a bolygókkal kapcsolatos kérdésekre. A régieknek pontosan kellett ismerniük a bolygók mozgását ahhoz, hogy asztrológiával tudjanak foglalkozni. Az asztrológusoknak (többségük akkoriban komolyan hitt ebben) gondosan kellett tanulmányozniuk a bolygók mozgásait. Ezenközben megteremtették a csillagok komoly tudományát, az asztronómiát.

Már az őskori emberek is tanulmányozták az eget. A Stonehenge néven ismertté vált köemlékmű, amely i.e. 1500 körül született, eszköz lehetett arra, hogy a Nap és a Hold mozgását a jövőben kiszámítsák.

A csillagok egyenletesen és szabályosan mozognak, és ha a bolygók is így tennének, akkor nem okozna számunkra problémát, hogy a jövőbeli mozgásukat kiszámítsuk. (Ebben az esetben nem lenne szükség asztrológiára, mert olyan

egyszerű lenne a mozgásuk kódja, hogy emiatt nem kellene aggódni.) De a bolygók nem mozognak egyenletesen és szabályosan. A Hold egy kicsit lassabban mozog Föld körüli keringésidejének az első felében, mint a második felében. Ez igaz a Napra is, de csak kisebb mértékben.

A többi bolygó ennél bonyolultabb mozgást végez. Általában nyugatról keletre vándorolnak (ezt a hatást úgy hívjuk, hogy direkt mozgás). Időnként mozgásuk leáll, majd egy rövid időre hátrafelé mozognak, keletről nyugatra (ezt az effektust úgy hívjuk, hogy retrográd mozgás, a latin szóból, ami azt jelenti, hogy hátralépni), mielőtt folytatnák az eredeti mozgásukat. Mindegyik bolygónak megvan a maga direkt és retrográd mozgása, és mindegyik néha fényesebb, mint mások.

Ezek a minták nagyon bonyolult módszerek arra, hogy kiszámítsuk, bizonyos bolygóknak hol kell lenniük egy meghatározott időpontban a jövőben. Sok görög csillagász dolgozott ki különféle módszereket a bolygók állásának kiszámítására. Abból indultak ki, hogy a különböző bolygók kis köröket tettek meg, ezeknek a centrumai egy nagyobb körön mozogtak, de nem mindegyik volt a középpontban és így tovább. Ez nagyon bonyolult rendszer volt, kb. 150 körül egy görög csillagász, Klaudiosz Ptolemaiosz (100-170) összefoglalta ezeket egy könyvben. A világegyetem matematikai struktúráját, amelynek közepében a Föld áll különböző égboltrendszerekkel körülvéve, Ptolemaioszra való tekintettel ptolemaioszi világegyetemnek nevezzük vagy más néven geocentrikus világegyetemnek (a görög szóból, ami azt jelenti, hogy Föld-központú). Ezt kb. 1700 éven keresztül mindenki, elismerte és elfogadta, és soha senki nem gondolt arra, hogy ezt meg is lehet kérdőjelezni. Habár helytelen elmélet volt.

### **Még egyszer, tényleg a Föld a világegyetem központja?**

Volt azonban néhány gondolkodó, aki megkérdőjelezte azt hogy a Föld lenne a világegyetem középpontja. Az első ember, akinek a nevét is ismerjük ezek közül, Philolausz (480-?) görög filozófus volt. Ő azt állította, hogy a Föld nem a világegyetem központja, hanem egy másik objektum körül kering, ami maga a központ. I.e. 450 körül kifejtette, hogy a Föld az összes többi bolygóval és a nappal együtt egy központi tűz körül kering, amit mi önmagában nem láthatunk, csak a visszatükröződését a Napban. Ezt az állítást azonban nem támasztotta alá bizonyítékokkal vagy logikus érveléssel, ezért senki nem vette komolyan.

Egy századdal később, i.e. 350 körül a görög csillagász, Herakleidész (i.e.

388-315) egy sokkal ésszerűbb javaslattal állt elő. Észrevette, hogy a Merkúr és a Vénusz soha nem mozdulnak el túl messze a Naptól, hanem csak egy bizonyos távolságra, aztán visszatérnek. Majd újra egy bizonyos távolságra eltávolodnak, de más irányban és ezt ismétlik újra meg újra. Ezért ő azt gondolta, hogy a Merkúr és a Vénusz a Nap körül keringenek, és a Nap maga körül hordva a Vénuszt és a Merkúrt, a Föld körül forog. Ennek már több értelme volt, de a görög csillagászok többsége nem fogadta el. Ezzel szemben ők azt tartották, hogy a világegyetem központja a Föld, és minden egyéb e körül forog. Ez alól pedig nincs kivétel.

Kb. i.e. 260-ban egy másik görög csillagász, Arisztarkhosz (i.e. 310-230) egy még ennél is radikálisabb elképzelést képviselt. Az ötlet abból született, hogy megpróbálta meghatározni a Nap távolságát. Amikor a Hold pontosan félpályán van, akkor a Nap, a Föld és a Hold egy egyenlő oldalú háromszögnek a három sarkában vannak (erről később még több szót is ejtek). Ez pontosan egy olyan háromszög, amellyel a trigonometria foglalkozik. Ha tudjuk a háromszög szögeit pontosan, kiszámíthatjuk a trigonometria segítségével, hogy mennyivel van messzebb a Nap, mint a Hold. Sajnos Arisztarkhosznak nem volt semmilyen eszköze arra, hogy pontosan megmérje a szögeket, a becslései pedig félrevezetőek voltak. Ennek ellenére azt állította, hogy a Nap hússzor messzebb van, mint a Hold. Minthogy a Nap ugyanakkorának látszik az égen, mint a Hold, de tudjuk, hogy hússzor messzebb van, ezért hússzor nagyobbak is kell lennie.

Ebből az információból meghatározta, hogy a Nap átmérőjének hétszer nagyobbak kell lennie, mint a Földének, ami nem volt igaz, de ahhoz elég volt, hogy meggyőzze Arisztarkhoszt arról, hogy egy ekkora Nap nem foroghat a kisebb Föld körül. Úgy gondolta, hogy ehelyett inkább a Föld és a többi objektum forog a Nap körül.

Arisztarkhosz volt az első, aki azt gondolta, hogy nem a Föld, hanem a Nap a világegyetem központja (ezt az elképzelést nevezzük úgy, hogy heliocentrikus világegyetem, a görög nap-központú szóból). Ez az elmélet azonban nem hozta meg neki a sikert. Szinte egy csillagász sem vette az elképzelését komolyan.

Ahogy az évek teltek, egyre sürgetőbbé vált a csillagászok számára a bonyolult matematikai tudás, amely szükséges ahhoz, hogy megértsék a geocentrikus világegyetemet. 1252-ben X. Kasztíliai Alfonz király felülvizsgálta az új bolygóképletek formációit, amelyeket Alfonsine táblázatoknak neveztek el róla. Elkeseredésében a következőt mondta: „Ha az isten megkérdezett volna engem amikor megteremtette a világegyetemet, én egy kevésbé bonyolult

megoldást javasoltam volna.” Az 1500-as években egy lengyel csillagásznak, Nicolaus Kopernikusznak (1473-1543) jutott ugyanez eszébe, hogy van a világegyetemnek egy egyszerűbb formája is – mégpedig a heliocentrikus, amit Arisztarkhosz tárt fel először.

Arisztarkhosz éppen hogy csak megfogalmazta ezt az elképzelését, de nem gondolta tovább. Kopernikus azonban következetesen végigvitte a gondolatmenetet, és kimutatta, hogy a heliocentrikus világegyetem az oka annak, hogy a bolygók minden probléma nélkül visszafelé is tudnak mozogni, és arra is talált magyarázatot, hogy miért fényesebbek egyszer és miért homályosabbak máskor. Még ennél is fontosabb, hogy a heliocentrikus rendszer leegyszerűsítette a bolygók táblázatainak használatát.

Kopernikus bizonytalan volt abban, hogy nyilvánosságra hozza véleményét, mert tudta hogy meggyűlhet a baja a vallási vezetőkkel, akik kitartottak a geocentrikus szemlélet mellett, mivel hitték, hogy ezt a nézetet támogatja a Biblia is. Kéziratait azonban a csillagászok egymásnak adogatták, majd végül 1543-ban, halálának évében kinyomtatták.

Az első, aki a heliocentrikus világképet használta, hogy a bolygótáblázatokkal számításokat végezzen, egy német csillagász, Erasmus Reinhold (1511-1553) volt. A nézeteit 1551-ben Albert, porosz nagyherceg védnöksége alatt jelentették meg, ezért porosz táblázatoknak (Tabulae, Prutenicae) nevezték el őket. Annak ellenére, hogy könnyebb volt őket használni, mint az Alfonsine táblázatokot, amelyek már 300 évesek voltak, a csillagászok többsége kitartott a régiék mellett. Nem tudták feladni a geocentrikus világképet, mert egyszerűen nem hitték el, hogy maga a Föld is mozog az űrben. Sokan azt tartották, hogy annak ellenére, hogy a heliocentrikus világnézet bolygótáblázatai jobbak, az egyszerűen egy okos matematikai spekulációval megmagyarázható, és egyáltalán nem bizonyíték arra, hogy a Föld a Nap körül kering.

Ez a vita még egy fél évszázadig folytatódott, amíg Galilei és a teleszkópja döntő bizonyítékot nem mutatott fel. 1610-ben Galilei a Jupiterre nézett, és azt találta, hogy azt a teleszkóp megnöveli egy kis fénygömbbé. Ez volt az első jelzés arra vonatkozólag, hogy a Jupiter maga is lehet egy „föld”. Ami még ennél is több: van neki négy kisebb földje, amelyek körülötte keringenek. Ezeket a járulékos földeket úgy nevezte el, hogy mellékbolygók, szatelliták, a latin fogalomból, amelynek jelentése: fontos emberek talpnyaló követői. A Hold a Föld mellékbolygója, és Galilei megtalálta a Jupiter négy mellékbolygóját.

Ennek a felfedezésnek a jelentősége abban rejlik, hogy kimutatta, van legalább

négy objektum, amelyek nem a Föld körül keringenek, hanem a Jupiter körül. Ez azt jelentette, hogy a Föld nem mindennek a központja.

Természetesen lehetett volna azzal érvelni, hogy a Jupiter a Föld körül kering a négy mellékbolygójával együtt, de Galilei a Vénuszt is megvizsgálta. A régi geocentrikus elmélet szerint, ha a Vénusz egy sötét test, amelyet csak a Nap világít meg, akkor a Nap és a Föld pozíciója olyan, hogy mindig félhold alakúnak kellene lennie. Ha a heliocentrikus világnézet helyes, akkor a Vénusznak is négy fázisa van, ugyanúgy, mint a Holdnak, félholdtól a teltig. Galilei a másodikat találta igaznak.

Ez a felfedezés megalapozta a heliocentrikus világnézetet. A bolygók, a Földet is beleértve, a Nap körül keringenek, ezért a bolygó szó csak az ilyen égitestekre vonatkozik. Más szóval a Nap nem bolygó, hanem a központ. A Hold sem bolygó, mert az a Föld körül kering. A Föld bolygó. Ebből következően a Nap van a központban. Akkoriban hat körötte keringő bolygóról tudtak, amelyeknek a sorrendje a következő: Merkúr, Vénusz, Föld (és a Hold), Mars, Jupiter (és négy mellékbolygó) és a Szaturnusz. Ezeket az égitesteket együtt nevezzük a naprendszernek.

A régi rendszerhez ragaszkodók azzal próbáltak érvelni, hogy minden, amit teleszkópon keresztül lát az ember, az optikai csalódás, de ez csak nevetést váltott ki. 1633-ban ugyan a katolikus egyház arra kényszerítette Galileit (miközben kínzással fenyegették), hogy mondja azt, hogy a Föld nem mozog, de a naprendszert – amely a Nap körül keringő bolygókból áll – Galilei óta minden iskolázott ember elismeri.

Természetesen a heliocentrikus rendszer is felvet néhány kérdést. A Nap úgy tűnik, hogy egy ösvényt követ az égen a Föld egyenlítőjének egy adott szögéhez igazodva, ezzel magyarázhatók az évszakok. Hogyan működik ez a heliocentrikus rendszerben? Ha a Föld tengelye merőleges volna arra a síkra, amelyben a Nap körül kering, akkor a Napnak pont az egyenlítő felett kellene az eget átszelnie. Azonban a Föld tengelye a merőlegestől 23,5 fokot hajlik el, és ez a dőlésszög állandó marad, miközben a Föld a Nap körül forog. Ez annyit jelent, hogy a Föld pályájának első felében a Föld tengelyének északi vége a Nap felé dől, ezért délidőben a nap az egyenlítőtől északra eső részt világítja meg. A pálya második felében azonban a tengely északi vége a Naptól távolabbra esik, mint a déli, ezért délidőben a nap az egyenlítőtől délre eső részt világítja meg.

Ez a kép pontos magyarázatot ad a déli nap felkelésére és lenyugvására és az évszakok váltakozására.

Az időmértékegységek most már pontos csillagászati tényekhez igazodnak: egy nap olyan periódus, ami alatt a Föld megfordul saját tengelye körül, a hónap egy olyan időszak, amíg a Hold megfordul a Föld körül, az év pedig az a periódus, ami alatt a Föld megkerüli a Napot.

### **Tökéletesíthető e Kopernikusz elmélete?**

Bármely tudományos elmélet tökéletesíthető. A tudomány világában szüntelenül a tökéletesítés lehetőségeit kutatják. Valójában Kopernikusz elmélete nem különbözik jelentős mértékben Ptolemaioszétól, csak éppen a Napot jelöli meg az univerzum központjaként a Föld helyett. A Nap körül még mindig ott vannak a régi kristályos szférák. Nem a Földet veszi körül a hét bolygószféra, valamint a nyolcadik, a legkülső, hanem a Napot veszi körül hat kristályos szféra, valamint a hetedik, a legkülső, a Holdnak pedig saját külön mellékszférája van, amely magában foglaltja a Földet. A csillagászati táblázatok számításai továbbra is meglehetősen bonyolultak voltak, és bár az eredményeket könnyebben és pontosabban ki tudták számítani, mint azelőtt, sok nehézség megmaradt.

A dán csillagász, Tycho Brahe (1546-1601) hosszú időt töltött a csillagok helyzetének tanulmányozásával. Felépítette a modern kor első jelentős csillagvizsgálóját, és eszközöket tervezett a bolygók helyzetének meghatározásához. Nem voltak azonban teleszkópjai, mivel azokat akkor még nem találták fel, mégis pontosabban meghatározta a bolygók s főleg a Mars helyzetét, mint előtte bárki. Azt hitte, hogy számításai talán majd lehetővé teszik, hogy pontosabb csillagászati táblázatok hozzanak majd létre, és bár meghalt, mielőtt azokat megalkothatta volna, számításainak eredményeit ráhagyta tanítványára, Johannes Kepler (1571-1630) német csillagászra.

Kepler évekig dolgozott a számokkal, de nem talált olyan köröket, amelyekkel a bolygók pályáját megrajzolhatta volna. Később rádöbben, hogy ha ellipszist (vagyis egy megnyújtott kört) használ helyette, az rendkívül jól illik a Mars pályájára. Az ellipszisnek, akárcsak a körnek, van egy középpontja, de két „fókusznak” nevezett ponttal is rendelkezik, amelyek a középpont két oldalán, a hosszabb átmérőn helyezkednek el. Hogyha összeadjuk a két pontnak az ellipszis bármely pontjától mért távolságát, ugyanazt az összeget kapjuk. Minél hosszúkásabb az ellipszis, annál nagyobb a két fókusztávolsága a középponttól. Kepler 1609-ben ki tudta mutatni, hogy minden bolygó ellipszis alakú pályát ír le a Nap körül, s a Nap ennek az ellipszisnek az egyik



fókuszában helyezkedik el. Ami a Holdat illeti, az a Föld körül kering ellipszis alakú pályán, amelynek egyik fókuszát a Föld alkotja. Ez Kepler első törvénye, amely azt jelenti, hogy a bolygó pályájának egyik végében közelebb van a Naphoz, mint a másikban, és hogy a Hold pályájának egyik végében közelebb áll a Földhöz, mint a másikban. Kepler első törvénye végül eltörölte a kristályos szférák fogalmát, amely kétezer évig a csillagászat részét képezte. Kepler kidolgozott egy olyan módszert is, amellyel ki tudta számítani, hogyan változik egy bolygó sebessége a Naptól mért távolsága változásának függvényében. Minél közelebb van a Naphoz, annál gyorsabban halad egy különleges matematikai összefüggés szerint (Kepler második törvénye). Később, 1619-ben Kepler kidolgozott egy olyan matematikai képletet, amely megmutatja, hogy ha a bolygó egy bizonyos távolságra helyezkedik el a Naptól, mennyi idő alatt fogja azt egyszer körbejárni (Kepler harmadik törvénye). Keplernek a bolygók mozgására vonatkozó törvényei lehetővé tették, hogy kidolgozzák a naprendszer modelljét, amely megmutatta, milyen ellipszis pályán mozog minden egyes bolygó, s hogy naptól való távolságaik hogyan viszonyulnak egymáshoz.

Természetesen az emberekben felmerült a kérdés, hogy ha a kristályos szférák nem léteztek, akkor mi tartotta a bolygókat pályájukon. Miért nem vándoroltak egyszerűen ide-oda az űrben? Erre a kérdésre az angol tudós, Isaac Newton (1642-1727) adott választ, aki kialakította a mozgás törvényeit, és a gravitáció elméletét. Ő azt állította, hogy az űrben minden tárgy vonzza az összes többi tárgyat, egy egyszerű matematikai összefüggésnek megfelelően. A képlet kitűnően alátámasztotta Kepler törvényeit, és magyarázatot adott arra, hogy mi az, ami a bolygókat a pályájukon tartja. Lényegében még ma is a naprendszernek az a képe él, amelyet Kepler rajzolt meg, és mi tudósok meglehetősen örülnek annak, hogy ezt a jövőben sem kell nagymértékben megváltoztatni.

### **Hogyan alakult ki a Föld?**

Most, hogy világos képünk van arról, milyen a naprendszer, feltehetjük a kérdést: hogy hogyan alakult ki a Föld. Önmagában nem vizsgálhatjuk, hogy hogyan alakult ki a Föld, mert amint azt majd látni fogjuk, egy nagyobb rendszer, a teljes naprendszer részeként jött létre. Mi történt tehát 4,6 milliárd évvel ezelőtt, amitől a Föld és általában a naprendszer létrejött?

Egyike azoknak, akik úgy vetették fel a kérdést, hogy nem hivatkoztak a régi

bibliai történetre (amelynek természetesen nincs tudományos bizonyítéka), Georges Louis de Buffon volt, aki – mint már említettük – azt tanította, hogy a Föld kb. 75 000 éves lehet. 1749-ben Buffon úgy vélte, hogy a bolygók, beleértve a Földet is, inkább úgy viszonyultak a Földhöz, mint a csibék a tyúkanyóhoz. Azután azt feltételezte, hogy a Föld talán a Naptól született.

Buffon megjelenítette, amint a Nap összeütközik egy másik nagy testtel, és azt képzelte, hogy az ütés valahogy leszakított a Naptól egy darabot, amely később lehűlt, és abból lett a Föld. Érdekes volt ez a feltételezés, de nem adott magyarázatot a többi bolygó kialakulására, valamint arra, hogy hogyan jött létre a Nap. Azt feltételezte, hogy a Nap egyszerűen csak ott volt.

Ennél jobb magyarázatra volt szükség. Miután Kepler megalkotta a naprendszer képét, világossá vált, hogy az valamiféle egységet alkot. Minden bolygó csaknem ugyanabban a síkban mozgott (úgyhogy az egész naprendszer modelljét bele lehetett helyezni egy gigantikus pizzásdobozba), és ugyanabban az irányban forogtak a Nap körül, mint ahogy a Hold forogott a Föld körül, illetve a Jupiter mellékbolygói a Jupiter körül. Ráadásul mindegyik úgy forogott a tengelye körül, mint a Nap. A csillagászok úgy vélték, hogy a naprendszer nem mutatna ilyen hasonlóságokat, ha nem „egy darabban” alakult volna ki.

Az első elmélet, amely inkább a teljes naprendszer kialakulását vizsgálta, semmint pusztán a Földét, annak volt köszönhető, hogy rájöttek: a csillagos ég nemesak csillagokból áll. 1611-ben, a teleszkóp korszakának legelején Simon Marius (1573-1624) német csillagász világító ködös foltot észlelt az Androméda csillagképben. Ezt nevezték Andromeda-ködnek. Később, 1694-ben Huygens (az ingaóra feltalálója) fénylő ködös foltot észlelt az Orion csillagképben, ez lett az Orion-köd). Más ködöket is meghatároztak.

Lehetségesnek tűnt, hogy ezek a fénylő ködök hatalmas por- és gázkonglomerátumok, amelyek még nem álltak össze csillagokká, és hogy minden csillag kezdetben köd lehetett. 1755-ben a német filozófus, Immanuel Kant (1724-1804) közreadott egy könyvet, amelyben éppen ezt fejtegette. Ő úgy vélte, hogy a köd saját gravitációs ereje, örvénylése által jött létre. A középső részből lett a csillag, a külső részekből pedig a bolygók. Ez az elmélet, úgy tűnt, magyarázatot ad arra, hogy miért mozog minden bolygó egy síkban, és miért forog ugyanabban az irányban.

1798-ban egy francia csillagász, Pierre Simon de Laplace (1749-1827), aki valószínűleg nem ismerte Kant korábbi művét, ugyanezt a gondolatmenetet írta le egyik könyvében, csak még részletesebben. Ő úgy képzelte, hogy a köd egyre jobban összesűrűsödik, s közben örvénylése egyre gyorsabbá válik. Ezt a

gondolatot nem kellett Laplace-nak kitalálnia. Az összesűrűsödés a gravitáció húzóerejének a következménye, amelyről tudjuk, hogy az impulzusnyomaték megmaradásának törvényéből adódik. Ezt a hatást minden korcsolyázó ismeri, aki piruettezés közben gyorsabban forog, ha karjával a testéhez közelíti.

Miközben a köd egyre sűrűbbé vált és egyre gyorsabban örvénylett, középső részei megduzzadtak és leváltak. Ezt a folyamatot szintén nem kellett felfedezni, mivel a centrifugális hatás következménye, amelyet jól ismertek a földi megfigyelésekből és kísérletekből. Laplace úgy képzelte, hogy a levált rész összehúzódott és bolygóvá alakult. A középső részek tovább sűrűsödtek és kialakult egy újabb bolygó, majd még egy, s hamarosan mindegyik ugyanabban az irányban forgott. Végül a középső rész maradványából jött létre a Nap. Mivel Kant és Laplace összesűrűsödő ködről beszélt, a naprendszer kialakulásának ezt a koncepcióját „köd-hipotézis”-nek nevezik (A hipotézis olyan elképzelés, amelyet nem támasztanak alá olyan bizonyítékok, mint egy elméletet.)

A csillagászok egy évszázadon át többé-kevésbé elégedettek voltak a „köd-hipotézissel”, de később sajnos egyre inkább csökkent az elégedettségük. A baj az „impulzusnyomaték”-ből eredt. Az impulzusnyomaték egy tárgy fordulatainak számát méri, amely részben a tárgy saját tengelye körüli forgásából, részben pedig egy másik tárgy körül végzett mozgásából adódik. A Jupiter bolygónak, amely tengelye körül, valamint a Nap körül forog, harmincszor akkora az impulzusnyomatéka, mint a Napnak, amely sokkal nagyobb test. Az összes bolygónak együtt csaknem ötvenszer akkora a forgónyomatéka, mint a Napnak. Ha a naprendszer egyetlen ködből jött létre, amely bizonyos nagyságú forgónyomatékkal rendelkezett, hogyan koncentrálódhatott az egész forgónyomaték a kis letört részecskében, amelyekből a bolygók keletkeztek? A csillagászok nem találták a választ, s így megpróbáltak más magyarázatot keresni.

1900-ban két amerikai tudós, Thomas Chrowder Chamberlin (1843-1928) és Forest Ray Moulton (1872-1952) visszatért Buffon elképzelésének egyik verziójához. Ők úgy gondolták, hogy valamikor régen egy másik csillag haladt el a Nap mellett, s a köztük lévő gravitációs erő mindkettőből kitepelt egy valamit. Amikor a két csillag eltávolodott egymástól, a gravitációs erő forgó mozgásba hozta ezt a valamit, s az örvényleni kezdett, így a bolygók nagy impulzusnyomatékhoz jutottak. A végső különválás után a valami apró, tömör tárgyakká, illetve „planetezimákká” vált, amelyek később egymásnak ütköztek és bolygókká alakultak. A két csillag, miután egymásnak ütközött, egész

bolygócsaládokkal haladt tovább. Ezt a magyarázatot nevezik „planetezimális hipotézis”-nek.

Van egy különösképpen fontos különbség a két elmélet között. Ha a köd-hipotézis igaz, akkor minden csillagnak lehetnek holdjai. Ha a planetezimális hipotézis igaz, akkor csak azoknak a csillagoknak lehetnek holdjai, amelyek ütköztek, a csillagok pedig olyan távol vannak egymástól és oly lassú a mozgásuk, hogy a közeli ütközések bizonyára nagyon-nagyon ritkák. A különbség tehát az, hogy a köd-hipotézis nagyon sok, a planetezimális hipotézis pedig nagyon kevés bolygórendszer feltételez.

Amint ez lenni szokott, a planetezimális hipotézis sem élt sokáig. Az 1920-as években Arthur Stanley Addington (1882-1944) brit csillagász kimutatta, hogy a Nap belseje forróbb, mint azt bárki is gondolta volna. (Erről a későbbiekben több szó is lesz.) A Napból (vagy a másik csillagból) származó anyag tehát olyan forró volna, hogy nem sűrűsödne össze bolygóvá, hanem széteszlana a világűrben. Ezt meggyőzően bebizonyította 1939-ben Lyman Spitzer, Jr. (szül. 1914) amerikai csillagász.

1944-ben Carl Friedrich von Weizsacker (szül. 1912) német csillagász visszatért a köd-hipotézishez, de némileg módosította azt. Ő úgy képzelte, hogy az örvénylő köd mellékörvényeket kavar, amelyekből aztán először planetezimák, majd bolygók lesznek. A csillagászok már gondolhattak az elektromágneses hatásra is (amely Laplace idejében még ismeretlen volt), amikor azt vizsgálták, hogyan terjedt át az impulzusnyomaték a Napról a bolygókra.

Mellesleg ha a bolygók planetezimákból alakultak ki, ez magyarázatot ad a Föld belső hőjére is. A planetezimák gyorsan mozognak, és hatalmas mozgási energiával rendelkeznek. Amikor azonban összeütköznek, leállnak, és mozgási energiájuk hővé alakul. Mire a bolygó kialakul, a mozgás teljes leállításából óriási hő keletkezik, ezért lehet a Föld magja 5000 C°-os. Természetesen minél nagyobb a bolygó, annál nagyobb mozgási energia alakult át hővé kialakulása során, és bizonyára magja is annál forróbb. S minél kisebb a bolygó, annál kevesebb volt kezdetben a planetezimák mozgási energiája, és bizonyára annál kisebb a mag hőmérséklete is. Így az kétségtelen, hogy a Hold magja is sokkal hidegebb, mint 5000 C°, mivel kisebb, mint a Föld és a Jupiter, amely nagyobb, mint a Föld, hiszen az a legnagyobb bolygó, tehát hőmérséklete is bizonyára sokkal magasabb. Egyesek szerint a Jupiter magjának hőmérséklete 50 000 C°. Egyelőre tehát a köd-hipotézis tűnik a legmeggyőzőbbnek.

## A Föld egy mágnes?

Mivel a naprendszer kialakulásával kapcsolatban említettük az elektromágneses tevékenységet, lehet, hogy úgy tűnik, a rendszer tagjai mágneses tulajdonságokkal rendelkeznek. Lehetséges volna tehát, hogy a Föld egy mágnes? A tudósok valójában évszázadokon át töprengtek ezen.

Tudomásunk szerint Thalész (kb. i.e. 636-kb. 545) volt az első, aki i.e. 550-ben leírta, hogy vannak olyan anyagok, amelyek vonzzák a vasat. Ezt egy olyan kövel kapcsolatban írta, amelyet Kis-Ázsiában lévő Magnesia nevű város közelében találtak, innen ered a „mágnes” szó. A mágnes pusztán érdekesség maradt mindaddig, amíg a kínaiak rá nem jöttek, hogy a megmágnesezett tűk, ha tehetik, mind észak-dél irányba állnak be. 1180-ban Alexander Neckam (1157-1217) angol tudós tett említést egy ilyen mágneses iránytűről. Ezt végül arra használták fel, hogy útba igazítsák vele a hajókat az óceánon, ami azt eredményezte, hogy 1420-ban Európában elkezdődött a nagy felfedezések kora. Petrus Peregrinus (kb. 1240-?) francia tudós volt az első, aki 1269-ben elkezdte szisztematikusan vizsgálni a mágneseket. Többek között rájött, hogy minden mágnesnek két ellentétes pólusa van, az egyiket általában északi, a másikat pedig déli pólusnak nevezik. Az egyik mágnes északi pólusa vonzza a másik mágnes déli pólusát, két északi pólus vagy két déli pólus azonban taszítja egymást. De vajon miért mutat a mágnes északi pólusa észak felé? Lehet, hogy maga a Föld is egy hatalmas mágnes? Ezt a lehetőséget egy angol tudós, William Gilbert (1544-1603) vizsgálta, aki gömböt formált egy olyan magnetitdarabból, amelyet első ízben Thalész tanulmányozott. 1600-ban kiadott egy könyvet, amelyben leírta, hogyan működik egy mágneses iránytű a mágneses gömb közelében, és kimutatta, hogy éppen úgy működik, mint ahogy a Földön. Akkor tehát úgy tűnt, hogy a Föld egy mágnes.

De vajon miért? Az egyik lehetséges magyarázatnak az tűnt, hogy a Föld középpontjában egy hatalmas darab mágneses anyag helyezkedik el, amely észak-déli irányba mutat, és amint felmerült az a gondolat, hogy a Föld magja vasból lehet, úgy tűnt, ez a helyes válasz. 1895-ben azonban Pierre Curie rájött, hogy a vas  $760\text{ }^{\circ}\text{C}$  fölött elveszíti mágneses tulajdonságát, és mivel több mint valószínű, hogy a Föld magjának hőmérséklete ennél jóval magasabb, nyilvánvaló, hogy nem lehet közönséges mágnes.

Az elektromos áramot azonban a forró, folyékony vas is vezeti, és ha a vas örvénylik, akkor a forró áramlat mágneses mezőt alkot. Lehet tehát, hogy a Föld nem közönséges mágnes, hanem „elektromágnes”. 1939-ben Walter

Maurice Elsasser (szül. 1904) felvetette, hogy a Föld forgása közben esetleg olyan örvények keletkezhetnek, amelyek mágneses mezőt alkotnak.

Bár ezt a gondolatot ma már széles körben elfogadják, még mindig vannak kérdéses pontok. A Föld északi és déli mágneses pólusa nem esik egybe a földrajzi pólusokkal, hanem attól kb. 1600 km-re helyezkednek el. Ha a bolygó belsejében vonalat húznánk az északi és a déli mágneses pólus között, az nem keresztezné a Föld középpontját. S ráadásul a mágneses pólusok elcsúsznak, és a mágneses mező hol erősebb, hol kevésbé erős. Van olyan, amikor a mező erőssége nullára csökken, máskor megfordul, és ismét erősebb lesz. Még mindig sok mindent nem tudunk a Föld mágneses terének pontos működéséről.

### **Vajon a Földnek tökéletes gömb alakja van?**

Miközben egyre jobban és jobban megismerjük a Földet, lehetőségünk nyílik arra, hogy egyre apróbb részletekre vonatkozó kérdéseket tegyünk fel. Azt már pl. csaknem 2500 éve tudják a tudósok, hogy a Föld gömb alakú, de vajon tökéletes gömb-e?

Miért ne lehetne? Ha a Föld azért gömb alakú, mert a gravitációs erő a lehető legközelebb húzza anyagát a középponthez, akkor valóban lehet tökéletes gömb. Ezenkívül a Nap tökéletes kört ír le az égen, csakúgy, mint a Hold, ez pedig azt jelenti, hogy mindkettő tökéletes gömb.

Az első dolog, ami azt az elképzelést cáfolta, a Jupiter és a Szaturnusz teleszkópon át szemlélt képe volt, az 1600-as évek elején. Mindkettő inkább ellipszis alakúnak tűnt, semmint kör alakúnak, s formájukat forgás közben is megtartották. Mi több, úgy tűnt, hogy mindkét bolygó esetében a hosszabb átmérő ugyanolyan hosszú, mint egyenlítőjük, ami azt jelenti, hogy mindkettő olyan gömb, amely kidomborodik az egyenlítőnél, és laposabb a pólusoknál. Az ilyen testeket „ellipszoidoknak” (sarkain benyomott gömb) nevezzük.

Miért lenne a Jupiter és a Szaturnusz ellipszoid?

A kérdésre nem született válasz mindaddig, amíg, Newton ki nem dolgozta mozgástörvényeit, és meg nem oldotta a problémát 1637-ben. Egy bolygó minden részecskéjének úgy kell mozognia, mint ahogy a bolygó forog a tengelye körül, noha a tárgyak a természetben általában egyenes vonalú mozgásra törekszenek. Kompromisszum születik tehát: a bolygó forog, de felszíne közben enyhén kidomborodik, mintha érezné a kényszerítést, hogy ne forgó, hanem egyenes vonalú mozgást végezzon. Ez a „centrifugális hatás” (a latin szó jelentése „elrepülni a középponttól”), amelyet alaposan

megvizsgáltak itt a Földön. Minél gyorsabban forog egy tárgy, annál jobban kidomborodik.

Miközben egy bolygó forog, felszínének részecskéi a pólus közelében igen apró köröket írnak le. Ezek a pontok nem mozognak gyorsan, tehát nem domborodnak ki nagyon. Amint távolodunk a pólustól, a részecskék egyre nagyobb köröket írnak le, de a fordulatot ugyanannyi idő alatt kell megtenniük. Ezeknek a felszíni pontoknak tehát gyorsabban kell mozogniuk és jobban ki kell domborodniuk, s ez a hatás az egyenlítőnél a legerősebb. Ezért a forgó bolygó középpontjánál kidomborodik, s legszélesebb az egyenlítőnél.

Az egyenlítőnél lévő domborulat mérete attól függ, hogy milyen gyorsan mozog a felszín, és hogy a gravitációs erő mennyire akadályozza a domborulat kialakulását. Ugyanakkor viszont a Nap meglehetősen gyorsan forog, egyenlítőjének egy pontja 13 600 km/h sebességgel mozog, a gravitációs erő azonban olyan nagy, hogy nincs említésre méltó kidomborodás az egyenlítőnél.

Mind a Jupiter, mind a Szaturnusz nagyobb, mint a Föld, mégis gyorsabban forognak tengelyük körül. A Jupiter kicsit kevesebb, mint tíz óra alatt fordul meg. A Jupiter egyenlítőjének egy pontja 45 765 km/h sebességgel, a Szaturnusz egyenlítőjének egy pontja 36 850 km/h sebességgel mozog. Mindkettő gyorsabban mozog, mint a Nap egyenlítőjének egy pontja, és mind a Jupiternek, mind a Szaturnusznak sokkal kisebb a gravitációs ereje, mint a Napnak, egyike sem elég ahhoz, hogy kivédje a centrifugális hatást. Ezért mindkét bolygó nagymértékben kidomborodik az egyenlítőnél. A Szaturnusz felszíne lassabban mozog, mint a Jupiteré, de gravitációs ereje is kisebb, úgyhogy jobban kidomborodik az egyenlítőnél. Ha azonban mindez igaz a Jupiterrel és a Szaturnusszal kapcsolatban, nem lehet, hogy a Földdel kapcsolatban is igaz? A Föld gyorsabban forog a tengelye körül, mint a Hold, a Merkúr vagy a Vénusz. A Föld egyenlítőjének egy pontja 1670 km/h sebességgel mozog, ami sokkal kisebb, mint a Nap, a Jupiter és a Szaturnusz egyenlítőjének sebessége, de a Föld gravitációs ereje szintén kisebb. Newton úgy vélte, hogy a Föld egyenlítőnél lévő kidomborodása mérhető.

Ezt az elméletet úgy lehetne bizonyítani, hogyha a Föld különböző részein, pontosan lemérnénk a távolságokat és a szögeket azért, hogy meg tudjuk állapítani, hogyan hajlik a Föld felszíne. Ha a Föld tökéletes gömb volna, mindenhol egyformán domborodna. Hogyha ellipszoid volna, akkor jobban kidomborodna az egyenlítőnél, mint a pólusoknál. 1736-ban egy francia expedíció Pierre Louis de Maupertuis (1698-1759) vezetésével Lappföldre ment, az Északi-sark közelébe, hogy megmérje, mekkora ott a domborulat.

Ugyanakkor egy másik francia expedíció Charles de la Condamine (1701-1774) vezetésével Peruba ment, az egyenlítő közelébe, hogy megmérje a Föld domborulatát.

Bebizonyosodott, hogy Newtonnak volt igaza. A Föld valóban kidomborodott az egyenlítőnél, bár nem nagyon. A Föld egyenlítőnél mért átmérője 12 756 km, míg a sarkok közötti átmérő 12 713 km. A különbség 43 km. Más szóval a Föld csaknem tökéletes gömb, de nem teljesen. 1959-ben az Egyesült Államok Föld körüli pályára bocsátotta a Vanguard I nevű műholdat. Abból, ahogyan a Föld körül mozgott, ki tudták számítani, hogy a Föld domborulata 7,6 méterrel nagyobb volt az egyenlítőtől délre, mint attól északra. Ezt bizonyítékként hozták fel arra, hogy a Föld körte alakú, vagyis délen szélesebb, mint északon. Ez azonban szerencsétlen megállapítás volt, mivel a domborulat különbözősége csakis a legkifinomultabb módszerekkel mérhető. Tulajdonképpen az egész domborulat olyan kicsi, hogy szabad szemmel nem látható, s bárki, aki a világűrbelől nézi a Földet, tökéletes gömb alakúnak látja. Abból, hogy a Földet körte alakúnak mondták, néhányan úgy vélték, hogy a világűrbelől nézve olyan, mint egy Bartlett-körte, ami teljesen hamis képet ad a valóságról. Szerencsére a kifejezés hamarosan elhalt.

### **Miért változik a Hold alakja?**

Itt az ideje, hogy figyelmünket az univerzum más részeire fordítsuk. Az ókori görögök úgy érezték, meglehetősen helyesen, hogy az égitestek közül a Hold van a legközelebb a Földhöz, úgyhogy helyénvalónak tűnik, ha most azt vesszük szemügyre.

A Hold az egyetlen dolog az égen, amely éjszakáról éjszakára láthatóan megváltoztatja alakját. A Nap mindig egy vakítóan ragyogó fénygömb. A többi bolygót és csillagot mindig fénylő pontoknak látjuk. Néhány üstökösnek különleges, változó alakja van, de nem láthatóak minden éjszaka az égen. (Később még szólok majd róluk.) A Hold azonban állandóan, fokozatosan és ismétlődően változtatja az alakját. Egyes éjszakákon a Hold a nyugati ég alján jelenik meg, rögtön naplemente után, mint egy igen keskeny sarló. Minden éjszaka egyre keletebbre vonul, és a holdsarló egyre vastagabb lesz. Körülbelül egy hét múlva már félkörnek látjuk, s tovább növekszik, míg egy újabb hét múlva már teljes körnek látjuk. Azután elkezd fogyni. Egy hét múlva ismét csak félkör (de most a kör másik fele világít), és végül, ugyancsak egy hét múlva ismét egy nagyon vékony holdsarló a keleti égen, mielőtt a nap



felkel. Utána néhány éjszakára eltűnik, majd az egész ciklus újrakezdődik. Természetesen felmerül a gondolat, hogy a Hold olyan, mint egy élőlény. Megszületik, felnő, eléri maximális méretét, majd elsorvad, meghal, s ezeket az állomásokat egy hónap alatt járja végig. Még ma is „újholdnak” nevezzük a nyugati égen megjelenő keskeny holdsarlót, s „fogyó holdnak” egy hónappal később a keleten megjelenő keskeny holdsarlót. A kettő között félúton van a „telihold”. Amint már említettem, a Holdnak eme ciklusa alapján alakult ki a hónap mint időegység, és ez alapján készültek az első naptárak. De miért voltak különböző holdfázisok? Valóban minden hónapban egy új hold született? Thalész görög filozófus nem így képzelte, és valószínűleg korábban a babiloni csillagászok sem így képelték.

Szkepticizmusuk abból eredt, hogy megfigyelték a Hold Naphoz viszonyított helyzetének változását a hónap folyamán. Először is természetesnek tűnt az a feltételezés, hogy a Földön más törvények uralkodnak, mint az égen. A Földön minden lefelé mozgott, az égen minden körben haladt. A Földön minden változott és elpusztult, az égen minden állandónak és változatlanoknak tűnt. A Föld anyaga sötét volt, az égen minden test szüntelenül ragyogott. Ha a Holdat képező anyag szüntelenül ragyog, akár a Nap, a bolygók és a csillagok, akkor a Hold is mindig változatlan fénygömbnek látszik. Mivel a Hold nem látszott változatlan fénygömbnek, vagy növekedett és fogyott a hónap folyamán, vagy pedig nem ragyogott szüntelenül. Ha a Hold valóban olyan sötét volt, mint a Föld. És csak azért ragyogott, mert visszaverte a Nap fényét, akkor mindig más része verné vissza a napfényt, attól függően, hogy hol helyezkedik el a Nap és a Hold egymáshoz képest.

Például ha a Hold éppen a Föld és a Nap között volna, akkor a Nap úgy sütné a Hold egyik oldalát, hogy mi egyáltalán nem látnánk. Mivel azonban a Hold tizenkétszer olyan gyorsan mozog nyugat-keleti irányban, mint a Nap, a következő éjszakán egy kicsit keletebbre lesz, mint a Nap, ezért láthatjuk nyugati szélén megvilágított oldalának azt a keskeny szeletét. Úgy néz ki, mint egy vékony sarló. Amint a Hold továbbhalad keleti irányban, egyre többet adhatunk megvilágított részéből, s így a holdsarló egyre vastagabb lesz.

Amikor megtette útjának negyed részét az égen, a Naphoz képest, akkor a nyugati fele van megvilágítva, ezért fénylő félkört látunk, vagyis „félholdat”. Ez azután tovább növekszik, amíg a Hold az égnek a Nappal szemközi oldalára nem kerül. Akkor a Nap úgymond a Föld válla fölött süt rá és teljesen megvilágítja a Holdnak felénk eső oldalát, ezért látjuk a teliholdat.

Ezt követően a Hold kezdi ismét utolérni a Napot, és a számunkra látható

megvilágított rész összemegy. Csupán egy hét múlva a Nap a Hold keleti féltekét világítja meg, és az fogy holdsarlóvá. Azután a Hold túlhalad a Napon, és az egész ciklus újrakezdődik. Bárki, aki gondosan megvizsgálja ezt a jelenséget, arra a következtetésre kell hogy jusson, hogy a Hold, akárcsak a Föld, egy sötét test, amely csak a Nap fényét tükrözi vissza.

### **Világít-e a Föld?**

Hogyha a Hold egy sötét égitest, amely attól világít, hogy visszaveri a Nap fényét, akkor nem lehetséges, hogy a Föld, amely szintén egy sötét égitest, szintén világít azáltal, hogy visszaveri a Nap fényét? Ez a feltételezés ésszerűnek tűnik, az emberek mégis vonakodva fogadták el, mivel tartották magukat ahhoz az elképzeléshez, hogy a földi dolgok alapvetően különböznek az égi dolgoktól. Hogyan világíthatna a Föld, mintha égi dolog volna, hogyha egyszer nem az.

Természetesen úgy lehet legkönnyebben megállapítani, hogy a Föld úgy fénylik-e, mint a Hold, hogyha az ember felrepül az űrbe és nagy távolságból lenéz a Földre. Ez azonban az 1960-as évekig nem volt lehetséges, azelőtt tehát csak a Föld felszínéről lehetett tisztázni a kérdést.

Elég különös, de mégis sikerült. Néha, amikor a Hold keskeny sarló formájú, homályosan, vöröses színben láthatjuk a megvilágítatlan részt is, és a kettő együtt egy terjes kört ad ki. Az valóban a Hold megvilágítatlan része, mivel a Holdon vannak bizonyos látható jelek, amelyek a homályos vöröses részleten is ott vannak. Az emberek még mindig úgy nevezik ezt a hatást, hogy a „fogyó Hold ott van az újhold karjaiban”, és hosszú ideig ezt senki nem tudta megfelelőképpen megmagyarázni. Kb. i.e. 100-ban Posidonius (kb. i.e. 135-kb. 50) görög filozófus úgy hitte, hogy a Hold egy része átlátszó, s így átsüt rajta egy kis napsugár. Kb. 1550-ben Erasmus Reinhold német matematikus azt képzelte, hogy a Hold nem teljesen sötét, hanem halványan világít, akkor is, ha a Nap nem süt rá. De tegyük fel, hogy a Föld ugyanúgy tükrözi vissza a napfényt, mint a Hold. Amikor a Hold vékony sarló formájú, akkor pontosan köztünk és a Nap között helyezkedik el úgy, hogy megvilágított felszínének csak egy kis hányadát láthatjuk az egyik szélén. Ha azonban ilyenkor a Holdon tartózkodnánk, láthatnánk, amint a Nap úgymond átsüt a Hold válla felett, és megvilágítja, a Föld egész arcát, amely történetesen épp a Hold felé néz. Röviden, amikor újholdat látunk a Földről, akkor a Holdról „teliföldet” láthatnánk. (Vagyis ha a Föld úgy verné vissza a napfényt, mint a Hold, akkor a

Holdról látható földfázis pontosan az ellentéte volna a Földről látható holdfázisnak.) Újhold idején a Hold felénk eső oldala nem kap napfényt, de a Hold egén „teliföld” van. A Föld nagyobb, mint a Hold és felhős légköre miatt jobban visszaveri a ráeső napfényt, mint a Hold. Mindent összevéve, a Holdról látható „teliföld” kb. hetvenszer olyan fényes, mint a Földről látható telihold. A Hold megvilágítatlan részére tehát rásüt a teliföld fénye. A Föld fénye sokkal gyengébb, mint a Napé, de elég ahhoz, hogy valamennyire megvilágítsa a Hold sötét részét, s így újholdkor, nagyon halványan, de megláthatjuk a Hold sötét oldalát. Galilei volt az első, aki felvetette ezt a „fogyó hold az újhold karjaiban” magyarázatot, és ez olyan meggyőző, hogy azóta alig-alig vonták kétségbe.

### **Miért van Nap- és Holdfogyatkozás?**

Hosszabb időközönként valami sötét dolog halad el a Nap előtt. A Nap fogyni kezd, egyre fogy, és néha vékony sarlóvá zsugorodik, majd teljesen eltűnik. Ahol néhány pillanattal ezelőtt még ott volt a Nap, most már csak egy sötét kör látható az égen, körülötte homályos, gyöngyfényű ragyogás. A Föld elsötétül, hideg szél támad, a madarak aludni mennek, az emberek pedig olykor eszüket veszítik a félelemtől. Mi történt? A természeti népek azt feltételezték, hogy valami kozmikus farkas vagy sárkány felfalta a Napot, s az már soha többé nem fog világítani, a Földre hideg és sötét ereszkedik majd, és az élet minden fajtája, beleértve az emberi életet is, megszűnik. Ez aztán soha nem történik meg. Néhány perc múlva megjelenik a Napnak az a része, amely legelőször eltűnt, egyre nagyobbra és nagyobbra nő, és rövid idő múlva már teljes pompájában ragyog.

Mi történt valójában?

A legfontosabb dologra a babiloni csillagászok jöttek rá először. Napfogyatkozáskor az ég elsötétül, és feltűnnek a csillagok, a Hold azonban sohasem jelenik meg. Ez azért van, mert a napfogyatkozás úgy tűnik, mindig újhold idején történik, amikor a Hold nyugat-keleti irányban halad el a Nap mellett. Íme tehát a válasz. A Hold elhalad a Nap előtt és eltakarja azt, ezért nem látjuk. Utána tovább megy, és a Nap ismét megjelenik.

Ha ez így van, miért nincs napfogyatkozás minden újhold idején? Ez azért van, mert a Nap és a Hold nem mindig ugyanazon az útvonalon halad az égen. A két út kis szöget zár be egymással, és általában, amikor a Hold elhalad a Nap mellett, egy kicsit vagy fölötte, vagy alatta megy el. A Hold tehát csak akkor,

kerül ténylegesen a Nap elé, amikor történetesen mindketten útjuknak azon a szakaszán vannak, amelyek keresztezik egymást. Két ilyen keresztezési pont vagy „csomó” van az ég két oldalán, és néha előfordul, hogy amikor a két égitest útja keresztezi egymást, napfogyatkozás következik be.

Amikor a Hold elhalad a Nap előtt, árnyéka a Föld felszínére vetődik. (A Holdnak árnyéka van, mint minden megvilágított szilárd testnek, amely nem rendelkezik saját fénnel.) A Földre eső árnyék olyan keskeny, hogy felszínének csak egy kis hányadát takarja el. Van amikor csak 160 km széles, vagy olykor még annál is kisebb, ami azt jelenti, hogy noha mi úgy látjuk, hogy az egész Nap eltűnik, néhány mérfölddel távolabb az emberek úgy látják, hogy a Hold csak egy részét takarja el a Napnak (részleges napfogyatkozás), még távolabb pedig nem is látható napfogyatkozás. Az árnyék úgy megy át a Föld felszínén, ahogy a Hold mozog, és mindenütt legfeljebb hét percig tart.

A Nap és a Hold az ég különböző pontjain különböző méretűnek látszik. Mivel a Hold általában egy kicsit kisebbnek látszik, mint a Nap, olykor nem takarja el egészen a Napot, amikor elhalad előtte. Egy vékony napfénygyűrű látható a sötét Hold körül. Ez a jelenség a „gyűrűs napfogyatkozás”.

Amint a csillagászok meg tudják állapítani, hogy hogyan mozog a Nap és a Hold a pályáján, azt is meg tudják előre mondani, mikor következik be napfogyatkozás. Ez fontos feladatot jelentett az ókor csillagászaiknak, mivel az embereknek fel kellett készülniük a napfogyatkozásra, hiszen az istenek üzenetének tekintették. Jó üzlet volt, ha valaki pontosan meg tudta állapítani eljövételének idejét, mert az azt a látszatot keltette, hogy az illető csillagász Jobban tudja értelmezni az istenek szándékát.

A babiloniak már korábban rájöttek, hogyan kell kiszámítani a következő napfogyatkozás idejét, és a görög Thalész tőlük tanulta el a trükköt. Állítólag előre megmondta, hogy Kis-Ázsiában i.e. 585-ben napfogyatkozás lesz, és úgy is volt. Akkoriban azon a vidéken két ország, Media és Lydia hadserege készült háborúra épp a napfogyatkozás idején. Mindkét hadsereg úgy megrémült a baljós előjel hallatán, hogy békét kötöttek, és harc nélkül visszavonultak.

A modern csillagászok utólag kiszámították a napfogyatkozás pontos idejét, ami i.e. 585. május 28. volt. Úgyhogy ez a lefűjt csata az emberiség történelmének első olyan eseménye, amelynek ismert a pontos dátuma.

Néha holdfogyatkozás van. Ez csak telihold idején következik be, amikor a Hold egyik oldalán a Nap van, másik oldalán a Föld. Ha értjük a napfogyatkozást, akkor már nincs gondunk a holdfogyatkozással. Azért

következik be, mert a Hold átmegy a Föld árnyékán.

A Föld lényegesen nagyobb, mint a Hold, ezért árnyéka is lényegesen nagyobb a Holdénál. Tény, hogy a Föld árnyéka az egész Holdat eltakarhatja, s így olyan holdfogyatkozás jön létre, amelyet mindenki láthat, aki akkor a Földnek a Hold felőli részén van. A holdfogyatkozások tovább tartanak, mint a napfogyatkozások.

A holdfogyatkozás szintén nem következik be minden telihold alkalmával, mivel a Hold és a Nap mindig egy kicsit más pályán halad. Általában telihold idején a Föld árnyéka vagy a Hold fölött, vagy alatta halad el. Csak akkor van tényleges holdfogyatkozás, amikor az egyik metszéspontban a Hold van, a másikban pedig a Nap. A holdfogyatkozások idejét szintén előre meg lehet állapítani, ezért egyesek úgy vélik, hogy az ősi Stonehenge köveit úgy helyezték el, hogy megmutassák a holdfogyatkozások idejét.

### **Forog-e a Hold?**

A „fogyó Hold az újhold karjaiban” jelenséggel kapcsolatban említettem a Hold arcán látható homályos jeleket, amelyek legtisztábban telihold idején láthatók. Ezek a vonások zavarba hozták az embereket, és egyesek emberi lényt láttak általuk kirajzolódni, a híres „embert a Holdon”, mások pedig nyulakat, rákokat és más alakzatokat véltek felfedezni.

Az ókori tudósok, akik úgy gondolták, hogy az égitestek változatlanok és tökéletesek, ettől aztán igen zavarba jöttek. Hiszen ott nem lehet semmi, makulátlan fénymezőnek kell lennie, olyannak, mint a Nap. Az egyik elmés magyarázat az volt, hogy mivel az égitestek közül a Hold van a Földhöz a legközelebb, magába tudta szívni a Földnek néhány foltját, tökéletlenségét.

Bármi volt is azonban a mintázat, mindig látható volt és soha nem változtatta a helyét. Úgy tűnt, ez azt bizonyítja, hogy a Hold mindig ugyanazt az arcát fordítja a Föld felé, vagyis nem forog a tengelye körül. Ez természetesen nem igaz. Pontosabban: a Hold valóban mindig ugyanazt az arcát fordítja a Föld felé, mégis forog.

De tegyük fel, hogy nem forog. Tegyük fel, hogy úgy forog a Föld körül, hogy egyik oldala mindig egy bizonyos távoli csillagra néz. Ez azt jelenti, hogy a Hold pályájának egyik pontján az a csillag mindig ugyanabba az irányba fordulna, mint a Föld, de természetesen jóval mögötte volna és mindkettővel szembe helyezkedne el. Ha a Hold továbbra is a Föld körül mozogna, akkor is, amikor az a bolygó másik oldalán van, akkor az arc továbbra is a csillagra

nézne, nem pedig ránk. A Hold úgymond hátat fordítana nekünk, és így láthatnánk a másik oldalát. Röviden, ha a Hold tényleg nem forogna, akkor apránként minden részét láthatnánk, miközben a Föld körül mozog. Bizonyára forog, ha a Földnek csak az egyik arcát mutatja.

Sőt mi több, egy bizonyos módon kell, hogy forogjon. Egyetlen fordulatot kell, hogy végezzen pontosan az alatt az idő alatt, amíg egyszer körbejárja a Földet. Míg a Hold ilyen módon forog, mi csak az egyik oldalát látjuk, a Nap felé azonban más-más oldalait fordítja. Hogyha a Holdon volnánk, úgy látnánk, hogy a Föld az égnek csaknem mindig ugyanazon a pontján áll (amennyiben azon az oldalán állnánk, amely mindig a Föld irányába fordul). Ugyanakkor úgy látnánk, hogy a Nap áthalad az égen, és 29,5 nap alatt tesz meg egy teljes fordulatot. A Holdon egy kicsit több mint két hétig tartó nappali és egy kicsivel több mint két hétig tartó éjszakát tapasztalnánk. Az első tudós, aki ezt elég világosan kifejtette, Kepler volt, „Somnium” című tudományos-fantasztikus regényében, amelyet halála után, 1634-ben adtak ki.

### **Milyen messze van a Hold?**

Az ókori görögök megállapították, hogy a Hold a hozzánk legközelebb álló égitest, de pontosan milyen messze van?

Két dolgot nem tudtak a Holdról az ókorban: a méretét és a távolságát, s ez a kettő összefügg. Ha ismernék a méretét, akkor a trigonometria segítségével könnyen ki lehetne számítani, hogy milyen messze kell lennie ahhoz, hogy olyan nagynak tűnjék az égen, mint amilyennek tűnik. Másrészt pedig, ha ismernék a távolságát, a trigonometria megmondaná, milyen nagynak kell lennie ahhoz, hogy olyan méretűnek tűnjék, amilyen. Ha egyik mennyiséget sem ismerjük, akkor „meg vagyunk löve”.

Mit tehetünk tehát? Elindulhatunk a látszat alapján. Mekkora látszik a Hold? Sokan, ha megkérik őket, hogy becsüljék meg a Hold méretét, azt mondják pl., hogy 0,3 m (1 láb) keresztbe, ami természetesen nem lehet igaz. Ha a Hold valóban akkora lenne, csak 17 m-re lenne a Föld fölött, és nem tudna átmenni egy magas épület fölött, ne is beszéljünk egy hegyről. Ha a Hold a Föld összes hegyét ki tudja kerülni, akkor legalább 9 km-rel van a Föld fölött, s ez azt jelenti, hogy legalább 90 m az átmérője.

Az is lehet, hogy még távolabb van a Földtől és hogy még nagyobb. Kb. i.e. 460-ban Anaxagorasz görög filozófus (kb. i.e. 500-428) úgy vélte, lehet, hogy a Nap 100 mérföld átmérőjű izzó szikla (ebben az esetben a Hold is elég nagy

lehet). Ez a gondolat akkora felháborodást keltett Athénban, és olyan istentelennek és ateistának kiáltották ki Anaxagoraszt, hogy sietve távoznia kellett a városból, hogy életét megmentse.

Nos, akkor mi a teendő? Hiszen találgatni nem lehet. Ki lehet találni a távolságát valaminek, amit nem tudunk elérni? Nos, ki lehet. Tegyük az ujjunkat a szemünk elé és csukjuk be csak a bal szemünket. Jobb szemünkkel a szemközi falon látjuk majd ujjunkat. Ne mozdítsuk el az ujjainkat, hanem nyissuk ki a szemünket és csukjuk be a jobbat. Most ujjunkat a bal szemünkkel látjuk majd, és úgy tűnik, mintha arrébb ment volna. Jobb és bal szemünkkel tehát különböző szögekben látjuk az ujjunkat.

Ha különböző pontokból nézzük ugyanazt a tárgyat, ez az eltolódás annál nagyobb lesz, minél közelebb van a tárgy és annál enyhébb lesz, minél távolabb van. Akkor is nagyobb lesz az eltolódás, ha két távolabb eső pontból nézzük a tárgyat, és kisebb lesz, hogyha két egymáshoz közelebbi pontból nézzük. Az eltolódás neve „parallaxis”. Ha egy távolabb lévő tárgyat két különböző pontból nézünk és tudjuk, hogy milyen messze vannak egymástól ezek a pontok, s ha meg tudjuk mérni mekkora a parallaxis, akkor a trigonometria segítségével kiszámíthatjuk, milyen messze van a tárgy, akkor is, ha nem érjük el. A földmérők pl. arra használhatják a parallaxist, hogy megmondják, milyen messze van egy tárgy a folyó túlsó partján. Alkalmazhatjuk a parallaxis módszert a Holdra is? Természetesen, hiszen minden elmozdul és parallaxist mutat, ha különböző pontokból nézzük. Nagyon is távoli tárgyak esetében azonban kicsi a látószögelhajlás, talán azt is mondhatjuk, hogy van, ami egyáltalán nem mozdul el. Így tehát, ha a Holdat két, egymástól száz mérföldre lévő pontból nézzük, akkor a távoli csillagokhoz képest helyzete alig változik.

Ez azt jelenti, hogy a csillagász csak azt tudná megállapítani, milyen messze van a Hold egy másik csillagtól egy adott éjszaka bizonyos pillanatában. (A távolságot fokokban mérik. Ha nagy kört rajzolunk az égen, akkor az 360 egyenlő fokra osztható. Minden fok 60 ívpercre és minden ívperc hatvan ívmásodpercre osztható.) Valahol távol, ugyanannak az éjszakának ugyanabban az időpontjában, egy másik csillagász megméri a Hold távolságát ugyanattól a csillagtól. A két távolságot azután összehasonlítják, és ha van közöttük különbség, az a parallaxis, amelynek segítségével meghatározható a Hold távolsága.

Ezt először i.e. 150 körül végezte el Hipparkhosz (kb. i.e. 190-120) görög filozófus, aki úgy vélte, hogy a Hold távolsága harmincszor akkora, mint a

Föld átmérője. Ez azt jelentené, hogy a Hold kb. 385 000 km-re van tőlünk, s ez a szám csaknem pontos.

Annak idején azonban ez bizonyára megdöbbentően nagy számnak tűnt, és kétlem, hogy bárki hinni tudott akkoriban Hipparkhosz számításaiban. Végül is, ha a Hold 385 000 kilométerre van, akkor átmérője csaknem 3500 km. Ez egy kicsit több, mint a Föld átmérőjének a negyed része, úgyhogy el kellene fogadni, hogy a Hold nem pusztán egy csillogó ezüstantyér az égen, hanem egy egész égitest. Az ókori görögök csupán a Hold távolságát tudták meghatározni, az összes többi égitest parallaxisa túl kicsi volt ahhoz, hogy megmérjék. Mégis, a Hold távolsága elég volt ahhoz, hogy az emberek rádöbbenjenek, milyen hatalmas a világegyetem, és hogy a Földön kívül más bolygókat (világokat) is magában foglal.

Ha ezzel kapcsolatban bármi kétség támadt, az is eloszlott 1609-ben, amikor Galilei teleszkópját a Holdra irányította. Hegyláncokat, síkságokat és vulkánkráter-szerű képződményeket fedezett fel. Ezek voltak azok a vonalak, amelyek a Holdnak a Földről teleszkóp nélkül is látható „arcvonalait” alkották.

### **Mekkora a Hold tömege?**

Ha ókori csillagász hajlandó lett volna elfogadni Hipparkhosz álláspontját és elhinni, hogy a Hold egy nagy világ, akkor azt hozhatta volna fel, hogy hiszen az égitesteknek csak fényük van, anyaguk nincs. Méretük nem lehet fontosabb, mint pl. egy felhő vagy egy árnyék mérete.

Fontos lenne tehát meghatározni a Hold „tömegét”, hogy úgymond, mennyi minden van benne. Nem lehet megmérni, vagy erővel megváltoztatni a mozgását, mint ahogy a Föld esetében sem lehetne. El sem lehetett menni a Holdra (1969-ig), hogy megmérjék a felszínén a gravitációs erőt és abból határozzák meg a tömegét.

Csak azt lehetett tenni, hogy megméri a Hold gravitációs erejét (feltéve, ha van neki), itt a Földön. Hogy meglegjünk a választ, képzeljünk el egy mérleghintát, egy hosszú egyenes deszkát, amely tengelyen billeg és mindkét végén egy gyerek ül. Az egyik gyerek lent van, lábaival a földön. Rúg egyet, s a deszka felemelkedik, a másik vége pedig lehuppan. Amikor a másik gyerek ér a földre, rúg egyet és a mozgás irányt vált. Ezt a gyerekek addig ismételhetik, ameddig akarják.

Tegyük fel azonban, hogy az egyik gyerek sokkal nehezebb, mint a másik. A



súlyosabb gyermek lökhet egyet az ő oldalán, a mérleghinta ettől egy kicsit fölemelkedik, majd ismét a földre érkezik, mivel a könnyű gyermek súlya nem elég ahhoz, hogy lenyomja a hinta másik oldalát és a levegőben tartsa a nehezebb gyereket.

A mérleghinta így nem működne.

A csel akkor az volna, hogy egy a nehezebb gyerekhez közelebb eső ponton kiegyensúlyozzák a mérleghintát. Minél közelebb van a tengely a nehezebb gyerekhez, annál nehezebben tudja az ő felét lenn tartani és annál könnyebben tudja ugyanezt megtenni a könnyebb gyerek, aki távolabb ül a tengelytől. Végül megtalálható egy olyan tengelypont, amely lehetővé teszi, hogy mindkét gyerek leereszkedjék a földre, s akkor a mérleghinta ismét egyensúlyban van.

Ha megmérjük a gyerekek súlyát és mindkettő távolságát a tengelytől, amikor a hinta egyensúlyban van, akkor meglátjuk, hogy ha a nehezebb gyerek kétszer olyan nehéz, mint a másik, akkor ez utóbbinak kétszer olyan távol kell lennie a tengelytől, mint a társának. Tehát, ha az egyik gyerek súlyát ismerjük, de a másikat nem, és megmérjük mindkettő távolságát a tengelytől, amikor a mérleghinta egyensúlyban van, akkor ki tudjuk számítani a másik gyerek súlyát, anélkül hogy ténylegesen megmérnénk. Ez az „emelőkar elve”, amelyet először Arkhimédész (i.e. 287-212) dolgozott ki teljes matematikai részletességgel i.e. 250-ben.

A Föld és a Hold valahogy úgy helyezkedik el, mint a két gyerek a mérleghintán. A Föld gravitációja úgy hat a Holdra, hogy az keringjen körülötte, a Hold gravitációja viszont úgy hat a Földre, hogy az szintén, hajlamos volna a Hold körül keringeni.

Hogyha a Föld és a Hold tömege pontosan megegyezne, akkor ez a két erő is egyenlő volna és mind a Föld, mind a Hold egy olyan pont körül keringene, amely félúton van a Föld és a Hold középpontja között, s a két test a pálya két ellentétes oldalán helyezkedne el.

Ha azonban a Föld tömege nagyobb, mint a Holdé, akkor az a pont, amely körül mindkettő kering, vagyis a „gravitáció középpontja” közelebb kell hogy legyen a Föld középpontjához, mint ahogy a mérleghinta tengelye is közelebb kell hogy legyen a nehezebb gyerekhez. A Föld tömege lényegesen nagyobb, mint a Holdé, úgyhogy a gravitáció középpontja meglehetősen közel van a Föld középpontjához. Olyan közel, hogy egyszerűen úgy tekinthetjük, hogy a Hold kering a Föld körül, a Föld pedig egy helyben áll.

Mindazonáltal, a Föld nem áll egy helyben. Minden hónapban kis kört ír le a gravitáció középpontja körül, és a Föld középpontja mindig a gravitációs

középpontnak a Holdéval ellentétes oldalán van. Meg lehet állapítani, mekkora az a kis kör, amelyet a Föld minden hónapban leír, úgy, hogy a hónap folyamán megvizsgáljuk a csillagok járását. Ahogy a Föld minden hónapban egy kis kört ír le, ugyanúgy a csillagok is egy kis kört írnak le ellenkező irányban.

A Föld-Hold rendszer gravitációs középpontja 81,3-szor olyan közel van a Föld középpontjához, mint a Hold középpontjához. A Föld-Hold rendszer középpontja 4700 km-re (2900 mérföld) van a Föld középpontjától. Ez 1600 km-re van a Föld felszíne alatt, úgyhogy olyan, mintha csak a Hold keringene.

Ez azt jelenti, hogy a Hold tömege  $1/81,3$ -e (vagyis 1,2%-a) a Föld tömegének. Ez lehet hogy nem tűnik soknak, de annyit jelent, hogy a Hold tömege 79 trillió tonna.

Sőt, mivel a Hold tömege kisebb, gravitációs ereje is kisebb. Azt gondolhatják, hogy ha a Holdon állnánk, akkor súlyunk csak  $1/81,3$ -e lenne a földi súlyunknak, de ne feledjük, hogy mivel a Hold kisebb test, mi közelebb volnánk a Hold középpontjához, mint amilyen közel a Föld középpontjához vagyunk a Föld felszínén. Ez megnöveli a Hold felszíni gravitációját, úgyhogy ha a Holdon állnánk, akkor súlyunk a földi súlynak  $1/6$ -a lenne.

Ha ismerjük a Hold tömegét és nagyságát, kiszámíthatjuk a sűrűségét, ami  $3,34 \text{ g/cm}^3$ , csak  $3/5$ -e a Föld sűrűségének. Ebből arra következtethetünk, hogy a Holdnak nem vasból van a magja, mint a Földnek, hanem az egész kőből kell, hogy legyen. Sőt mi több, mivel a Hold kisebb, mint a Föld, középpontjának hőmérséklete alacsonyabb, mint a Föld középpontjáé, és mivel a kő nem olvad olyan könnyen, mint a vas, ezért nyugodtan feltételezhetjük, hogy a Hold középpontjában semmiféle folyékony anyag nincs.

Folyékony mag híján a Hold középpontjában semmi nem kavarghat, és még ha kavargna is valami, a Hold túl lassan forog ahhoz, hogy örvénylés keletkezhetne benne, ebből tehát arra következtethetünk, hogy a Hold nem rendelkezik mágneses mezővel. Amikor szondát küldtek a Holdra, hogy megmérjék mágneses tulajdonságait, rájöttek, hogy ez így is van: a Hold, a Földdel ellentétben, nem mágneses.

Ami a többi bolygót illeti, a Mars elég gyorsan kering, de szintén nem rendelkezik vasmaggal. A Merkúrnak és a Vénusznak van vasmagja, de nagyon lassan keringenek. Ennek eredményeképpen azok sem mágnesesek. (A Merkúr mégis mutat némi mágnesességet, ami zavarbaejtő.)

## **Mi az árapály?**

Bármely pillanatban, a Földnek a Holdra néző oldala kb. 2%-kal közelebb van a Holdhoz, mint a másik oldala. Ez azt jelenti, hogy a Hold felőli oldalra valamivel erősebb gravitációs erőt fejt ki a Hold, mint a másik oldalára. A Föld ezért enyhén megnyúlik azon vonal mentén, amely a Föld és a Hold középpontját összeköti.

A Föld szilárd felszíne ettől nem nagyon változik, de az óceán vizét kisebb erő tartja össze, ezért sokkal jobban kidomborodik, mint a talaj. Ezért két tengervíz-domborulat létezik, az egyik a Hold irányába néz, a másik az ellenkező irányba. Miközben a Föld forog, a víz ellepi a szárazföldet, majd visszahúzódik.

A szárazföldről nézve ilyenkor úgy tűnik, hogy az óceán szintje magasabbra emelkedik, egészen a maximális dagálypontig, azután visszahúzódik a minimális apálypontra, s ez egy nap alatt kétszer ismétlődik.

Tehát, mivel a Hold egyik dagálytól a másikig mozog pályáján, a Föld szárazföldfelszínének egy adott pontján minden 12 és 1/2 órában dagály van.

Ha mindez csak ennyi volna, akkor az emberek már az őstörténeti korban összekapcsolták volna az árapály és a Hold fogalmát. Vannak azonban bonyodalmak. A Nap is létrehoz árapályt, bár annak magassága csak egyharmada a Hold által létrehozott dagálynak, és amikor a Nap és a Hold ugyanazon az egyenes vonalon helyezkednek el telihold és újhold idején, a dagály magasabb, az apály pedig alacsonyabb lesz, mint általában. Amikor a Nap és a Hold merőlegesen állnak, mint félhold idején, az árapály kisebb, mint általában. Azután, annak megítélésében, hogy mikor jön a dagály és milyen magas lesz, sok szerepe van a tengerpart formájának.

Az első nyugati civilizációk a Földközi-tenger mentén éltek, amelyet csaknem teljesen körülzárnak a partok. Dagály idején a víz bezúdult az Atlanti-óceánból a keskeny Gibraltári-szoroson át, de jóval azelőtt, hogy a folyamatnak vége lett volna, érkezett az apály, és a víz elkezdett visszahúzódni.

A következő néhány órában, hogy ez befejeződött volna, ismét érkezett a dagály, így végül is a Földközi-tenger vízszintje igen csekély mértékben változott.

Kb. i.e. 300-ban Pytheas (kb. i.e. 330-?) görög felfedező első ízben hagyta el a Földközi-tengert. Az Atlanti-óceánon át elhajózott a Brit szigetekig és Skandináviáig, és időközben rábukkant az árapályjelenségre. Beszámolt az eseményről, és úgy vélekedett, hogy annak valami köze van a Holdhoz. Nem méltatták azonban sok figyelemre. Amikor Julius Caesar hadjáratot vezetett Britanniába, hajói odavesztek egy váratlan dagály miatt. Caesar gyorsan

korrigálta tévedését.

Nehéz volt elfogadni a Holddal való kapcsolatot, amíg nem értették a gravitáció fogalmát. Galilei pl. aki többnyire tévedhetetlen tudós volt, nevetett minden olyan feltételezésen, amely szerint a Hold hatással lett volna a Földre, és úgy gondolta, hogy a dagály pusztán az óceán kilöttyenése, amely a Föld forgásának következménye. Az árapály jelensége csak 1687-ben vált teljesen érthetővé, amikor Newton megalkotta az egyetemes gravitáció törvényét.

### **Hogyan hat az árapály a Földre?**

Az árapály rendkívül fontos a hajózás szempontjából. Amikor elérkezik a dagály, mélyebb lesz a víz a kikötőkben, és kevésbé valószínű, hogy a jól megrakott hajók megfeneklenek, zátonyra futnak, szirtnek vagy sziklának ütődnek. A hajók tehát a dagály szerint indulnak, és ha bármely oknál fogva nem indulhatnak a megfelelő időben, várniuk kell a következő dagály eljövetelére, akárhogy sietnek is.

Innen ered a mondás: „az idő és a dagály senkire sem vár”.

Van azonban az árapálynak egy fontosabb, bár kevésbé érzékelhető hatása. Miközben a Föld mindkét oldalán lezajlik az árapály-folyamat, a nagyon sekély tengerrészekben a víz és köves, homokos tengerfenék között nagyon jelentős súrlódás lép fel. A hullámok még nagy mélységben is felkavarják a víz alatt leülepedett anyagokat.

Ez a súrlódás ugyanúgy hat, mint egy autó fékbetétjének súrlódása, és a bolygót fékező hatás éri. A Föld mozgása azonban olyan erőteljes, hogy ez a fékhatás elenyésző. Tulajdonképpen az árapály következtében a nap hosszúsága csupán egy másodperccel nő minden 62 500 évben.

Noha a teljes lerövidülés nagyon lassú, mégis felhalmozódik. Még évente néhány tized másodperccel több is azt jelenti, hogy egy teljes napfogyatkozás során keletkezett árnyék – amely, mindig ugyanarra a helyre vetődne, ha a nap hosszúsága a másodperc töredékéig mindig ugyanannyi volna – száz kilométerrel az előző napfogyatkozás árnyéka mögött helyezkedne el. A korábbi napfogyatkozások eltolódásából következtethetünk a nap időtartamának lassú növekedésére.

A Föld forgómozgásának fékeződése azonban, a tapasztalat szerint másban is megmutatkozik. A Föld forgása következtében forgónyomatékkal rendelkezik, amelyet nem lehet teljesen megszüntetni. Ha a Föld forgómozgása lassul, akkor a Hold forgómozgásának gyorsulnia kell úgy, hogy miközben a nap hosszúsága

növekszik, a Hold kissé távolabb húzódik a Földtől és nagyobb pályán mozog körülötte.

Természetesen a Föld is árapályt okoz a Holdon. Mivel a Föld 81,3-szer akkora tömegű, mint a Hold, lényegesen nagyobb árapálymozgást idéz elő (bár a Hold kisebb mérete enyhíti kissé a hatást). A Holdnak kisebb a forgónyomatéka, mint a Földnek, és forgását könnyebb fékezni, amikor az árapályhatás következtében a felszín sziklái odanyomódnak az alsóbb rétegekhez. Ennek következtében a Hold mozgása annyira lelassult, hogy mindössze egyszer fordul meg, miközben egyszer körbejárja a Földet. Ez annyit jelent, hogy csak egyik oldala néz a Föld irányába, úgyhogy a Föld felé eső és azzal ellentétes oldal árapálya egy helyen rögzült, és a Föld árapályhatása nem csökkenti tovább a sebességét. Így nem véletlen, hogy a Hold tengely körüli forgása ugyanannyi időt vesz igénybe, mint a Föld körüli forgása, s ez az árapályhatás következménye.

### **Van-e élet a Holdon?**

A kérdés vizsgálata közben először arra kell válaszolnunk, mit értünk életen. A Földön az élet minden formája – bármennyire különbözőnek tűnnek is – ugyanazokból az elemekből épül fel, és létüknek ugyanazok az alapvető feltételei. Ezek alkotják a „mi életünket”, vagyis az „általunk ismert életet”.

Lehet, hogy van másfajta élet is, amely alapvetően különbözik ettől, más a vegyi összetétele, mások a működési feltételei és a természet is minden szempontból annyira más, mint a Földön lévő, hogy amikor szembe találkozunk vele, talán nem is jövünk rá, hogy ez is élet.

Nem tudunk semmit ezekről a másfajta életéről, még azt sem, hogy lehetséges-e számukra a létezés, ezért érdemben nem is tárgyalhatunk róluk. Valójában tehát nem azt a kérdést kell feltennünk, hogy „Van-e élet a Holdon”, hanem hogy „Létezik-e az általunk ismert élet a Holdon?”

Amint rájöttek, hogy a Hold bolygó, többé-kevésbé biztosra vették, hogy van rajta élet, még értelmes élet is. Az összes többi égitestre ez vonatkozott, amikor kiderült róluk, hogy bolygók. Korábban az volt az általános elképzelés, hogy minden bolygó azért van, hogy élet legyen rajta és hogy az a bolygó, amelyen már nincs élet, már elpusztult, elpusztult bolygók pedig nem léteznének. Ez azonban csak egyike azoknak a dolgoknak, amelyekről azt hisszük, hogy úgy „kell” lenniük. Meg tudjuk mondani, hogy van-e élet a Holdon, anélkül hogy figyelembe vennénk saját érzelmeinket arra vonatkozóan,

hogy mi kellene és mi nem kellene hogy legyen? Ne feledjük, hogy az 1960-as évekig nem is tudtunk felmenni a Holdra, hogy ténylegesen megnézzük.

Nem is volt rá szükség, hiszen innen a Földről is mindent tudtunk. Vegyük pl. a Holdon kivehető alakzatokat, amelyekről Galilei, teleszkópja segítségével megmondta, hogy hegyek, kráterek és síkságok. Azok az alakzatok soha nem változtak. A Holdat néha eltakarták a Föld körüli felhők, egy tiszta éjszakán azonban a foltokat soha nem homályosították el a Hold felhői. Lehetséges volt tehát, hogy a Hold olyan világ, mint a Föld, de felhők sosem voltak körülötte, ami arra utalt, hogy a Holdon nincs levegő, amelyben felhők keletkezhetnének.

Ez minden bizannyal igaznak tűnt. Időnként, amikor a Hold átvonult az égen, elment egy csillag előtt. Ha légkör venné körül a Holdat, akkor miközben a Hold közelítene a csillaghoz, a csillag átvilágítana a Hold atmoszféráján és lassan egyre halványabbá válna, amíg végül el nem tűnne a Hold mögött. Ez azonban nem így történt. A csillag végig egyformán ragyogott, amíg a Hold mögé nem került. Nem volt atmoszféra, amely elhalványította volna.

Ezenkívül, ha a Hold napsütötte oldalát nézzük, akkor látjuk a világos és a sötét részek közötti határt. Ha légköre volna, akkor ez a határ homályos lenne, mint a Földön virradatkor. A Holdon azonban éles a határ, nincs szürkületi homály, tehát nincs légkör sem.

Miért nincs a Holdnak légköre? A Hold tömege kisebb, mint a Földé, és ezért gravitációs ereje is kisebb. A Hold gravitációs ereje csak egyhatoda a Földének, s így nem elég ahhoz, hogy megtartsa az atmoszférát. Ha a Holdnak volt is valaha légköre, már réges-rég elsodródott az űrbe.

A Holdon nincsenek vizek, óceánok, tavak, folyók sem. Ha volnának, akkor a víz elpárologna a forró napsütésben, és a Holdnak, még annyi gravitációs ereje sem volna, hogy a párát megtartsa. Ha tehát volt is valaha a Holdon víz, mostanra már mind elpárolgott. Amikor Galilei először nézte meg a Holdat, azt gondolta, hogy a sötét foltok tengerek, s még ma is néha úgy nevezik őket. Amikor azonban közelebbről szemügyre vették, kiderült, hogy a „tengereken” kráterek és egyéb vonások is voltak, amelyek egy valódi tengeren nem lehetnének. Inkább ősi vulkáni tevékenységből származó lávafolyamoknak tűnnek tehát. Mivel könnyen megállapíthatjuk, hogy a Holdon nincs levegő és víz, nem valószínű, hogy az általunk ismert élet ott létezik. A Holdat tehát halott világnak tekintették, még az 1600-as években is.

Természetesen ez csak annyit jelent, hogy a Holdon nem léteznek összetettebb életformák. Lehet, hogy a talajon itt-ott található kisebb levegős és vizes területek és hogy nagyon egyszerű élőlények, mint pl. a baktériumok ott is

élhetnek, ennél több azonban biztos hogy nincs.

Az emberek mégsem adták fel azt az elképzelést, hogy az egész világon élet kell hogy legyen és hogy egy halott világ csak pazarló rendellenesség. 1835-ben Richard Adams Locke (1800-1871) cikksorozatot írt a New York-i Sun című újságban arról, hogy az élet fejlett formáit fedezték fel a Holdon. Ez pusztán fikció volt, de a közönség elhitte, és rövid időre a Sun lett a világ legolvasottabb folyóirata. Ha az emberek valamit el akarnak hinni, akkor a bizonyítékok ellenére is elhiszik azt. A „Hold-kacsa” sikere ellenére azonban a Hold kezdeti teleszkópos vizsgálatából elég világosan kiderült, hogy halott világok is létezhetnek, illetve léteztek.

### **Mitől jöttek létre a Hold kráterei?**

A Hold legjellegzetesebb vonalai a kráterek, a felszín kör alakú bemélyedései, amelyeket olykor 150 km vagy annál is szélesebb hegyvonulatok vesznek körül. Ha elgondolkozunk rajtuk, könnyen elképzelhetjük kialakulásuknak két különböző módját is. A pusztá tény, hogy „kráter”-nek nevezzük őket (a latin „csésze” jelentésű szóból, mivel olyan üregesnek látszanak, mint egy csésze), felidézi számunkra a vulkanikus krátereket és lehet, hogy történetének korai szakaszában a Holdon nagyon sok vulkán volt, és az összes kráter ma már kialudt vulkánokat jelez. A másik lehetőség az, hogy a kráterek akkor alakultak ki, amikor hatalmas meteoritok csapódtak be a Hold felszínére.

Galilei idejében (és még utána is néhány évszázadig) az emberek nem tapasztaltak meteorit-bechapódásokat, viszont mindent tudtak a vulkánokról. Ezért biztosra vették, hogy a Hold kráterei vulkanikus eredetűek voltak. A kráterek sokkal nagyobbak voltak, mint a Földön lévő vulkáni kráterek, de a Hold felszíni gravitációja annyival kisebb volt, mint a Földé, hogy egy vulkanikus kitörés a Holdon sokkal több anyagot kilövellt, mint egy ugyanolyan erősségű vulkáni robbanás a Földön. A kráterek még akkor sem tűntek meteorit eredetűnek, amikor a csillagászok már tudomást szereztek a meteorit-bechapódások létezéséről. Hogyha meteoritok csapódnának be, azok minden irányból érkeznének, és ha a Holdnak egy lejtőjét találnák el, ami csaknem minden esetben úgy történne, akkor ellipszis alakú krátert vájnának ki. A vulkanikus kráterek viszont mindig kör alakúak, és a Hold kráterei is ilyen formájúak.

Az első ember, aki komolyan megkérdőjelezte a Hold krátereinek vulkáni eredetét, Grove Karl Gilbert (1843-1918) amerikai geológus volt, aki az

1890-es években azzal érvelt, hogy a Hold krátereit teljesen más alakúak, mint a Föld krátereit. Sőt mi több, a Föld krátereit csaknem mindig hegycsúcson vannak, míg a Hold-kráterek a felszínen képződtek. Azt azonban nem tudták megmagyarázni, hogy a kráterek miért inkább kör, mint ellipszis alakúak.

Forest Ray Moulton (1872-1952) amerikai csillagász végül 1929-ben megtalálta a magyarázatot. Rámutatott arra, hogy a meteoritok 30 km/sec sebességgel csapódtak be a Holdba, és egy ilyen erejű becsapódás szinte robbanást idézett elő a Hold felszínén. Nem annyira a becsapódás, mint ez a robbanás alakította ki a krátereket, és a robbanás, akár a vulkánkitörés, mindig kör alakú krátert hozott létre. Azután általában a meteorit-becsapódást fogadták el, mint a kráterek kialakulásának okát. A tudósok most úgy vélik, hogy a naprendszer bolygóiból leváló kisebb nagyobb anyagdarabok becsapódásából keletkeztek a Holdon a manapság látható kráterek.

Nem valószínű, hogy csak a Holdon volnának ilyen becsapódási jelek, és az 1960-as években elkezdett rakétakísérletek azt mutatták, hogy minden levegő nélküli világban vannak ilyenek. A levegővel rendelkező bolygókon a kráterek szétmállhatnak, mint ahogy a folyó víz, az élet különböző mozgásai, a mozgó gleccserek, a folyó láva stb. is lekoptathatja őket. Ezért tűnik úgy, hogy a Földön nincsenek kráterek, bár amint majd később kifejtem, a meteoritok becsapódásának a Földön is számtalan jele van.

### **Hogyan alakult ki a Hold?**

Korábban leírtam, mit gondolnak ma a naprendszer kialakulásáról.

Az a magyarázat azonban nem old meg minden kérdést, azt sem, amelyik Holdunkra vonatkozik.

Hogyan is alakult ki?

Általában a mellékbolygók (holdak) sokkal kisebbek, mint azok a bolygók, amelyek körül keringenek: Ezért kisebb bolygók egyáltalán nem rendelkeznek holdakkal (mellékbolygókkal), vagy csak nagyon kicsikkel.

A Merkúrnak és a Vénusznak nincsenek mellékbolygói, a Marsnak pedig kettő van, bár igen aprók, csak néhány kilométer átmérőjűek.

1978-ban James Christy amerikai csillagász rájött, hogy a legtávolabbi ismert bolygónak, a Plutónak van holdja (mellékbolygója), a Charon, amelynek tömege a Pluto tömegének 10%-a. A Pluto azonban igen kicsi, kisebb, mint a Hold, s a Charon természetesen még kisebb.

A Jupiternek, a Szaturnusznak, az Uránusznak, a Neptunusznak számos holdja



(mellékbolygója) van, ezek a bolygók azonban sokkal nagyobbak, mint a Föld. A külső bolygókhoz tartozó mellékbolygók némelyike olyan nagy, hogy átmérője 3000-5500 km is lehet, vagyis a Holdnál vagy valamivel kisebbek, vagy sokkal nagyobbak. A Jupiternek négy ilyen hatalmas mellékbolygója van, míg a Szaturnusznak és a Neptunusznak egy-egy. Ezzel együtt, ezek az óriási holdak (mellékbolygók) kicsik és könnyűek azokhoz a hatalmas bolygókhoz képest, amelyek körül keringenek.

A Föld, bár kis bolygó, mégis van egy nagy mellékbolygója (holdja), amely hozzá viszonyítva nagyobb, mint az óriás bolygók bármely mellékbolygója. A Hold tömege a Föld tömegének 1,2%-a, úgyhogy a Föld-Hold rendszer szinte kettős bolygónak látszik.

Az első ember, aki tudományosan vizsgálta a Hold keletkezésének kérdését, George Howard Darwin (1845-1912) angol csillagász volt, aki az árapállal foglalkozott.

Korábban már említettem, hogy az árapály súrlódásának következtében a Hold nagyon lassan, egyre távolodik a Földtől. Ez annyit jelent, hogy tegnap a Hold egy kicsit közelebb volt a Földhöz, mint ma és még közelebb volt tavaly és még annál is közelebb egy évszázaddal ezelőtt. Tény, hogy ha nagyon messzire nézünk a múltba, akkor valóban bizonyára nagyon közel volt a Földhöz. Abban az esetben pedig, amint Darwin gondolta, a Föld és a Hold valamikor egyetlen testet alkottak.

Ez a Föld-Hold ugyanakkora impulzusnyomatékkal rendelkezett, mint most külön-külön a két bolygó, úgyhogy bizonyára nagyon gyorsan mozgott és lehet, hogy ez a gyorsan forgó test ellökte magától legkülső részét s abból alakult ki a Hold. Azután az árapálysúrlódás tovább mozgatta, s így érte el jelenlegi helyét. Egy ideig nagyon jónak tűnt ez a feltételezés. Mivel a Hold sűrűsége csak 3,34 gramm/cm<sup>3</sup>, valószínűleg szilárd kő lehet, s nem rendelkezik folyékony vas-maggal, mint a Föld. Ez így logikusnak hangzik, mivel a Hold a Föld külső, sziklás felszínéből alakulhatott ki, nem pedig belső magjából.

Azután Darwin arra is rámutatott, hogy éppen olyan széles, hogy beleférne a Csendes-óceánba, úgyhogy lehet, hogy a Földnek abból a részéből szakadt le. A Csendes-óceán körüli vulkánok és földrengések olyan „sebhelyek” lehetnek, amelyek ebből az erőteljes kilökődésből maradtak meg.

Sajnos, bármennyire jól hangzik is, Darwin elmélete nem helytálló. Manapság már tudjuk, hogy a Csendes-óceán jellegzetes alakja fokozatosan változik, és hogy sem annak, sem pedig a peremén lévő vulkánoknak és földrengéseknek nincs közük a Holdhoz. Ezenkívül, ha kiszámítjuk a feltételezett Föld-Hold

égitest teljes impulzusnyomatékát, kiderül, hogy az csak negyed akkora, mint amekkora a külső kéreg elszabadulásához szükséges volna. Részben ezért, részben más okok miatt, a csillagászok már eléggé biztosak abban, hogy Darwin elképzelése, amely szerint a Hold a Földből szakadt ki, téves.

Akkor tehát úgy tűnik, hogy a Föld és Hold már kezdettől fogva külön fejlődtek, s ebből két lehetőség adódik. Az első az, hogy mind a Föld, mind a Hold ugyanabból a gáz- és porfelhőből jöttek létre, amelyből az összes többi bolygó is kialakult, de valami miatt kettős bolygót alkottak, nem pedig egyet. A másik lehetőség az, hogy eredetileg két különálló bolygó alakult ki két különálló felhőből. A Hold azonban olyan pályán mozgott, hogy fokozatosan egyre közelebb került a Földhöz, és amikor elég közel került, a Föld gravitációja megragadhatta.

Az a gondolat, hogy a Föld és a Hold ugyanabból a por- és gázfelhőből alakult volna ki, azért nem tűnik valószínűnek, mert abban az esetben mindkettő kőből és fémből állna és a Holdnak is volna fémmagja, akárcsak a Földnek, de nincs neki. Másrészt viszont, ha a két égitest két különböző felhőből alakult volna ki, akkor az, amelyikből a fémmaggal rendelkező Föld képződött, nagyobb és vasban gazdagabb kellett, hogy legyen, míg a másik, amelyikből a kisebb, csupa szikla Hold alakult ki, nyilván kisebb és fémben szegényebb volt. A csillagászok azonban nem tudtak olyan elméletet kidolgozni, amelyben bebizonyíthatók volna, hogy a Föld magához ragadhatott egy akkora testet, mint a Hold.

A három javasolt elképzelés közül tehát – a Darwin szerinti gyors forgás, az egy por- és gázfelhőből kialakult két bolygó vagy a két felhőből kialakult két égitest és a gravitáció – egyik sem kielégítő magyarázat a Hold létezésére. Az egyik rosszkedvű csillagász erre azt válaszolta, hogy ha egyik magyarázat sem igaz, akkor egyetlen dolog lehetséges, hogy a Hold nem is létezik.

A Hold azonban mégis létezik, úgyhogy a csillagászoknak tovább kellett gondolkodniuk. 1974-ben William K. Hartmann (1939- ) egy negyedik alternatívát javasolt. Visszatért a Darwin-féle Föld-Hold keletkezés modellhez, és azt mondta, hogy a Hold leszakadása nem annak a testnek a forgásából adódott. Ehelyett valami sokkal merészebbet gondolt: a bolygórendszer kialakulásának első néhány millió évében bizonyára nagy káosz uralkodott. A bolygók kis anyagdarabokból épültek fel, és egy ideig sokkal több mellékbolygó létezett, mint ma, s azok gyakran összeütköztek. Az összeütközések következtében a nagyobb testek növekedni kezdtek a kisebbek rovására, amíg végül kialakultak a mai bolygók, az űr többi része pedig

nagyjából kiürült. Egy másik bolygó került a Föld vonzáskörzetébe, amelynek tömege valószínűleg csak a Föld tömegének egy tizede lehetett. (Ez több mint 4 milliárd évvel ezelőtt történhetett, amikor az élet a Földön még nem kezdődött el. Ha az élet kialakulása után történt volna az ütközés, bizonyára elpusztította volna, és az általunk ismert életnek újra ki kellett volna alakulnia.) A két fémmaggal rendelkező test bizonyára összeolvadt volna, de a sziklás külső réteg egy része lehet hogy kirobbant az ürbe, és így alakult ki a Hold. Ez választ ad az első három elmélet hiányosságaira. Először figyelemre sem méltatták Hartmann elképzelését, de 1984-ben, amikor számítógépen modellezték a két terjedelmes test összeütközését, úgy tűnt, hogy az elképzelés nem alaptalan, és most egyre inkább elfogadottá válik.

### **Eljuthatunk a Holdra?**

Mivel már megtettük, a válasz igen, de már jóval azelőtt, hogy elérésének bármely módja létezett volna, fantáziadús emberek már írtak a Holdon tett utazásokról.

Ezek először egyszerű fantáziaszülemények voltak az olvasók szórakoztatására, és gyakran nem is törekedtek arra, hogy realiztikusan fessék le a Holdat. Végül is régen tulajdonképpen semmit sem tudtak az igazi Holdról, és csak úgy kezelték, mint egy távoli országot, Indiát vagy Etiópiát.

Az első ismert leírást Lukianosz (kb. 120-kb. 180) görög író készítette a holdutazásról. A kb. 165-ben írott történet arról szólt, hogy a hős madárszárnyak segítségével elrepült a Holdra. Később írt egy másik mesét, amelyben a hőst forgószél viszi a Holdra. 1532-ben Ariosto (1474-1533) olasz költő megírta „Orlando furioso” (Őrjöngő Lóránt) című eposzát; amelyben a hős ugyanazon a hintón jut el a Holdra, amely Illés prófétát vitte a Bibliában. Johannes Kepler hőse álmában jutott el a Holdra, s ő volt az első, aki realiztikus leírást próbált adni a Holdról, s említést tett a kéthetes nappalokról és a kéthetes éjszakákról.

Még jobban divatba jöttek a holdutazások, amikor Galilei teleszkópja megmutatta, hogy valóságos világról van szó. 1638-ban jelent meg az akkor már elhunyt angol író, Francis Godwin (1562-1633) „Man is the Moon” (Ember a Holdon) című könyve, amelyben a főhős hatalmas madarakhoz kötött járművön jutott el a Holdra. Ezek az útleírások mind azon alapultak, hogy a Föld és a Hold közötti teret levegő tölti ki, ami akkoriban magától értetődött. A Földön mindenütt levegő volt, még a hegyek csúcsán is. Miért ne nyúlt volna

tehát ez a levegőréteg a végtelenbe? 1643-ban a következő módon jöttek rá, hogy ez nem így van.

A vizet fel lehet pumpálni a mélységből, de csak kb. 10 méterig és nem tovább. Galileit ez elgondolkodtatta, és 1643-ban megbízta egyik tanítványát, Evangelista Torricelli (1608-1647) olasz fizikust, hogy vizsgálja meg ezt a dolgot.

Torricellinek úgy tűnt, hogy pumpálásakor levegő szívódott ki a pumpa hengeréből, amely lenyúlt a forrásvíz felszíne alá. Úgy tűnt, hogy a forrásvízre nyomást gyakoroló levegő felnyomja a vizet a hengerben, amint abból kiment a levegő egy része, és miközben a pumpa tovább működött és egyre több levegő távozott, a víz egyre magasabbra és magasabbra nyomult a hengerben. Amikor a víz elérte a 10 métert, úgy látszott, hogy a vízoszlop ugyanakkora nyomást gyakorol kifelé mint amekkorát maga a levegő. A két nyomás, vagyis a forrásvíz felszínét nyomó levegőoszlop nyomása és a pumpa hengerében lévő vízoszlopé egyenlőnek tűnt, és a víz nem emelkedett tovább.

Elméletének ellenőrzéséhez Torricelli higanyt használt, amelynek sűrűsége kb. 13,5-ször akkora nyomást kellett hogy kifejtson, mint egy ugyanolyan hosszúságú vízoszlop. Ha a levegő nyomása 10 méter vizet tud fenntartani, akkor higanyból csak kb. 0,76 m-t tud fenntartani. Torricelli megtöltött egy 1,2 m hosszú üvegsövet higanyal, lezárta a nyílását, felfordította és belemártotta egy nagy, higanyal telt tálba. Amikor kinyitotta a csövet, a higany szintje süllyedni kezdett benne, de nem teljesen: 0,76 m magas higanyoszlop maradt benne. A higany nyomása nyilvánvalóan egyenlő volt a levegőével (amely megegyezett egy olyan levegőoszlop súlyával, amelynek átmérője ugyanakkora volt, mint a higanyoszlopé és a légkör felső határáig ért).

Ez először is azt bizonyította, hogy a levegő súllyal, tehát tömeggel rendelkezik és bár vékonyan terül szét, mégis anyag. Másrészt pedig az a tény, hogy a levegőoszlop csak 0,76 m higanyt tartott fenn, azt mutatta hogy nyomása véges, tehát a súlya is az úgyhogy pontosan meg lehet határozni adott térfogatú levegő súlyát és sűrűségét. Egy  $\text{cm}^3$  levegő sűrűsége 0,0013 gramm, ami 1/770-e a víz sűrűségének. Ha tehát a levegő sűrűsége mindenhol azonos, akkor a légkör vastagsága 8 km.

Tény azonban, hogy a levegő sűrűsége nem mindenhol ugyanakkora. A felső rétegek nyomást gyakorolnak az alsóbb rétegekre, és mivel a levegő sokkal könnyebben összenyomható, mint a kő, az alacsonyabb rétegek sokkal sűrűbbek, mint a magasabbak. Ezt Blaise Pascal (1623-1662) francia fizikus bizonyította be, aki 1648-ban felküldte sógorát egy hegyre, higanycsövekkel a

kezében. Ha a levegő sűrűsége végig ugyanannyi lett volna felfelé, akkor egy mérföld magasságban a higanyoszlop magassága csak  $\frac{4}{5}$  volna (0,61 m) a tenger szintjénél mért magasságának. A higanyoszlop alacsonyabb lett, de nem olyan gyorsan. Miközben az illető felfelé ment, a levegő ritkább lett és jobban kiterjedt úgyhogy a légkör vastagsága nagyobb volt, mint gondolták.

Ha valaki feljutna 160 km magasra, olyan kevés levegő maradna fölötte, ami gyakorlatilag elenyésző. Kiderült tehát, hogy amikor az ember a Földről a Holdra utazik, a távolság 99,95%-át vákuumban teszi meg. Tulajdonképpen tehát, egy nagy test közvetlen környezetétől eltekintve, az űr vákuum, s csak egészen apró anyagi részecskéket tartalmaz.

Ha ezen elgondolkodunk, belátjuk, hogy ez minden bizonnyal igaz. Ha levegő töltené be a világegyetemet, mint ahogy Toricelli előtt gondolták, akkor a Hold és a többi égitest a levegőn keresztülhaladna, s ezért folyamatosan veszítené energiájából, amint azt félrelökné. A Hold mozgása lelassulna, s a Hold fokozatosan leesne a Földre, de közben a Föld sebessége is csökkenne, ezért az lassan a Napra hullana. Az egyetlen oka tehát annak, hogy az űrben lévő tárgyak a pályájukon maradnak, az, hogy légüres térben mozognak, és közben tulajdonképpen nem veszítenek energiájukból.

Az a tény, hogy a távolabbi űr vákuum, nehézségeket jelent a holdutazás szempontjából. A Holdat nem lehet repülő madarakkal vagy vízihajtással elérni, és varázshintókra és álmainkra sem számíthatunk. Az egyetlen ismert módja annak, hogy a vákuumon átjussunk, a rakétatechnikán alapul: 1687-ben, Newton egyik mozgástörvényében kifejtette, hogy ha egy tárgy tömegének egy részét egyik irányba lökjük, akkor a tömeg másik része ellenkező irányba mozog (ez a hatás-ellenhatás törvénye). Ezért, ha egy jármű bizonyos mennyiségű, forró gázzá alakítható anyagot tartalmaz és ezek a forró gázok egy szűk nyíláson át, nagy sebességgel távozhatnak lefelé, akkor a jármű felfelé fog mozogni, és megfelelő sebesség elérésekor elhagyhatja a Földet.

1650-ben Cyrano de Bergerac (1619-1655) „Voyage to the Moon” (Utazás a Holdra) című könyvében a Hold elérésének hét módját nevezte meg. Ezek közül hat pusztán képzelődés is és valószínűleg nem is működőképes, a hetedik azonban a rakétautazás volt, 37 évvel azelőtt, hogy Newton megfogalmazta az elvet. 1926-ban Robert Hutchings Goddard (1882-1945) amerikai fizikus felépítette és útjára bocsátotta az első modern folyékony üzemanyag meghajtású rakétát. Ez apró dolog volt, de megmutatta az utat, s 1969. július 21-én Neil Alden Armstrong (szül. 1930) amerikai űrhajós, az első emberként a Holdra lépett.

A holdutazások során hamarosan bebizonyosodott, hogy a Holdon valóban nincs levegő, víz és élet. Nem volt jele annak, hogy a legegyszerűbb mikroszkopikus élet létezne, vagy valaha is létezett volna a Holdon.

A Hold kőzetét azután megvizsgálták a Földön. Mivel a Hold kisebb, mint a Föld, és középpontjának hőmérséklete alacsonyabb, ezért mérsékeltabb volt a felszínén a vulkáni tevékenység. A holdkőzetekből kialakult formációk nagyon hosszú idő alatt sem változnak meg, ellentétben a Földdel. 4,2 milliárd éves kőzetet találtak, ami fél milliárd évvel idősebb, mint a Föld legöregebb létező kőzete.

### **Mi a meteorit?**

Bárki, aki sötét éjszakákon az eget nézegeti, néha láthatja, amint megjelenik, majd eltűnik egy fénycsóva. Ez éppen úgy néz ki, mintha egy csillag elmozdult volna a helyéről, és lezuhant volna a Föld felszínére. A jelenséget a köznyelvben „hulló csillagnak” hívják.

Már az ókori görögök megfigyelték, hogy bármennyi hulló csillagot látnak is, az ismert fix csillagok közül soha egyik sem hiányzik az égről. A hulló csillag tehát bármi lehetett, csak valódi csillag nem. A görögök úgy küszöbölték ki a magyarázat szükségességét, hogy egyszerűen meteoroknak nevezték őket (a görög szó jelentése tárgy a levegőben, ami éppen olyan, mintha azonosítatlan repülő tárgyaknak, vagyis UFO-knak neveznék őket).

Ma már tudjuk, hogy a meteorok gombostűfejnyi nagyságú, vagy annál is kisebb dolgok. A közelben az űr tele van ilyen részecskékkel (azt mondhatjuk, hogy az űr „poros”, és ha az egyik ilyen részecske a Föld közelébe jut, összenyomja maga előtt a levegőt. Az összenyomott levegő addig növeli a részecske hőmérsékletét; amíg az ragyogva és gőzölögve még kisebb porrészecskékké nem hullik szét. Az ilyen por nem az ellenségünk, sőt rendkívül hasznos, mert vízcseppek gyűlnek köréje, és így elősegíti az eső létrejöttét, ami nélkülözhetetlen a földi élet számára. (Azt a kérdést, hogy honnan jön ez a por, a későbbiekben tárgyaljuk.)

Vannak azonban olyan földre hulló törmelékek, amelyek jóval nagyobbak, mint egy gombostűfej. Némelyik akkora, hogy túléli a légkörön át megtett útját, és egyben maradvány csapódik be a földre. Az ilyen nagyobb törmelékdarabokat, amelyek áthaladnak a légkörön, meteoridoknak nevezik, a földre hulló darabokat pedig meteoritoknak.

A meteoritoknak kb. 10%-a nikkell és vas összetételű, s amint már korábban

leírtam, ebből következtek a tudósok először arra, hogy a Föld magja is nikkeltől és vasból áll.

Az ókoriak néha nikkelt-vas meteoritokra bukkantak, amikor még nem tudták, hogyan kell vasat olvasztani a vasércből. Ez a különösen kemény vas, (nikkeltel ötvözve) nagy ajándék volt, s hatalmas értéke volt, mert jobb, keményebb, erősebb és élesebb fegyvereket lehetett belőle készíteni, mint bármi másból, ami a rendelkezésükre állt. Így az Iliászban említett vasdarab, ami ajándékként érkezett Patroculus temetési szertartásán, kétségtelenül egy meteorit volt. Lakottabb területeken azonban már nincsenek ilyen meteoritok, mert már mindet összeszedték.

Néha látható, amint egy meteorit leesik. Hipparkhosz görög csillagász a II. században hallott valakiről, aki állítólag tanúja volt egy meteorit lehullásának, s azt valószínűleg égi jelnek tekintették. Egy lehullott meteoritot tiszteltek az ókorban Artemisz templomában Ephesosban és a mekkai Kába síremlék fekete köve is valószínűleg egy lehullott meteorit.

Az újkor kezdetén nem hittek az égből érkező kövek történeteiben. Egy amerikai kémiaprofesszor, Benjamin Silliman (1779-1864) és egyik munkatársa arról számoltak be, hogy láttak egy ilyen meteorithullást 1807-ben. Thomas Jefferson (1743-1826), az Egyesült Államok akkori elnöke, aki kiváló tudós volt, úgy vélekedett, hogy könnyebb elhinni, hogy két jenki professzor hazudik, mint hogy kövek hullanak az égből. (Könnyű azért gúnyolni a tudósokat, hogy felületesek és szkeptikusak, de biztonságosabb megvárni, amíg elegendő bizonyíték felhalmozódik egy népszerűtlen állásponttal kapcsolatban, mint túl mohón elfogadni új gondolatokat és tudományos erőt pazarolni kelekótya dolgokra mindenféle irányban.)

Voltak olyan tudósok, akik a kisebbség álláspontját fogadták el. Ernst F. F. Chladni (1756-1827) német fizikus 1794-ben kiadott egy könyvet, amelyben azt állította, hogy valóban hullanak kövek az égből, és még gyűjtött is olyan tárgyakat, amelyekről azt állították, hogy úgy estek le. 1803-ban újabb hasonló jelenségekről számoltak be Franciaországban. Ennek hatására Jean Baptiste Biot (1774-1862) francia fizikus kutatásba kezdett, s végül meggyőzte a tudományos világot arról, hogy valóban léteznek meteoritok.

Azóta is nagy gonddal tanulmányozzák őket, mivel 1969-ig a meteoritok voltak az egyedüli elérhető nem-földi anyagok. Másrészt pedig nagyon aprók voltak, és már végtelen hosszú idő óta léteztek az űr vákuumában, úgyhogy nagyon valószínűnek tűnt, hogy nem változtak vagy módosultak keletkezésük óta. Néhány meteoritról kiderült, hogy 4,6 milliárd éves, idősebb, mint bármi, amit

a Földön vagy a Holdon változatlanok találtak és ez a 4,6 milliárd év az a kor, amely megadja a naprendszer születésének idejét, beleértve a Napot, a Holdat és a Földet is.

### **Veszélyeztethetik-e a meteoritok az életet és értékeinket?**

Természetesen igen. Nem kell sokat gondolkodni ahhoz, hogy rájövünk, hogy ha a Földre vaktában kő- és fémdarabok zuhannak, akkor előbb vagy utóbb eltalálnak valakit. Bár tudnak olyanról, hogy a meteoritok házakat, sőt autókat eltaláltak, arról azonban nincs hír, hogy valakit megöltek volna: ésszerű feltételezésnek tűnik azonban, hogy ez csak idő kérdése.

A Föld hatalmas célpont, úgyhogy sokkal valószínűbb, hogy egy meteorit az óceánba, a sivatagba, az erdőbe vagy egy szántóföldre esik, mint egy emberre vagy egy városra. Az emberek száma azonban nő, a városok is egyre nagyobbak, és a Föld egyre inkább tele lesz ember alkotta építményekkel, így a célpont is egyre nő, és esetleg egy hulló meteorit majd tragédiát is okozhat.

Természetesen minél nagyobb a meteorit, annál nagyobb kárt okozhat, de a nagy meteoritok ritkábbak, mint a kicsik. A történelem legnagyobb ismert becsapódása 1908-ban volt, amikor egy nagy méretű tárgy hullott le Szibéria közepén, és 32 km-es körzetben az erdő összes fáját elpusztította. Megölt egy szarvascsordát is, de mivel nem volt lakott terület, emberi életben nem esett kár. Úgy 25 000 évvel ezelőtt egy meteorit, amely még nagyobb lehetett, leesett a mai Arizona területén, és kivájt egy 0,8 km-es krátert. Szerencsére, mivel sivatagban van és nem hatott rá víz vagy ember, a kráter még mindig látható. Ha ez a meteorit egy várost talált volna el, az egész várost egy szempillantás alatt eltörölte volna a föld színéről.

Nagyobb becsapódásnak is vannak jelei néhány millió évvel ezelőttről. Ezek még nagyobb krátereket hagytak, de lekoptatta őket a szél, a víz és a növényzet, helyük azonban még mindig megállapítható. Mielőtt azonban rátérnénk a legnagyobb becsapódásokra, még egy dologról kell beszélnünk.

### **Mik az aszteroidák?**

Az egyik oka annak, hogy az 1700-as években a tudósok nehezen tudták elfogadni a meteoritok létezésének tényét, az volt, hogy nem ismerték a naprendszer kisebb égitesteit. Úgy tűnt, hogy csak bolygók és mellékbolygók vannak (valamint a titokzatos üstökösök, amelyekről később még szólnok).



A lassú változás Johann Daniel Titius (1729-1796) német csillagász nevéhez fűződik. 1766-ban kidolgozott egy képletet, amely megmutatta a bolygók naptól mért közepes távolságának viszonyát. A következő számokat kapták: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388 stb. Tegyük fel, hogy a Föld Naptól mért távolságát 10-nek vesszük. Ebben az esetben a Merkúr Naptól mért távolsága kb. 3,88, a Vénuszé 7,23, a Marsé 15,23, a Jupiteré 52,0, a Szaturnuszé pedig 95,9. 1772-ben egy másik, ismertebb német csillagász Elert Bode (1747-1826) publikálta ezt a számsort, úgyhogy kissé igaz-ságtalanul Bode törvényének nevezték el.

Végül a csillagászok rájöttek, hogy Bode törvénye szerint nincs bolygó 28-as pozícióban. Vajon kellene hogy legyen? Ha igen, akkor miért nem látták soha? Ez csak kétszer akkora távolság, mint a Mars és a Föld közötti és csak 2/5-e a Jupiter és Föld távolságának. Még ha ez a 28-as pozícióban lévő bolygó nem volna is nagyobb, mint a Mars (amelynek átmérője csak egy kicsivel nagyobb, mint a Föld átmérőjének a fele), akkor is könnyedén látható kellene hogy legyen. Az egyetlen oka annak, hogy van bolygó a 28-as pozícióban, de nem látható, az lehet, hogy sokkal kisebb, mint a Mars.

Heinrich W. M. Olbers (1758-1840) német csillagász az 1790-es években egy olyan csillagászati terv elkészítésébe kezdett, amelyben minden csillagász az ég különböző területeit vizsgálná és figyelmesen keresné azt a bolygót, amelynek pályája a Mars és a Jupiter között lehet. Mielőtt azonban ez elkezdődött volna, Giuseppe Piazzi (1746-1826) olasz csillagász nagy felfedezést tett 1801. január 1-jén, a XIX. század első napján. Nem is keresett semmit, csak rábukkant egy „csillagra”, amely estéről estére változtatta a helyzetét, úgyhogy bizonyára nem közönséges csillag. Forgási sebességéből úgy tűnt, hogy az lehet a Mars és a Jupiter közötti hiányzó bolygó. Mivel Piazzi szicíliai származású volt, Ceresnek nevezte el a bolygót az ókori Szicília földművelés istennőjéről.

A Ceres kis bolygó, mivel átmérője csak 1000 km (620 mérföld), kevesebb, mint a Hold átmérőjének a fele.

Olbers azonban nehezen hitte el, hogy csak az volt az űrben a Jupiter és a Mars között, és tovább folytatta a kutatást, amint az eltervezte. A következő három év alatt még három hasonló égitestet fedezett fel a Jupiter és a Mars között, amelyek még kisebbek voltak, mint a Ceres, s Pallasnak, Vestának és Junónak nevezte el őket.

William Herschel (1738-1822) német-angol csillagász rámutatott, hogy ezek olyan kis bolygók, hogy pusztán világító pontnak látszanak az égen, mint a csillagok, még teleszkópon át is, és nincs látható pályájuk, mint a nagyobb

bolygóknak. Ezért azt javasolta, nevezzék őket aszteroidoknak (csillagszerű) és a név fennmaradt.

Piazzí felfedezése óta hatalmas mennyiségű aszteroidot fedeztek fel. Több mint háromezer ismert, és még kétségkívül több ezer van az űrben a Mars és Jupiter között. Továbbra-is a Ceres a legnagyobb, mivel az összes aszteroid tömegének 10%-át alkotja. A Mars és a Jupiter pályája közötti űrszakaszt ezért aszteroidaövezetnek nevezik, és ez a terület halványan emlékeztethet arra, hogy milyen lehetett a naprendszer a bolygók kialakulása előtt.

Miért vannak ott az aszteroidok? Olbert először azt feltételezte, hogy egy felrobbant bolygó darabkái. Ez tetszetős ötlet, de nem tudni, hogy hogyan és miért robbanhatott fel a bolygó. A csillagászok manapság azt gondolják, hogy az aszteroidaövezet anyaga egyszerűen nem sűrűsödhetett össze bolygóvá. A Jupiter, amely egy hatalmas bolygó, lehet, hogy annyira felkavarta az aszteroidaövezet anyagát, hogy ami megmaradt, nem alkothatott terjedelmesebb bolygót. Sőt mi több, a Jupiter gravitációs ereje lehet hogy megakadályozta, hogy az aszteroidák összeálljanak.

### **Csak az aszteroid övezetben vannak aszteroidák?**

Sok-sok ezer aszteroida létezik, szabadon kószáló csipkézett alakzatok. Kezdjük azzal, hogy még ha mind az aszteroida-övezetben volnának, akkor sem maradnának feltétlenül ott. Mivel az aszteroidák a Nap körül keringenek, hat rájuk a többi bolygó gravitációs ereje, főleg a hatalmas Jupiteré. Lehet, hogy némelyik kisodródik a Jupiter pályájáról a külső naprendszerbe, míg a többi befelé sodródhat, a Mars pályáján túlhaladva, a belső naprendszerbe. Minél távolabbra sodródnak az aszteroidák, annál nehezebb látni és tanulmányozni őket, úgyhogy a távolabb lévőkről nem is tudunk sokat. Másrészt viszont azok, amelyek közelebb jönnek, mint a Mars, jobban láthatók és vizsgálhatók, és érthetően veszélyesebbek is.

1898-ban Gustav Witt felfedezett egy olyan aszteroidát, amelynek pályája bekerült a Mars pályájára, és Erosnak nevezte el. (Az aszteroidáknak általában női nevet adnak, csak azok kapnak férfinévet, amelyek különleges pályán mozognak.) Amikor az Eros és a Föld pályája a legközelebb van egymáshoz, akkor 22,5 millió km választja el őket, egy kicsit több, mint a Föld-Vénusz távolság fele. Az Eros tehát közelebb kerül, mint bármely más ismert égitest, kivéve a Holdat. 1931-ben 26 millió km-re közelítette meg a Földet. Az Erosszal történő ütközés nem feltétlenül rongálná meg magát a Földet, de a

földi élet szempontjából katasztrofális hatása volna.

Az a baj, hogy az Eros nem az egyetlen ilyen aszteroida. 1898 óta számos aszteroidát fedeztek fel (általában csak 1-2 km átmérővel), amelyek még az Erosnál is közelebb kerülhetnek a Földhöz. Legalább 50 ilyen „Föld-horzsolót” ismernek, és néhányat minden évben felfedeznek.

A korábban említett meteoritok apró példányai a kóborló aszteroidáknak. Nem okoznak nagy kárt, de előbb vagy utóbb a Föld horzsolók egyike bizonyára nekiütközik majd a Földnek. Néhány becslés szerint átlagosan minden 100 millió évben van egy ilyen katasztrofális ütközés. Ha ez igaz, akkor több mint harminc fordult már elő, mióta élet van a Földön. Öt vagy hat ilyen ütközés történhetett már, mióta a szárazföldi és a tengeri élet összetettebb formái létrejöttek. Vannak nyomai ezeknek az ütközéseknek?

Kb. 65 millió évvel ezelőtt valami olyan változás ment végbe a Földön, amittől a dinoszauruszok és más kisebb-nagyobb állat- és növényfajok hirtelen eltűntek a Föld felszínéről. 1980-ig senki nem tudta biztosan, hogy mi történhetett. Számos elmélet született, de egyik sem volt meggyőző. 1980-ban azonban Walter Alvarez amerikai tudós 65 millió éves kőrétegeket vizsgált igen alaposan. Rájött, hogy azokban 25-ször annyi irídium található, mint a kevésbé fiatalabb vagy idősebb rétegekben. Valami megnövelte a kőzetek irídium tartalmát a dinoszauruszok kihalásának idején. S ezt nem is csak azon a területen tapasztalták, amelyen Alvarez éppen dolgozott, hanem hasonló irídiumban gazdag kőzetet találtak a világ összes ilyen korú sziklájában. Mi történt hát? Alvarez azzal érvelt, hogy a meteoritokban sokkal több irídium van, mint a földkéregben. (A Föld irídiumtartalma a vasmagban koncentrálódik.) Úgy tűnt tehát, hogy egy különösen nagy becsapódás történhetett 65 millió évvel ezelőtt, ami elporlasztotta a meteoritot, valamint a Föld kérgének több mérföldjét, mivel az ütközés során hatalmas hő keletkezett. Óriási mennyiségű por került így a légkör felső részébe, amely hosszú időre elvehette a napfényt, és mesterségesen meghosszabbította a telet, s ettől az élet számos formája kihalt. Lehet, hogy földrengéseket, vulkánkitöréseket, özönvizeket, hatalmas erdőtüzeket stb. is okozott. A legtöbb élőlény, főleg a nagy állatok kihaltak. A kisebb élőlények vagy pusztán a szerencsésebbek túléltek, és mindent újrakezdték.

Vannak olyan jelek, amelyek arra utalnak, hogy ez periodikusan megtörtént a Föld története során. Időnként bekövetkezik egy nagy pusztulás, amely az élet nagy részét megsemmisíti. Lehet, hogy ez az evolúció fontos része, mivel ilyenkor az életnek új formái keletkeznek, s lehetőség nyílik a fejlődésre,

terjeszkedésre. Például az emlősök már az utolsó „nagy pusztulás” előtt több millió évvel is léteztek, de nem kelhettek versenyre az óriási dinoszauruszokkal, így kicsik és jelentéktelenek maradtak. Csak miután a meteor becsapódott és elpusztította a dinoszauruszokat, akkor nyílt lehetőség a kis emlősök gyors fejlődésére, s arra, hogy az élet sok manapság létező fejlett formája, többek között a miénk létrejöhessen.

Ha a jövőben még egy ilyen becsapódás történne, és addig még nem irtanánk ki magunkat, akkor az emberi élet elpusztulna, s a Földön elkezdődhetne az élet valamely más formájának új fejezete. Eddig legalábbis még nem történt olyan szörnyűséges becsapódás, amely a Földön minden életet kipusztított volna, de nem lehetünk biztosak abban, hogy a rettenetes katasztrófa lehetősége teljesen kizárt.

### **Mik az üstökösök?**

Az aszteroidák és a meteoritok mellett létezik még egy fajta égitest, amely elérheti a Földet – az üstökös. Sokkal inkább egy üstökössel, mint egy aszteroidával való összeütközés okozhatta 65 millió évvel ezelőtt a dinoszauruszok nagy kipusztulását. Hasonlóképpen egy üstökös, és nem egy meteorit idézhette elő a közép-szibériai robbanást 1908-ban. De mi is az üstökös?

Az üstökösök sokkal könnyebben észlelhetők, mint a meteoritok. Nem csupán fénycsíkok, amelyek megjelenése és eltűnése másodpercek kérdése, hanem ködös, esetenként igen nagyméretű objektumok, amelyek heteken át láthatóak az égen. A múltban mindig félelmet keltettek az emberekben. Az üstökösök olyan időszaki égitesteknek tűntek, amelyek a semmiből bukkantak elő, éjszakáról éjszakára átlebegtek az égen, és végül elenyésztek. Mivel az emberek hitték, hogy a planéták égi mozgásuk során mintákat rajzolnak, sémákat, amelyek előre vetítik a jövőt, azt kellett feltételezniük, hogy az üstökös nem más, mint egyfajta egyszeri üzenet, amit egy haragos istenség küldött figyelmeztetésképp. A feltételezést, miszerint az üstökös inkább rossz, mint kedvező események előhírnöke, megerősíteni látszott annak külalakja is. Az üstökös ugyanis egy ködös fénygömbből és egy hosszú ragyogó farokból áll, amely elhajlik valamelyik oldalra. Körvonalaiiban a jó képzelőerővel megáldott emberek egy gyászoló asszony fejét vélték felismerni, aki az égen át kibomlott hajjal kiáltotta feléjük fájdalmát, míg mások egy kardra ismertek az égi jelenségben. Jelentése azonban mindkét esetben halál és pusztítás volt, aminek helytállósága

alátámasztható azzal, hogy az üstökös megjelenését csakugyan katasztrófák kísérték. Persze különféle csapások olyankor is sújtották az emberiséget, amikor az égen semmilyen üstökös nem látszott, de ez valahogy senkinek sem tűnt fel.

Néhány ókori gondolkodó megkísérelt az üstökösök léteire is racionális magyarázatot találni. Mivel Arisztotelész az eget tökéletesnek és változásoktól mentesnek tartotta, nem talált rajta helyet olyan változékony, időszakos dolgoknak, mint az üstökösök. Ezért úgy vélte, hogy azok csupán égő gázok a Föld légkörének magasabb régióiban, hasonlatosak a lidércfényhez, amely néha a mocsaras vidékek felett táncol. Ez az elmélet téves volt ugyan, de legalább értelmes magyarázattal szolgált. Ennek ellenére nem sikerült eloszlatnia az általánosan elterjedt buta félelmeket. (Még a huszadik században is élnek olyan emberek, akiket megrémít egy üstökös megjelenése, mint ahogyan akadnak olyanok is, akik még mindig azt hiszik, hogy a Föld lapos. Ugyanakkor a huszadik században, pontosabban 1910 óta nem is került sor látványosabb üstökösészlelésre, úgyhogy ezek a félelmek nem is uralkodhattak el.)

Az első tudós, aki előítéletektől mentesen vizsgálta az üstökösöket, Regiomontanus (1436-1476) német csillagász volt, aki figyelemmel kísérte azt az üstökösöt, amely 1473-ban jelent meg az égbolton, és estéről estére feljegyezte helyzetét. Petrus Apianus (1495-1552) szintén német asztronómus 1540-ben kiadott egy könyvet, amelyben öt különböző üstökösöt írt le. Ebben felhívja a figyelmet arra, hogy a fark minden esetben a Nappal ellentétes irányba mutat. Ez volt az első tudományos megfigyelés egy üstökösről, amely nem szorítkozott pusztán az égen elfoglalt helyének megállapítására.

1577-ben Tycho Brahe próbálta meghatározni annak a fényes üstökösnek a parallaxisát, amely abban az évben jelent meg, de nem sikerült neki: az üstökös parallaxisa nem volt elég nagy ahhoz, hogy mérni lehessen, a Holdé viszont igen. Ez azt jelentette, hogy az üstökös jóval messzebb volt, mint a Hold. Arisztotelész tehát tévedett: az üstökösöket nem a Föld légkörében, hanem messze kinn a világűrben kellett keresni.

Miután Newton kidolgozta gravitációs törvényét, természetesnek tűnt feltételezni, hogy az az üstökösökre is ugyanúgy alkalmazható lesz, mint minden másra a világűrben. Az üstökösökre is hatnia kellett a Nap gravitációs vonzerejének, tehát azoknak is a Nap körül kellett keringeniük. A baj csak az volt, hogy amíg a közönséges planéták majdnem kör alakú ellipszis pályákon keringtek, addig az üstökösök pályái ugyancsak elnyúltnak tűntek. Az is

elképzelhetőnek látszott, hogy miután belépnek a naprendszerbe, elhaladnak a Nap izzó gömbje mellett, majd tovaszáguldanak, hogy soha többé ne térjenek vissza.

Egy angol tudós, Newton barátja, Edmund Halley (1656-1742) birkózott meg a problémával. Áttanulmányozta az üstökösökről készült korábbi feljegyzéseket és rájött, hogy az 1456-ban, 1531-ben és 1607-ben megfigyelt objektumok ugyanazt az utat járták be az égen, mint az 1682-es, általa vizsgált üstökös. Ebből arra a következtetésre jutott, hogy ugyanaz az üstökös tér vissza hetvenöt-hetvenhat évenként elnyújtott pályájának arra a szakaszára, amely a Föld és a Nap közelében vezet el.

Halley megállapította, hogy ugyanez az üstökös 1758-ban ismét vissza fog térni. Már nem élt annyi ideig, hogy ezt láthassa, de jóslata majdnem pontosan beigazolódott: az objektum az 1759-es év elején ismét megjelent, és azóta Halley-üstökösként vált ismertté. Legutóbb 1986-ban bukkan fel az égbolton, de csak haloványan, mivel nem a Föld közvetlen közelében haladt el. Halley felfedezése sokat eloszlalt az üstökösök övező homályból, pár évtizeddel később pedig már valóságos divathóborttá vált csillagászok körében az új üstökösök felfedezése és pályájuk kiszámítása.

### **Milyenek látjuk az üstökösöket?**

Annak ellenére, hogy az üstökösökről kiderült, a naprendszer közönséges tagjai és a gravitációs törvény alanyai, továbbra is megőriztek valamit rejtélyességükből. A naprendszer más planétái ugyanis nem viselnek farkat, ugyanakkor szilárd testük, éles körvonalaik vannak, míg az üstökösök ködbe burkolóznak és csóvával ékesek. A naprendszer kisebb égitestjeinek többsége, mint a Merkúr, a Hold, az aszteroidák és a mellékbolygók légkör nélküli szilárd anyagrögök, így természetes, hogy élesen kivehető szélek határolják őket, bármely más, a Földön található kő- vagy fémdarabhoz hasonlóan. A nagyobb bolygókat, mint amilyen a Föld, a Vénusz és a Mars, továbbá néhány nagyobb mellékbolygót is légkör övezi. Ezeket a gáznemű burkokat a gravitációs erő tartja szorosan az égitestek körül, és vagy nem mossák el az alattuk levő bolygó szilárd testének éles körvonalait, vagy olyan felhőrétegeket alkotnak, amelyek maguk is jól kivehető határvonalakkal rendelkeznek.

Az üstökösök vegyi összetételükben térnek el ezektől az égitestektől. (Itt azonnal felvetődhet az olvasóban a kérdés, vajon a csillagászok miként állapíthatják meg egy távoli objektum kémiai összetételét, de ezzel a témával a

későbbiekben foglalkozunk majd.) Habár az üstökösök is olyan kicsi égitestek, mint az aszteroidák, mégsem kövekből és fémekből tevődnek össze, hanem illékony (könnyen olvadó) elemekből, amelyek a Földön rendes körülmények között gáznemű vagy folyékony halmazállapotúak lennének, de alacsony hőmérsékleten szilárdra fagynak. A legelterjedtebb ilyen tulajdonságú anyag, maga a víz, a Földön és az üstökösökben egyaránt. Utóbbiak összetételében szilárd jég alakjában fordul elő. A többi illékony anyag, mint amilyen az ammónia vagy a cianogén, szintén képes szilárd halmazállapotúvá fagyni és megjelenésében a közönséges jéghez hasonlítani, ezért közös néven valamennyit jegeknek nevezzük.

Az üstökösök ilyen jegekből állnak, amelyek közé kő- és fémszemcsék keveredtek, továbbá feltételezhető, hogy egy kőmaggal is rendelkeznek. Ezt az összetételt 1949-ben egy amerikai csillagász, Fred Whipple (szül. 1911-ben) állapította meg, aki az üstökösöket csak úgy emlegette, mint „piszkos hógolyókat”. Amíg ezek az objektumok távol vannak a Naptól, addig fagyott állapotban maradnak, és körvonalaik olyan élesen kivehetőek, mint az aszteroidák esetében, csak hogy ilyenkor olyan messze találhatók tőlünk, hogy képtelenek vagyunk megfigyelni őket. Viszont ahogy megközelítik a Napot, a csillag melege elpárologtatja a jég egy részét, és felszabadítja a benne foglalt kőpor bizonyos mennyiségét is. Az üstökös szilárd magját ilyenkor gáz- és porfelhő veszi körül. A por részecskéi visszaverik a napfényt, ragyogó ködbe burkolva az üstökösöt: ez a kóma, amely ködszerű megjelenést ad az üstökösnek. A Naptól folyamatosan elektromossággal töltött részecskék áramlanak ki minden irányba, ezt a jelenséget nevezzük napszélnek. Jóllehet ez nagyon gyenge szél, ahhoz mégis elég erős, hogy az üstökös gáz- és ködfelhőjét elmozdítsa, ezért a fénylő csóva mindig a Nappal ellentétes irányba mutat.

### **Mi történik az üstökösökkel?**

Az üstökös tehát nem egy állandó jellegű objektum, legalábbis nem abban az értelemben, amelyben a Föld vagy egy aszteroida annak számít. Amikor az üstökös a Nap közelében kering, tömegéből egy bizonyos mennyiség elpárolog, és ez a rész soha többé nem tér vissza. Inkább talán az a furcsa, hogy az üstökös nem párolog és tűnik el teljes mértékben a Nap lángoló ölelésében, pedig éppenséggel ez történne vele, ha túl sokat időzne a Nap szomszédságában. Ehelyett az üstökös elrohan mellette és eltávolodik, mielőtt még túl sokat veszítene tömegéből.

Ahogy a jegek elpárolognak, valamennyi kőpor hátramarad és kérget alkot az üstökös felületén. A Halley-üstökös közelébe, küldött űrszondák 1986-ban megmutatták, hogy a felszint fekete kőpor fedi. Az ilyen kőkéreg egyfajta szigetelőként hat, amely csökkenti a párolgás mértékét.

Mindazonáltal az üstökös mindig veszít valamennyit saját anyagából, amikor Naphoz közel halad el, ezért csupán egy bizonyos ideig maradhat fenn. Még a legnagyobb üstökösök is elenyésznek néhány száz vagy talán ezer napközeli áthaladás után. A csillagászok megfigyeltek olyan kisebb üstökösöket is, amelyek belezuhantak a Napba és ott örökre eltűntek, míg mások darabokra törtek és szétszóródtak. Egyes üstökösök hátrahagyják kőkérgüket, amelyet azután nem lehet megkülönböztetni az aszteroidáktól. Mások helyét csupán önnön kísértetük foglalja el. Amíg a gázok elpárolognak és szétszóródnak a világűrben, addig az így felszabadult por továbbra is az üstökös pályáján folytatja mozgását: laposan és egyre vékonyodva nyúlik el a pálya mentén, de sűrű marad azon a helyen, ahol azelőtt az üstökös haladt.

1833. november 13-án a Föld áthaladt egy halott üstökös fő porfelhőjén. Ez bolygónkban nem tett semmi kárt sem: viszont fenséges látványt jelentett, mivel Új-Anglia felett az eget valóságos tűzijáték borította be. Megszámlálhatatlanul sok porrészecske hatolt be a légkörbe, és úgy izzott, mint valami ragyogó hóesés, amelynek pelyhei sosem érnek földet. A szemtanúkat félelemmel vegyes tisztelet kerítette hatalmába, mert úgy látták, mintha minden csillag aláhullana az égről. És mivel a Jelenések Könyvében az áll, hogy az Ítélet napján pontosan ez fog történni, bizonyára sokan gondolhatták azt, hogy közel a világ vége. A következő hajnalon azonban a Nap szokás szerint felkelt, a rákövetkező estén pedig a csillagok korábbi helyükön látszóttak.

Az évnek több olyan időszaka is van, amikor a meteoritok száma nagyobb az átlagosnál, az 1833-as parádé azonban soha többé nem ismétlődött meg, de önmagában is elegendő volt ahhoz, hogy serkentse a meteoritok további tanulmányozását.

### **Honnan jönnek az üstökösök?**

Ha az üstökösök rövid életűek, ha jellemző rájuk, hogy széthullanak és elenyésznek, csupán egy kőkérget vagy porfelhőt hagyva maguk után, akkor hogyan lehetséges, hogy még mindig léteznek? Miért nem tűntek el egy szálig a Naprendszer 4,6 milliárd éves léte során?

Ha belegondolunk, erre csupán kétféle magyarázatot adhatunk: vagy olyan



ütemben keletkeznek az új üstökösök, amilyen gyorsan a régiek eltűnnek, vagy pedig olyan sok van ezekből a fura égitestekből, hogy még 4,6 milliárd év sem volt elegendő ahhoz, hogy valamennyit felmorzsolja. Az első lehetőség nem tűnik nagyon valószínűnek, mivel a csillagászok kétségbe vonják, hogy új üstökösök valamilyen módon napjainkban is keletkeznének.

Marad tehát a második lehetőség. 1950-ben egy holland csillagász, Jan Hendrik Oort (szül. 1900-ban) azt állította, hogy a naprendszer keletkezésekor a hatalmas gáz- és porfelhő legtávolabbra jutott részeit a középpont gravitációs ereje nem vonzotta kellő mértékben ahhoz, hogy összesűrűsödjenek. Míg a belső régiók tovább sűrűsödtek, addig a távol esők a helyükön maradtak, és kisebb mértékkel tapadtak egymáshoz, amelynek során legkevesebb 100 milliárd jeges anyagrög keletkezett. Ez a bolygók pályáján túli, de mégis a naprendszerhez tartozó felhő, felfedezőjének tiszteletére az Oort-felhő elnevezést kapta. Soha senki nem látta, vagy regisztrálta egyéb módon ezt a felhőt, de ez az egyetlen módja annak, hogy magyarázatot adjunk az üstökösök fennmaradására mind a mai napig.

Az üstökösök ebben a hatalmas felhőben nyilván állandó, bár viszonylag lassú mozgást végeznek egy Nap körüli, óriási körpályán, amelyen egy-egy fordulat megtétele sok millió évbe telik. Erre valószínűleg ritkán is kerül sor, hiszen az egymás közötti ütközés vagy a közeli csillagok vonz-ereje következtében az üstökösök mozgása változhat. Felgyorsulhatnak, és ebben az esetben körpályájuk még távolabb tolódik a Naptól, sőt, végleg kiszakadhatnak, a naprendszerből. De le is lassulhatnak, aminek következtében a naprendszer belső bolygói felé zuhannak, elhaladnak a Nap közelében, és látványos formában megjelenhetnek a Föld egén: mivel új pályájukat megtartják (kivéve, ha az a bolygók vonzásának hatására módosul), el is párologhatnak és elenyészhetnek.

Oort becslése szerint a naprendszer létezése során az üstökösök egyötöde vagy elhagyta a naprendszert, vagy pedig bejutott a belső régiókba és elpárologott. Az eredeti állomány négyötöde tehát megmaradt, hogy az üstökösök folyamatos utánpótlásául szolgáljon.

### **Milyen messze van a Nap?**

Említettem a bolygók távolságát az aszteroidák felfedezésével kapcsolatban: ebben az időben ezek a távolságok ismertek voltak. Ugyanakkor több mint tizenhét évszázadon át, azután, hogy Hipparkhosz meghatározta a Hold

távolságát, ez volt az egyetlen ilyen ismert adat, mivel egyszerűen nem volt lehetőség távolabbi objektumok parallaxisának lemérésére.

Arisztarkhosz görög csillagász amint azt az előbbieken leírtam, kísérletet tett a Nap távolságának meghatározására a parallaxis használata nélkül. Az ő módszere i.e. 270-ben elméletileg tökéletes volt, de nem állt módjában, hogy az égen pontosan állapítsa meg a szögeket, becslései pedig pontatlanok voltak. Arra az eredményre jutott, hogy a Nap körülbelül 8 millió kilométerre van a Földtől, és az átmérője a hétszerese bolygónk átmérőjének.

Ez ugyan az arányok komoly alábecslése volt, de ahhoz elegendő, hogy Arisztarkhoszt gondolkodásra készítse, miszerint a Föld foroghat a Nap körül, és nem fordítva. Azonban sem a számításait, sem a következtetéseit nem vette komolyan senki.

Az 1600-as években azonban, a teleszkóp felfedezése után lehetőség nyílt az égi objektumok helyzetének sokkal pontosabb meghatározására (különösen azután, hogy fonalkeresztet helyeztek a lencse elé). Ez azt jelentette, hogy a legkisebb eltolódás az égitest helyzetében, egy parányi parallaxis, amely szabad szemmel már nem is észlelhető, mérhetővé vált a teleszkóp által. De nem volt feltétlenül szükséges a Nap parallaxisának mérése távolságának meghatározásához. Ez egyébként is nehezen ment volna, mert a lángoló korong szélének bemérése szinte lehetetlen, arról nem is beszélve, hogy amíg a Nap fenn van az égen, egyetlen csillag sem látható, amelyhez viszonyítva a helyzete mérhető lenne.

Ehelyett a parallaxis meghatározható bármely bolygó esetében. Hála Kepler naprendszer-modelljének, amelyet ma is elfogadottnak tekintünk, bármely bolygó pályájának bármely szakaszán lemért távolsága a Naptól felhasználható, a többi planéta egymás közötti, Naptól vagy Földtől való távolságának kiszámítására. Egy ilyen adat sajátos módon felhasználható a Föld és a Nap közötti távolság kiszámítására is.

1672-ben egy olasz-francia csillagász, Gian Domenico Cassini feljegyezte a Mars pontos helyzetét a párizsi égbolton. Ugyanebben az időpontban a távoli Francia-Guineában egy másik francia asztronómus, Jean Richer (1630-1696) lemérte a Mars helyzetét az ottani égbolton. A két pozíció kissé eltért egymástól a szomszédos csillagokhoz viszonyítva. Ismerve Párizs távolságát Francia-Guineától (egyenes vonalban, a Föld domborulatán keresztül) és a parallaxis nagyságát, a csillagászok kiszámították a Mars és a Föld közötti távolságot, csakúgy, mint a többi égitest távolságát a naprendszerben. A Cassini által így kapott adatok ugyan hét százalékkal elmaradtak a valódi

nagyságok mögött, de első nekifutásra így is kitűnő eredményt jelentettek, és idővel természetesen korrigáltak rajtuk. Ma már tudjuk, hogy a Nap nem kevesebb, mint 150 millió kilométerre van a Földtől, vagyis négyszázszor olyan messze, mint a Hold.

Ahhoz, hogy a Nap hatalmas távolsága ellenére is ekkora méretben jelenhessen meg égboltunkon, 1,4 millió kilométeres átmérővel kell rendelkeznie, vagyis 109-szer akkora, mint a mi sártekénk, egy igazán óriási világ. Mindez még ésszerűbbé tette azt a feltételezést, hogy a Föld kering a hatalmas Nap körül, és nem fordítva.

Mi több, Cassini számításai (a későbbi javításokkal együtt) kimutatták, hogy a Szaturnusz, a kor által ismert legtávolabbi bolygó 1,427 milliárd kilométerre kering a Naptól, vagyis kilenc és félszer olyan messzire, mint a Föld. A Szaturnusz pályájának legtávolabbi pontján távolodik el a Naptól 2,8 milliárd kilométerre. Így 1672-ben a csillagászok első ízben alkothattak fogalmat a naprendszer méreteiről. Azok pedig messze felülmúlták Arisztarkhosz és Hipparkhosz legmerészebb álmait is, a rákövetkező három évszázadban pedig, amint látni fogjuk, az univerzum még sokkal inkább kiterelődött, úgyhogy mellette Cassini világegyeteme csupán egy parányi gombostűfejnek tűnik...

### **Nagy-e a Föld?**

Az 1600-as évekig senkinek sem jutott eszébe feltenni a kérdést, hiszen a válasz annyira nyilvánvalónak tűnt. Természetesen a Föld nagy. Az ókori ember számára a Föld messzemenően a legnagyobb dolognak tűnt az anyagi világban, hiszen az összes többi égitestet csupán az égbolt belső burkára szegezett apró objektumnak látta. Még akkor is, amikor a Hold méreteit első ízben megállapították, az lényegesen kisebbnek találtatott a Földnél, és az az általános vélemény uralkodott, hogy valamennyi égi objektum közül a mi földgolyónk a legnagyobb.

Miután a naprendszer arányait Cassini első ízben felvázolta, az emberek önérzete (legalábbis a Föld valódi méreteit illetően) némileg megingott. Világossá vált, hogy a Naphoz képest a Föld igen parányi világnak számít. De a Napot kivételnek is lehetett tekinteni. Elvégre a központi égitestnek, amely körül az összes többi planéta kering, nagyoknak és erősnek kell lennie: a kérdés az, hogy a Föld miként aránylik a naprendszer többi bolygójához.

Az égitestek távolsága és az égen látható átmérője alapján következtetni lehet valódi átmérőjük nagyságára. A belső bolygók közül a Föld a legnagyobb, a

Vénusz egy kissé, míg a Mars, a Merkúr és a Hold lényegesen kisebb nála. A planéták mellékbolygói csakúgy, mint az aszteroidák és az üstökösök szintén jóval kisebbek a Földnél.

Valójában, ha bármi nagyobbat szeretnénk összehasonlítani Földünkkel a naprendszeren belül, akkor a Jupiter és a Szaturnusz felé kell fordulnunk. S itt ér bennünket az igazi megrázkódtatás. Miután a bolygók távolságai ismertté váltak, a Jupiter látszólagos átmérője óriási valós méretté alakult át: átmérője 143 200 kilométert tett ki, vagyis 11,2-szer volt nagyobb a Föld átmérőjénél. A Szaturnusz csaknem ugyanekkorának bizonyult 120 000 kilométeres átmérőjével. Óriásbolygók ezek, amelyek mellett a Föld összehasonlításra méltatlannak látszik.

Ez a felismerés komoly csapást jelentett az emberi büszkeségre. Nem elég, hogy a Föld kiesett a világegyetem középpontjából, és a Nap aránytalanul nagyobbak bizonyult nála, ráadásul két bolygótestvére is tovább törpítette. Persze egy világot nem ítélnünk meg kizárólag a méretei alapján, de ezt a lekicsinyítést nem volt könnyű tudomásul venni. Mindazonáltal nem vitathatjuk, hogy a Jupiter és a Szaturnusz lehetnek bár nagyok, de ugyanakkor igen légiesek. Mindkettőjük rendelkezik mellékbolygókkal, amelyek távolságát és keringési idejét pontosan meghatározták. Minél gyorsabban kerüli meg a hold egy adott távolságban az anyabolygót, annak annál erősebb a gravitációs ereje, következésképp pedig a tömege is. Ha összehasonlítjuk a mellékbolygók mozgását a Jupiter és a Szaturnusz körül azzal a keringéssel, amit a Hold végez a Föld körül, kiderül, hogy a Jupiter tömege a 317,9-szerese, a Szaturnuszé pedig a 95,2-szerese a Föld tömegének. Mégis, a Jupiter és a Szaturnusz tömege közel sem akkora, mint amekkorára számítani lehetett volna méreteik alapján. Ha tömegüket elosztjuk térfogatukkal, akkor láthatjuk, hogy a Jupiter átlagos fajsúlya 1,33 gramm köbcentiméterenként, ami kevesebb a Föld sűrűségének a negyedénél. A Szaturnusz még ennél is ritkább, 0,71 g/cm<sup>3</sup>, ami a Föld sűrűségének csupán a nyolcadát teszi ki, és lényegében a víz fajsúlyát sem éri el. Ez azt jelenti, hogy a Jupiter és a Szaturnusz összetétele lényegesen eltér a Földétől, amire később még vissza fogunk térni.

### **Ismert-e az ókori ember minden bolygót?**

Az aszteroidák, amelyeket már leírtam, lehetnek parányiak, de akkor is a Nap körül keringő égitestek, létezésükről mégsem tudott senki 1801-ig. Átfogalmazhatjuk ezt a kérdést úgy, hogy léteznek-e olyan nagy planéták is, amelyekről az ókori ember nem tudott?

A késői 1700-as évekig ez is olyan kérdésnek számított, amelyet értelmes ember nem tett volna fel. A hét „vándorló csillag”, a Nap, a Hold, a Merkúr, a Vénusz, a Mars, a Jupiter és a Szaturnusz már i.e. 3000 évvel ismeretes volt a sumérok előtt. A következő 4700 évben ezeken kívül egyetlen más objektumot sem fedeztek fel a csillagok között (az üstökösöket kivéve). Hogyan létezhetnének hát még ismeretlen planéták? Mivel az ismert égitestek mind fényesek és eltéveszthetetlenek voltak, minden bizonnyal a többinek is így kellene kinéznie, akkor pedig könnyű lenne rájuk bukkanni. Ebből az következik, hogy nincsen belőlük több.

A planéták már nem ragyogó objektumok, amelyek saját fényüket sugározzák, mint ahogyan azt mindenki hitte még a sumér időktől kezdve. Fázisait megfigyelve, először a Holdról derítették ki az ókori görögök, hogy valójában egy sötét objektum, később a teleszkóp felfedte, hogy a Merkúr és a Vénusz is hasonló fázisokat mutat, vagyis nem rendelkeznek saját fényvel. Így azután feltételezték, hogy minden planéta sötét test, amely csupán akkor látható, ha visszatükrözi a Nap fénysugarait.

Ebben az esetben minél messzebb van egy bolygó a Naptól és minél kisebb, annál kevesebb fény éri, tehát kevesebbet ver vissza, és ennek megfelelően halványabban fog megjelenni az égen. Ha a Szaturnusz mögött további planéták is találhatóak és azok lényegesen kisebbek a gyűrűs bolygónál, akkor azok olyan gyengén világíthatnak, hogy a csillagászok, akik arra számítottak, hogy minden égitest ragyog, nyilván ügyet sem vetettek rájuk. Azonkívül minél messzebb található egy bolygó a Naptól, annál lassabban mozog a pályáján, úgyhogy a csillagos háttér előtti mozgása még inkább elrejtetheti.

Mindez tökéletesen világos annak, aki utólag bölcs, de a csillagászok, még akkor is, amikor már teleszkópot használtak, annyira megszokták a gondolatot, miszerint a planéták fényesek, hogy eszükbe sem jutott halványakat is keresni, és tulajdonképpen ki is zárták annak a lehetőségét, hogy ilyenek léteznek.

Amikor 1781-ben végre új bolygót fedeztek fel, ez véletlenül történt. William Herschel (aki elsőként javasolta az aszteroida kifejezés használatát) szakmáját tekintve zenész volt, a csillagászatot csupán hobbiból űzte. Amikor teleszkópot akart vásárolni, be kellett látnia, hogy azok, amelyeket megengedhet magának, nem túl jók, így azután tervezett egyet saját kezűleg, és az jobbnak bizonyult,

mint a meglévők. Ezzel a házilag készített teleszkóppal talált rá arra az égi objektumra, amely a planétákhoz hasonlóan kis fénykorongnak látszott. Először meg sem fordult a fejében, hogy egy bolygóról lehet szó, ugyanis egy üstökösöt gyanított. De az üstökösök ködbe burkolóznak, ennek a korongnak viszont jól kivehető volt a körvonala, és jóval lassabban mozgott a csillagokkal telehintett háttér előtt, mint a Szaturnusz, ami azt jelentette, hogy lényegesen messzebb is található tőle a Nappal ellentétes irányban. Valójában egy új bolygót fedezett fel, amely az Uránusz nevet kapta. Ez kétszer olyan távol esik a Naptól, mint a Szaturnusz – 2,87 milliárd kilométerre –, és olyan halvány, hogy szabad szemmel alig látható.

Azóta két további bolygót is felfedeztek, amelyek még messzebb keringenek a Nap körül, mint az Uránusz. Ezek valójában annyira távoliak és sápadt fényűek, hogy a teleszkóp felfedezése előtt semmiféleképp sem lehetett volna rájuk bukkanni. Az Uránusz után következő bolygót 1846-ban fedezték fel és a Neptunusz nevet adták neki, a mögötte található kicsi planétát pedig 1930-ban találták meg, és Plútó névre keresztelték. E bolygó pályájának legtávolabbi pontján 12 milliárd kilométerre távolodik el a Naptól, úgyhogy a Herschel előtti időkhöz képest, amikor a Szaturnuszt tartották a legtávolabbi planétának, az új égitestek majdnem a négyszeresére növelték a bolygórendszer ismert átmérőjét.

Az Uránusz és a Neptunusz szintén óriásbolygók, noha korántsem olyan nagyok, mint a Jupiter vagy a Szaturnusz. Mindkettőjük átmérője kb. 50 000 kilométer, ami három és félszer nagyobb a Földénél. Az Uránusz tömege kb. tizenötszöröse, a Neptunuszé a tizenkétszerese a Föld tömegének. Sűrűségük nagyjából a Jupiterének felel meg. Ebből az következik, hogy a Föld csupán a hatodik legnagyobb objektum a Naprendszeren belül, legalábbis mai ismereteink szerint: a Nap és négy bolygó, a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz számottevően nagyobbak nála. A csillagászok még mindig kutatnak újabb tekintélyes méretű bolygók után (a Plútó ugyanis olyan kicsi, hogy alig lehet besorolni), de egyelőre egyet sem találtak.

### **Miben különböznek az óriásbolygók?**

A külső naprendszer négy óriás bolygója sok mindenben különbözik a Földtől és a belső régiók ismerős világaitól. Ott van például az alacsony sűrűségük, ami azt jelenti, hogy egészen más anyagokból tevődnek össze, mint a Föld, amit később még látni fogunk. Mindegyiküknek nagy és sűrű légköre van, állandó

felhőrétegekkel, amit mi úgy észlelünk, mint ezeknek a planétáknak a felszínét (hiszen szilárd felületüket nem látjuk).

A Jupiter, lévén legközelebb a Naphoz, a legtöbb energiához jut hozzá, így légkörét hatalmas viharok kavarják fel. Ezek közül legjelentősebb a nyilvánvalóan állandó jellegű tornádó, amelyet színe miatt Nagy Vörös Foltnak neveztek el. Első ízben egy angol tudós, Robert Hooke (1635-1703) tesz róla említést 1664-ben.

A Szaturnusz és az Uránusz csendesebbek a Jupiternél, de a Neptunuszról, amely négyük közül a legtávolabb kering a Naptól, 1989-ben a Voyager 2 űrszonda kiderítette, hogy ugyanolyan szélviharok tombolnak a felszínén, mint a Jupiteren. A tudósok nem tudják pontosan, hogy ennek mi lehet az oka. Szintén található rajta egy Nagy Sötét Folt, amely alakjában és helyzetében hasonlatos a Jupiteren található rokonához. (Az igazi óriás egyébként a Jupiter, hiszen a naprendszer Napon kívüli tömegének 70 százaléka benne található meg.)

Az óriásbolygók mindegyikét számos mellékbolygó kíséri. A legtöbbjük elég kicsi, de miután Galilei 1610-ben felfedezte őket, tudjuk, hogy a Jupiternek négy is van belőlük, amelyek akkorák vagy nagyobbak, mint a Hold. A Szaturnusz körül egy kísérő kering, a Titán, amelyet 1655-ben Huygens fedezett fel. A Neptunusznak szintén egy holdja van, a Triton, amelyre 1846-ban egy angol csillagász, William Lassell (1799-1880) bukkant rá.

A négy közül az Uránusz a legkülönösebb. Minden bolygónak van egy tengelye, amely meghatározott szöget zár be a keringés síkjával. A Föld, a Szaturnusz, és a Neptunusz esetében ez a szög körülbelül  $25^\circ$ -os. A Jupiter tengelye kis híján merőleges. Az Uránusz forgástengelye viszont majdnem vízszintes helyzetű, emiatt úgy tűnik, hogy szinte „gurul” a pályáján. Nyolcvannégy év alatt kerüli meg egyszer a Napot, mialatt pályájának egy bizonyos pontján az északi sark pontosan a Nap felé mutat, hogy negyvenkét év múlva ugyanez a déli sarokról legyen elmondható. Feltételezhető, hogy a planéták keletkezése során számtalan, különböző erősségű összeütközés történt, amely végül meghatározta forgástengelyük dőlésszögét. Hasonló okokkal magyarázható az Uránusz feltűnően nagy dőlésszöge is.

Az óriásbolygók közül kétségtelenül a Szaturnusz viszi el a pálmát. Mivel ez volt a legtávolabbi bolygó, amikor Galilei először irányította rá a teleszkópját nem tudta különösebben jól szemügyre venni. Ennek ellenére úgy tűnt neki, hogy mindkét oldalán van egy kidudorodás. Lehet, hogy hármas bolygó? Ennek nem sok értelme látszott, ezért 1612 folyamán felhagyott a megfigyeléssel.

1614-ben egy német csillagász, Christoph Scheiner (1575-1650), a Szaturnuszt vizsgálva teleszkópján át úgy találta, hogy az nem kidudorodás a két oldalán, hanem valamiféle fényes, sarlószerű képződmény. A rejtélyt 1655-ig nem sikerült megoldani, amikor Huygens (az ingaóra feltalálója) egy lapos gyűrűt fedezett fel a Szaturnusz körül, amely a bolygó egyenlítője felett keringett, anélkül, hogy azzal érintkezett volna. 1675-ben Cassini (aki első ízben állapította meg a Mars parallaxisát) felfigyelt egy sötét vonalra, amely a gyűrűt kettéosztotta úgy, hogy egyik gyűrű a másikon belül foglalt helyet. Ezt a vonalat azóta Cassini osztóvonalának nevezik.

A gyűrűk ragyognak, fényesebbek, mint maga a Szaturnusz gömbje, és hatalmasak is. Ők teszik a Szaturnuszt azzá, amiben sok megfigyelő egyetért: a legmeghökkenőbb és egyben leggyönyörűbb jelenséggé, amit csak teleszkópunkon át láthatunk. A gyűrűk külső pereme közötti legnagyobb távolság eléri a 272 000 kilométert. Egy Föld méretű gömb huszonegy és félszer férne bele a gyűrűk által alkotott körbe. Szélességük több mint a kétszerese a bolygó szélességének, bár természetesen nagyon vékony gyűrűkről van szó (hasonlóan egy hanglemezből barázdáihoz), ezért igen keveset adnak hozzá a Szaturnusz tömegéhez.

De mik is ezek a gyűrűk? Vajon szilárd anyagkorongok? 1859-ben egy angol matematikus, James Clerk Maxwell (1831-1879) bebizonyította, hogy amennyiben a gyűrűk szilárd korongok lennének, a Szaturnusz vonzó, és taszítóereje következtében azok darabokra törnének. Arra a következtetésre jutott, hogy a gyűrűket különálló részecskék alkotják, amelyek csupán a nagy távolság következtében tűnnek tömörnek, ahogyan a tengerpart is annak látszik, amíg a közelébe nem érünk, és nem látjuk, hogy homokszemcsékből áll.

S vajon miből keletkeztek ezek a gyűrűk?

1850-ben egy francia csillagász, Édouard Roche (1820-1883) azt próbálta megfejtetni, mi történne akkor, ha a Hold valami módon közelebb keringene a Földhöz. Arra az eredményre jutott, hogy a Föld vonzó-taszító erejének árapály-effektusa a Hold távolságának köbével fordított arányban növekedne, vagyis ha a Hold jelenlegi távolságának csupán a felére keringene tőlünk, a Föld árapály effektusa kétszeresére nőne, azaz nyolcszor akkora erővel hatna rá, mint most. Ha jelenlegi távolságának egyharmadára közelítene meg bennünket, ez a vonzó-taszító erő háromszor akkora erővel hatna erősebben, mint most.

Roche meghatározta, hogy amennyiben a Hold a Föld sugarának csupán a 2,44-szeresére keringene bolygónktól, ez a Roche-határ, az árapály-effektus elég



erős lenne ahhoz, hogy darabokra szakítsa a Holdat. Miután a Föld sugara 6350 kilométer, a Holdnak ehhez 15 500 kilométerre kellene lennie a Föld középpontjától, ami jelenlegi távolságának mindössze egy huszonötöd része. (Persze, ha a Hold ilyen közel kerülne hozzánk, nagyon erős árapály-hatást fejtene ki a Földre, de mivel planétánknak erősebb a gravitációs vonzereje, ilyen megterhelés alatt is egyben maradna.) Ha a Föld közelében a Roche-határon belül léteznének anyagdarábok, a Föld árapály-effektusa megakadályozná őket abban, hogy olyan nagy mellékbolygóvá egyesüljenek, mint a Hold.

A Szaturnusz esetében a Roche-határ a bolygó sugarának 2,44-szeresét teszi ki, vagyis 146 400 kilométert. A Szaturnusz gyűrűi teljes egészében ezen a határon belül helyezkednek el, vagyis az anyag, amelyből állnak, sohasem állhat össze egyetlen, nagyobb méretű mellékbolygóvá. Minél kisebb egy objektum, annál kisebb erővel hat rá az árapály-effektus, ezért a kisebb kísérbolygók némelyike, s habár a Roche-határon belül helyezkedik el, mégsem zúzódik darabokra.

A csillagászokat éveken át foglalkoztatta a kérdés, hogy miért csak a Szaturnuszt övezik gyűrűk, illetve hogy a többi gáznemű óriást miért nem. 1977-ben azután felfedezték, hogy az Uránusz is rendelkezik gyűrűkkel. Amikor az említett évben az Uránusz egy csillag előtt haladt el, annak fénye több ízben is elhalványult, mielőtt az Uránusz ténylegesen elfedte volna, valójában anyaggyűrűk takarták el. Jóllehet ezek olyan vékonyak, ritkák és sötétek voltak, olyan kevés fényt vertek vissza, hogy a Földről láthatatlanok voltak. De amikor az űrszondák elérték az óriásbolygókat, és lefényképezték őket, az Uránusz vékony gyűrűi világosan láthatóvá váltak. Hasonlóan vékony gyűrűt fedeztek fel a Jupiter körül, és a Neptunuszról is kiderült, hogy rendelkezik néhányal.

Úgy látszik, hogy minden óriásbolygót gyűrű övez, de vajon miért épp a Szaturnuszé szélesebb és fényesebb olyan sokkal, mint a többi? Összefüggésben lehet ez a Szaturnusz különösen alacsony sűrűségével? A csillagászok még mindig nem tudják ezekre a kérdésekre a választ.

### **Van-e élet a Vénuszon?**

A legutóbbi évtizedekben sokat megtudtunk azokról a bolygókról, amelyeket azelőtt nem is ismerhettünk, és ezt nagyrészt a technika fejlődésének köszönhetjük, beleértve a rádióhullámok használatát (amiről a későbbiekben bővebben is szót ejtek majd) és az űrszondák fellövését.

1974-ben és 1975-ben, például az amerikai Mariner-10 űrszonda három ízben is elhaladt a Merkúr mellett, és minden alkalommal fényképeket készített. Harmadszorra 327 kilométeren belül közelítette meg a Merkúr felszínét. A bolygóról készült felvételek a holdbélihez nagyon hasonló tájat mutattak, amelyet mindenfelé kráterek borítottak. A Merkúr felszínének csupán háromnyolcadáról készültek felvételek, és ezen a területen 200 kilométer átmérőjű kráterek is láthatók.

Kezdetben úgy vélték, hogy a Merkúr nyolcvannyalc nap alatt fordul meg a saját tengelye körül, és ugyanennyi időbe telik az is, amíg megkerüli a Napot, vagyis állandóan ugyanazzal az oldalával fordul központi csillagunk felé. Azonban kiderült, hogy forgása ötvenkilenc napos, vagyis amíg a Nap körül leír két kört, addig három fordulatot végez.

A Merkúrról teljes mértékben hiányzik a levegő és a víz, továbbá nagyon forró (ugyanis a Naptól való távolsága csupán 60 millió kilométer), amiből igen egyértelműen arra következtethetünk, hogy felszínén nem található a miénkhez hasonló élet, sőt még valószínűbb, hogy annak egyéb formája sem.

De mi a helyzet a Vénusszal? Úgy tűnik, hogy ez egy egészen más kérdés. A Vénusz pályája a miénk és a Merkúr pályája között helyezkedik el. A Naptól háromnegyed annyira kering, mint a Föld, ezért arra kell számítanunk, hogy melegebb, mint a mi bolygónk, de talán nem olyan nagyon sokkal.

1761-ben egy orosz tudós, Mihail Vasziljevics Lomonoszov (1711-1765) észlelte elsőként, hogy a Vénusznak légköre van. Mi több, ez az atmoszféra vastag, állandó felhőréteggel teli, amely a ráeső napfény háromötödét visszaveri, kétszer annyit, mint amennyit a Föld visszatükröz. Ez valamivel tovább hűtheti a bolygót, amely így alkalmasnak bizonyulhat élet hordozására, különösen azért, mert a felhők nyilván a víz, netalán óceánok jelenlétére utalnak.

Laplace ködfoltelmélete szerint a Vénusz később vált le a Napról, mint a Föld, vagyis a miénknél fiatalabb világnak számít. Ettől kezdve a tudományos-fantasztikus irodalom művelői. Gyakran úgy írtak róla, mint egy olyan helyről, ahol az élet a földinél korábbi szakaszában jár, egy élettől hemzseggő tropikus paradicsomról, amelyben a dinoszauruszok számítanak az uralkodó állatfajnak.

1860 után a tudósok rájöttek, hogyan elemezzék a fénylő objektumokról érkező fényt avégett, hogy megfejtsék azok vegyi összetételét (amely folyamatot a későbbiekben fogok leírni). Ezt a technikát alkalmazva egy amerikai csillagász, Walter Sydney Adams (1876-1956) széndioxidot talált a Vénusz légkörében. Az az igazság, hogy a széndioxidot könnyebb kimutatni, mint az oxigént vagy a

nitrogént (a Föld légkörének fő összetevőit), ezért talán nem is olyan meglepő, hogy éppen ez volt az első vegyület, amelyet a Vénuszon találtak. Mindamellet a mi légkörünkben a széndioxid mindössze 0,03 százalékot tesz ki, amit nem lenne könnyű kimutatni, ezért magától értetődik a feltételezés, hogy a Vénusz légkörében lényegesen több széndioxid található, mint a miénkben.

Ennek a felfedezésnek a jelentősége abban a tényben rejlik, miszerint a széndioxid sokkal nagyobb mértékben nyeli el az infravörös sugarakat, mint az oxigén vagy a nitrogén. (Az infravörös sugarak a színskála vörös végén túl helyezkednek el, szabad szemmel nem láthatjuk, viszont műszereinkkel észlelhetjük őket.) A Vénuszhoz vagy a Földhöz hasonlatos bolygó a Nap látható sugarai révén nyeri melegét, amelyek egyaránt könnyen hatolnak át az oxigéne, a nitrogéne és a széndioxidon is. A planéta az éjszaka folyamán adja le ezt a meleget infravörös sugarak formájában, amelyek áthatolnak az oxigéne és a nitrogéne, de a széndioxid elnyeli őket. A lekötött infravörös sugarak kissé tovább fűtik a légkört, és a bolygót melegebbé teszik annál, amilyen akkor lenne, ha légköre nem tartalmazna széndioxidot. A Földön ez az üvegházhatás, ahogyan nevezik, viszonylag csekély, mivel kevés széndioxid van rajta jelen. A felmelegedés éppen ahhoz volt elegendő, hogy kiemelje bolygónkat a jégkorszakból, és lakhatóvá tegye. A Vénuszon ugyanakkor a nagyobb mennyiségű széndioxid a hőmérséklet fokozottabb emelkedését okozza, és ezt a bolygót melegebbé teszi, mint azt korábban feltételezték.

Minden objektum rádióhullámokat bocsát ki, amelyek még messzebb találhatók a színskála vörös vége alatt, mint az infravörös sugarak. A második világháború után a csillagászok alkalmazni kezdték a világűri objektumok által kibocsátott rádióhullámok vételének és elemzésének technikáját is. 1956-ban amerikai csillagászok egy csoportjának, amelyet Cornell H. Mayer vezetett, sikerült befogni azokat a rádióhullámokat, amelyeket a Vénusz sötét oldala sugárzott. Minél melegebb egy test, annál több és erősebb rádióhullámot ad le, márpedig Mayert egyaránt bámulatba ejtette az általa fogott rádióhullámok mennyisége és intenzitása. Ezek arra utaltak, hogy a Vénusz hőmérséklete még az éjszakai oldalon is messze meghaladja a víz forráspontját.

1962-ben a Mariner 2 űrszonda átsiklott a Vénusz felett, és nagyon pontosan bemérte a róla érkező rádióhullám kisugárzást. Azóta más szondák is ugyanezt tették, némelyikük még le is szállt a bolygó felszínére. A Vénusz felszíni hőmérséklete annak valamennyi részén kb. 427 Celsius-fokot tesz ki, aminek elsősorban az az oka, hogy a Vénusz légköre mintegy 90-szer sűrűbb a Föld atmoszférájánál, és hogy 98,6 százalékában széndioxidból áll (a Vénusz

lépkörében 7600-szor annyi széndioxid található, mint a Földében). Ezek a körülmények eredményezték a fokozott üvegházhatást.

Ilyen magas hőmérsékleten a Vénusz kiszáradt. Felhőiben található ugyan némi vízpára, de az is kénsavat tartalmaz. A Vénusz tehát kimondottan barátságtalan világ, és a miénkhez hasonló életformának semmi esélye sincs rajta. Az sem látszik valószínűnek, hogy emberek valaha is leszállhatnak a felszínére, minden feltárásnak ember nélküli eszközökkel kell majd történnie.

Mindazonáltal a rádióhullámok keresztülhatoltak a felhőrétegen, és lehetővé tették számunkra, hogy elkészítsük a bolygó szilárd felszínének térképét és lemérjük tengely körüli forgásának sebességét. Ezek az adatok újabb meglepő felfedezéshez vezettek. Kiderült, hogy a Vénusz rendkívül lassú körforgást végez. 243 földi napba telik, amíg leír egy fordulatot saját tengelye körül, ráadásul a többi planétával ellentétben, kelet-nyugat irányban forogva. Egyelőre nem tudjuk, hogy ennek mi lehet az oka.

Mindenesetre a Vénusszal nem számolhatunk, mint az élet lehetséges lakóhelyével.

### **Van-e élet a Marson?**

A Mars mindig annak a bolygónak számított, amelyen a legtöbben remélték az élet felfedezését. Nagyjából 50 százalékkal messzebb található a Naptól, mint a Föld, tehát valószínűleg hidegebb, de talán nem túl hideg világnak számít.

A Marsnak is van légköre, de nincs a Vénuszéhoz hasonló, állandó felhőrétege, sőt még annyi felhő sem borítja, mint a Földet, így jól kivehetők felszínének mintázatai. 1659-ben Huygens távcsövével érzékelte ezeket a mintázatokat, és megállapította, hogy a Mars, bár szembetűnően kisebb a Földnél, kb. 24 és fél nap alatt fordul meg a tengelye körül, ami majdnem megegyezik bolygónk forgási idejével.

1784-ben Herschel bebizonyította, hogy a Mars tengelye körülbelül ugyanabban a szögben hajlik a Nap felé, mint a Földé, tehát a rajta váltakozó évszakok is hasonlóak lehetnek a mieinkhez, azzal, hogy mindegyik hidegebb földi megfelelőjénél, és kétszer annyi ideig tart, mivel a Mars távolabb van a Naptól, és 687 napba telik, amíg megkerüli azt. Herschel hósapkákat is talált a Mars északi és déli pólusán, ami a víz jelenlétére utalt.

A hajdani csillagászok megkísérelték feltérképezni a Mars mintázatát, de nem jártak számottevő sikerrel, ugyanis nem akadt közöttük kettő, akinek a kezéből ugyanaz a térkép került volna ki. Azonban a Mars bizonyos időszakokban

jobban megközelíti a Földet, mint máskor, minden harminc évben pedig sor kerül a legközelebbi találkozásra, amikor millió kilométernél nem sokkal többre található bolygónktól. Csak a Vénusz közelít meg bennünket ennél jobban, időnként mindössze 42 millió kilométerre. Minden ilyen megközelítés alkalmával a Mars tisztábban megfigyelhető, és természetesen a csillagászok felszerelése is mindig tökéletesedett két találkozás között.

1877-ben is egy ilyen megközelítésre került sor, és egy olasz csillagásznak, Giovanni Virginio Schiaparellinek (1835-1910) sikerült elkészítenie a Mars mintázatának addigi legjobb térképét, amely ellen a többi csillagásznak sem volt kifogása. Schiaparellinek feltűnt, hogy a Marsot borító sötét minták közül sok hosszú és egyenes. A csillagászok már őelőtte is megfigyelték ezeket az ábrákat, de Schiaparelli sokkal többet talált belőlük másoknál. Mivel ezek a sötét vonalak feltételezhetően vízmedreket jelenthettek, Schiaparelli „kanálisoknak” nevezte el őket. Az erre szolgáló olasz canali kifejezést használta, amit az angol és az amerikai csillagászok canalsnek fordítottak. Ez egy jelentős tévedés volt: amíg angolul a channel természetes vízmedert jelent, addig a canal mesterségeset. Amint a csillagászok a Mars kanálisokról kezdtek beszélni, az emberek mindjárt azt képelték, hogy azokat intelligens Marslakók építették.

Ez logikusnak tűnt. A Mars alacsony (a Földnek mindössze kétötödét kitevő) felszíni gravitációja következtében nem tudta visszatartani a vízpárát, amely így kiszivárgott a világűrbe, folyamatosan száradó sivataggá változtatva a bolygót. Hogy életben tarthassa magát, és hogy ne menjen tönkre a mezőgazdasága, a marsbéli civilizáció érvekkel alátámasztható módon bonyolult csatornarendszert építhetett, hogy a hósapkákból a melegebb egyenlítői régiókba vezesse a vizet. Ez egy igen drámai szituációt körvonalazott, amely nagy hatással volt a közvéleményre és a csillagászok némelyikére egyaránt.

A Mars-csatornák és a marsbéli élet elméletének legbefolyásosabb támogatója egy amerikai csillagász, Percival Lowell (1855-1916) volt. Lowell – gazdag lévén – magánobszervatóriumot alapított Arizonában, ahol a mérföldnyi vastag, száraz sivatagi légkör és a városi világítástól való távolság kitűnő látási feltételeket teremtettek. Ebben a csillagvizsgálóban a fényképek ezreit készítette a Marsról és részletes térképeket, amelyek végül több mint ötszáz csatornát ábrázoltak. 1894-ben könyvet adott ki Mars címmel, amely tovább terjesztette azt a tévhitet, miszerint ez a planéta intelligens életformának ad otthont.

Herbert George Wells (1866-1946) angol író Lowell könyve alapján írta meg a Világok harca című regényét, amely először 1898-ban jelent meg. Ebben a marslakók megtámadják a Földet, hogy megszerezzék bolygónk bőséges vízkészletét. A nagyszabású terv végső célja az volt, hogy a marslakók áttelepüljenek a Földre – természetesen előtte likvidálták volna valamennyi földlakót. A fejlett marsbéli technológiával szemben a földlakóknak nem volt semmi esélyük az invázió visszaverésére, de végül a Mars-lakók mégis vereséget szenvednek, mert szervezetük nem tudja felvenni a harcot egy földi baktériummal. Ez a regény volt a bolygóközi hadviselés első jelentős ábrázolása, olyan jól és ijesztően lett megírva, hogy sokkal több embert győzött meg a marsbéli élet létezéséről, mint Lowell könyve.

Akadtt azonban olyan is, aki nem fogadta el a Mars-csatornák elméletét. Egy amerikai csillagász, Edward Emerson Barnard (1857-1923), aki kitűnő látásáról volt ismert, sohasem látott csatornákat a Marson, és hangsúlyozta, hogy csupán optikai csalódásról van szó. Ha csak apró, szabálytalan sötét foltot lát, a szem hosszú, egyenes vonalként érzékelheti őket.

Edward Walter Maunder (1851-1928) angol csillagász ellenőrizte ezt az állítást. Köröket állított fel, amelyekbe elmosódott, szabálytalan foltokat helyezett, és olyan távolságra, ahonnan már alig láthatták, hogy mi van ezekben a körökben, iskolás gyerekeket állított. Azután megkérte őket, rajzolják le, amit láttak, és azok egyenes vonalakat húztak, azokhoz hasonlóakat, amelyek Schiaparelli és Lowell Mars-térképein láthatók.

Más csillagászok is hangot adtak ellenvetésüknek, de Lowell továbbra is ragaszkodott elméletéhez, és a köztudatban tovább gyűrűzött a dráma. Wells regénye után több mint ötven évig a tudományos-fantasztikus írók valósággal megszállottai voltak a Mars csatornáinak és az intelligens Mars-lakóknak.

Azonban a tudományos eredmények fokozatosan kizárták a marsbéli élet lehetőségét. 1926-ban két amerikai csillagásznak, William Weber Coblentznek (1873-1962) és Carl Otto Lamplandnak (1873-1951), sikerült lemérnie azt a csekély mennyiségű hőt, amelyet a Mars sugárzott ki, és kiderítették, hogy bár a Mars egyenlítői része a napos oldalon egészen kellemes lehet, a marsbéli éjszaka hideg, akár az Antarktisz. Ekkora hőmérséklet-csökkenés a húsz órás Mars-éjszaka során arra engedett következtetni, hogy a bolygó légköre nagyon vékony lehet.

1947-ben a holland-amerikai csillagász, Gerard Peter Kuiper (1905-1973), széndioxidot mutatott ki a Mars légkörében, de nem sikerült semennyi oxigént vagy nitrogént találnia. Nem elég tehát, hogy a Mars légköre valószínűleg túl

ritka ahhoz, hogy lélegezhető legyen, hanem az összetétele sem tenné erre alkalmassá, még akkor sem, ha sűrűbb lenne. A marsbéli intelligens élet létezésének lehetősége tehát egyre csekélyebb lett.

Nyilvánvalóan szükség volt egy közeli szemrevételezésre, amit a rakétakorszak eljövetele lehetővé is tett. 1965-ben a Mariner 4 űrszonda 10 000 kilométeres távolságon belül haladt el a Mars felszínétől, amelyről húsz felvételt készített, és azokat visszaküldte a Földre. Ezekon a fényképeken nyoma sem volt a csatornáknak, csupán kráterek látszottak rajtuk, amelyek hasonlítottak a Holdon találhatóakhoz. Mi több, a Mariner 4 rádióhullámokat küldött a Mars légkörébe, amelyről kiderült, hogy sűrűsége a földi légkör sűrűségének mindössze egy-két századrészét teszi ki, fő alkotóeleme pedig a széndioxid.

A Marson található intelligens élet esélye tovább csökkent, amikor az újabb szondák még jobb és részletesebb felvételeket készítettek erről a bolygóról. 1971 végén a Mariner 9 Mars körüli pályára állt, és feltérképezte annak egész felszínét, hatalmas, de már kihunyt vulkánok, egy óriási kanyon és olyan felszíni alakzatok létezését tárva fel, amelyek valamikor folyómedrek lehettek, továbbá rétegződött jégsapkákat is, amelyek fagyott állapotban levő széndioxidot vagy vizet egyaránt tartalmazhattak. A hőmérséklet mindenütt messze fagypont alatti volt, csatornákat pedig sehol sem lehetett találni, ami látszott, az csupán optikai csalódás volt, ahogyan azt Barnard és Maunder is említette. Lowell tökéletesen tévedett.

1976-ban két űrszonda, a Viking 1 és a Viking 2 ténylegesen leszálltak a Mars felszínére, és felvételeket készítettek, amelyek egy teljesen sivár és élettelen táj képét ábrázolták. A talaj automatikus elemzését is elvégezték, hogy az esetleges mikroszkopikus élet nyomára bukkanjanak, de annak egyértelmű jelenlétét nem tudták kimutatni. Továbbra sem állíthatjuk határozottan, hogy a Marson nincs vagy soha nem is volt élet, de valószínű, hogy ezen a bolygón jelenleg nem található meg, és ha mégis, aminek nagyon csekély a valószínűsége, akkor az legfeljebb valami baktériumhoz hasonló létforma lehet.

### **Van-e élet a külső Naprendszerben?**

Ha a Mars (többek között) túl hideg ahhoz, hogy a számunkra ismert életformát hordozza, akkor a mögötte következő világok minden bizonnyal még hidegebbek és alkalmatlanabbak lehetnek. Ami a négy óriásbolygót illeti, a rajtuk uralkodó feltételek annyira különböznek mindentől, ami földi, hogy nem

számíthatunk komolyan a miénkhez hasonló életforma jelenlétére rajtuk.

Amennyiben figyelmen kívül hagyjuk az óriásokat, megmaradnak számunkra a különböző mellékbolygók, amelyeknek szinte mindegyike légkör nélküli, és ha tartalmaz vizet, az csak fagyott halmazállapotban található meg rajtuk. Ezeket szintén ki kell zárunk, két nem sok reménnyel kecsegtető, de mégis lehetséges kivételtől, az Európától és a Titántól eltekintve.

A Jupiter négy nagy holdja, az Io, Európa, Ganümedesz és Kallisztó (a Naptól való távolság növekvő sorrendjében), az óriásbolygó erőteljes árapály-effektusának van kitéve. Ezek a mellékbolygók, egymásra gyakorolt vonzerejük következtében nem tökéletes körpályán keringenek a Jupiter körül, tehát a tőle való távolságuk is változik, aminek eredményeképp hol kitágulnak, hol pedig összehúzódnak valamelyest, ami melegítő hatással van rájuk.

Mivel az árapály-effektus a távolság köbével fordított arányban növekszik, ahogyan azt Edouard Roche, a Szaturnusz gyűrűire elsőként magyarázattal szolgáló csillagász eredményeiből láthattuk, ez a vonzerő, a két külső hold, a Ganümedesz és a Kallisztó esetében nem lehet nagyon nagy. Ezek elég hidegek maradtak ahhoz, hogy megőrizzék jégtakarójukat, így nagyobbak is a másik két kísérőnél, és mivel a Ganümedesz sűrűsége 1,9, a Kallisztóé pedig 1,6, minden valószínűség szerint javarészt jégből állnak.

Az Io, a Jupiterhez legközelebb eső hold a legerősebb melegedésnek van kitéve, úgyhogy a jég leolvadt róla, és teljes egészében kövek alkotják, mivel sűrűsége 3,6 grammot tesz ki köbcéntiméterenként. Valójában az Io olyan mértékben felmelegedett, hogy a belseje vulkán-tevékenység formájában a felszínre törhet. Amikor 1979 márciusában a Voyager 1 űrszonda az Io közelében haladt el éppen nyolc tűzhányó kitörését érzékelte, és amikor ugyanezen év júliusában a Voyager 2 is erre haladt, hat közülük még mindig aktívnak bizonyult.

Az Io vulkánjaiból előtörő anyag túlnyomó része kénnek tűnik. Ez adja a mellékbolygó felszínének vörös és narancssárga színét, míg a kéndioxid kitörései fehér foltokat hagynak hátra. Azokat a krátereket, amelyek a Naprendszer keletkezésének korai napjaiban az Iót ért becsapódások révén jöttek létre, már befedte a kén, úgyhogy ez a világ meglehetősen simának látszik, mert hiányzanak róla a Ganümedeszt és a Kallisztót tarkító domborzati képződmények.

Az Európa, amely a Jupitertől haladva a második mellékbolygó, a négy közül a legkisebbnek számít, 3138 kilométeres átmérőjével alig valamivel kisebb a mi Holdunknál. Az űrszondák megmutatták, hogy sima felszínű, a legsimább a



Naprendszerben található összes világ között. Olyan, mintha egy világméretű jégmező borítaná.

De ha ez a gleccser szilárd volna, akkor a felülete a Ganümedeszhez és a Kallisztóhoz hasonlóan kráterekkel lenne teleszórva. Ehelyett nagyszámú, finom repedés fut rajta keresztül-kasul, hasonlóan ahhoz a térképhez, amelyet Lowell készített a Mars csatornáiról. Erre az tűnik a legelfogadhatóbb magyarázatnak, hogy időnként meteoritok csapódtak be a gleccserbe, amely pusztán egy külső kéreg, áttörték azt, és belezuhantak egy folyadék alatta elhelyezkedő óceánjába. (Ennek a folyadéknak a fagyását az a felmelegedés akadályozhatja meg, amely a Jupiter árapály-effektusának hatására keletkezik). A folyékony víz-ezután a meteorit által ütött résen át kiömlik és ott megfagy, mintegy beragasztva a törött felszínt.

A folyadék lehet nagyjából víz, ugyanakkor nem tartalmaz oxigént, és a gleccserborítás alá a napfény sem hatol le. A földi életformák csaknem mindegyike pedig éppen e kettőtől függ. De csak majdnem mindegyike. Léteznek olyan primitív baktériumfajták, amelyek úgy jutnak energiához, hogy a kén- és vasvegyületekben kémiai változásokat idéznek elő, márpedig ezek egyike sem tartalmaz oxigént vagy napfényt. Az utóbbi években olyan mélytengeri régiókat fedeztek fel, amelyekben termálvíz tör elő, és ezeken az ásványi anyagokban gazdag helyeken szintén fenn tudnak maradni bizonyos baktériumok. Az élet összetettebb formái pedig ezekkel a baktériumokkal, továbbá egymással táplálkoznak, és úgy tűnik, egészen jól elvannak. Lehetséges akkor, hogy az Európán óceán található, amely az élet valamilyen formájának adhat otthont? Egy napon a jégtakaró alá kell juttatnunk űreszközünket, hogy erre a kérdésre választ kapjunk.

Naprendszerünkben található néhány további mellékbolygó is, amely elég nagy és hideg ahhoz, hogy légkört tartson meg. (A hideg gázok molekulái lassabban mozognak, és a gyenge gravitáció jobban meg tudja tartani őket, mint a meleg gázokat.) Így a Tritonról, a Neptunusz nagy holdjáról. 1989-ben, a Voyager 2 látogatása alkalmával kiderült, hogy valamivel kisebb, mint vélték, csak 2730 kilométer az átmérője, amivel a legkisebbnek számít az általunk ismert hét nagy mellékbolygó közül. Ugyanakkor annyira hideg. (-223 C°), hogy megtarthatott egy vékony légréteget.

A Triton légköre javarészt nitrogénből és metánból áll, amelyek egyaránt rendkívül alacsony hőmérsékleten fagynak meg, és ennek következtében a felszínét ezeknek az elemeknek a sima jége borítja. A Tritonon azonban mégis található elegendő hőmennyiség ahhoz, hogy a szilárd nitrogént elpárologtassa,

így az időnként fagyott állapotából pára alakjában tör ki, a szilárd anyagot maga előtt a magasba lökve. Ezek a jégvulkánok krátereket és hegygerinceket építenek. A Triton az egyetlen olyan világ a Föld és az Io mellett, amely aktív vulkánokkal rendelkezik, de az életnek nincs rajta semmilyen nyoma.

A Plútó, amely szembetűnően kisebb a Tritonnál, és mellékbolygója, a Charon, amely még nála is alacsonyabb szinten megtartott maga körül egy vékony atmoszférát, nem ad megfelelő otthont az élet számára.

A legsűrűbb légkört magáénak mondható mellékbolygó a Titán, a Szaturnusz legnagyobb holdja. Majdnem olyan nagy, mint a Ganümedesz, az átmérője 5150 kilométer, az atmoszférája pedig még a Föld légkörénél is vastagabbnak tűnik.

Ahogy azt a Triton esetében már láttuk, a Titán atmoszféráját is nitrogén és metán alkotja. A metán elég nagy mennyiségben van jelen, és a mellékbolygó is elég közel található a Naphoz, így annak sugarai kihatással vannak erre az elemre. Amikor a metán molekuláit (amelyek egy szén- és négy hidrogén-atomból állnak) erősebb napsugárzás éri, azok bonyolultabb molekulákká egyesülnek, amelyek mindegyike több szén-atomot is tartalmaz. Míg a metán a Tritonon uralkodó hőmérsékleten gáz alakjában fordul elő, addig a belőle származó bonyolultabb szénvegyületek folyékonyak. Megtörténhet tehát, hogy a Triton felületén szabad folyadék (valójában a benzin egy fajtája) található. A Triton légköre sajnos annyira zavaros, hogy a felszínét nem láthatjuk, de az utóbbi idők rádióhullámos vizsgálatai során kitűnt, hogy azon folyékony óceánok találhatóak, amelyekből száraz földrészek emelkednek ki. Ez nagyon emlékeztet a Földre, azzal a különbséggel, hogy ezeket az óceánokat benzin alkotja, és jóval hidegebbek is a mieinknél. Vajon fennmaradhat az élet a benzinben? Erre a kérdésre megint csak akkor kapunk majd választ, ha űreszközünket egyszer sikerül eljuttatnunk a Titán felszínére. Mindebből leszűrhetjük tehát, hogy – talán az Európa és a Titán kivételével – a naprendszerben nem található élet a Földön kívül.

### **Hogyan néz ki a Nap?**

Itt az ideje, hogy a Nap, a naprendszer életet adó uralkodója és a középpontja felé forduljunk. De arra a kérdésre, hogyan néz ki, magától adódónak tűnik a válasz. Elvégre nem látja-e mindenki, hogy milyen?! Egy lángoló fénykorong. Valójában egy olyannyira lángoló és ragyogó fénykorong, amelyre az emberek egy másodpercnél tovább nem vethetik tekintetüket, különben szemük épségét

kockáztatják. Ebből kifolyólag azután nagyon nehéz megmondani, hogy pontosan milyen is a Nap.

A tündöklés, a fény és a hő forrását egyértelműen megillető fontos szerep a Napnak szinte valamennyi mitológiában isteni kiváltságokat biztosított. Mindenütt napistenekkel találkozunk. Ezeknek egyik legismertebbike a görög Héliosz napisten, jóllehet a későbbi mítoszokban Apolló az, aki a tüzes szekeret napról napra keresztülhajtja az égen.

Az első egyistenhívő, akit névről ismerünk, Amenhotep. N. egyiptomi fáraó volt, aki i.e. 1379-ben került trónra, és új vallást alapított, amelyben a Nap (Aton néven) volt az egyetlen isten. A Nap tiszteletére a fáraó is átkeresztelkedett, és az Ekhnaton nevet vette fel, de az új vallás nem sokkal élte túl alapítójának halálát.

A kereszténység természetesen nem övezte istennek kijáró tisztelettel a Napot, de az Isten tökéletességének jelképeként tartotta számon, mivel valamennyi égitest közül a Napot tekintették hasonlóan tökéletesnek.

Az igazság az, hogy mégis lehetséges közvetlenül a Napba nézni. Néha, amikor ködön keresztül világít, akadálytalanul belenézhetünk, továbbá naplemente alkalmával is gyakran megesik, hogy a poros levegő vastag rétegei eléggé keresztelik a fényét ahhoz, hogy egyenesen ráirányíthassuk a tekintetünket.

Ilyenkor megtörténik, hogy sötét foltokat fedezhetünk fel az izzó felszínen. A kínai csillagászok számos alkalommal megfigyelték ezeket a foltokat, amelyekről gondos feljegyzéseket is vezettek. Kétségtelen, hogy európai kollégáik figyelmét sem kerülhette el ez a jelenség, csak hogy sohasem számoltak be róla. A gondolat, hogy a Nap felszínét foltok csúfíthatják, olyan sértőnek tűnhetett az általa képviselt istenségre nézve, hogy egyszerűbbnek tűnhetett a foltok felbukkanását téves megfigyelésnek betudni.

Az 1610-es év vége felé azután Galilei a teleszkópjával egyértelműen bebizonyította, hogy tévedésről szó sem lehet: a Nap felszínén minden kétséget kizáróan foltok találhatók. Mi több, azok lassan és szabályosan haladtak át a korong felületén, arra utalva, hogy a Nap minden huszónhét nap vagy valamivel több idő alatt megfordul a saját tengelye körül. Ez a felfedezés természetesen nagy izgalmat keltett, az egyházi vezetők pedig valósággal elborzadtak annak lehetőségétől, hogy a Napot holmi foltok szentségtelenítik meg, de Galilei kitartott állítása mellett (és ellenségeket szerzett magának).

A napfoltok tulajdonképpen nem is olyan sötétek, csupán az izzó felszínhez viszonyítva tűnnek annak. Időről időre vagy a Vénusz, vagy a Merkúr közvetlenül a Nap és a Föld közé kerül, és lassan elhalad központi csillagunk

felszíne előtt (megtéve azt, amit tranzitnak, vagyis áthaladásnak nevezünk). Amikor erre sor kerül, a bolygókat rendkívül sötét objektumként észleljük, és ha napfolt mellett haladnak el, akkor világosan látható, hogy habár ezek a foltok sötétebbek, mint a Nap maga, de még mindig ragyogóak.

1825-ben egy német amatőr csillagász, Samuel Heinrich Schwabe (1789-1875), tanulmányozni kezdte a Napot és annak foltjait. A vakság elkerülése végett foganatosított megfelelő óvintézkedések mellett tizenhét évet töltött megfigyeléssel, így alkalma nyílt felfedezni az úgynevezett tízéves periódust (amely a további kutatások során inkább tizenegy évesnek bizonyult). Ez volt az asztrofizika tudományágának kezdete, amely a csillagok és más égitestek fizikai jelenségeit tanulmányozza. A napfolttevékenység periodikusságának oka a mai napig ismeretlen.

Úgy tűnik, hogy a napfolttevékenység intenzitásának növekvése és csökkenése földi jelentőséggel bír, 1852-ben ugyanis egy angol fizikus, Edward Sabine (1788-1883) kimutatta, hogy a Föld mágneses mezőjének változásai megfelelnek a napfolttevékenység ingadozásának. Ez a megfigyelés arra engedett következtetni, hogy a napfoltok a mágnesességgel állnak összefüggésben, és 1908-ban George Ellery Hale (1868-1938) amerikai csillagász felfedezte, hogy a napfoltok erős mágneses mezőkkel állnak kapcsolatban. Ez valójában huszonkét évesre nyújtotta a napfolttevékenység periódusát, mivel minden egymást követő tizenegy éves szakaszban a mágneses mező pólusai megfordulnak.

1893-ban Edward Maunder (egyike azoknak, akik kétségbe vonták a Mars csatornáiról szóló történeteket) áttanulmányozta a napfoltokról szóló korai feljegyzéseket, és legnagyobb meglepetésére arra az eredményre jutott, hogy 1645 és 1715 között gyakorlatilag nem készült ilyen feljegyzés. Habár nyilvánosságra hozta felfedezését, azt senki sem vette komolyan, mivel a korai megfigyeléseket egyébként is megbízhatatlannak tartották.

1970-ben azonban egy amerikai asztronómus, Johan A. Eddy ellenőrizte Maunder jelentését. Nemcsak azokat a munkákat vette számításba, amelyeket az elődök teleszkópokkal végeztek, hanem visszament a még régebbi múltba, és sorra vette a kínaiak meg mások által szabad szemmel végzett megfigyeléseket is. Arra a megállapításra jutott, hogy létezik egy szabályosan ismétlődő Maunder minimum, és az a szünet, amelyről Maunder beszámolt, csupán az utolsó volt ebben a sorban. Hogy mi idézi elő a Maunder minimumot, ma sem tudjuk.

## **Mi a napfény?**

A Napról szerzett tapasztalataink java részét a fény teszi ki, amelyet tőle kapunk, tehát azt kellene megvizsgáljunk, hogy mit mondhat számunkra ez a fény. Első pillantásra a napfény egyszerű fehér fénynek tűnik, még hozzá a legtisztábbnak, ami rendjén is lenne a Nap részéről. De bármennyire is illő, legalább olyan sajnálatos is, hiszen milyen információval szolgálhat számunkra valami, ami olyan tiszta és egyszerű, mint a fehér fény?

Az ember által létrehozott fény ugyanakkor nem szükségszerűen fehér. A fa és más tüzelőanyagok égésekor fellobbanó lángok lehetnek vörösek, narancssárgák vagy citromsárgák, és hiányzik belőlük a tisztaság isteni minősége, így a Nap égi fényének kvalitása is. Mindazonáltal a napfény is színezhető, ha festett üveglapon vezetjük keresztül, ahogyan azt a vitrázsablakok esetében láthatjuk. Az eredmény lehet nagyon szép, de csupán úgy érhető el, hogy az ember tisztátalanságot kever a tiszta fehér fénybe. Úgy tűnik, hogy még a naplemente vörös fénye is annak köszönhető, hogy a napfény poros légrétegeken halad keresztül. Tulajdonképpen a fény elszíneződésének egyetlen olyan esete volt látható, amely nem tűnt emberi vagy földi beavatkozás következményének: a szivárvány, amelyet ezért szintén isteni eredetűnek véltek – az istenek által használt hídnak vagy Isten ígéretének arra vonatkozólag, hogy nem lesz többé Vízözön.

1665-ben Isaac Newton tanulmányozta a napfény természetét olyan módon, hogy egy fénysugarat a függöny résén át a lesötétített szobába vezetett, és azt átirányította egy háromszögletű üvegdarabon, amit prizmának nevezünk. A fénysugár elhajolt, amint áthaladt ezen a prizmán, de nem egyenlő mértékben. Bizonyos részei jobban elhajoltak, mint mások, és a fény, amely a prizma mögötti fehér falra esett, szivárványszínű volt. Ez egy színes sáv volt, amely a vörössel kezdődött (a fény legkevésbé elhajló részével), majd következett a narancs, a sárga, a zöld, a kék és végül az ibolya (a fény leginkább elhajló része), és a színek fokozatosan mentek át, egymással keveredve. Ez a színeknek pontosan az a megjelenése és sorozata volt, mint a szivárvány esetében.

Mivel ez a színskála anyag nélküli jelenség volt, amely nem rendelkezett tömeggel, Newton fényspektrumnak nevezte el (a latin spectrum kifejezés után, amely szellemet jelent). A szivárvány tehát egy természetes spektrum, amely akkor keletkezik, amikor a napfény az esőzés után a levegőben lebegő vízcseppecskéken halad át.

Persze, valaki azt az ellenvetést is megtehetné, hogy a színskálát, jóllehet

színtelen volt, maga a prizma állította elő, de Newton számolt ezzel az eshetőséggel, és a prizma mögött keletkező spektrumot egy másik prizmára vezette, amelyet az előbbivel ellentétes irányba fordított. Ezúttal a fény, ahelyett hogy elhajolt és szétvált volna, ismét összeállt eredeti állapotába. A második prizma mögött ismét fehér fény haladt tovább.

Nyilvánvalóvá vált, hogy a napfény nem vegyítetten, hanem különböző színű fények összetett keveréke. Amikor ezek a különféle színek szemünk recehártyájára hatnak, olyan hatást fejtenek ki, amelynek következtében fehér fényt látunk.

### **Mik a spektrumvonalak?**

Amikor Newton először tanulmányozta a színskálát, úgy vélte, hogy az folyamatos. A színek valamennyi változata megszakítás nélkül követi egymást. Valójában azonban a spektrum nem éppen folyamatos, hanem vékony hézagokat találni benne, amelyekben nem létezik semmilyen szín. A tudomány történetírői néha elcsodálóztak azon, hogy ez miként kerülhette el Newton figyelmét, de ő meglehetősen durva felszereléssel dolgozott, a vonalkákat pedig elég nehéz észrevenni. 1802-ben egy angol vegyész, William Hyde Wollaston (1766-1828), viszont a színekben rábukkant néhány ilyen résre, és be is számolt róluk, de mivel nem tulajdonított nekik különösebb jelentőséget, nem is foglalkozott velük tovább.

A spektrum előállítására és elemzésére szolgáló felszerelés (amit spektroszkópnak nevezünk) természetesen fejlődésen ment át. Végül a fényt egy egyenes hasadékon vezették keresztül, úgyhogy a spektrum különböző színű, egymásba olvadó sávok sorozatává vált, amely majdnem folyamatos skálát alkotott. Ugyanakkor bizonyos színek hiányoztak, a helyükön pedig fekete vonalak szakították meg a folytonosságot, amelyek metszették a fényes spektrumot.

1814-ben Joseph von Fraunhofer (1787-1826) német fizikus olyan spektrummal dolgozott, amelyet az addigi legjobb felszereléssel állított elő, és közel hatszáz ilyen vonalat talált. (A modern fizikusok vagy tízezret határoltak be.) Ezeket kezdetben Fraunhofer-vonalaknak nevezték, de ma már egyszerűen spektrumvonalakként ismertek. Mint kiderült, ezek a spektrumvonalak döntő jelentőséggel bírnak.

Különböző vegyi elemek más-más színű fényt bocsátanak ki, amikor melegítjük őket. A nátrium hevített vegyületei sárga fényt sugároznak, a káliumvegyületek

ibolyát, a stroncium vegyületei vöröset, a báriumé zöldet és így tovább. Ilyen vegyületeket használnak fel a látványos tűzijátékok készítéséhez, amelyekkel a legkülönfélébb alkalmakat szokták megünnepelni.

1857-ben egy német vegyész, Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) olyan gázlámpát készített, amely annyira jó levegőellátást kapott, hogy gyakorlatilag színtelen lángot adott. Ha ezzel egy bizonyos vegyi elemet hevítettek, annak színe nem keveredett a lámpa által előállított színekkel.

Bunsen munkatársa, Gustav Robert Kirchhoff (1824-1877) német fizikus a Bunsen-lámpa segítségével nyert fényt különböző elemekből. Azután elemezte az így előállított fény spektrumát, és rájött, hogy az nem folyamatos, hanem mindegyikük néhány elszórt, különálló színes vonalból állt. Mi több, minden elem (az atomok minden egyes fajtája) a színes vonalak sajátos mintáját hozza létre. A spektrum tehát gondoskodik minden elem „ujjlenyomatáról”, vagyis alkalmas arra, hogy egy adott ásványban vizsgáljuk az elemek jelenlétét.

Ha egy erősen hevített ásványminta a színes vonalak olyan sorozatát hozza létre, amilyent egyetlen ismert elem esetében sem tapasztaltunk, akkor az ásvány még fel nem fedezett kémiai elemet tartalmaz. Ha az ásványt különféle módon kezeljük, elkülöníthetjük azokat a részeit, amelyekben az ismeretlen vonalak erősebben látszanak, és az új elemet esetleg izolálhatjuk és tanulmányozhatjuk is. Ezzel a módszerrel Kirchhoff 1860-ban felfedezte a céziumot, egy évvel később pedig a rubídiumot. Nevüket az azonosításukra szolgáló spektrumvonalakról kapták, a cézium az égszínkék, a rubídium pedig a vörös latin megfelelőjéről.

Kirchhoff továbblépett kutatásaiban. A napfényt nátriumpárán vezette át, és az bizonyos mennyiséget elnyelt belőle, besötétítve egyes vonalakat, amelyek már adottak voltak. Rájött, hogy minden gáz, amennyiben hidegebb, mint a fényforrás, a spektrumnak pontosan azt a részét fogja eltüntetni, amelyet maga sugározna, ha melegítenék. Más szóval az elemek (vagy azok vegyületei) kétféleképp azonosíthatók: mint fényes vonalak fekete háttéren, ha magát az elemet hevítettük és az fényt adott le, illetve fekete vonalak formájában a fényes háttér előtt, ha az elem viszonylag hideg, és fényt nyel el. A spektrumvonalak segítségével történt például a széndioxid felfedezése a Vénusz és a Mars légkörében.

### **Van-e a Napnak tömege?**

Most már rátérhetünk arra a kérdésre, hogy miből van a Nap. Először azonban

tudnunk kell, hogy a Nap egyáltalán anyagi természetű-e. A régiek úgy tartották, hogy a Nap egyszerűen egy anyagtalan fénygömb. A fény nem földi értelemben vett fény volt. Arisztotelész úgy gondolta, hogy míg a Föld négy elemből tevődik össze, mint a föld, víz, levegő, tűz, addig a Nap és a hasonló égitestek éterből állnak. Ezek azért tudnak örökké ragyogni, mert nem földi szubsztanciából vannak. Maga az éter a lángol jelentésű görög szóból származik.

Miután elfogadottá vált az a tény, hogy a Nap nagyobb, mint a Föld, még akkor is lehetett azzal érvelni, hogy a Nap anyagtalan, nem hasonlít a Földre és nincs tömege. Emiatt óriási mérete sem bír jelentőséggel. Meg kell jegyeznünk, hogy a korai csillagászok ugyanezeket a jelzőket használták a Holdra is. De ez a bizonytalanság szertefoszlott 1687-ben, amikor Newton megalkotta az egyetemes gravitáció törvényét: Ekkor világossá vált, hogy a Földet a Nap óriási gravitációs erővel vonzza magához, ha pedig a Napnak ilyen vonzóereje van, akkor lennie kell tömegének is.

De vajon mennyi a tömege? Ezt nem olyan nehéz meghatározni. Tudjuk, hogy mennyi idő telik el azalatt, amíg a Hold megkerüli a Földet, ami 385000 kilométer. Azt is tudjuk, hogy a Föld mennyi idő alatt kerüli meg a Napot, ami 150 millió kilométernyi út. Ebből ki tudjuk számítani, hogy a Nap mennyivel nehezebb, mint a Föld. Azt az eredményt kapjuk, hogy a Nap háromszázharmincezerszer nagyobb, mint a Föld. Úgyhogy nem lehet egy anyagtalan fénygömb, hanem egy óriási anyaggömb, ami körülbelül 1038-szor nehezebb, mint a Jupiter, a legnagyobb bolygó. Valójában a Naprendszer tömegének 99,9 %-át a Nap tömege teszi ki.

A Nap mégsem olyan nehéz a tömegéhez képest, mint a Föld. A sűrűsége körülbelül 1,4 gramm köbcéntiméterenként, ami a Föld sűrűségének csak az  $\frac{1}{4}$ -e. Tehát a kémiai összetételüknek különböznie kell.

### **Miből áll a Nap?**

Akkor pedig milyen a Nap kémiai összetétele? Erre a kérdésre látszólag lehetetlen válaszolni. Hogyan szerezhethénk a Napból mintát, hogy azt később kémiaileg elemezzük?

1835-ben egy francia filozófus, Auguste Comte (1798-1857) a tudás egy olyan példája után kutatott, amely soha nem érhető el az emberek számára. Végül azt a példát hozta erre, hogy az emberiség soha nem lesz képes megvizsgálni a csillagok kémiai összetételét. 59 éves korában halt meg. Ha néhány évvel



tovább él, megtudhatta volna, hogy ebben tévedett.

A válasz kulcsa Kirchhoff felfedezésében rejlett, amely szerint a felmelegített elemek kibocsátanak egy jellegzetesen fényes színképi sávot vagy egy ennek megfelelő fekete sávokból álló színképet, amikor elnyelik a fényt. Így a Nap forró felszíne mindenfajta fényt küld, és ezzel egy folyamatos színképet hoz létre, amennyiben a Földet elérő fények érintetlenek maradnak. A napfény áthatol a Nap alacsonyabb atmoszféráján, amelyik ugyan forró, de nem olyan forró, mint a felszín. A légkör elnyeli a fény egy részét, és fekete sávokat képez, amelyeket Fraunhofer fedezett fel. Ezeknek a fekete sávoknak a helyzetéből a Nap atmoszférájában jelenlévő elemeket meg lehet határozni.

A svéd fizikus, Anders Jöns Angström (1814-1874) vizsgálta először ezt a témát. 1862-ben Angström leszögezte, hogy bizonyos fekete sávok a nap színképében pontosan illeszkednek egymáshoz a helyzetüket tekintve. Ezek a sávok akkor keletkeznek, amikor a fény hidrogénon megy keresztül. Ebből már levonta a következtetést, hogy hidrogén biztosan van a Napban.

Ezután más csillagászok is elkezdtek a Nap színképének vizsgálatát, hogy a Nap összetételéről újabb információkat szerezzenek. A tudomány mai állása szerint a Nap tömegének 3/4-ed része hidrogénből áll, ami a legegyszerűbb az elemek között. A maradék nagy része pedig héliumból, ami pedig a második legegyszerűbb elem. A hidrogén és a hélium együtt kiteszik a Nap tömegének 98%-át. Nem számítva most a hidrogént és a héliumot, a Nap minden tízezer atomjából 4300 oxigén, 3000 szén, 950 neon, 630 nitrogén, 230 magnézium, 52 vas és 34 szilikon. A maradék nyolcvan elem is jelen van, de még kisebb arányban. Ezek az eredmények bebizonyították, hogy Arisztotelész elképzelése nem állja meg a helyét, miszerint az égitestek összetétele alapvetően különbözne a Föld összetételétől. Most már nyilvánvaló, hogy minden, amiről tudunk a világegyetemben, ugyanazokból az atomokból épül fel (és atomrészecskékből), mint a Föld.

### **Milyen anyagokból állnak a bolygók?**

Most már ismerjük a Nap általános kémiai összetevőit, úgyhogy észrevehetjük, hogy a csillagok nagy többsége (és a csillagok közötti por és gáz) ugyanezekből az elemekből tevődik össze. Tudjuk tehát a világegyetem kémiai összetételét. (Ez azonban lehet, hogy így nem helytálló, ahogy azt majd egy későbbi fejezetben látni fogjuk.)

Tehát az univerzum anyagtípusait négy osztályba sorolhatjuk:

*Gázok.* A legegyszerűbb elem, a hidrogén és a hélium teszik ki az univerzum 98%-át. Ezek olyan gázok, amelyek nagyon könnyű, gyors mozgású atomokból állnak. Minél kevésbé nehéz egy atom és minél magasabb a hőmérséklete, annál gyorsabban mozog. Minél gyorsabban mozognak az atomok, a gravitációs vonzásnak annál nehezebb őket megtartani.

Egy forró test például nem tud megtartani hidrogéneket és héliumokat, hacsak nem olyan nehéz, hogy óriási a gravitációs vonzóereje is. A Nap elég nehéz ahhoz, hogy megtartsa a hidrogént, a héliumot és más elemeket abban a por- és gázfelhőben, amelyből összeállt.

Ha egy tárgy hideg, legalábbis a felületén, akkor az sokkal könnyebben megtudja tartani a hidrogént és a héliumot, mint hogyha meleg volna, de ehhez nem kell olyan hatalmasnak lennie és olyan nagy gravitációs erővel bírnia, mint amilyennel a Nap rendelkezik. A négy óriás bolygó, a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz főleg hidrogénből és héliumból állnak, ezért néha gázóriásoknak is nevezzük őket.

Ezekkel a tényekkel magyarázható a Nap és a gázóriások alacsony sűrűsége, a köbcéntiméterenkénti 1,4 gramm. A sűrűség még ennél is alacsonyabb lenne, ha ezeknek a nagy objektumoknak a belső részét nem préselné össze a nagy nyomás. A Szaturnusz meglepően alacsony sűrűsége még furcsábbnak tűnne.

*Jegek.* Az anyagok második típusa a jegek, amely még a hidrogénnél és a héliumnál is kisebb mennyiségben képviseltetik magukat az univerzumban. Ezek olyan molekulákból állnak, amelyek a másodlagos elemeket tartalmazzák, mint az oxigén, a nitrogén és a szén az ezeknél sokkal nagyobb mennyiségben jelenlevő hidrogénnel kapcsolódva. Az oxigén és a hidrogén molekula együtt vizet képeznek, a nitrogén hidrogénnel vegyülve ammóniát hoz létre, a szén és a hidrogén együtt pedig metánt alkot. A víz  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on ölt szilárd formát. Az ammónia ennél alacsonyabb hőfokon fagy meg, a metán pedig még alacsonyabban. Jelen vannak azonban az oxigén és a szén kombinációi is (széndioxid, szénmonoxid), a szén és nitrogén kombinációi (cianogén), a kén és a hidrogén (hidrogénszulfid), a kén és az oxigén vegyületei (szulfur-dioxid). Ezek mind a jegek között találhatóak.

A jégmolekulák sokkal szorosabban kapaszkodnak egymásba, mint a gázmolekulák. A kis méretű testek vissza tudják tartani a jeget, még akkor is, ha a gravitációs erejük nem elég nagy ahhoz, hogy sok hidrogént és héliumot tartsanak meg. (A hélium általában elvész, úgyhogy semmilyen más anyaggal nem tud vegyületet alkotni. A hidrogén egy része megmarad, mert más elemekkel kapcsolatba tud lépni, hogy jeget alkosson.)

A gázóriások tartalmazhatnak jégkeverékeket, persze sokkal kisebb mennyiségben, mint hidrogént vagy héliumot, de a kisebb testek, ha hidegek, akkor főleg jegekből állnak. Ilyenek például az üstökösök, és néhány mellékbolygó is. Például a Ganümedesz, a Kallisztó, a Titán és a Triton, a hét nagy mellékbolygó közül négy főleg jegekből áll.

*Közetek.* A kőzetes anyagok alkotják a harmadik anyagtípust. Ezek szilikon és oxigén, magnézium vagy más elemek vegyületei. Ezekből kevesebb van, mint jegekből, de még szorosabban kötődnek egymáshoz és nem függenek a gravitációtól. A kőzetekből álló anyagok legkisebb részeit kémiai erők tartják össze, még akkor is, ha a tárgy gravitációs ereje elhanyagolható. A kőzeteknek nagyon magas az olvadáspontjuk, és még a Nap közelében is megmaradnak.

Bizonyos jeges testeknek is lehet kőzetes magjuk, amely csak kis mértékben járul hozzá annak felépítéséhez. Ez igaz lehet a nagy mellékbolygókra nézve is, de néhány üstökösre is. A kis forró testek, mint például a Merkúr vagy a Hold, sem gázokat, sem jegeket nem tartalmaznak, hanem egyszerű kőzetfelülettel rendelkeznek. Az olyanok, mint a Hold, a Mars vagy az Io, majdnem teljesen kőzetesek, bár a Mars elég hideg ahhoz, hogy megtartsa valamennyi széndioxidot. Az Io is elég hideg ahhoz, hogy megtartsa valamennyi jeget tartalmazó szulfurt. Az Európa jelenti a középutat, ahol nagy mennyiségű felületi jég vesz körül egy jelentős kőzetes magot.

*Fémek.* Végül, a vas és a fém keveréke alkotja az anyagok negyedik osztályát, ami a legkisebb mennyiségben található meg az univerzumban. Mivel a fémek sűrűbbek, mint az összetevők másik három osztálya, lesüllyednek a bolygók közepébe. A naprendszer sok kőzetes objektumának lehet viszonylag kicsi fémmagja, de a nagy fémes maggal bíró bolygók csak a következők: Föld, Vénusz, Merkúr.

A naprendszer minden objektuma annak ellenére, hogy különbözőnek látszik, ugyanabból a por- és gázfelhőből jött létre. A különbségek a hőmérséklet és a tömeg különbségeinek köszönhetőek.

### **Milyen meleg a Nap?**

Meglepő, de a régiek nem túlzottan hangsúlyozták a Nap forróságát. Azt emelték ki, hogy a Nap fényforrás, és emellett kevésbé tűnt az fontosnak, hogy ugyanakkor egy lehetséges hőforrás is. Olvashatunk leírásokat a napistenről, aki ragyogó paripákkal vontatott aranyos hintaján végigvágta az égbolton, de a Nap hőt adó képességéről nem találunk semmilyen megjegyzést. Olvashatunk

még korai történeteket bolygók közötti utazásokról, amelyek között a Napra és a Holdra tett látogatások is megtalálhatóak.

Míg a Nap fényességét ismerték az emberek, addig az ott található hőséget egyik sem említi. Tudjuk, hogy melegebb van nappal, amikor a Nap fenn van az égen, mint éjjel, amikor nincs ott. Nyáron melegebb van, amikor a Nap magasabban van fenn az égen, mint télen, amikor pedig alacsonyan jár. Melegebb van a napon is, mint az árnyékban. A kérdés nemcsak az, hogy a Nap meleg-e, hanem az hogy mennyire meleg. Maga a pusztán tény, hogy 150 millió kilométeres távolságból is érezzük a meleget, azt bizonyítja, hogy nagy égitestről van szó és azt is, hogy az meleg. Szerencsére nem kell egy hőmérőt dugnunk a Nap hóna alá, hogy megtudhassuk, milyen a hőmérséklete. Az kiderül, hogy mind a Nap által termelt fény mennyisége, mind pedig a minősége annak hőmérsékletétől függ.

1879-ben Josef Stefan (1835-1893) osztrák fizikus bemutatta, hogy bármilyen tárgynak a teljes sugárzása a tárgy abszolút hőmérsékletének a negyedik hatványával arányosan növekszik. (Az abszolút hőmérséklet egyenlő az abszolút nulla feletti hőmérséklettel. Az abszolút nulla fok alatt mínusz 273,4 C°-ot értjük.) Ha az abszolút hőmérséklet megduplázódik, akkor a teljes sugárzás 2 a negyedikennel nő, azaz 16-szorosával, ha az abszolút hőmérséklet megtriplázódik, akkor a teljes sugárzás 3 a negyedikennel nő, azaz a 81-szeresével és így tovább.

1839-ben Wilhelm Wien (1864-1928) német fizikus kimutatta, hogy bármilyen forró tárgy által létrehozott fény egy sugárzási csúcsértéket eredményezett valahol a színekben, és ez a csúcsérték a színek vörös végétől az ibolya vége felé mozgott, ahogy a hőmérséklet tovább emelkedett. A napfény erősségi csúcsértéke a színek sárga részében volt, ennek pontos lokalizálásával a Nap felszínének hőmérséklete meghatározható. A mai ismereteink szerint a Nap felszínének hőmérséklete körülbelül 6000 C°.

De ez csak a felszín. A Föld és más bolygószerű testek esetében – minden okunk megvan arra, hogy ezt így gondoljuk – a hőmérséklet a mélységgel emelkedik. Ebből az következik, hogy a Nap is egyre melegebb, ahogy belesüllyedünk a felszínébe. Mivel a Nap felszíne olyan meleg mint amilyen a Föld belseje, és mivel sokkal nehezebb és a belsejére sokkal nagyobb nyomás nehezedik, mint a Földére, azt feltételezhetjük, hogy a Nap belsejének hőmérséklete melegebb, mint 50 000 C°. Ez körülbelül a Jupiter belsejének a hőmérsékletével azonos. De vajon mennyivel melegebb?

Az 1920-as években egy angol csillagász, Arthur Stanley Eddington (1882-

1944) foglalkozott ezekkel a kérdésekkel. Azt feltételezte, hogy a Nap egy nagyon forró és óriási gázgömb, ami többé-kevésbé úgy viselkedik, mint a Földön is megtalálható gázok. A gravitáció nyomása alatt a Nap anyagának befelé kell húzódnia. Valójában, ha csak gáz volna, akkor gyorsan összeesne viszonylag kis méretűre a gravitáció vonzása miatt. (Mint ahogy ezt később látni fogjuk, vannak bizonyos feltételek, amelyek mellett a Föld valóban ezt tenné.) Azonban a Nap nem dől össze, hanem fenntartja azt a sokkal nagyobb méretet, amit a gravitáció megkívánna. Van tehát valamilyen erő, amelyik a Nap anyagának szétszóródása ellen dolgozik, és az összezsugorodás tendenciáját is megakadályozza.

Eddingtonnak (vagy bárki másnak) csak egyetlen jelenség juthatott eszébe, aminek ez a trükk tulajdonítható. Ez pedig a hő. Amikor a hőmérséklet megemelkedik, a gázok térfogata is megnő, ezt a tényt a Földről származó tapasztalatainkból is tudhatjuk. Eddington úgy érezte, hogy a Nap egyensúlyi helyzetben van, mert a belső hő a kiterjeszkedésre törekszik, a gravitációs erő pedig az összetartás irányában hat. Ebben az egyensúlyban a Nap mindenképp meg tudja tartani ugyanazt a méretet évről évre.

Eddington tudta, hogy milyen jelentőséggel bír a befelé ható gravitációs erő, tehát már csak azt a hőmérsékletet kellett kiszámítani, ami a külső nyomást kiegyensúlyozza. Még ő maga is meglepődött azon, hogy a Nap hőmérsékletét millió fokokban kell mérni. A tudomány jelenlegi állása szerint ez a szám: 15 000 000 C°.

### **Mi az a napkorona?**

A teljes napfogyatkozás ideje alatt a Hold fekete korongját gyöngyházszerű fény veszi körül, amit úgy hívunk, hogy korona. Néha gyönyörű, szerpentinszalagszerűségek is díszítik. Az elején a csillagászok nem voltak biztosak abban, hogy ez a Naptól vagy a Holdtól ered, majd úgy döntöttek, hogy csak a Naptól származhat.

A korona valójában a Nap felsőbb atmoszférája, amely milliószor annyira fényes, mint a Nap teste maga, de nem látható, csak akkor, ha a Hold elhomályosítja a Napot. A korona olyan fényt ad, amely úgy világít, mint a telihold, és ezzel megakadályozza azt, hogy Föld teljes sötétségbe merüljön a napfogyatkozás idejére.

1931-ben egy francia csillagász, Bernard Ferdinand Lyot (1897-1952) felfedezte a koronográfot. Ez egy olyan optikai eszköz, amelynek segítségével

megfigyelhetjük a korona belső, fényesebb pontjait még akkor is, ha süt a Nap. Ez volt a végső bizonyítéka annak (bár akkorra már nem volt rá szükség), hogy a korona a Naphoz tartozik.

A korona színeképe olyan sávokat mutat, amelyek egyike sem volt megtalálható a Földön tanulmányozható anyagok között. Az 1868-as napfogyatkozás idején, amely Indiában volt látható, Pierre J. C. Janssen francia csillagász (1824-1907) ugyanilyen furcsa sávokat figyelt meg, és mesélt ezekről egy angol csillagásznak, Joseph Norman Lockyernek (1836-1920), aki a színeképek nagy szakértője volt. Lockyer úgy gondolta, hogy ezek eddig egy ismeretlen elemet jeleznek, amelynek az a neve, hogy hélium, a görög nap szóból. Ezt az elképzelést egészen 1895-ig nem vették komolyan, amikor is William Ramsay skót kémikus (1852-1916) felfedezte a Földön a héliumot. A hélium az egyetlen, amit előbb fedeztek fel az égitestekben, mint a Földön.

Voltak más különös színeképi sávok is a koronában, de ezek nem képviseltek ismeretlen elemeket. Pont ellenkezőleg, kiderült, hogy a különböző számú elektronnal rendelkező atomok nagy hő hatására elvesztenek valamennyit az elektronjaik közül. Azok az atomok, amelyek már elvesztették valamennyi elektronjukat, különböző színeképi sávokat képeznek, mint az eredeti szerkezetüket megtartó atomok. 1942-ben Bengt Edlén svéd fizikus (szül. 1906) azonosította a korona színeképi sávjaiból néhányat. Azt állította, hogy ezek a kalcium, a vas és nikkel atomjai, amelyek már elvesztettek néhány elektront. Már ebből is világos, hogy a korona hőmérsékletének magasnak kell lennie, körülbelül egymillió foknak. Ezt igazolja, hogy a röntgensugaraknak nevezett magas energiájú sugárzást elnyeli a korona. A magas hőmérséklet pusztán azt jelenti, hogy a korona egyedülálló atomjai és alkotóelemei nagyon magas energiájúak. Ezek közül kevés szökött meg az űrbe, amiből arra következtethetünk, hogy a korona teljes hőmérsékletének nagyon magasnak kell lennie.

A napkoronának nincsen körülhatárolt külső határa, hanem szétterjed az egész naprendszerben, egyre vékonyodik, végül olyan vékony lesz, hogy nincs észrevehető hatással a bolygókra. Bár a Nap hője és energiája lekötött részecskéket visz kifelé minden irányba. Eugene Newman Parker amerikai fizikus (szül. 1927) 1959-ben megjósolta ezt, és ezt a hatást a rakétapróbák is kimutatták. A leghatásosabban a Mariner 2, amelyik 1962-ben elérte a Vénuszt. A kötött részecskéknak ezt a kifelé irányuló propulzióját napszélnek is nevezzük, amelynek a sebessége másodpercenként 400-700 kilométer. Ez megakadályozza, hogy az üstökösök farkai becsapódjanak a Napba. Kötött

részecskék a bolygóknak is nekiütődnek, ahol az atomok összegyűlnek, és ha a bolygónak – mint pl. a Földnek – van mágneses mezője, akkor az ezeket a kötött részecskéket csapdába ejti, és az északi és a déli mágneses pólusok között sávokba rendezi el.

A Föld szomszédságában lévő ilyen kötött részecskéket először egy 1958-ban felküldött rakéta figyelte meg. Ezt a James Alfred Van Allen amerikai fizikus (szül. 1914) vezette csapatnak köszönhetjük. Először Van Allen-öveknek nevezték el ezeket, de ma már a magnetoszféra nevet viselik. Először azt hitték, hogy ezeknek közül lesz majd az űrrepüléshez, azonban ez nem bizonyult igaznak.

Ezek a kötött részecskék beszivárognak a Föld légkörébe a mágneses pólusok közelében, és reakcióba lépnek az ott található molekulákkal, és így színes fényű serpentin-szalagszerűségeket hoznak létre. Ez az aurora borealis, vagyis az északi fény az Északi-sarkvidéken vagy az aurora australis, vagyis a déli fény az Antarktiszon.

### **Mik a napkitörések?**

1859-ben Richard Christopher Carrington (1826-1875) angol csillagász csillagszerű fénypontot vett észre a Nap felületén. Először azt hitte, hogy ez egy becsapódó meteorit, de valójában ez volt az első megfigyelés a napkitörésekről.

1889-ben George Ellery Hale (1868-1938) amerikai csillagász szerkesztett egy eszközt, amely lehetővé tette, hogy lefotózzák a Nap fényeit egyetlen színeképi sáv segítségével. Ez az eszköz könnyen rögzítette a robbanásokat a felületen, és kimutatta, hogy a napkitörések nem meteorit eredetű becsapódások, hanem a napfoltokkal kapcsolatos robbanások. Nem tudjuk pontosan, hogy mi okozza a napkitöréseket és nem is tudjuk őket előre jelezni, de sokkal energikusabbak, mint a viszonylag háborítatlan napkorong. A napfoltok hidegebbek, mint a Nap egésze (ezért látszanak sötétebbeknek is), de a napkitörésekkel való egybeesésük azt jelenti, hogy a Nap, amikor a legtöbb napfolt van rajta, akkor is aktív, és energikusabb, mint amikor a legkevesebb napfolt van rajta.

A napkitörések különösen energikus napszélrohamokat eredményeznek. Ha a napkitörés a napkorong centrumához közel helyezkedik el és velünk szembenéz, akkor az energikus kötött részecskék egy-két nap alatt eléri a Földet, és szokatlanul nagy mennyiségben hatolnak be a Föld légkörébe a

mágneses sarkok környékén. Ez okozza a mágneses vihart, amely az aurorát rendkívül fényessé és tisztává teszi és megzavarja a mágneses iránytűket és a rádióhullámokat.

Egy ilyen óriási energiájú napkitörés sugárbetegséget okozhat az űrben tartózkodó asztronautáknál. Eddig még sem asztronauták, sem kozmonauták nem estek ennek áldozatául, de a veszély fennáll.

### **Miért nem hűl ki a Nap?**

Ha figyelembe vesszük azt, hogy a Nap milyen forró és milyen erős a mágneses mezője, akkor nem lepődhetünk meg olyan jelenségek láttán, mint a szuperforró korona, a napszél és a napkitörések. De vajon miért nem hűl ki a Nap?

Ez egy idevágó, de zavarbaejtő kérdés, a Nap óriási mennyiségű hőt és fényt bocsát a Földre, de a mi kis bolygónk csak egy elenyésző hányadát kapja a Nap egész hőjének és fényének, körülbelül az egyszázmilliomod részét. Más bolygók is kapnak ebből egy elenyésző hányadot, de a nagy része egyszerűen kiszökik az űrbe.

A Nap már 4,6 milliárd éve adja le ezt az óriási mennyiségű energiát megállás nélkül, és még mindig folytatja. Valójában úgy tűnik, mintha ezt még további évmillióig akarná folytatni, anélkül hogy addig kihűlné. Hogyan lehetséges ez?

Az 1800-as évek közepéig az embereket egyáltalán nem izgatta ez a kérdés. Akkoriban még nem teljesen értették az energiamegmaradás törvényét. A régieknek az volt az általános érzésük, hogy a Nap pusztán egy fénygömb, amely örökké világít, vagy legalábbis addig, amíg az istenek úgy nem döntenek, hogy elfűjják. Csak a biztonság kedvéért voltak földi fényforrások is, amelyek csak addig világítottak, amíg volt elég fűtőanyag ellátás. De ezek egyszerű földi fények voltak. Az isteni fényeket valami másnak tekintették.

1854-ben Helmholtz német fizikus, aki hét évvel korábban kidolgozta az energiamegmaradás törvényét, úgy gondolta, hogy azt alkalmazni kellene a Napra is, nemcsak a Földi jelenségekre. Ő volt az első, aki feltette azt a kérdést, hogy honnan származik a Nap energiája.

Nyilvánvaló volt, hogy nem származhat hagyományos forrásokból, ahhoz túl nagy arányban szórta ki az energiáját az űrbe. Ha csak szén és oxigén nagyarányú keverékéből állna, akkor már 1500 év alatt elégett volna. Mindenki tudta, hogy a Nap már sokkal több ideje süt, mint 1500 év, pedig még a Bibliának megfelelően is 6000 évig kellett volna égnie. Helmholtz tehát azt a



kérdést tette fel, hogy vajon a Föld és más bolygók honnan nyerik a hőjüket.

A Nap is valószínűleg kisebb darabokból alakult ki. Nagyon sok kis darabkának kellett egyesülnie ahhoz, hogy a Nap létrejöjjön. Többnek, mint amennyi bármelyik másik bolygóhoz kellett. Sokkal több kinetikus energia alakult át tehát hővé a folyamatban, ami magyarázatot adhat arra, hogy a Nap miért sokkal forróbb, mint más bolygók. Egyszerűen kiöntötte azt a rengeteg energiát, amit kialakulása folyamán halmozott fel.

Helmholtz nem tudta pontosan, hogy a Nap milyen öreg, de úgy tippelt, hogy a Nap több millió éves lehet, és úgy tűnt számára, hogy az eredeti kinetikusenergia-ellátás nem lett volna arra elég, hogy a Napot örökké működésben tartsa. Fokozatosan kell tehát kinetikus energiát szereznie, abban az arányban, ahogy elveszti a hőenergiáját.

Figyelembe vette azt a lehetőséget is, hogy a meteoritok folyamatosan becsapódtak a Napba, ugyanúgy, mint ahogy ez a Földről ismeretes volt. A Nap egy sokkal nagyobb célpont volt, mint a Föld, sokkal nagyobb gravitációs vonzóerővel, amivel még több meteoritot vonzhatott magához.

Ez egy jó elképzelésnek tűnt, azonban nem működött. Ugyanis ahogy a meteoritok becsapódnak a Napba, újabb tömeget adnak hozzá, ami tovább növeli a Nap gravitációs vonzóerejét. Ez ugyan nem sokkal növekedne, de ez a plusz tömeg ahhoz elég lenne, hogy a Föld mozgását egy kicsit felgyorsítsa annak pályáján és egy picivel meghosszabbítsa az éveket. Az évek hosszúsága azonban nem növekedett, úgyhogy a meteorit-elmélet hibásnak bizonyult.

De akkor Helmholtznak jobb ötlete támadt. Ha a Nap valóban összébb húzódott, ahogy kialakult a nagy tömegű por- és gázfelhőből, akkor miért nem húzódik össze továbbra is? Kiszámította, hogy ha összébb is húzódna – olyan kicsit, hogy nem is tudnánk megmérni az időegységeinkkel –, akkor ez elég kinetikus energiát biztosítana ahhoz, hogy a Nap tovább működjék. Ez pedig nem változtatná meg az évek hosszúságát vagy a Nap tömegét.

Ha ez igaz volna, akkor a Nap tegnap nagyobb lett volna, mint ma, és egy kicsit nagyobb tavaly, mint az idén és így tovább. Visszafelé számolva, Helmholtz arra a következtetésre jutott, hogy a Napnak elég nagynak kellett lennie ahhoz, hogy 25 millió évvel ezelőtt kitöltse a Föld pályáját. Ez azt jelentette volna, hogy a Föld nem több 25 millió évesnél.

Ez feldühítette a geológusokat és a biológusokat, akiknek megvolt rá a maguk oka, hogy a Földet többnek gondolják 25 millió évesnél, de hogyan tudtak volna az energiamegmaradás törvénye ellen érvelni. Természetesen a megmaradás nem volt kielégítő magyarázat. De a radioaktivitás felfedezéséig

nem is lehetett az, ami két évvel Helmholtz halála után következett be (ezt már megemlítettük korábban). A tudósok hirtelen rádöbbsentek, hogy csak a nukleáris energia lehet a Nap működésének forrása.

### **Hogyan termeli a Nap a nukleáris energiáját?**

Azt bátran kijelenthetjük, hogy a nap nukleáris energiát termel, de hogy ez a folyamat hogyan megy végbe, arra már nehezebb választ adni.

Először is honnan származik a nukleáris energia?

1911-ben Ernest Rutherford angol fizikus (1871-1937) azzal foglalkozott, hogy vékony aranylemezeket bombázott intenzív radioaktív sugárnyalábokkal. Ezenközben azt találta, hogy a sugárzás nagy része keresztülhatol az aranyatomokon, mintha semmi sem lenne ott, de egy nagyon kis hányada fennakad. Ebből azt a következtetést vonta le, hogy az atomok nemcsak jellegtelen golyócskák, hanem szerkezetük is van. A közepükben van az atommag, amely csak egy százvezred akkora, mint maga az atom. Gyakorlatilag az atom teljes tömege az atommagban koncentrálódik, és a központ körül helyezkednek el az úgynevezett elektronhéjak. Az elektronok teszik ki az atom térfogatának a nagy részét. Egyszerű kémiai reakciók (mint például a szén vagy az olaj elégetése, a TNT vagy a nitroglicerin felrobbantása) annak az eredményei, hogy egy atom külső elektronjai leszakadnak és egy másik atomhoz kötődnek hozzá. Az ilyen váltások kisebb energiataralmú molekulák képződéséhez vezetnek (egy olyan labdához hasonlít ez, amely a hegyoldalon gurul lefelé – a labdának az alsó helyzetben nagyobb az energiája, mint a felső helyzetben). Amikor egy kémiai reakció zajlik le, a magas energiájú reagensek alacsony energiájúvá alakulása folyamán megmaradó energia vagy fény, vagy hő, vagy robbanóerő formájában jelenik meg.

Az atommag is kis részecskékből áll. Ezeket protonoknak és neutronoknak nevezzük, és ezek is át tudnak alakulni olyan módon, hogy energiát veszítenek. A többletenergia sugárzás, hő vagy valami más formában felszabadul.

Ezek a nukleáris reakciók nem zajlanak le olyan gyakran a Földön, mint a kémiai reakciók, és sokkal nehezebb is beindítani, leállítani vagy megváltoztatni őket; úgyhogy az 1800-as évek végéig nem figyelték meg őket. Ez azért is így volt, mert a radioaktivitással kapcsolatban lévő nukleáris reakciók olyan lassúak voltak, hogy az adott időszak alatt felszabadított energia nem is volt megfigyelhető.

Egy nukleáris reakcióban résztvevő adott mennyiségű anyag sokkal több

energiát szabadít fel, mint ugyanazon anyagmennyiség, amikor egy kémiai reakcióban vesz részt. Ebből következik, hogy a kémiai reakciók, kiegészítve az összehúzódnásból származó kinetikus energiával nem elegendőek ahhoz, hogy a Napot működésben tartsák élettartamának idejére. A nukleáris energia megoldhatja ezt a problémát, így a tudósoknak csak azt a reakciófajtát kell megtalálniuk, amelyik erre a folyamatra jellemző.

A Földön spontán módon lejátszódó nukleáris reakciók sok nagy méretű uránium- és tóriumatomot tartalmaznak. A radioaktív lebomlás folyamatában ezekről az atomokról elektronok válnak le, és közben energia keletkezik. Még több energia is képződhetne, ha az uránium- és a tóriumatomok nagy mennyiségben fordulnának elő, és beindulna az úgynevezett láncreakció.

Azonban még így sem képződne elegendő energia különösen, mivel a Napban csak elenyésző mennyiségben találhatóak meg ezek az elemek. Az atomok közül a közepes méretűeknek a legkisebb az energiájuk. A maghasadás során az atomok széthasadnak, miközben óriási energiamennyiség szabadul fel.

Ha viszont a hidrogén atomjai alakulnának át héliumatomokká (ez a magfúzió), akkor még az előzőeknél is ezerszer nagyobb energia keletkezne.

Miután most már tudjuk, hogy a Nap háromnegyed rész hidrogénből és egynegyed héliumból áll, csábító az elképzelés, hogy a Nap energiája a hidrogén fúziójából ered, és még maradt elég hidrogén ahhoz, hogy kitarthatson további évmilliókra.

Ez persze egy csapda. A nehéz atomok atommagjai nem stabilak. Olyanok, mintha egy szikla szélén lennének, ahol csak a legkisebb lökésre van szükség, vagy még arra sem, hogy meginduljanak lefelé. A maghasadást megfelelő körülmények között könnyű beindítani. Másrészt a hidrogénatomok nem szeretnek maguktól osztódni, hacsak nem kerülnek az atommagjaik túl közel egymáshoz. Ez nem is történik meg hagyományos körülmények között, mert minden hidrogénatomon kívül van egy elektron, ami úgy működik, mint egy ütköző. Két összeütköző atom kiütheti egymás külső elektronjait, és e nélkül az atomok középpontjában lévő atommagok sohasem kerülnének egymáshoz közelebb.

Ez a tendencia persze csak a földi körülmények között működik spontán módon. A Nap közepében a hőmérséklet olyan magas, hogy a hidrogénatomok egymástól távol kerülnek, és az atommagok csak a saját atomjuk környékén fordulnak elő. A belső nyomás is olyan nagy, hogy a hidrogénatommagok egymáshoz közel vannak nyomva, és mivel a magas hőmérséklet miatt sokkal nagyobb sebességgel mozognak, mint a Földön, egyszerűen péppé zúznak

egymást, ami elősegíti a maghasadást.

Hans Albrecht Bethe német-amerikai fizikus (szül. 1906) a hidrogén maghasadásával foglalkozott, és az olyan nukleáris reakciókat tanulmányozta, amelyeket laboratóriumi körülmények között is elő lehetett állítani. Ezekből a kísérletekből kiszámította, hogy mi történhet a Nap belsejének nyomása és hőmérséklete mellett ugyanezekkel a kísérleti anyagokkal. 1938-ra kidolgozta a nukleáris reakciónak egy sémáját, ami elegendő energiát biztosíthatna a Nap számára, és ezt az elméletet azóta is elfogadjuk. Csak egy évszázada van válasz arra a kérdésre, amit először Helmholtz tett fel.

### **Ismert e az ókori ember minden csillagot?**

A bolygók és a Nap után ideje hogy a csillagok világához forduljunk. Az első kérdés, amit felteszünk, butának tűnt volna az őskor vagy a középkor, embere számára, amikor a láthatatlan csillagok koncepciója képtelenségnek számított. A csillagok világítanak és fényt adnak le, úgyhogy láthatónak kell lenniük. Ezenfelül a nyugati világ vallási vezetői azt gondolták, hogy az egész univerzum az emberiség javára teremődött. A csillagok hasznosak voltak a jövőről végzett számításoknál, de annyira szépek voltak, hogy gyönyörködni is lehetett bennük. A láthatatlan csillagok sem hasznosak nem voltak, sem pedig szépek, nem szolgáltak semmilyen célt, úgyhogy valószínűleg nem is léteztek.

A csillagok intenzitása is változik időről időre. A legfényesebb csillagok annyira fényesek, hogy mindenki láthatja őket, aki nem vak. A leghomályosabb csillagok csak századannyira fényesek, mint a fényes csillagok, és ezért csak az éles szemű emberek láthatják őket. Lehetséges, hogy vannak olyan csillagok, amelyek annyira homályosak, hogy a legélesebb szemű emberek sem látják őket? Ha egy kicsit belegondolunk, valószínűnek tűnik, hogy ez így van. Miért lennének a csillagok csak annyira homályosak, hogy az emberek még láthassák őket?

Az emberek egyszerűen még nem gondolkodtak ezen a problémán. Annyira ragaszkodtak az elképzeléshez, hogy a csillagoknak az emberiséget kell szolgálniuk, hogy elvetették a láthatatlan csillagok létezésének lehetőségét, vagy egyszerűen végig sem gondolták azt. A teleszkóp felfedezése azonban nagy változást eredményezett. A teleszkóplencse (vagy egy domború tükör) sokkal nagyobb, mint a szem pupillája, sokkal nagyobb területről tudja összegyűjteni a fényt és ezt a fókuszra összpontosítani. Ez azt jelenti, hogy a csillagok sokkal fényesebbnek látszanak teleszkópon, mint hogyha csak

szemmel néznék őket, és ha léteznének olyan csillagok, amelyek túl homályosak ahhoz, hogy emberi szemmel kivehetőek legyenek, a teleszkóp elég fényt tudna összegyűjteni ahhoz, hogy láthatóvá tegye őket.

Amikor 1609-ben Galilei az ég felé fordította a teleszkópját, megbizonyosodhatott az előbb elmondottak igazáról. Akárhányszor csak ránézett az égre a teleszkópján keresztül, mindig talált új csillagokat, amelyeket szabad szemmel nem vett észre. Az ég – legalábbis úgy tűnt – csillagok millióival van tele, amelyek túl homályosak ahhoz, hogy az ember segédeszköz nélkül láthassa őket, de ott voltak változatlanul, és teleszkóppal mindig észlelhetők maradtak. Ez azt is jelentette, hogy az univerzumban nemcsak körülbelül 6000 csillag van, hanem sok millió.

Galileinek ez az egyszerű mutatványa két dologhoz vezetett. Először is olyan felfedezés volt, amely az univerzum összetettségét és óriási méretét hangsúlyozta, továbbá megmutatta, hogy az egyáltalán nem olyan egyszerű szerkezetű, mint ahogy azt korábban gondolták. Másodszor pedig, ez volt az első tudományos felfedezés, amely megmutatta, hogy az univerzum nem az emberiség szórakoztatására jött létre. Létezik még több millió csillag, amelyek semmi hatása nincs az emberi életre, de azért megvannak. Először az emberek gondolhatták azt is, hogy az univerzum közömbös az emberiség iránt, ami már régebb óta létezik, mint az emberiség és sokkal tovább marad fenn. A világegyetem fenségessé vált, de ugyanakkor sokkal tartózkodóbbá és kevésbé barátságossá.

### **Tényleg állnak az állócsillagok?**

Erre az lehetne a válasz, hogy persze, természetesen. Hogyan is lehet ebben kételkedni? Végül is ugyanazokat a csillagokat látjuk ugyanabban a konfigurációban, mint ahogy azokat az ősi sumérok látták. Miután pedig nem volt változás, ezért a csillagoknak állniuk kell. Tényleg mondhatjuk azt, hogy valamiben nem történik változás, csak azért, mert mi nem látjuk azt? Vannak változások, amelyek olyan lassan mennek végbe, hogy úgy tűnhetnek, mintha egyáltalán nem történtek volna meg. Képzeljük el például, hogy egy órának a nagymutatóját nézzük egy fél percig. Könnyen arra a következtetésre juthatunk, hogy az egyáltalán nem mozog, hanem egyhelyben áll. Ha otthagyjuk, és egy óra múlva visszatérünk hozzá, akkor már észrevesszük, hogy a nagymutató megmozdult. Egy órával ezelőtt még az egyesre mutatott, amikor visszatértünk, már a kettesnél jár.

Hirtelen átcúsúzott volna, amikor egy pillanatra lehunytuk a szemünket, vagy pedig folyamatosan mozgott, csak olyan lassan, hogy a mozgás egyes periódusait nehéz lett volna megfigyelni? Ha elhatározzuk, hogy egy nagymutatót fogunk figyelni nagyon kitartóan, nemcsak egy percig, hanem tizenöt percig, akkor levonhatjuk azt a konzekvenciát, hogy a mozgása nagyon lassú. Ha pedig nagyítóüvegen keresztül néznénk, akkor észrevehetnénk, hogy fél perc alatt is elmozdul, de csak egy nagyon kicsit.

Még mindig biztosak vagyunk abban, hogy az állócsillagok tényleg állnak? Vagy pedig olyan lassan mozognak (sokkal lassabban, mint egy óramutató), hogy a mozgás nem követhető nyomon, csak akkor, ha századokat várunk? Azért sem lehetünk bizonytalanok, mert nem bízunk a saját szemünkben. Egy teleszkóp viszont (ugyanúgy, mint az óramutatóval kapcsolatban a nagyító) nyomon tudja kíséni ezeket az apró helyzetváltoztatásokat is.

1718-ban Halley (aki kiszámította a Halley-üstökös pályáját), miközben teleszkópján a különböző csillagok állását ellenőrizte, észrevette, hogy közülük három, a Szíriusz, a Procyon és az Arcturus vitathatatlanul változtatott a helyzetén ahhoz képest, ahogy azt a görögök lejegyezték. A régi görög csillagászoknak nem volt teleszkópjuk, de nagyon alapos megfigyelők voltak, és ebben sem tévedhettek nagyot.

Valójában ennek a három csillagnak olyanok voltak a pozícióik, amelyek csak egy kicsit különböztek a másfél századdal korábban Tycho Brahe által megadottaktól, és Tycho megfigyelései voltak a legjobbak, amelyek teleszkóp segítségével nélkül születtek.

Halley tehát csak azt a következtetést vonhatta le, hogy ezek a csillagok a szomszédos csillagokhoz képest megváltoztatták a helyzetüket, és ezt a mozgást folytatják. Ez pedig minden csillagra igaz lehet, tehát az állócsillagok nem állnak, hanem van egy bizonyos mozgásuk.

A három csillag, amelyeknek megfigyelték a helyváltoztatását, habár nagyon lassan, de még mindig gyorsabban mozogtak, mint más csillagok.

Ehhez még azt is hozzá kell tennünk, hogy ez a három csillag az ég legfényesebb csillagai között volt. Van-e kapcsolat a fényesség és a mozgás között? Ha van, akkor a csillagászoknak újra el kell gondolkodniuk az ég természetéről.

### **Van-e a csillagoknak is égboltjuk?**

Mint ahogy már korábban is említettük, a régiek úgy gondolták, hogy az ég egy

vékony, szilárd gömb, ami körülfogja a Földet, és ezen vannak rajta a parányi fénylő csillagok. Valójában egy felfedezés sem igazán változtatta meg ezt a nézetet egészen 1700-ig. Kopernikusz után lehetetlen volt azt gondolni, hogy a Föld a világegyetem központja, amely körül minden más kering. Világossá vált, hogy a Nap van a központban. Az ég még mindig egy égi szféra volt, amely a csillagokat tartotta, most azonban a Napot és nem a Földet vette körül.

Kepler ellipszis alakú pályái leradírozták a bolygók kristályos égboltjait, de a csillagok legkülső kristályos égboltja még megmaradt. Cassininek köszönhetően a naprendszer igazi arányai már ismertek voltak, és kiderült, hogy az sokkal nagyobb, mint amilyennek gondolták. Ez azonban csak azt jelezte, hogy a kristályos égbolt is kijebb van.

1718 után, amikor Halley felfedezte, hogy az állócsillagok nem állnak, a csillagászoknak teljesen újra kellett gondolniuk az égről való elképzeléseiket. Természetesen az is elképzelhető, hogy a kristályos égbolt akkor is létezik, ha a csillagok mozognak és a csillagok egyszerűen nagyon lassan átcsúsznak a kristályos égbolt mentén. De miért csak néhány csillag mozog olyan gyorsan, hogy századok elteltével megfigyelhető a mozgása, és ezek miért pont a legfényesebb csillagok?

Lehet, hogy egyes csillagok nagyobbak, mint mások, ezért fényesebbek is, és lehet, hogy a nagyobb csillagok nehezebben maradnak fönt, és ezért lassan lecsúsznak az égbolt mentén. Ez pusztán ideiglenes érvelés, nem is felel meg az általános tapasztalatoknak, és más dolgokra sem ad semmilyen magyarázatot.

Másrészről bizonyos csillagok lehetnek közelebb a Földhöz, mint mások. Ha ez igaz, akkor a közelebb lévő csillagok átlagban lehetnek fényesebbek, mint a távolabbiak. Akkor is, ha minden csillag ugyanolyan sebességgel mozog, a közelebbieik mozgása gyorsabbnak tűnik, mint ahogy ezt már a könyv egy korábbi részében elmagyaráztuk. Ez így megfelel az általános tapasztalatoknak. Ez a magyarázat világossá teszi, hogy miért a fényesebb csillagok mozgása követhető nyomon. A homályosabb csillagok is mozognak, de mivel olyan messze vannak, hozzánk képest olyan lassan mozognak, hogy a helyzetváltoztatást még századok elteltével sem észlelhetjük, hanem valószínűleg több ezer év kell hozzá.

Ha a csillagok különböző távolságra vannak a Naprendszertől, akkor a kristályos égbolt nem létezhet. Helyette az űr határtalan, csillagokkal teleszórva, olyan, mint egy nyüzsgő méhraj. 1318 óta a kristályos égbolt kihalt a csillagászati gondolkodásból, és helyét a határtalan űr képe vette át.

## **Mik a csillagok?**

Eredetileg a csillagokat annak gondolták, amiknek azok látszottak: a szilárd égbolthoz ragasztott parányi fénylő anyagpöttyöknek. Az univerzumot viszonylag kicsinek képzelték el, az eget pedig, ami ezt befedte, nem sokkal nagyobbak. Egyre nehezebb volt tartani azt a nézetet, miszerint a csillagok kis pöttyök, minthogy az univerzum egyre csak nagyobbodott a csillagászok gondolkodásában.

Mire Halley felfedezte, hogy a csillagok mozognak, világossá vált, hogy a legközelebbi csillagok is milliárd mérföldekre lehetnek, ha a csillagok égboltján belül volt elég hely az óriási naprendszer számára. Ha egy fénypöttyöt ennyi milliárd mérföld távolságból is látunk, akkor annak mekkorának kell lennie? Ha ebbe belegondolunk, akkor csak azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a csillagoknak nagyon nagy objektumoknak kell lenniük.

Ez először Nicholas of Cusa német tudósnak (1401-1464) jutott eszébe 1440-ben. Úgy tűnt számára, hogy a világegyetem végtelen és tele van szórva csillagokkal. Amiben ennél is tovább megy, az az, hogy mindegyik csillag ugyanolyan, mint a Nap, és mindegyikhez tartoznak más bolygók is, amelyeken akár élet is lehet. Ez a nézet sok mindent előre jelez a modern elképzelésekből, de nem több, mint pusztán spekuláció, amely nincs alátámasztva bizonyítékokkal.

Amikor azonban Halley felfedezte, hogy a csillagok mozognak, akkor Nicholas of Cusa nézetei aktuálissá váltak. Halley azt is feltételezte, hogy a Szíriusz az ég legfényesebb csillaga – ami ugyanakkor hozzánk a legközelebb van, vagy legalábbis egyike a legközelebbieknél –, ugyanolyan fényes, mint a mi Napunk. Valószínűleg azért nem világított erősebben, mert olyan távol volt.

Milyen távol kellett volna lennie a mi Napunknak ahhoz, hogy csak annyira világítson, mint a Szíriusz? Halley kiszámította, hogy ha a Szíriusz ugyanannyira fényes nap, mint a miénk, akkor tőlünk 19 billió kilométerre kell lennie.

A Szíriusz Halley számításai szerint 1350-szer messzebb volt a Naptól, mint a Szaturnusz. A Szíriusznál homályosabb csillagoknak pedig nagyjából még messzebbre kell lenniük.

## **Valójában milyen messze vannak a csillagok?**



Halley az alapján ítélte meg a csillagok távolságát, hogy a Naphoz képest milyen fényesek. Ez azonban egy kockázatos feltevés. Tényszerűen lehetnek homályosabbak, mint a mi Napunk, vagy ami azt illeti, fényesebbek Sokkal közvetlenebb módszerekre van szükségünk ahhoz, hogy meghatározzuk a csillagok távolságát. Melyek lehetnek ezek a módszerek?

A Mars távolságát 1672-ben becsülték meg viszonylagos pontossággal azzal, hogy Párizsból és Francia Guyanából nézték a bolygót, és kiszámították a parallaxist. Még a legközelebbi csillagok is valószínűleg néhány százezerszer távolabb vannak, mint a Mars, ami azt jelenti, hogy a legközelebbi csillagok parallaxisának néhány százezerszer kisebbnek kell lennie. A Mars parallaxisát is nehéz volt meghatározni, még ha különböző féltékekről nézték is őket. Így a csillagok parallaxisát majdnem lehetetlen meghatározni.

Azonban lehet, hogy feloldható ez a dilemma. A Föld a Nap körül kering, minden hat hónap alatt pályájának egyikvégéből a másikba ér. Ez a távolság körülbelül 300 millió kilométer, körülbelül 23 500-szor nagyobb, mint a Föld szélessége. Ha egy csillagot ugyanabból a helyzetből figyelünk meg január elsején, és július elsején, akkor a parallaxisnak 23 500-szor kellene nagyobbak lennie, mintha egyszerűen csak a Föld ellentétes oldalairól figyelnénk meg.

Még ilyen körülmények mellett is egy csillag parallaxisa nagyon kicsi lenne, sokkal kisebb, mint amilyenek Cassini a Marsét feltételezte. Valójában, amikor Kopernikusz először kifejtette elméletét, néhány csillagász megjegyezte, hogy a csillagok nem mutatnak parallaxist, ezért a Föld nem változtathatja meg a helyzetét, hanem egy helyben kell maradnia. Kopernikusz korrektül válaszolt az ellenvetésre, amikor azt mondta, hogy valóban van parallaxis, de a csillagok olyan messze vannak, hogy emiatt azt nem lehet megmérni. Teleszkóp nélkül ez így is volt.

Ha a csillagok valóban óriási és különböző távolságra voltak, akkor elméletben a parallaxisukat meg lehetett volna határozni. Az 1800-as években a teleszkóp olyan fokra fejlődött, hogy ezt az ötletet kivitelezni is lehetett.

Az 1830-as években Friedrich Wilhelm Bessel német csillagász (1784-1846) az addigi legjobb minőségű teleszkópjával egy elég homályos csillagot vizsgált meg, amelyet Cygni 61 névre kereszteltek. Homályossága ellenére ennek volt a legnagyobb érzékelhető mozgása. Ez a tény azt a következtetést sugallta Besselnek, hogy viszonylag közel kell lennie a Földhöz. Végül 1838-ban meghatározott egy parányi parallaxist, és kiszámította a Cygni 61 távolságát. Az első becslésében csak egy kicsit tévedett, de első kísérletre ez is kiváló

eredmény. A Cygni 61 csillag 105 billió kilométerre van a Földtől.

Röviddel ezután két másik csillagász is meghatározta egy csillagnak a parallaxisát. Ez nem egy egybeesés volt, hanem ahogy az eszközök fejlődtek és ahogy a hozzáállás megváltozott, több tudós érte el ugyanazokat az eredményeket ugyanabban az időben.

Két hónappal azután, hogy Bessel bejelentette az eredményeit, Thomas Henderson angol csillagász (1793-1844) kiszámolta, hogy a fényes Alfa Kentauri csillag 42 billió kilométeres messzeségben van. Valójában eredményei már megvoltak Bessel eredményei előtt, de Bessel volt az, aki ezeket először publikálta – tehát írásos nyilatkozatba adta –, és aki először publikál, az kapja a bizalmat.

Egy kicsivel később Friedrich G. W. von Struve német-orosz csillagász (1793-1864) kimutatta, hogy az óriási fényes csillag, a Vega mai számokban kifejezve 255 billió kilométerre van a Földtől.

Kiderült, hogy az Alfa Kentauri az a csillag, amely a legközelebb található hozzánk.

A Szíriuszról kiderült, hogy 82 billió kilométer távolságban, nagyjából négyszer távolabb van, mint Halley gondolta.

Halley becslése azért nem volt pontos, mert ő azt feltételezte, hogy a Szíriusz ugyanolyan fényes, mint a Nap, pedig valójában 16-szor fényesebb annál.

Ezek a csillagok mind elég közel vannak a Naphoz. A nagy többség azonban olyan távoli, hogy a parallaxisukat még a mai fejlett műszereinkkel sem tudjuk bemérni.

### **Milyen gyorsan terjed a fény?**

Nagyon fárasztó dolog nagy számokkal dolgozni, és a sok nulla is nagyon zavaró. A naprendszer mérete miatt pedig szükség van arra, hogy kilométer-milliókban számoljunk. Amikor a csillagokkal foglalkozunk és több billió kilométerben kell számolnunk, akkor nagyon tehetetlennek érezzük magunkat.

A probléma az, hogy a kilométert és a mérföldet földi méretekre találták ki, nem pedig óriási csillagászati távolságokra. Ahhoz, hogy könnyen dolgozhassunk a csillagtávolságokkal, szükségünk van egy másik mérőegységre, arra, amit a fény esetében szoktunk használni.

Ehhez fel kell tennünk a kérdést, hogy milyen sebességgel terjed a fény. Ha a szobának egy sarkában felgyújtjuk a villanyt, mennyi időt vesz igénybe, hogy a fény a szoba másik sarkába is eljusson, és mindenhol egyenletes világosság

legyen?

Azok számára, akik erről sohasem gondolkodtak el, úgy tűnhet, hogy a fény azonnal beteríti a szobát, tehát határtalan sebességgel terjed. Végül is amikor bekapcsoljuk a lámpát, akkor az a szoba minden pontját azonnal megvilágítja. Ez még akkor is így történik, ha egy nagyon erős lámpát kapcsolunk fel egy hatalmas stadionban. Minden azonnal fénybe borul.

Nehéz azokat a szavakat használni, hogy azonnali vagy határtalan, mert elképzelhető, hogy a fény nem azonnal terjed ki, hanem egy nagyon rövid időszak alatt, ami nagyon kicsi ahhoz, hogy mérhető legyen. Lehet az is, hogy a fény nem határtalan sebességgel terjed, hanem csak olyan gyorsan, hogy az végtelennek tűnik.

A legjobban úgy tudjuk tesztelni ezt a lehetőséget, hogy hagyjuk a fényt hosszú távolságon keresztül terjedni. Lehet, hogy azt az időt, ami alatt a fény ezt a hosszú távolságot megteszi, már meg lehet mérni. Galilei volt az első, akinek ez a kísérlet az eszébe jutott.

Galilei és a segítője egy-egy lámpást vittek magukkal és a sötét éjszakában két szomszédos hegyre másztak fel. Galilei kinyitotta lámpásának az ablakát, és kiengedett belőle egy fénysugarat. A segítője, ahogy a fényt észrevette, azonnal kinyitotta a saját lámpásának az ablakát és ő is kieresztett egy fénysugarat válaszképpen, Galilei ismerte a hegycsúcsok közötti távolságot, tehát a saját fénysugarának a kieresztése és válasz fénysugár megérkezése közötti idő lenne az az időszak, ami alatt a fény kétszer megteszi ezt a távolságot az egyik hegycsúcsról a másikra.

Ez egy nagyon rövid időköz volt. Egy részét a fény terjedési ideje tette ki, másik részét pedig a reakcióidő. Végül is egy picit időre a segítőnek is szüksége volt, hogy észrevegye a lángot, és válaszképpen kinyissa a saját lámpásának az ablakát.

Galilei később megismételte a kísérletet két olyan hegycsúcsról, amelyek távolabb estek egymástól. A reakcióidő ugyanannyi volt, tehát a plusz időt csakis a fény terjedésének ideje adhatta. Galilei úgy találta, hogy nem volt plusz idő. Az első és a második láng között eltelt idő csak a reakcióidő lehetett. A fény sokkal gyorsabban terjed tehát annál, mint hogy ilyen módon meg lehetne mérni a sebességét.

Galilei úgy gondolta, hogy találnia kellene egymástól még távolabbra eső hegycsúcsokat, bár sejtette, hogy ez nem vezet a megoldáshoz. Miután a Föld gömbölyű, ezért az egymástól nagyon távolra eső hegycsúcsok nem is láthatóak. Ezenkívül Galilei nem is tudott találni egy olyan fényes lángot,

amely ekkora távolságból is látható lenne. Persze ha lettek volna megfelelő eszközei, akkor nagyon rövid időszakokat is meg tudott volna mérni, akkor el tudta volna végezni ezt a kísérletet. Mivel azonban nem volt ilyen eszköze, abbahagyta a próbálkozásait.

Közel fél évszázad múlva azonban a probléma véletlenül megoldódott. Claus Roemer dán csillagász (1644-1710) a Jupiter négy mellékbolygóját tanulmányozta. Akkoriban az ingaóra már lehetővé tette, hogy viszonylag pontosan mérjék meg az időt, és azt is tudták, hogy az egyes mellékbolygók mennyi idő alatt kerülnek meg a Jupitert. Egy bizonyos időpontban mindegyik eltűnt a Jupiter mögött és előjött a másik oldalán.

Azokban ez nem volt teljesen szabályos. Fél év leforgása alatt a mellékbolygó elhalványulása egy kicsit rövidebb időszak alatt zajlott le a vártnál, a másik félideben azonban egy kicsit elmaradt önmagához képest. Átlagban ezek kiegyenlítődték, azonban volt olyan, hogy az elhalványulások nyolc perccel korábban következtek be, egy fél évvel később pedig nyolc perccel előbb jártak, mint a terv.

Roemer, miközben a magyarázaton gondolkodott, rádöbbsent, hogy az elhalványulásokat a Jupiterről és a tőle a Föld felé keringő mellékbolygókról visszaverődő napfény világítja meg. Miközben a Jupiter és a Föld megkerülték a Napot, volt olyan időpont, amikor mindkét bolygó a Napnak ugyanazon oldalán tartózkodott, és amikor a Jupiterről a Föld felé jövő fény a Jupiter és a Föld között lévő lehető legrövidebb ösvényt követte. Körülbelül kétszáz nappal később a Jupiter és a Föld a Nap ellentétes oldalán voltak, és a Jupiterről jövő fénynek oda kellett eljutnia, ahol a Földnek kellett volna lennie, ha a Jupiterrel megegyező oldalon van és a Föld képzeletbeli pályáján keresztül eljutni oda, ahol a Föld ténylegesen volt.

16 percet vett igénybe, hogy a fény a Föld pályáján áthaladjon, 8 percet, hogy a Jupiterről a Napra eljusson és még nyolcat, hogy eljusson a másik oldalon lévő Földre. Ez a távolság nyilvánvalóan nagyobb volt, mint a Galilei által használt két hegycsúcs közötti távolság. A két nagyon távoli hegycsúcs, a Jupiter és a Föld egymást láthatták, a fény is elég erős volt ahhoz, hogy az egyik helyről a másikat látni lehessen, a távolság pedig egyenesen változott az idővel. Ez tehát Galilei kísérlete volt, csak a méretek voltak nagyobbak, és ezért eredményre is vezetett.

Roemer 1676-ban tette közzé az eredményeit. Nem tudta pontosan azt a számadatot, ami a Föld pályájának szélességét jelölte, úgyhogy a számításai egy kicsit félreecsúsztak, de a jó nyomon járt. Most először mondták ki, hogy a

fény sebessége nem végtelen, de minden eddig mért sebességnél nagyobb. Más módszerek azonban pontosabban mérték meg a fény sebességét. A jelenleg elfogadott szám a 299 800 kilométer/másodperc.

### **Mi az a fényév?**

Hogyan segít nekünk a fénysebesség a csillagok távolságának meghatározásában? Tegyük fel, hogy megpróbáljuk kiszámítani, milyen gyorsan terjed a fény egy év alatt. Minden másodpercben 299 800 kilométert tesz meg, 60 másodperc az egy perc, 60 perc egyenlő egy órával, 24 óra egy nappal, 365 és fél nap pedig egy évvel. Ez annyit jelent, hogy egy évben majdnem 31 557 000 másodperc van. Ha megszorozzuk a távolságot, amelyet a fény egy másodperc alatt megtesz, akkor azt kapjuk, hogy a fény egy évben 9,46 billió kilométert tesz meg. Ezt a távolságot nevezzük fényévnek.

A legközelebbi csillag, az Alfa Kentauri 4,4 fényévre van tőlünk. Ez azt jelenti, hogy a Földtől a fény 4,4 év alatt érne az Alfa Kentaurira vagy onnan a Földre. Ez azt is jelzi, hogy milyen messze vannak a csillagok. Egy fénysugár a másodperc 1/60-ad része alatt ér New Yorkból San Franciscóba, egy picit több mint a másodperc 1/8-ad része alatt kerülné meg a Földet és 16 perc alatt a Föld-pályát, de 4,4 évbe telne, hogy akár a legközelebbi csillaghoz is eljusson.

A Szíriusz 8,6 fényévre van tőlünk, a Cygni 61 11,2 fényévnnyire, a Vega pedig 27 fényévnnyire, és ezek vannak hozzánk a legközelebb.

Annak ellenére, hogy a fényév nagyon hatékony a hosszú távolságok mérésében, a csillagászok már nem nagyon használják. Helyette a távolságot parszekben mérik.

Minden kört, még az elképzelhetetlenül nagyokat is eloszthatjuk 360 fokra, minden fokot 60 ívpercre és minden percet 60 ívmásodpercre. Ez azt jelenti, hogy minden kört 1 296 000 egyenlő ívmásodpercre oszthatunk.

Ha elképzelünk egy pici o-t az égen, amely csak egy ívmásodperc, majd elképzelünk rengeteg ilyen o-t, ahogy felsorakoznak egymás mellett és az égen keresztül egy kifeszített vonal mellett álldogálnának, akkor 1 296 000-ra lenne szükség belőlük, hogy egy teljes kört alkossanak. Valójában mindegyik o nagyon pici.

Milyen messze kell lenni egy csillagnak ahhoz, hogy legyen egy olyan parallaxisa, amely a normális első pozícióból az egyik oldalra fordul, majd a másikkra egy ívmásodperc alatt, ami alatt a Föld is megkerüli a Napot. A válasz

3,26 fényév, ami egyenlő a második parallaxiával vagy rövidebben parszekkel. Egy csillag sincs olyan közel, hogy az ívmásodperce kisebb lenne, mint 1, amikor a Föld pályájának másik oldaláról nézzük. Ez az oka annak, hogy ennyi időbe telt megmérni a távolságukat. Az Alfa Kentauri 1,34 parszek, a Szíriusz 2,65 parszek, a Cygni 61 3,44, a Vega pedig 8,3 parszek távolságra van tőlünk: 1 parszek egy kicsivel több, mint 30 billió kilométer.

### **Mozog-e a Nap?**

Kopernikusz óta a Nap az univerzum mozdulatlan központja címet viseli. Miután Halley felfedezte, hogy az állócsillagok nem állnak, és elkezdett azon gondolkodni, hogy a csillagok nem egymástól óriási nagy távolságra elhelyezkedő csillagok-e, azóta valószínűtlen, hogy a mi napunk az egyetlen csillag, amelyik nem mozog. Az pedig még valószínűtlenebb, hogy a megszámlálhatatlan billió mérföldre lévő csillagok is a mi központnak tekintett Napunk körül keringenek.

Ha minden csillag mozog, a mi Napunk miért ne mozogna? Tudásunk szerint semmi különös ismertetőjegye nincs a Napnak, hacsak nem az, hogy sokkal közelebb van hozzánk, mint más csillagok. Tehát a Nap is mozog, de hogyan mutathatnánk be, hogy mozog és milyen irányban?

1805-ben, több mint húszéves tanulmányozás után Herschel (aki az Uránuszt is felfedezte) úgy érezte, hogy tudja a választ erre a kérdésre. Végül is, képzeljük el, hogy a Napot minden irányból körülveszik a csillagok körülbelül egyforma távolságban. Akkor úgy látszana, mintha a Naphoz legközelebb esők távolabb lennének, mint a messzebb lévőek. (Ezt a hatást érzékelhetjük, hogyha az őserdőben vagyunk, amikor a hozzánk közel álló fák jól elkülönülnek egymástól, a messzebb lévőek azonban egy nagy zöld masszának látszanak.)

Herschel annyi csillagnak mérte meg a pontos távolságát, ahánynak csak tudta, és azt találta, hogy egy bizonyos irányban úgy látszik, mintha a csillagok elkülönülnének egymástól, és a Herkules konstellációban egy bizonyos ponttól távolodnának el. Ezt a pontot Herschel apexnek nevezte el. Az ég pontosan ellenkező oldalán pedig úgy látszott, mintha a csillagok egy másik pont felé gyülekeznének, ami éppen ellentétes az apexszel.

Nem lenne szükség erre a különös irányú mozgásra, hogyha a Nap egy helyben állna. De ha a Nap az apex irányában mozog, akkor az apex közelében lévő csillagok hozzánk közelednének a Nap feléjük való közeledésével és ugyanakkor látszólag távolodnának egymástól. Az ég másik oldalán lévő

csillagok pedig tőlünk távolodnának, a Nap tőlük való távolodásával, és úgy tünne, mintha ugyanakkor összetartanának.

Herschel azt a következtetést vonta le, hogy a Nap a Herkules konstelláció iránya felé mozog. Azután hogy több ezer éven keresztül tartották a Földet a világegyetem középpontjának, majd két és fél évszázadig gondolták, hogy a Nap az univerzum központja, kiderült, már amennyire a csillagászok ezt magabiztossággal kijelenthetik, hogy a világegyetemenk nincs középpontja. Minden mozgásban van.

Valójában Nicholas of Cusa világegyetemenkkel kapcsolatos sok helyes feltételezése között, amelyeket Kopernikusz előtt egy évszázaddal gondolt ki, az is szerepelt, hogy a világegyetemenk nincs középpontja.

### **A természet törvényei mindenütt azonosak?**

A naprendszer eredetéről beszélve olyan fogalmakkal találkoztunk, mint a gravitáció törvénye, az impulzus megmaradásának elve vagy a centrifugális hatás. Azt mondtuk, hogy ezeket a törvényeket bizton tekinthetjük helytállóaknak, hiszen azok a Földön itt és most is érvényesek.

De honnét lehetnének biztosak abban, hogy valami, pusztán azért mert jelenleg működik, ugyanezt tette 4,6 milliárd évvel ezelőtt is? Honnét tudhatnánk, hogy valami, ami itt működőképes, nem mond csődöt egy másik világban? Röviden: mi a biztosíték arra, hogy a természet törvényei azonosak tértől és időtől függetlenül?

Miért kellene a természet törvényeinek változniuk tér és idő függvényében? Az ugyanis biztos, hogy semmiben sem különböznek egymástól a Föld eltérő pontjain, és változatlanok maradtak az utóbbi néhány évtized során is, mialatt a tudósok az anyagot vallatták.

Ez az érv nem valami meggyőző, hiszen mit számíthat néhány ezer kilométer vagy pár száz év, amikor sok fényévnyi távolság és milliárd években kifejezhető idő távlatában kell gondolkodnunk?

De ha a természet törvényei nem egyetemesek, akkor sok olyan jelenséggel fogunk találkozni, amelyet nem tudunk majd megérteni. Káosz és anarchia fog uralkodni a világűrben, mert a törvények, amelyeket ismerni véltünk, nem érvényesek a megváltozó körülmények között.

Mégis, lehet hogy ez a valós helyzet. Hiszen valóban sok olyan jelenséget tapasztaltunk már, amelyet a mai napig sem sikerült megértenünk, vagyis megtörténhet, hogy tényleg káosszal és anarchiával állunk szemben. Az utóbbi

években a tudósok előtt tulajdonképpen nyilvánvalóvá vált, hogy a világűr bizonyos tekintetben sokkal nagyobb káoszról tanúskodik, mint ahogyan arra korábban számítottak.

Mégis, a tudósok többsége továbbra is szívesen feltételezi, hogy az univerzum lényegében egyszerű, és hogy benne mindenütt, minden időben ugyanazok a természeti törvények uralkodnak, de ez csupán egy kényelmes feltevés. Mielőtt hinni tudnánk benne, példákra és bizonyítékokra van szükségünk.

Az 1700-as évek vége felé például, az ember által éppen felfedezett fizikai világgal kapcsolatos legfontosabb általánosítás Newton egyetemes gravitációs törvénye volt. Kétség nem fért hozzá, hogy a szoláris rendszer teljes szélkében működött, hiszen valamennyi bolygó és hold szinte pontosan e törvénnyel összhangban mozgott. Amikor kiderült, hogy az Uránusz mozgása nem felel meg neki teljes egészében, a csillagászok feltételezték, hogy egy másik bolygó létezhet mögötte, amelynek gravitációs ereje megmagyarázná az eltérést. Kutattak utána, és meg is találták ezt a bolygót, a Neptunuszt, még hozzá pontosan ott, ahol lennie kellett.

Mindaddig, amíg lényegében a szoláris rendszert tekintették a teljes univerzumnak, az egyetemes törvények is kielégítőek voltak, de amint fény derült arra, hogy a csillagok is rendkívül nagy távolságban elhelyezkedő napok, a csillagászok nehézségekkel találták magukat szembe. Vajon a természet törvényei érvényesek lehetnek ilyen felfoghatatlanul nagy távolságokon is?

Ezt a kérdést is Herschel válaszolta meg. Bizonyítékot keresett a csillagok egymás közötti parallaxisának létezésére, és megtörtént, hogy egymáshoz nagyon közel eső csillagokat kellett tanulmányoznia. Abban az időben természetesnek tartották, hogy a csillagok, akár a mi Napunk, szétszórva, magányosan ragyognak a mindenségben. Ezért ha két csillag nagyon közelinek tűnt az égen, az csupán azért lehetett, mert ugyanabban az, irányban helyezkedtek el tőlünk, csak az egyik jóval távolabb volt, mint a másik. Ebben az esetben közelebbi csillag parányi parallaxist mutathat a másikhoz viszonyítva.

Sikerült kiderítenie, hogy az ilyen csillagok esetében apró eltérés mutatkozik a pozíciót illetően, jóllehet nem olyan eltolódásról van szó, amilyenre a parallaxisnál számítani lehet. 1793-ban már meg volt róla győződve, hogy csillagpárokat, kettős csillagokat figyel meg, amelyek a valóságban is egymáshoz közel helyezkedtek el, nem csupán az égen való megjelenésükben, és hogy azok egymás körül keringenek. Az ilyen csillagokat a gravitációs erő



köti össze, tehát mozgásukból arra következtethetünk, hogy Newton gravitációs törvénye, amelyet a Hold Föld körül végzett keringéséből vezetett le, nemcsak a szoláris rendszer valamennyi égitestjére, hanem a távoli csillagokra is egyaránt érvényes.

Ez volt az első jele annak, hogy a csillagok nem feltétlenül egymagukban léteznek, hanem párokban, vagy amint az kiderült, összetettebb csoportokban is megtalálhatók. Mielőtt meghalt volna, Herschel nem kevesebb, mint nyolcszáz kettős csillagot határolt be. Kivétel nélkül valamennyi annak a gravitációs törvénynek engedelmesskedett, amelyet Newton dolgozott ki és Einstein tett még egyetemesebb érvényűvé.

És így ment ez tovább. Az elmúlt két évszázadban minden tudományos felfedezés támogatni látszott azt az elképzelést, miszerint a természet törvényei alkalmazhatók mindenütt tértől és időtől függetlenül. A Szélsőséges természet teremthet ugyan olyan feltételeket, amelyekben ezek a törvények csütörtököt mondanak, de ilyen körülmények alapos tanulmányozására egyelőre nem nyílt még alkalmunk. A tudósok az utóbbi időben arra a véleményre jutottak, hogy olyan kaotikus körülmények, amelyek kialakulása nem látható előre; és nem magyarázható meg különösebb bizonyossággal, mindenütt létrejöhetnek, itt a Földön és a legtávolabbi csillagokon egyaránt.

### **Mik a változó csillagok?**

Az arisztotelészi mű, miszerint az égi objektumok öröklétűek és változásoktól mentesek, ésszerűnek látszott. Az biztos, hogy a csillagok estéről, estére ugyanúgy néztek ki.

Ez mégsem volt tökéletesen igaz. Vegyük a Perszeusz csillagkép második legfényesebb csillagának, a Beta Perseinek az esetét. Minden két nap és huszonegy óra elteltével elveszíti fényének több mint a felét, hogy azután egy rövid idő elteltével ismét visszanyerje azt.

Ez aligha kerülhette el az ókori és a középkori emberek figyelmét. A csillagkép egyébként Perszeusz görög mitológiai hőst ábrázolja, abban a pillanatban, amikor az levágta a kígyóhajú Medúza fejét. A névadó a magasba emeli a lemetszett fejet, amelyet a Beta Persei jelez, úgyhogy ezt a csillagot az arabok Algolnak nevezték el (és később ez a név terjedt el), ami az ő nyelvükön vámpírt jelent. Ezt a fényességben mutatkozó változékonyságot mégsem említette senki a modern idők kezdetéig. Meglehet, azért, mert a fényerő változásának, egy égitest állandóságán esett csorbának a megfigyelése annyira

zavarba ejtette az embereket, hogy senki sem akart róla beszélni.

1872-ben John Goodricke (1764-1786) angol csillagász, egy zseniális süketnéma, aki fiatalon meghalt, azzal állt elő, hogy az Algol kettőscsillag lehet, amelynek egyik fele meglehetősen sötét. Minden két napban és huszonegy órában a sötétebb csillag fényesebb párja elé kerül, és eltakarja azt, így adva magyarázatot a fényerő átmeneti gyengülésére. Amikor pedig a sötét csillag tovább halad, a fényesség ismét visszatér. Goodricke megelőzte korát, ugyanis az ő idejében Herschel még nem tette közzé a kettős csillagok létezéséről szóló felfedezését. Idővel azonban bebizonyosodott, hogy a süketnéma csillagásznak tökéletesen igaza volt.

Számos példát találhatunk az ehhez hasonló átfedéses változékonyságra, de léteznek olyan csillagok is, amelyek fényereje nem szabályos időközökben változik. 1596-ban egy német csillagász, David Fabricius (1564-1617) a Cetus csillagképben egy csillagot észlelt, az Omicron Cetit, amelynek nem volt állandó a fényessége. A csillagászok folytatták a megfigyelését, és azt kellett látniuk, hogy ez a csillag néha olyan fényesen ragyog, hogy besorolható az égbolt száz legfényesebb csillaga közé, máskor pedig annyira elhalványul, hogy teleszkóp nélkül nem is látható. Ezekre az elhalványulásokra és felragyogásokra majdnem egyéves periódusokban kerül sor, de az időszakok váltakozása annyira szabálytalan, hogy az nem lehet eltakarás eredménye. Ebből arra következtethetünk, hogy ez a csillag bizonyos időszakokban több fényt és hőt sugároz, mint máskor. Tehát egy valódi változó csillag, amelyet a meglepett csillagászok Mira névre kereszteltek (ami latinul csodálatosat jelent).

1784-ben Goodricke a változó csillagok egy másik fajtáját, a Delta Cepheid fedezte fel a Cepheus csillagképben. Ennek szabályos időközönként változott a fényessége, de ez nem lehetett átfedés következménye, ugyanis a felragyogás gyorsan ment végbe, míg az elhalványulás lassan. (Ha a fényerő változását egy égítést áthaladása okozta volna, akkor az erősödés és a gyengülés ideje azonos lett volna, mint az Algol esetében.)

Csillagok százait fedezték fel azóta, amelyeknek fényereje hasonló módon növekszik, illetve csökken, és ezeket közös néven Cepheid változóknak nevezik. Némely Cepheid mindössze három nap alatt bevégez egy periódust, míg másoknak ez ötven napba is beletelik. Ahogyan arra később rá fogok mutatni, a Cepheidekről kiderült, hogy hihetetlenül nagy jelentőséggel bírnak a hatalmas távolságok mérésében.

## Miben különböznek egymástól a csillagok?

Egészen a modern időkig a csillagok jóformán egyetlen tulajdonságuk, a fényességük alapján tértek el egymástól. Hipparkhosz volt az első, aki a csillagokat fényességük alapján osztályozta. Az égbolt húsz legfényesebb csillaga alkotja az egyes magnitúdójú első fényrendet, majd a csökkenő fényerő sorrendjében következik a második, harmadik, negyedik és ötödik fényrend, míg a hatodik fényrendbe tartozó csillagokat a segédeszközt nem használó szem már alig látja.

A csillagok fényességét olyan finomsággal mérhetjük, hogy a fényrendeket tizedesekre oszthatjuk. Egy csillag magnitúdója lehet 2,3 vagy 3,6, ahol minden fényrendfokozat 2,512-szer nagyobb fényerőt jelent, mint a következő, egyel nagyobb értékű fényrend. A 2,0 fényrendbe sorolt csillag 2,512-szer fényesebb, mint a 3,0 fényrendű csillag, és így tovább.

Az első fényrendbe sorolt csillagok némelyike annyira fényes, hogy 0 magnitúdót kell náluk megállapítani, sőt, néha még a negatív számozásra is szükség van. Az égbolt legfényesebb csillagának, a Szíriusznak a magnitúdója 1,47. A fényrendskála alkalmazható más égitestekre is, nemcsak a csillagokra. A Vénusz magnitúdója, amikor a legfényesebb, 4, a teliholdé 12, a Napé pedig 26. A fényrendfokozatok kiterjeszthetők a halvány csillagokra is, amelyeket már csak teleszkóp segítségével láthatunk, úgyhogy vannak hetes, nyolcas stb. fényrendű csillagok, egészen a húszasig, sőt még azon túl is.

Egy csillag nemcsak azért lehet fényesebb a másiknál, mert több fényt bocsát ki, hanem azért is, mert közelebb található hozzánk. Egy viszonylag gyenge fényű csillag, amely közel van hozzánk, fényesebben jelenhet meg az égen, mint egy tőle valójában sokkal nagyobb fényerejű csillag, amely viszont távolabb helyezkedik el tőlünk.

Ha ismerjük egy csillag tőlünk való távolságát és a fényrendjét, akkor kiszámíthatjuk valódi fényességét, azaz fényerősségét. Azt is feltételezhetjük, hogy minden csillag állandó, 10 parszek (32,6 fényévnyi) távolságra helyezkedik el tőlünk, és kiszámíthatjuk, hogy ebben az esetben milyen fényesnek látnánk, amely adatot abszolút fényerősségnek is nevezünk.

Például a mi Napunknak a magnitúdója, ha 10 parszek távolságra lenne tőlünk, mindössze 4,6 lenne, tehát valójában nem is egy fényes csillag. A Szíriusz abszolút fényerőssége ezen a távolságon 1,3 lenne, tehát lényegesen nagyobb fényerejű a mi csillagunknál, de vannak olyan csillagok is, amelyek ennél is nagyobb energiával sugároznak. A Rigel abszolút magnitúdója az Orion

csillagképben például 6,2, vagyis mintegy 20 000-szer fényesebb a mi Napunknál. Az ilyen fényerejű csillagok azonban ritkák. Feltűnőek ugyan, megjelenésük folytán, de számuk csekély, és valójában a csillagok kilenctizede haloványabb, mint a Nap.

1914-ben egy amerikai csillagász, Henry Norris Russel (1877-1957) rámutatott, hogy a csillagok, legalábbis azok 95 százaléka szabályos mértani sorba állítható. Minél nagyobb a csillag tömege, annál fényesebb és forróbb is. A legtöbb csillag, tömege szerint így sorba állítva a kicsi, hideg és homályos csillagoktól a nagy, izzó és fényes csillagok felé halad va, osztályozható a fő sorozatnak megfelelően.

Eddington, aki kiszámította a Nap középpontjának hőmérsékletét, kifejtette a fő sorozat természetének lényegét. Minél nagyobb egy csillag, annál nagyobb gravitációs erő húzza az anyagát össze és annál magasabb a hőmérséklet is a belsejében, hogy ellensúlyozza ezt az erőt. És minél magasabb ez a belső hőmérséklet, annál több fényt és hőt sugároz a csillag. Más szóval, minél nagyobb a csillag tömege, annál fényesebb kell hogy legyen, ez a tömegfényerő törvénye.

A csillag hőmérséklete gyorsabban növekszik tömegénél, így amennyiben a csillag elég nagy, belső hőmérséklete annyira megemelkedhet, a kifelé ható tágítóerő olyan erős lehet, hogy a csillag labilissá válhat és hajlamos lehet felrobbanni. Ebből kifolyólag a Napnál hatvanszor nagyobb tömegű csillagok nemigen találhatók.

Másfelől, minél kisebb egy csillag, annál alacsonyabb hőfokra van szüksége a mag körül, hogy ellensúlyozza szerény gravitációs erejét. Ha a csillag elég kicsi, a belsejében uralkodó hőmérséklet olyan alacsony lehet, hogy egyáltalán nem is bocsát ki fényt. A Napnál tízszer kisebb tömegű test sötét lenne, és nem is számítana csillagnak a szó hagyományos értelmében.

Az ilyen leromlott csillagok mindazonáltal a Jupiter tömegének százszorosával is rendelkezhetnek. Melegek lennének és infravörös fényt sugároznának, amely kevesebb energiát tartalmaz a látható félynél. Ezek a barna törpék, amelyekre nehéz rábukkanni, de a csillagászok kitartóan keresik őket, mert elképzelhető, hogy nagy számban léteznek, és ebben az esetben kihatással vannak a világűr természetére. Mindaddig, amíg egy csillag nagy hidrogéntartalékkal rendelkezik, és folytatja kisugárzását a hidrogénfúzió révén, addig megmarad a fő sorozatban.

## **Mi történik, ha megcsappan egy csillag hidrogénkészlete?**

Miután a tudósok megállapították, hogy a csillagok, beleértve a mi Napunkat is, hidrogénfúzió útján állítják elő energiájukat, ez roppant fontos kérdéssé vált. A Nap, és általában a csillagok hatalmas mennyiségű hidrogént tartalmaznak, de ez a forrás nem kimeríthetetlen, a készlet nem tart a végtelenségig. Mi történik akkor, ha a hidrogéntartalék elapad?

Úgy tűnik, hogy amint a hidrogéntartalék vészesen megcsappan, a csillag mind kevesebb és kevesebb energiát állít elő. Ennek következtében lehül, és többé nem tudja ellensúlyozni a gravitációs erőt, úgyhogy valószínűleg összeroppan, és egy hideg, sűrű objektum lesz belőle, egy halott csillag. Idővel tulajdonképpen ennek kell következnie, de minden bizonnyal több meglepő, közbülső állomásra kerülhet sor a csillag végső kimúlását megelőzően. A csillagok osztályozásának ez az elmélete első ízben annak a dán csillagásznak, Ejnar Hertzsprungnak (1873-1967) a munkájában jelent meg, aki elsőként terjesztette elő az abszolút fényerősség koncepcióját.

Hertzsprung megfigyelte, hogy egyes csillagok, amelyek vörös fényt bocsátanak ki, magas abszolút magnitúddal rendelkeznek, vagyis eléggé sötétek. Mások viszont, amelyeknek alacsony volt az abszolút fényerősségük, nagyon erős fényel ragyogtak. A kettő között pedig nem talált semmit.

Ha egy csillag vörös fényt sugároz, az annak a félreérthetetlen jele, hogy a felszíne viszonylag hideg, hőmérséklete nem haladja meg a 2000 Celsius fokot. Egy ilyen csillag, amennyiben a fő sorozathoz tartozik, kis tömeggel kell hogy rendelkezzen, ezért vörös törpének nevezik. A világűr bővelkedik ilyen csillagokban, ugyanis úgy látszik, hogy a csillagok háromnegyede ebbe a csoportba tartozik.

A fejtörést a fényes vörös csillagok okozták. Az ilyen csillagok felszínének is hidegnek kellett volna lennie, úgy, hogy a felszín minden egyes része jóval kevesebb fényt adjon le, mint a Nap felszínének részei, még akkor is, ha annál jóval fényesebbek. Erre csak az lehetett a magyarázat, hogy habár a felszín adott része sötétebb, viszont hatalmas kiterjedésű felületről van szó. Más szóval a fényes vörös csillagok sokkal, de sokkal nagyobbak, mint a Nap, és ennek tudható be magas fényerejük. Így ezeket vörös óriásoknak nevezték el.

Kezdetben azt tartották, hogy a vörös óriások az állandó sűrűsödés állapotában levő, nagyon fiatal csillagok, amelyek mind kisebbek és forróbbak lesznek, majd tovább sűrűsödnek és halványulnak, amíg csak nem válnak vörös törpékké. De ez nem lehetett így, mivel túl sok fény- és hőenergiát szabadítottak fel ahhoz, hogy csupán csillagokká sűrűsödjenek. A magjuk

helyén lenniük kellett valamilyen nukleáris kemencéknek is. Ahogy a csillagászok folytatták annak a hidrogénfúzióknak a tanulmányozását, amely a csillagok gyomrában megy végbe, rájöttek, hogy a vörös óriások nem a csillagfejlődés korai, hanem éppen ellenkezőleg, annak késői szakaszában járnak.

A csillagászok rájöttek, hogy amint, a hidrogén héliummá egyesül, az összegyűlik a csillag belsejében és héliummagot formál. Azután a hidrogénfúzió ennek a magnak a külső felülete mentén folytatódik. Ez a mag mind nagyobbá és mind sűrűbbé válik, a hőmérséklete pedig lassan emelkedik, úgyhogy idővel a csillag nagyobb mértékben melegedik fel, mint veszít hőt.

Végül a mag hőmérséklete annyira felszökik, hogy a héliumatomok is egyesülni kezdenek, és még nagyobb tömegű atomokat, szenet és oxigént alkotnak. Eközben a héliumfúzió által termelt hő, a még folyamatban levő hidrogénfúzió mellett meghaladja azt a fokot, amely a befelé ható gravitációs erő ellensúlyozásához szükséges, és a csillag tágulni kezd. Ahogy növekszik, külső rétegei hűlni kezdenek, mert a termelt hő mind nagyobb térben oszlik szét. A felszín minden egyes alkotóeleme hőt veszít, és a csillag vörösbe fordul, ugyanakkor a teljes hőmennyiség, amely a felduzzadt felületen szóródik szét, nagyobb annál, amennyivel a csillag a növekedést megelőzően rendelkezett.

Egyes csillagok, amikor növekedésnek indulnak, azt megszakításokkal teszik, egy ideig tágulnak, majd zsugorodnak, és így felváltva, egészen addig, amíg végül a tágító erő kerekedik felül. Ezeket a tágulásokat és összehúzódásokat jellemzik a Cepheid változóval. Amikor egy csillag vörös óriássá nővi ki magát, akkor azt mondják rá, hogy „elhagyta a fő sorozatot”.

A legismertebb vörös óriás a Betelgeuse az Orion csillagképben. Úgy becsülik, hogy átmérője 1100 millió kilométert tesz ki, vagyis nyolcszázszor akkora, mint a mi Napunk. Ha a Betelgeuse a Nap helyén ragyogna, olyan nagy lenne, hogy felduzzadt teste magába foglalná az egész belső naprendszert. Felszíne valahol a Mars mögött húzódna, az aszteroidák övének környékén.

### **Lesz-e vörös óriás a mi Napunkból?**

Az elkerülhetetlen, mivel a Nap hidrogéntartaléka is véges, de ez egyelőre nem jelent közvetlen veszélyt. Csillagunknak vagy 10 milliárd évig nem volna szabad elhagynia a fő sorozatot. Mivel körülbelül 4,6 milliárd éves, jelenleg középkorúnak számít. Persze fokozatosan egyre melegebb lesz, úgyhogy az utolsó 1 milliárd év folyamán, amit még a fő sorozatban tölt, a Föld esetleg túl

forró lehet az élet számára. De ez még mindig hagy a számunkra kb. 3 milliárd évet, és nagyon kétséges, hogy az emberi faj egyáltalán fennmarad-e ennek az időnek akár a töredékéig is.

Természetesen, ha fennmaradnánk ennyi ideig, és megtanulnánk alkalmazkodni a növekvő hőmérséklethez, úgy 5 milliárd év múlva a Nap növekedésnek indulna. Mivel lényegesen kisebb tömegű, mint a Betelgeuse, nem is terjedne ki akkorára, de elég nagy lenne ahhoz, hogy elpusztítsa a Földet. Amennyiben távoli leszármazottainknak nem sikerül áttelepíteni magukat egy másik csillag körül keringő bolygórendszerbe, vagy csillagoktól és bolygóktól függetlenül fennmaradniuk a világegyetemben, ez a végünket fogja jelenteni.

Különböző csillagok eltérő ideig maradnak meg a fő sorozatban, tömegük függvényében. Emlékezzünk, hogy Eddington szerint minél nagyobb tömegű a csillag, annál nagyobb mennyiségű hőenergiát kell előállítania ahhoz, hogy szembeszegülhessen a nagyobb gravitációs erővel, és ennek a hőmennyiségnek nagyobb ütemben kell növekednie, mint a tömegnek. Ez azt jelenti, hogy az óriáscsillagnak olyan gyorsan kell felélnie hatalmas hidrogéntartalékát, hogy jóval rövidebb ideig marad meg a fő sorozatban, mint egy törpecsillag, amely a maga kisebb hidrogéntartalékát parányi adagokban fogyasztja. Más szóval, minél nagyobb egy csillag, annál rövidebb ideig marad a fő sorozatban.

A mi Napunkkal azonos tömegű csillag 10 milliárd évig tarthat ki a fő sorozatban, de egy kis vörös óriás, amely éppen csak elég meleg ahhoz, hogy egy vörös felvillanásnak látszék, akár 200 milliárd évig is a sorozatban maradhat. A nagyon fényes csillagok viszont rövid életűek. A legnagyobbak és legfényesebbek pár millió évnél nem maradnak tovább a fő sorozatban.

## **Miért léteznek még mindig nagyon fényes csillagok?**

Ez egy jó kérdés. Ha az óriás csillagok tiszavirág-életűek, miért látunk belőlük még mindig olyan sokat a fő sorozatban? Miért nem hagyták el a fő sorozatot és váltak vörös óriássá már régen? Például a Szíriusz kb. háromszor akkora tömegű, mint a Nap, hidrogéntartalékát pedig vagy hússzor olyan gyorsan éli fel. Így mindössze félmilliárd évig maradhatna meg a fő sorozatban. Ha a Szíriusz ugyanakkor keletkezett, amikor a Nap, vagyis 4,6 milliárd éve, akkor már 4 milliárd évvel ezelőtt vörös óriássá kellett volna változnia, a tényleges helyzet viszont az, hogy erre mind a mai napig nem került sor.

Az egyetlen ok, amellyel ezt megindokolhatjuk, az, hogy a Szíriusz kevesebb, mint fél milliárd évvel ezelőtt lett csillag, és ilyen rövid idő alatt még nem alakult át vörös óriássá. Ehhez hasonlóan a fő sorozatbeli legfényesebb csillagok, amelyeket ma az égen látunk, szintén nem keletkezettek pár millió évnél régebben, mert különben már vörös óriások lennének.

Ez azt jelenti, hogy a csillagok nem egyszerre keletkeztek a világűr egészével egyetemben. Egyes törpe csillagok kialakulhattak még a kezdet kezdetén és a mai napig sem hagyták el a fő sorozatot, míg mások különböző méretekben jöttek létre, és rövidebb ideig maradtak a sorozatban, néha egészen röpké ideig, és azután elhagyták azt, míg mások csak nemrég keletkeztek.

Egészen bizonyosak vagyunk abban, hogy a Nap nincs olyan öreg, mint maga az univerzum. Amikor szoláris rendszerünk keletkezett, a világűr már létezett, és elképzelhető, hogy nem is tért el sokban mai arculatától. (Később fogjuk tárgyalni azt a kérdést, hogy milyen idős is lehet az univerzum.) Tulajdonképpen semmi okunk sincs feltételezni, hogy nem keletkeznek csillagok ebben a pillanatban is.

A gond csak az, hogy nagyon nehéz születőben levő csillagot tetten érni. Mindenekelőtt a csillagok vagy por- és gázfelhőkben születnek, amelyekbe nem könnyű behatolni, hogy láthassuk, valójában mi is történik. Azután a keletkezés csillagászati léptékben mérve lehet, hogy nagyon rövid idő alatt megy végbe, de az a mi életünk terjedelmével összevetve rendkívül hosszúnak bizonyulhat. Ha a felhő részeinek egymillió évre van szükségük ahhoz, hogy új csillaggá omoljanak össze, akkor még a teleszkóp feltalálásától eltelt, csillagászati kutatásokkal eltöltött teljes időszakban sem láthattunk túl sok történést. Mindazonáltal a csillagászok biztosra veszik, hogy csillagok most is születnek.



## Mi a fehér törpe?

Miután a vörös óriás megszületett, a rendelkezésre álló fúziós energia nagyobb része, amely lehetővé tenné számára, hogy békés életet folytasson, már elveszett, különösen azóta, hogy azt minden eddiginél nagyobb iramban fogyasztotta. Legfeljebb pár millió évig, és nem tovább tud még terjeszkedni a gravitációs erőnek ellenszegülve.

Ha itt megállunk egy pillanatra, be kell látnunk, hogy ennek igaznak kell lennie, mert ha a vörös óriások hosszú ideig fennmaradhatnának, akkor beborítanák az eget. Minden nagyobb csillag, amely valaha létezett, egyszer csak vörös óriássá alakulna, és úgy maradna. A valós helyzet azonban az hogy a vörös óriások igen ritkák, ami azt jelenti, hogy el kell tűnniük (legalábbis, mint Vörös óriásoknak) a létezés egy viszonylag rövid időszakának múltán.

Amikor a vörös óriásnak nincs többé energiája ahhoz, hogy tovább terjeszkedjen, össze kell omlania, de nem arra a méretre, amellyel közönséges csillagként rendelkezett a fő sorozat tagjaként, hanem még tovább zsugorodva, a törpecsillagok egy másik, még szélsőségesebb fajtájává. A csillagászok jóval korábban tisztában voltak az ilyen törpecsillagok létezésével, mintsem ismeretes lett volna előttük a vörös óriások családja, illetve hogy a csillagok miképp változnak az idők folyamán (a csillagok evolúciója).

F. W. Bessel, az a csillagász, aki elsőként tette közzé a csillagok valódi távolságát, 1844-ben a Szíriusz mozgását tanulmányozta. A csillagok saját mozgásuk során általában nagyon lassan haladnak egy egyenes vonal mentén. Más volt a helyzet a Szíriusszal, amelyről Bessel kiderítette, hogy hullámvonal mentén mozog. Besselt gondolkodóba ejtette ez a különbség, és arra a következtetésre jutott, hogy csupán egyetlen olyan ismert erő létezik, amely megfigyelhető mértékben képes kimozdítani egy csillagot a pályájáról, ez pedig egy másik csillag gravitációs ereje.

Tegyük fel, hogy a Szíriusz nem magányos, hanem kettős csillag. Ebben az esetben a Szíriusz és társa együtt haladna a világűrön át, miközben egy közös gravitációs középpont körül is keringenének, és ez a pont egyenes vonalat húzna a mozgás pályáján. A Szíriusz először a gravitációs középpont egyik oldalán helyezkedne el, míg csillagtársa a másikon, az után pedig helyet cserélnének. Amennyiben a Szíriusz és társa ötvenévenként kerülnek meg ezt a gravitációs középpontot, és a Szíriusz, tömege két és félszer nagyobb társának tömegénél, akkor ez magyarázatként szolgálhat a csillag hullámvonalú haladására.

De miért nem láthatta Bessel a másik csillagot is? A logikus válasz erre a

kérdésre az lehet, hogy a Szíriusz társa egy kiégett csillag. Abban az időben az embereknek még fogalmuk sem volt arról, hogy mi lehet a csillagok energiaforrása, de bármi legyen is az, Bessel feltételezte, hogy az kimerült, és a Szíriusz társa, hidegen és sötéten, de eredeti tömegének birtokában tovább kering a gravitációs középpont körül. Ezért „sötét útitársnak” nevezték el, Bessel pedig később felfedezte, hogy a Procyon csillagot is hasonló társ kíséri útján.

Azután 1862-ben egy amerikai csillagász, Alvan Graham Clark (1832-1897), miközben egy teleszkópot ellenőrzött, egy sápadt fényszikrára lett figyelmes a Szíriusz közelében. Először arra gondolt, hogy a teleszkóp hibájáról lehet szó, de a további megfigyelés meggyőzte arról, hogy egy gyenge fényű csillagot lát. Valójában a Szíriusz sötét útitársára bukkant rá, amelynek 7,1 a magnitúdója. Vagyis nem volt elég fényes ahhoz, hogy szabad szemmel is látható legyen, a Szíriusz fényerősségének mindössze a nyolcezred részével ha rendelkezett, ugyanakkor nem volt teljesen sötét és hideg sem. Ezután a Szíriusz „homályos kísérőjéről” kezdtek beszélni. Még helyesebben Szíriusz B-nek nevezték el, míg a korábban ismert csillag maga Szíriusz A lett.

1896-ban John Martin Schaeberle (1853-1924) megtalálta a Procyon társát, amelyet ezután Procyon B-nek neveztek el, és megállapították, hogy az mindössze feleakkora, mint a Szíriusz B, tehát még halványabb.

Térjünk most vissza a Szíriusz B-hez! A Szíriusz A-ra gyakorolt hatása alapján kiszámították, hogy a tömege körülbelül akkora kell hogy legyen, mint a Napé, fényessége azonban ez utóbbi fényerejének mindössze a százharmincad részét teszi ki.

Néhány évtizeddel később, amikor a tömeg és a fényerő összefüggését megértették, ez nem kis fejtörést okozott volna, hiszen a Nap tömegével rendelkező csillagnak a Nap fényerejével kell sugároznia. Az 1900-as évek elején, amikor ezzel még nem voltak tisztában, a jelenség nem izgatta a csillagászokat.

Ami viszont foglalkoztatta őket, az volt, hogy ha a Szíriusz B ilyen sokkal gyengébben világított a Napnál, akkor hidegebb is attól, tehát vörös fényel kellene sugároznia. Ehelyett ugyanolyan fehér fényt bocsát ki, mint a Szíriusz A. El kellett tehát végezni a Szíriusz B színeképé-nek elemzését, a kibocsátott fény színeiből és a bennük található sötét vonalokból ugyanis meghatározható a felszín hőmérséklete.

1915-ben W. S. Adams, aki elsőként mutatott ki széndioxidot a Vénusz légkörében, alkotóelemeire bontotta a Szíriusz B fényét. Legnagyobb

meglepetésére arra az eredményre jutott, hogy a Szíriusz B felszíni hőmérséklete 10 000 Celsius fok, ami olyan forrónak számít, mint a Szíriusz A felszíne és lényegesen nagyobb a Nap felszíni hőmérsékleténél.

Ez azt jelentette, hogy a Szíriusz B felszínének minden egyes részlete sokkal több fényt sugároz ki, mint a Nap felszínének egyes elemei. Akkor pedig, a Szíriusz B miért halványabb annyival a Napnál? Erre csak az lehetett a magyarázat, hogy a Szíriusz B-nek rendkívül kicsi lehet a felszíne, vagyis törpe, méghozzá annak is parányi. Ez volt az első példánya annak a fehérén izzó de nagyon kicsi csillagokból álló osztálynak, amelynek tagjait fehér törpéknek nevezzük.

Ma már tudjuk, hogy a Szíriusz B átmérője 1100 kilométer, vagyis kisebb, mint a Föld. Ugyanakkor a Nap tömegével kell rendelkeznie ahhoz, hogy elegendő gravitációs erőt fejthessen ki, amellyel kibillentheti a Szíriusz A-t pályájáról. Hogyan lehetséges hát a Napnak megfelelő tömeget egy bolygó méretébe összepréselni.

Ha kiszámítjuk a Szíriusz B sűrűségét, azt az eredményt kapjuk, hogy az 33 000 000 grammot tesz ki köbcentiméterenként, ami másfél milliószor sűrűbb az ozmiumnál, a Földön ismert legsűrűbb elemnél. Mi több a Szíriusz B felszíni gravitációjának 462 000-szer nagyobbnak kell lennie a Föld vonzóerejénél.

Néhány évvel Adam felfedezése előtt az ilyen szélsőséges számadatokat egyszerűen nevetségesnek titulálták volna, hiszen elképzelni sem tudták, hogy valami ennyire sűrű lehet. Még akkor is; ha az ozmiumot hatalmas nyomásnak tesszük ki, atomjait csak némileg tudjuk összesűríteni. De közvetlenül Adam felfedezése előtt Rutherford rájött, hogy az atomok egy központi magot tartalmaznak, amely nagyon parányi, de lényegében itt található az atom teljes tömege. A csillag magjában uralkodó magas hőmérsékleten és nagy nyomás alatt az atomok összeroppannak, az atommagok szabadon mozognak, és sokkal szorosabban összetömörülnek, mint az lehetséges volna ha az atomok épek lennének. Az ilyen összeroppanó atomokat degenerált anyagnak nevezzük.

A Napnak csupán a magja, egy fehér törpe viszont teljes egészében degenerált anyagból áll. Amikor a vörös óriás összeomlik és fehér törpévé válik, a külső, még mindig hidrogént tartalmazó rétegek leszakadnak, és a csillagot egy minden irányba terjedő gázlabdával veszik körül, amely végül eltűnik a világűr végtelenségében. Egy bizonyos ideig azonban az újonnan született fehér törpét egy fánkra emlékeztető gázképződmény veszi körül, mivel a labda szélei több fényt szívnak fel, mint a középpont. Amit ilyenkor látunk, azt planetáris

nebulának, azaz ködfoltnak nevezzük, mert a gáz olyan képet nyújt, mintha egy bolygó körpályája mentén terülne el.

Miután a fehér törpe megszületett, energiáját olyan lassú ütemben fogyasztja, hogy még nagyon sokáig élhet a végső kihűlés, a kimúlás előtt. Úgy tartják, hogy még egyetlen fehér törpe sem élt olyan sokáig, hogy halálára sor került volna, így elképzelhető, hogy a világűrben mintegy 3 milliárd fehér törpe található a csillagok között, de annyira halványak, hogy csak a hozzánk meglehetősen közel esőket láthatjuk.

### **Mi a nóva?**

Ahogy a csillagok evolúciójáról az egyes csillagok természetében tapasztalható változásokról beszéltünk, ugyancsak eltávolodtunk attól az arisztotelészi megállapítástól, miszerint az égbolt tökéletes és változatlan. Ugyanakkor a csillagok fejlődése nagyon lassú, és ha csupán egy életen, vagy akár néhány évszázadon át kísérjük őket figyelemmel, nem sok változást lesz alkalmunk látni.

Ugyanakkor időről időre a változás félreérthetetlen jeleivel találkozunk, például amikor váratlanul egy olyan új csillag bukkan fel az égen, amely azelőtt nem volt ott. Ilyen új csillag megjelenését Hipparkhosz figyelte meg első ízben, feltételezhetően i.e. 134-ben, a Skorpió csillagképben. Azért nem lehetünk ebben egészen biztosak, mert az esetről szóló feljegyzés két évszázaddal későbből származik egy római író, Plinius tollából.

A görög csillagászat időszámításunk százas éveiben bekövetkezett hanyatlása után a kínaiak számítottak a világ legjobb asztronómusainak, akik a 100-as és az 1100-as évek között több új, kimondottan fényes csillagról is beszámoltak. 1006-ban felfedeztek egy új csillagot, amely kétszázszor fényesebb volt a Vénusznál, 1054-ben pedig egy másikat, amely két-háromszor erősebb fényel ragyogott, mint az Esthajnalcsillag.

Az európai csillagászok ezeknek a csillagoknak egyikéről sem tesznek említést, részben azért, mert az ókontinens csillagászata ebben az időben éppen mélypontban volt, részben pedig azért, mert az új, mégoly fényes csillagokat sem könnyű észrevenni olyan embereknek, akik nem figyelik folyamatosan az eget, és nem vésik emlékezetükbe a csillagképek mintázatát. Azonkívül az európai csillagászok annyira biztosak voltak Arisztotelész igazában a csillagok állandóságáról, hogy még abban az esetben is, ha olyasmit láttak volna, amiről feltételezik, hogy új csillag, valószínűleg vonakodtak volna azt bejelenteni.

A kínaiak által megfigyelt új csillagok minden tekintetben csillagként viselkedtek, kivéve egyet: nemcsak újak, hanem átmenetiek is voltak. Fényes pontként jelentek meg, amely nem mozgott a szomszédos csillagokhoz viszonyítva, tehát nem lehettek meteorok vagy üstökösök: továbbá minél fényesebben jelent meg az új csillag, annál hosszabb ideig világított, de egyikük sem tartott nagyon sokáig. Még az 1006-ban felfedezett csillag is, amely sokkal fényesebb volt a Vénusznál, csupán három évig volt látható az égen, mialatt folyamatosan halványult, míg végül eltűnt.

A fordulópont 1572-ben következett be, amikor egy új csillag bukkant fel a Cassiopeia csillagképben. Amikor először megpillantatták, ez is többszörösen fényesebb volt a Vénusznál. Még nappal is látni lehetett az újhold sötét éjszakáin pedig még gyenge árnyékot is adott. Ebben az időben az európai csillagászat éppen felépülőben volt, és korának legnagyobb asztronómusa, Tycho Brahe is tanulmányozta ezt a csillagot. Tizenhat hónapon át minden derült éjszakán figyelemmel kísérte, miközben az lassan elhalványult, és végül eltűnt. Könyvet is írt róla, „De Nova Stella” (Tanulmány az új csillagról) címmel. Ennek eredményeként az ilyen új csillagokat azóta nóváknak nevezik.

Egy másik, kevésbé fényes új csillag az Ophiuchus csillagképben jelent meg 1604-ben. Ezt Johannes Kepler figyelte meg és tanulmányozta.

Öt évvel később használni kezdték a teleszkópot, és a csillagászok újabbnál újabb eszközöket fejlesztettek ki a csillagok vizsgálatára. A sors különös játéka folytán azonban 1604 óta egyetlen olyan új csillag sem jelent meg az égen, amely olyan fényes lett volna, mint a legjobban látható bolygók.

Hozzá kell azonban tennünk, hogy mérsékelt fényességű nóvák azóta is bukkantak fel, így az 1800-as években több olyant is megfigyeltek közülük, amelyek hasonlítottak az első fényrendbe tartozó csillagokhoz, de közel sem ragyogtak úgy, mint a Jupiter vagy a Vénusz. 1901-ben egy nóva jelen t meg a Perseus csillagképben, amelyet Nova Persei névre kereszteltek. Majdnem olyan fényes volt, mint a Vega, a Nova Aquilae pedig, amelyre 1918-ban figyeltek fel, a legfényesebbnek számított egészen 1604 óta, és egy ideig majdnem olyan erősen ragyogott, mint a Szíriusz. Azután következett a Nova Herculis 1934-ben és a Nova Cygni 1975-ben.

A teleszkóp felfedezése előtt a nóvák egészen idegenül hatottak az őket megfigyelő emberek szemében. A semmiből bukkantak elő, hogy végül ismét beleveessenek a világűrbe. Vajon az istenek által küldött sajtós hírnökök lehettek, amelyek a fenyegető pusztításra figyelmeztetnek bennünket? Vagy inkább arra hívják fel a figyelmünket, hogy az égen uralkodó természeti

törvények felborultak? Nem csoda, ha a középkori Európa egyik csillagásza sem tett róluk említést.

A teleszkóp azonban mindent megváltoztatott. A Nova Persei például nem fakult ki és ment el. Csupán túl halovány lett ahhoz, hogy az emberek szabad szemmel láthassák, de teleszkóp segítségével továbbra is megfigyelhető. És ez érvényes volt az 1900-as években felfedezett valamennyi nóvára. Mi több, az égboltról készített felvételeken azon a helyen, ahol később nóva jelent meg, nagyon sápadt fényű csillagot lehetett találni.

Tulajdonképpen az történik, hogy egy homályos csillag hirtelen felragyog, és rövid idő alatt több ezerszeresére növeli fényerejét, majd elhalványul, és ismét az a sápadt csillag lesz, ami volt is a fellángolás előtt. Ha figyelmesen lefényképezzük a csillagot, miután a nóva stádium véget ért, egy táguló gázfelhőt fedezhetünk fel körülötte, amely olyanná teszi a csillag megjelenését, mintha az egyfajta robbanáson esett volna át, majd pedig visszatért volna életének korábbi kerékvágásába.

De ez csupán egy újabb kérdést vet fel: miért kell egy csillagnak, amely meghatározatlan időn keresztül egyenletesen és visszafogottan sugárzott, egyszerre csak felrobbannia?

1954-ben egy amerikai csillagász, Merle F. Walker azt a homályos csillagot tanulmányozta, amely húsz évvel korábban a Nova Herculis volt, és arra a megállapításra jutott, hogy kettős csillagról van szó, közös gravitációs középpont körül keringő két csillagról, amelyek közül az egyik fehér törpe. Ez ugyanaz a helyzet, amelyet a Szíriusz A és a Szíriusz B estében már láttunk, de egy lényeges eltéréssel: a Szíriusz A és B nagy távolságra van egymástól, egyik a másikat sohasem közelíti meg úgy egymilliárd kilométernél jobban, úgyhogy keringési idejük ötven évet tesz ki. A Nova Herculis két csillaga ugyanakkor mindössze négy és fél óra alatt kerüli meg egymást, ami azt jelenti, hogy egymáshoz nagyon közel, egészen pontosan másfél millió kilométerre helyezkednek el.

Így erős gravitációs hatást gyakorolnak egymásra, aminek következtében a forró hidrogén a nagyobb, közönséges csillagról átszivárog a parányi fehér törpére, amelynek rettentően erős a felszíni vonzóereje. Ha a szokásosnál nagyobb mennyiségű hidrogén áramlik át a fehér törpe felszínére, annak gravitációs ereje azt olyan hirtelen sűríti össze, hogy a hidrogénatomok robbanásszerű fúzióon mennek keresztül. Hatalmas fúziós robbanásra kerül sor, és a nóva megjelenik.

1954 óta megállapították, hogy az általunk tanulmányozható, közepes

fényerősségű nóvák mindegyike kettős csillag, amelyeknek egymáshoz közel fekvő tagjai közül az egyik fehér törpe. Ez azt jelenti, hogy biztosak lehetünk afelől, a mi Napunk sohasem fog nóvaként fellobbanni, egyszerűen azért, mert nem kettős csillag.

### **Mi a szupernóva?**

Az 1900-as években tanulmányozott nóvák minden bizonnyal olyan fényesek lehettek, mint a Tycho Brahe és Kepler által tanulmányozott szörnyetegek vagy a kínai asztronómusok által még korábban megfigyelt nóvák. 1934-ben egy svájci csillagász, Fritz Zwicky (1898-1974) ezeket a fényesen ragyogó nóvakat szupernóváknak nevezte el.

A szupernóvák tanulmányozása (közönséges szemmel tartásukon és azon a megállapításon túl, hogy nagyon fényesek) egy francia csillagással, Charles Messier-vel (1730-1817) vette kezdetét. Üstökös vadász volt, akit egy ízben egy olyan felhőszerű folt vezetett az orránál fogva az égen, amelyről bebizonyosodott, hogy nem lehet üstökös. Ezért az 1770-es években egy olyan számozott listát készített, amelyen feltüntette az ilyen ködfoltok helyzetét a többi üstökös vadász figyelmeztetése céljából. A Messier listáján szereplő objektumok gyakran úgy ismertek, mint M 1, M 2, és így tovább, azoknak a számoknak az alapján, amelyeket nekik adott. Később kiderült róluk, hogy sokkal nagyobb jelentőséggel bírnak, mint az üstökösök. Itt van például a listavezető objektum, az M 1, ami egy ködfolt a Taurus csillaképben.

Az M 1-est bizonyos részleteiben egy angol csillagász, William Parsons (1800-1867), Rosse harmadik grófja tanulmányozta 1844-ben. Hatalmas teleszkópot építtetett magának, amely azonban hasznavehetetlennek bizonyult, mivel túl nehezen lehetett vele manőverezni, és mert a gróf írországi birtoka felett az ég szinte sohasem volt derült. Ennek ellenére sikerült megfigyelnie az M 1-est, és úgy tűnt neki, hogy az egy örvénylő gázfelhő, amelyben görbített fényszálak láthatók. Ezek a kampószerű képződmények miatt az M 1-est Karmos Felhőnek nevezte el, és ez a név a mai napig rajta ragadt.

Legközelebb 1921-ben egy amerikai csillagász, John Charles Duncan (1882-1967) tanulmányozta, és valamivel nagyobbnak találta annál, ahogyan azt Rosse jelentette. A felhő tehát terjeszkedett, és Edwin Powell Hubble (1889-1953) amerikai csillagász azt állította, hogy helyzetéből ítélve a Karmos Felhő az 1054-es szupernóvarobbanás maradványa is lehet. A terjeszkedés mértékét lemérték, és visszafelé számolva megállapították, hogy az eredeti robbanásnak

valóban kilencszáz évvel korábban kellett bekövetkeznie.

A szupernóva tehát egy csillagrobbanás eredménye, ugyanúgy, mint a közönséges nóva, csak hogy ez a robbanás sokkal nagyobb. De mi lehet a szuperrobbanás kiváltó oka?

A válasz felé terelő első útbaigazítás 1931-ben érkezett. Ekkor egy indiai csillagász, Subrahmanyan Chandrasekhar (szül. 1916-ban), aki Angliában dolgozott, éppen azt igyekezett kiszámítani, hogy mekkora lehet egy fehér törpe tömege. Minél nagyobb volt a tömege, annál jobban össze kellett sűrűsödnie saját gravitációs erejének hatására, és Chandrasekhar kiszámította, hogy egy bizonyos ponton túl a fehér törpe egyszerűen összeroppan. Ezt a pontot, amelyet Chandrasekhar-határnak neveztek el, akkor éri el egy csillag, amikor tömege a Nap tömegének 1,44-szeresét teszi ki. Ennél nagyobb tömegű fehér törpe egyszerűen nem létezhet.

Ez a határ kezdetben nem tűnt különösebben fontosnak, mivel a csillagok legalább 95 százaléka kisebb tömegű, mint a Nap 1,44-szerese. Ezek minden különösebb nehézség nélkül vörös óriásokká, majd fehér törpékké alakulhatnak.

De még a nagytömegű csillagokból is lehetnek fehér törpék, mivel amikor egy ilyen csillag vörös óriássá tágul, majd pedig összeomlik, csak a belső része marad meg. A külső rétegek hátramaradnak, vagy pedig kiáramlanak a külső világűrbe, és planetáris ködfelhőt alkotnak. Természetes volt feltételezni, hogy a vörös óriás tömegétől függetlenül az összezsugorodó mag tömege sosem haladja meg a Nap tömegének 1,44-szeresét, és minden nehézség nélkül fehér törpévé alakulhat. (Mint hamarosan látni fogjuk, kiderült, hogy ez nem éppen így van.)

De tegyük fel, hogy egy fehér törpe tömege kis híján a Nap tömegének 1,44-szeresét teszi ki, és egy kettős rendszer része, amelyben a másik tag egy közönséges csillag. A fehér törpe folyamatosan vonzza magához a közönséges csillag anyagát, és azt hozzáadja a saját tömegéhez. Még akkor is, ha ez az anyag hidrogén, amely fúzió révén héliummá alakul, a fehér törpével fog maradni. Ennek pedig az lesz az eredménye, hogy a fehér törpe tömege lassan növekedni kezd végül eléggé felgyarapodva ahhoz, hogy átlépje a Chandrasekhar-határt.

Amikor ez megtörténik, a fehér törpe tovább nem tudja fenntartani a szerkezetét, és felrobban. Ez a robbanás több milliószor nagyobb annál, amire a legfigyelemreméltóbb közönséges nóva képes. Az ilyen szupernóva több milliárd közönséges csillag fényének megfelelő erősséggel ragyog fel, majd



egy idő után a fény fokozatosan elenyésszik, és a fehér törpe teljes egészében megsemmisül, semmit sem hagyva maga mögött hátra. Az ilyen robbanások eredményezik az I-es típusú szupernóvakat, de létezik a szupernóvak II-es típusa is, amelynek csak valamivel gyengébb a fényereje.

Világos, hogy a mi Napunkból sohasem lehet szupernóva. Ha fehér törpévé alakulna, annak tömege jóval a Chandrasekhar-határ alatt maradna, csillagtársa pedig nincsen, amelytől további tömeget nyerhetne.

Az I-es típusú szupernóvak színekéből kiderült, hogy nem tartalmaznak hidrogént. Erre számítani is lehetett, ha egyszer fehér törpék felrobbanása révén keletkeznek, hiszen amíg a vörös óriás fehér törpévé omlik össze, addig elhasználja hidrogéntartalékának java részét, a középső régiókban pedig, amelyek sűrűsödésen mennek át, az nem is található.

A II-es típusú szupernóvak színeke viszont rengeteg hidrogént mutat, arra utalva, hogy a robbanásban olyan csillag vesz részt, amely még nem érte el a fehér törpék stádiumát. Tehát úgy tűnik, hogy maga a vörös óriás robban fel. Minél nagyobb egy csillag, annál nagyobb vörös óriássá növi ki magát, és annál katasztrofálisabb lesz az összeomlása is. Ha a csillag elég nagy, ez a kollapszus olyan hirtelen és drasztikus lehet, hogy a sűrűsödő rész a fennmaradt hidrogénmennyiséget is magával rántja, mire az fúzió megy keresztül, és szupernóva születéséhez vezet.

A II-es típusú szupernóvak még valamiben különböznek az I-es típustól. Amíg a fehér törpék, amelyek I-es típusú szupernóvaként robbannak fel, nyomot sem hagynak maguk után, addig a felrobbanó és II-es típusként összeomló vörös óriások maradványokat hagynak hátra.

Mindazonáltal ebből a maradványból nem lesz fehér törpe. Egyrészt, ha a csillagnak elég nagy volt a tömege, mondjuk a Nap tömegének a hússzorosa, akkor a maradványok is meghaladnák a Chandrasekhar-határt, vagyis túl nagy lenne a tömegük ahhoz, hogy fehér törpévé váljanak. Másrészt az összeomlás is lehet olyan viharos, a gravitáció olyan erővel ránthatja össze az anyagot, hogy még akkor is, ha annak tömege nem haladja meg a nap tömegének 1,44-szeresét, akkor is a fehér törpék fejlődési szakasza alatt tömörítene magát.

De mi történik akkor, ha az összeomló csillag részei nem érik el a fehér törpék fejtődési fokát?

1934-ben Zwicky, és tőle függetlenül egy amerikai fizikus, J. Robert Oppenheimer (1904-1967) is ezzel a kérdéssel foglalkozott. Arra a megállapításra jutottak, hogy a fehér törpéknek szabad atommagokból és elektronokból kell állniuk, és hogy ezek az elektronok egyfajta fékként

működnek, amelyek megakadályozzák, hogy a kollapszus túl sokáig folytatódjék. De ennek a féknek csak korlátozott kapacitása van a sűrűsödés megállítására. Ha a tömeg vagy az összeomlás ereje túl nagy, akkor az elektronok arra kényszerülnek, hogy kapcsolatba lépjenek a szabad atommagok protonjaival, és neutronokat alkossanak. Ebben az esetben olyan csillag keletkezik, amely teljes egészében neutronokból áll, amelyek nem hordoznak elektromos töltést, és addig közelíthetők egymáshoz, amíg össze nem érnek. Egy neutronokból álló csillag annyira összezsugorodhat, hogy ha azelőtt a Nap tömegével rendelkezett, akkor elfér egy 14 kilométer átmérőjű gömbben. Ezt nevezzük neutroncsillagnak.

Nagyon érdekes gondolatmenet, de az 1930-as években nem lehetett módot találni egy ilyen parányi objektum észlelésére. Amennyiben a Szíriusz B fehér törpe helyett neutroncsillag lenne, továbbra is arra tudná kényszeríteni a Szíriusz A-t, hogy hullámvonalú pályán mozogjon de jelenlegi fényének csupán 750-ened részével világítana. Magnitúdója 20, vagy még annál is több lenne, és legjobb teleszkópjainkkal is alig láthatnánk. A Szíriusz B azonban a hozzánk legközelebb eső fehér törpe. A csillagászok úgy vélték, hogy bármely más fehér törpe, amennyiben, neutroncsillag lenne, számunkra teljesen észlelhetetlen lenne. Így az egész elképzelés feledésbe merül a következő több mint harminc évre.

### **Látjuk e valamilyen hasznát a szupernóváknak?**

A csillagászok azt vallják, hogy a szupernóvák vitális jelentőségűek, mert nélkülük nem lennénk itt, ahol vagyunk, nem lenne élet a Földön, sőt maga a Föld sem létezne. Vegyük figyelembe a következőket: amikor a világűr keletkezett, csupán két elem jött létre, a hidrogén és a hélium, a két legegyszerűbb. (Természetesen senki sem lehetett jelen, hogy ezt megfigyelhesse, de a tudósok tisztázták a lehetőségeket, jóllehet, nem minden ellentmondás nélkül. A részletek semmi esetre sem bizonyosak de róluk majd a későbbiekben ejtünk szót.) A legelső csillagok hidrogénből és héliumból álltak, de a belsejükben uralkodó feltételek lehetővé tették összetettebb atomok keletkezését is, mint amilyen a szén, oxigén, nitrogén, szilikon, vagy a még összetettebb elemek, mint például a vas. Ezek az összetett atomok a csillagok középpontjában halmozódtak fel, és még azután is, hogy a csillag vörös óriássá nőtte ki magát, majd pedig összeomlott, ezek az elemek az összesűrűsödött mag belsejében maradtak.

Csak a szupernóva-robbanások alkalmával történik meg, hogy ezek az összetett atomok szétszóródnak a világűrben, és csatlakoznak a gázfelhőkhöz, amelyekben porszemcséket alkotnak. Amikor ezekből a „szennyezett felhőkből” keletkeznek csillagok, akkor már második generációs csillagokról beszélünk, amelyek már a kezdet kezdetén tartalmaztak összetett atomokat.

A mi Napunk is ebbe a második nemzedékbe tartozó csillag. Minden atom a Földön és a testünkben (kivéve egy-egy hidrogénatomot), valamikor egy csillag belsejébe tartozott, amely azután felrobbant. A szupernóvák nélkül a Napunk lehet, hogy csak hidrogénből és héliumból állna, a Föld pedig, és rajta az élet, nem létezne.

Mintegy 4,6 milliárd évvel ezelőtt szoláris rendszerünk egy olyan gáz- és porfelhőből keletkezett, amelyben megtalálhatók voltak a csillagok belsejében keletkezett és a szupernóva robbanások által a világűrben szétszórta, összetett elemek. Ez a felhő azonban akár évmilliárdokon át is létezhetett ugyanabban a formában. Miért kezdett el akkor egyszerűen zsugorodni és sűrűsödni?

Erre a kérdésre nem tudunk pontos választ adni, de létezik egy olyan feltételezés, miszerint egy közeli szupernóva küldött felénk egy szellőkést, amely sűrűsödésre készítette a hozzá legközelebb eső felhőt. Ez fokozta a gravitációs erőt a felhőnek abban a részében, és további zsugorodáshoz vezetett, ami fokozatosan a naprendszer, beleértve a Nap és a Föld kialakulását eredményezte. Ha ez így igaz, akkor még egyszer elmondhatjuk, hogy a szupernóvák nélkül nem lehetnénk itt.

Mi több, a biológiai evolúció is köszönhet valamit a szupernóváknak. Amikor egy organizmus osztódik, és megkettőzi magát, a kópia nem tökéletes mása az eredetinek, mert ha az lenne, az élet legelső formái (az egyszerű baktériumféle szervezetek) sohasem változtak volna meg. Az alkalmankénti tökéletlenségek folytán azonban a fejlődésre többé-kevésbé véletlenszerűen és nagyon fokozatosan került sor, de az élet formái egyre bonyolultabbak lettek, és mind jobban alkalmazkodtak környezetükhöz.

Több tényező is hozzá kellett hogy járuljon ezeknek a tökéletlen másolatoknak a megszületéséhez, de talán a legfontosabb és legelkerülhetetlenebb közülük a kozmikus sugárzás volt (amelynek megemlítésére a későbbiekben még alkalmunk fog nyílni). Ezeket a sugarakat a szupernóva-robbanások termelik, és a tény, miszerint a földi élet tovább fejlődött a baktériumok szintjénél, ezeknek a robbanásoknak köszönhető.

## **Van-e élet más csillagok bolygóin?**

Korábban már arra a következtetésre jutottunk, hogy naprendszerünkben a Földön kívül valószínűleg nem található a mienkhez hasonló életforma, azzal, hogy az Európa és a Titán merész feltételezés mellett, kivételt jelenthet. Felvethetjük viszont a kérdést, hogy található-e élet azokon a bolygókon, amelyek más csillagok körül keringenek?

Mielőtt megpróbálkoznánk a válaszadással, azt kell kiderítenünk, hogy más csillagok körül egyáltalán keringenek-e bolygók. Több mint ötszáz évvel ezelőtt Nicholas de Cusa természetesnek vette létezésüket. A modern csillagászok pedig úgy vélik, hogy minden bizonnyal igaza lehetett, hiszen ha a naprendszer por- és gázfelhőből születve automatikusan bolygókat formázott, akkor ennek így kellett történnie sok más, mi több, talán valamennyi csillag esetében.

De ez merész okoskodás. Sokkal jobb lenne, ha a mi napunk mellett találnánk egy másik csillagot is, amely tényleges bolygórendszerrel rendelkezik. De sajnos még mai berendezéseink sem alkalmasak arra, hogy láthatóvá tegyenek számunkra egy másik csillag körül keringő bolygót. Egy ilyen planéta, még abban az esetben is, ha a hozzánk legközelebbi csillag körül keringene, 4,4 fényévnnyire lenne tőlünk, és csupán az anyacsillag visszavert fényével világítana, amely kevés lenne ahhoz, hogy ekkora távolságról láthassuk. De még akkor is, ha fel tudnánk fogni ezt a pislá fényt, a nála sokkal fényesebb csillag, amely körül kering, elfojtaná azt. (A Jupiter négy nagy holdja elég fényes ahhoz, hogy szabad szemmel látható legyen, de a közeli és sokkal nagyobb fényerővel világító Jupiter miatt csak teleszkóppal figyelhetjük meg őket.)

A kérdésre mégis van válasz. Bessel úgy fedezte fel a Szíriusz B-t, hogy az hullámvonalú pályára kényszerítette a Szíriusz A-t, és nem úgy, hogy egyszerűen megpillantotta a teleszkópja látómezőjében. Vajon egy bolygó vagy a bolygók csoportja nem tehetné ugyanezt a csillaggal, amely körül kering?

Elméletileg igen, csak hogy lényegesen kisebb hatásokkal. Elvégre a Szíriusz B tömege akkora, mint a Napé, ugyanakkor szerencsésnek mondhatnánk magunkat, ha akkora bolygóra bukkannánk, amelynek tömege a Nap ezredrészének felel meg. Ha pedig több bolygóról van szó, azok szétoszlanának a csillag körül, és a rá gyakorolt gravitációs hatásuk részben semlegesülne, kivéve akkor, ha az egyik bolygó tömege lényegesen nagyobb a többinél (ahogyan azt naprendszerünkben is láthatjuk).

Egy szoláris rendszerünkön kívüli bolygó észlelésének legjobb módja, ha

hozzánk nagyon közel eső csillagot választunk, amelynek mozgásában a legkisebb eltérést is nagyon pontosan le tudjuk mérni. Továbbá a csillagnak kicsinek kell lennie, hogy a bolygó kellő mértékben befolyásolhassa mozgását, a planétának pedig ugyanakkor elég nagyak ahhoz, hogy számottevő hatást fejthessen ki.

Egy holland-amerikai csillagász, Peter Van de Kamp (szül. 1901-ben) éppen ebből a célból vizsgálta a közeli kis csillagokat. Úgy érezte, hogy apró rendellenességeket fedezett fel a Cygni 61, Lalande 21185 és különösen a Barnard Csillagának mozgásában.

Ez utóbbi a hasonló nevű csillagászról kapta nevét, aki 1916-ban megállapította, hogy valamennyi csillag közül ennek van a leggyorsabb valódi mozgása, és az a mai napig tartja ezt a rekordot. 180 év alatt akkora távolságra sodródik el, ami a telihold átmérőjének felel meg, és ez rendkívüli gyorsaságnak számít egy csillag esetében. Ennek részben az is oka, hogy ez a csillag a második legközelebbi szomszédunk, mindössze 5,97 fényévre található. Ráadásul elég kicsi is, hiszen homályos vörös törpe, amelynek mozgásából Van de Kamp azt vélte kiolvasni, hogy egy Jupiter méretű bolygó kering körülötte. Hasonló méretű bolygókat talált a többi, általa tanulmányozott csillag körül is. Munkáját azonban a rendeltetésére álló felszerelés képességeinek végső határán végezte, és a csillagászok azóta már megállapították, hogy eredményei nem voltak megbízhatóak.

Másrészt az utóbbi néhány évben néhány fényesebb csillag körül fedeztek fel porsávokat. Nehéz ellenállni a gondolatnak, hogy ezek aszteroidgyűrűk, márpedig ahol aszteroidák léteznek, ott nagyobb bolygók is akadnak. Mindamellet továbbra sem sikerült ténylegesen megfigyelnünk egy másik csillag körül keringő bolygót, úgyhogy be kell érünk az okoskodással, miszerint azok minden bizonnyal léteznek.

Ha a legtöbb csillag körül mégis keringenek bolygók, akkor ez a körülmény mit mond számunkra az élet lehetőségéről ezeken a planétákon? Az élet nyilván nem tud fennmaradni bármely világban, mint ahogyan a mi naprendszerünkben sem található meg valamennyi bolygón. A planétának alkalmasnak kell bizonyulnia az életre.

Elsősorban elfogadhatóan stabil pályán kell mozognia. Ha ugyanis egyenetlen pályán kering, sor kerülhet olyan időszakokra, amelyekben a felszíni hőmérséklet a víz forráspontja fölé szökik, majd pedig olyan periódusokra is, amikor a hőmérséklet az Antarktiszon mért hőfokok alá esik, úgyhogy aligha bukkanhatnánk rajta az általunk ismert életforma virágzó telephelyére.

Azonkívül a bolygónak elég nagy tömegűnek kell lennie ahhoz, hogy légkört és óceánt tartson meg, de nem akkorának, hogy hidrogént és héliumot is gyűjtsön maga köré.

De még akkor is, ha feltételezzük, hogy a bolygó megfelelő méretű, megfelelő kémiai összetételű és egyenletes pályán kering, amely nincs se túl közel, se túl messze a csillagtól, úgyhogy a hőmérséklet állandóan a víz folyékonyságának szintjén marad (mint ahogyan a Földön is, a sarki régiók kivételével), a dolog nagyjából még mindig azon múlna, hogy a planéta milyen fajta csillag körül forog. A Napnál jóval nagyobb tömegű csillagok nem lennének alkalmasak arra, hogy ilyen bolygókkal rendelkezzenek, ugyanis túlságosan rövid ideig maradnak a fő sorozatban. Márpedig a Földön az élet megjelenése, és az olyan primitív, de már valamivel fejlettebb életformák, mint a kagylók kialakulása között hárommilliárd évnek kellett eltelnie. Ha ez az evolúció szokásos üteme, akkor egy Szíriuszhoz hasonló csillag körül keringő bolygón az élet fejlődése sohasem haladhatná meg a legegyszerűbb baktériumok színvonalát, mivel a Szíriusz mindössze félmilliárd év múltán vörös óriássá változik, és elpusztítja a planétát.

Ha viszont a csillag nagyon kicsi és homályos, a bolygónak igen közel kell keringenie ahhoz, hogy elegendő fényt és meleget kapjon az általunk ismert életforma fennmaradásához. Ilyen kicsi távolság esetében azonban az árapály-effektus erői azt eredményeznék, hogy a bolygó mindig ugyanazzal az oldalával forduljon a csillag felé, úgyhogy egyik fele túl forró, a másik fele pedig túl hideg lenne.

Más szóval körülbelül akkora csillagot kell keresnünk, mint a Nap. Ugyanakkor ezek a csillagok nem lehetnek egymáshoz közel lévő párosok tagjai, és nem helyezkedhetnek el azokban a régiókban, amelyekben a környező csillagokról túl sok energiakisugárzás érne őket. Tegyük fel, hogy háromszáz csillag közül csupán egy körül kering a mi életformánk szempontjából barátságos bolygó, továbbá hogy ezek közül is csak minden háromszázadik rendelkezik a megfelelő méretű, összetételű és hőmérsékletű planétával. Ez még mindig azt jelenti, hogy a csillagok között milliószámra található életet hordozó bolygók.

Mégis, mekkora annak a valószínűsége, hogy ezen bolygók közül valamelyiken intelligens élet fejlődhetett ki, amelyik képes volt a miénkhez hasonló technológiát is kiépíteni?

Nem adhatunk derűlátó választ erre a kérdésre. Elvégre a Földnek 4,6 milliárd évig kellett léteznie ahhoz, hogy olyan életforma alakuljon ki rajta, amelyik

technológiát is képes volt kifejleszteni.

Még ha csekély is a valószínűsége annak, hogy erre sor kerüljön, akkor is több ezer lehet azoknak a technológiai civilizációknak a száma, amelyek a csillagok között kialakultak. De akkor felvetődik egy még bonyolultabb kérdés: milyen sokáig maradhat fenn egy ilyen civilizáció?

Az intelligens lények, miután megtanulták kiaknázni a nagy energiaforrásokat, felhasználhatják azokat önpusztító célokra is. Az biztos, hogy az emberiség, miután előrehaladott technológiákat fejlesztett ki, azokat pusztító háborúkban kezdte alkalmazni, amelyek azzal fenyegetnek, hogy tönkreteszik környezetünket. Ha ez általában jellemző, akkor a világűrnek egyaránt tele kell lennie olyan életet hordozó bolygókkal, amelyek még nem érték el a fejlett technológiai szintet, és olyanokkal is, amelyek már meghaladták azt, de időközben elpusztították önmagukat. Csak nagyon kevés olyan világ akadhat a mienk mellett, amelyeken ugyan kifejlődött már az előrehaladott technológia, de még nem volt elegendő ideje arra, hogy elpusztítsa önmagát.

1950 körül egy olasz amerikai fizikus, Enrico Fermi (1901-1954) feltette a kérdést: hol vannak? Ezt pedig arra értette, hogy amennyiben a csillagok között sok, technológiával rendelkező civilizáció található, miért nem keresett már fel bennünket egy idegen életforma? (Ide nem számíthatjuk be a repülő csészealjokról és az ókori asztronautákról szóló vad történeteket, mert a helytállóságuk mellett szóló bizonyítékok rendkívül gyengék.)

Lehet, hogy az idegenek azért nem bukkantak fel mind a mai napig, mert a csillagok közötti távolságok túl nagyok ahhoz, hogy beutazhatók legyenek, vagy pedig elérték már bennünket, de úgy döntöttek, hogy hagyják fajunkat békében fejlődni, illetve számtalan más okból kifolyólag mégsem sikerült még megjelenniük. Nem tételezhetjük fel, hogy kizárólag azért, mert nem kerestek még fel bennünket, a világűrben sem léteznek semerre idegen értelmes lények. Egyes csillagászok azonban buzgón keresik az idegen civilizációk létezésé mellett szóló bizonyítékokat, és a megfelelő helyen vissza fogunk még térni rájuk.

### **Mik a gömbhalmazok?**

A csillagok nem feltétlenül egymagukban állnak, mint a mi Napunk. Herschel felfedezte a kettős csillagokat és ma már nyilvánvaló, hogy az égen látható csillagoknak több mint a fele ilyen kettős rendszerbe tartozik.

De léteznek csillagok ennél bonyolultabb csoportokban is. Már a teleszkóp

felfedezését megelőző időkben az emberek csodálták a Pleiadokat, a csillagok egy csoportját a Taurus csillagképben. A Pleiadokat hat olyan csillag alkotja, amelyek szabad szemmel is láthatók, bár akad, aki látja a hetediket is. Amikor Galilei 1610-ben a Pleiadokra irányította teleszkópját, 36 csillagot tudott megszámolni, a modern fényképeken, pedig több mint 250 található belőlük.

A Pleiadok mégis egy kis csillaghalmaznak számítanak. A fordulópontot, amelytől kezdve foglalkozni kezdtek a halmazokkal, Messier korábban már említett listája jelentette. A tizenharmadik elem ezen a listán, az M 13 egy ködös objektum volt a Hercules csillagképben. Amikor pár évtizeddel később William Herschel tanulmányozni kezdte egy sokkal jobb teleszkóppal, mint amivel annak idején Messier tette, egymáshoz közel elhelyezkedő csillagok hatalmas halmazának látta. Ma nagy Herkules rajnak nevezik, és legalább 100 000 csillagból áll. Mivel ez a raj gömb alakú, így arra szolgál példaként, amit gömbhalmaznak nevezünk.

A gömbhalmazok különös asszimetriával helyezkednek el az égen. John Herschel (1792-1871) angol csillagász mutatott rá, hogy nem egyenletesen oszlanak el az égbolton, hanem szinte valamennyi az ég egyik felén található, míg a másikon szinte nincs is belőlük. Valójában a gömbhalmazok egyharmada egyetlen csillagképben, a Sagittariusban helyezkedik el, ami az égbolt felületének mindössze a két százalékát teszi ki.

### **Mik a csillagködök?**

De az égen nemcsak csillagokat és csillaghalmazokat látunk.

1694-ben Huygens fedezett fel és írt le egy fényes, ködös régiót, az Orion-csillagképben. Ragyogó ködnek nézett ki, ezért nebulának nevezték el, ami latinul egyszerűen felhőt jelent. Ez a felhő, amelyet Huygens írt le, ma az Orion csillagköd néven ismeretes. Azt tudjuk róla, hogy egy nagy por- és gázfelhő, amely mintegy harminc fényévnyi széles. Ha egész szoláris rendszerünket a naptól a legtávolabbi üstökös az Orion csillagködbe helyeznénk, az elveszne a köd végtelen terjedelmében, és még a nap szomszédságában található tucatnyi csillag is kényelmesen elférne benne. Valójában az Orion csillagköd sok csillagot foglal magába, és ezeknek a fénye okozza, hogy az egész felhő ragyog a visszavert fénysugaraktól.

1864-ben egy angol csillagásznak, William Hugginsnek (1824-1910) sikerült tanulmányoznia az Orion csillagköd fényének színképét. Különálló, fényes vonalakat mutatott a fekete háttér előtt, ahogyan az a forró gázok esetében



várható is volt, és a feltételezés, miszerint egy hatalmas felhőről van szó (talán ugyanolyanról, mint amilyenből a mi naprendszerünk keletkezett), helyesnek bizonyult. Valójában az Orion csillagköd egy olyan hely, amelyről a csillagászok elfogadható bizonyossággal tételezik fel, hogy jelenleg is csillagok születnek benne. Sok más ragyogó ködfelhőt is felfedeztek már az égbolton, amelyek körvonala lényegesen eltér az Orion alakjától, és némelyikük rendkívül gyönyörű látványt nyújt.

A csillagködnek azonban nem kell feltétlenül izzó objektumnak lennie. Ha például egyáltalán nem tartalmaz csillagot, akkor sötét ködfelhő lesz. Herschel kis sötét területekre bukkant az egyébként csillagokkal telehintett régiókban, olyan területre, amelyekben egyetlen csillag sem fény lett. Gondolkodni kezdett, míg végül arra az elképzelésre jutott, hogy azok a csillagokat nem tartalmazó alagutak lehetnek, amelyek torkunkkal felénk fordulnak. Viszont olyan sok volt belőlük, hogy ez a magyarázat nem tűnt elfogadhatónak. Nem létezhetett ilyen sok alagút, amely így helyezkedik el az univerzumban.

1900 körül E. E. Barnard, és tőle függetlenül egy német csillagász, Max F. J. C. Wolf (1863-1932) volt az, aki azzal az elmélettel állt elő, hogy ezek az alagutak valójában sötét ködfelhők amelyek eltakarják a mögöttük elhelyezkedő csillagok fényét. A csillagos égbolt szemmel láthatóan tele volt szórva ezekkel a porfelhőkkel, amelyek eltakartak valamit az univerzum dicsfényéből, és mint kiderült, rendkívül fontos szerepet töltenek be abban az elméletben, amellyel a csillagok világűrbeli eloszlását magyarázzuk.

### **Mi a Galaxis?**

Ha pusztá szemünkkel tanulmányozzuk az égboltot, úgy tűnhet, hogy minden részén csillagokat látunk, melyek minden irányban egyenlő arányban oszlanak el. Ebből arra következtethetünk, hogy ha a csillagok halmaza egyáltalán valamilyen rendszert alkot, akkor az a gömb. Ez hihető is, hiszen minden nagyobb csillagászati objektum gömb alakúnak látszik, miért ne lehetne az univerzum is gömb alakú?

Természetesen pusztá szemünkkel nagyjából csak 6000 csillagot látunk. Ezek azok, melyek elég közel vannak hozzánk. Mi történik, ha távcsövet használunk? A válasz az, hogy sokkal több csillag tűnik elő, de azok is hasonlóképpen egyenlően oszlanak el az égbolton – kivéve a Tejutat.

A pusztá szemnek a Tejút egy halvány, fénylő sáv (melyet manapság, ha városban élünk, nehezen láthatunk, mert a város fényei elnyomják azt).

Halványan a tejre emlékeztet, és valóban, a mítosz szerint, amikor egyszer Héra, Zeusz felesége, egy gyereket szoptatott, egy kis tej kifolyt az égre, és ezt a halvány világító sávot alkotta. A görögök galaxias kyklosnak (tejgyűrű), a rómaiak pedig Via Lacteának (tejes út) nevezték.

De mi válójában a Tejút? Ha a mitológiától eltekintünk, Démokritosz (i.e. 470-380) görög filozófusnál kell kezdenünk a vizsgálódást. Ő i.e. 440 körül azt állította, hogy a Tejutat nagyszámú halvány csillag alkotja, melyeket egyesével nem lehetne látni, de összességükben gyenge fényel világítanak. Senki sem figyelt oda erre a nézetre, pedig teljesen helyesnek bizonyult. Galilei, amikor 1609-ben első távcsövével az ég felé fordította, azt látta, hogy a Tejutat csillagok sokasága alkotja.

Mennyi is az a „sokaság”? Az emberek első benyomása, amikor az esti égre néznek az, hogy a csillagok száma végtelen. De – mint néhányszor említettem már – puszta szemmel körülbelül hat-ezret lehet látni. Távcsövön keresztül azonban ez a szám jóval nagyobb. Ez azt jelenti talán, hogy megszámlálhatatlanok?

A Tejút felé a csillagok nagyon sűrűn vannak, míg más irányokban ehhez képest ritkábbak. Ez azt jelenti, hogy fel kell adnunk azt az elképzelést, hogy a csillagok összessége gömb alakot alkot. Mert ha így lenne, akkor a csillagok minden irányban oly sűrűn lennének, mint a Tejúton, és az egész égbolt fényesen világítana. A közelebbi csillagok erősebb fényükkel tűnének elő – bár kevésbé látványosan, mint most – ebből a halványan fénylő háttérből.

Feltételezhetjük tehát, hogy a csillagok egy nem gömb alakú csoportot alkotnak. Ez a csoport a Tejút irányában sokkal nagyobb távolságokra nyúlik ki mint bármely más irányban. Lehetséges tehát, hogy a Tejút arra utal, hogy a csillagok lencse vagy hamburgertöltelék alakot képeznek. Ez a lencseformájú köteg a Galaxis (a Tejút görög elnevezéséből), míg a Tejút annak a halvány fénynek a neve, amely körülveszi az eget.

Az első, aki azt állította, hogy a csillagok egy lapos Galaxisban léteznek, egy angol csillagász, Thomas Wright (1711-1786) volt. Ezt a megállapítást 1750-ben tette, de gondolatai oly zavarosnak és misztikusnak tüntek, hogy először csak kevesen figyeltek oda rájuk.

Természetesen, még ha a Galaxis lencse alakú is, a hosszanti átmérő irányában a végtelenbe nyúlhat. Lehet hogy a Tejúton kívül aránylag kevés számú csillag van, míg a Tejút irányában megszámlálhatatlanul sok.

Hogy megoldja a problémát, William Herschel vállalkozott arra, hogy megszámlálja a csillagokat. Természetesen ésszerűtlen lett volna elvárni azt,

hogyan az összes csillagot bármilyen belátható időn belül számba vegye. Herschel ezért 683 kis területet választott ki az égbolt különböző részeiről, és mindegyikben megszámlolta azokat a csillagokat, melyeket távcsövén keresztül látott. Így – ahogy mi mondanánk – „próbaszavazást” tartott az égen. Ez volt az első eset, mikor a statisztikát a csillagászatban alkalmazták.

Herschel azt találta, hogy a Tejúthoz közeledve a csillagok száma minden irányban stabilan növekszik. A megszámlált csillagokból következtetni tudott arra, hány csillag lehet a Galaxisban és hogy mekkora is lehet a Galaxis. 1785-ben közölte eredményeit melyek szerint a Galaxis hosszanti átmérője mintegy 800-szorosa a Nap és a Szíriusz közötti távolságnak, míg a rövidebbik átmérő e távolság 150-szerese.

Mikor – egy fél évszázaddal később – a Szíriusz tényleges távolságát kiszámították, láthatóvá vált, hogy Herschel a Galaxis hosszanti átmérőjét 8000 fényévnek, rövidebbik átmérőjét 1500 fényévnek gondolta. Becslése szerint ez 800 millió csillagot foglal magában. Ez nagy szám, de nem végtelen.

Az elmúlt két évszázadban a csillagászok sokkal jobb eszközökkel és sokkal jobb technikával kutatták a Galaxist, mint amilyenek Herschel rendelkezésére álltak. Most már tudjuk, hogy a Galaxis sokkal nagyobb, mint ahogy azt Herschel képzelte. A csillagok kiterjedése a hosszanti átmérőben legalább 100 000 fényév, és ez minimálisan 200 milliárd csillagot tartalmazhat. Mégis Herschel javára lehet írni azt, hogy felfedezte a Galaxist, hogy úgy mondjam, és azt, hogy megmutatta, a csillagok száma nem végtelen.

### **Hol van a Galaxis középpontja?**

1805 óta – amikor Herschel felfedezte, hogy a Nap a szomszédos csillagokhoz képest mozog – világossá vált, hogy nem a Nap a világmindenség mozdulatlan középpontja. Mégis úgy tűnt, hogy központi vagy csaknem központi helyzetet foglal el a Galaxisban.

Abból, hogy a Tejút történetesen csaknem egyenlő mértékben világítja meg az égboltot, azt a következtetést vonhatnánk le, hogy a Nap a centrumhoz közel helyezkedik el. Ha a központ egyik részén lenne, a Tejút vastagabbnak és világosabbnak látszana az egyik irányban, mint a másikban. A központtól a Galaxis szomszédos vége felé fordulva viszonylag kevés csillagot látnánk. A centrum felé azonban, a Galaxis másik, távoli vége felé fordulva, nagy mennyiségű csillag jelenne meg előttünk.

Azonban, bármennyire ésszerűnek tűnik is, nem állta meg a helyét az a nézet,

hogy a Nap a centrum, vagy hogy közel van a centrumhoz. Ha így lenne, nemcsak a Tejút összes csillaga helyezkedne el egyenlő arányban felettünk, hanem a Galaxis összes többi részének is szimmetrikusnak kellene lennie, és ez nincs így. Példa erre a gömb alakú csoportok esete, amiről fentebb beszéltem. Csaknem valamennyi az ég egyik oldalán helyezkedik el, egyharmaduk pedig a Sagittarius csillagzatában.

Miért ez a furcsa aszimmetria? A válasz 1912-ben érkezett meg, amikor egy amerikai csillagász, Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) a Magellán-felhőket tanulmányozta. Ez két ködös folt, melyek úgy néznek ki, mint a Tejút különálló darabjai. Nevük: Nagy Magellán-felhő és Kis Magellán-felhő. Csak a déli féltekéről láthatók. Nevüket arról az európairól kapták, aki először pillantotta meg őket. Ezt a felfedezést Ferdinand Magellán tette, amikor 1521-ben Dél-Amerika déli csücskénél a Magellán-szoroson áthaladt.

John Herschel Dél-Afrika déli csücskén, egy obszervatóriumból tanulmányozta őket 1834-ben, és azt találta, hogy mint a Tejút, ezek is nagy csillaghalmazokból épülnek fel. A Magellán-felhők sok fényévre terjednek ki az űrben, de oly messze vannak tőlünk, hogy csillagaik távolsága durván azonosnak vehető (mint ahogy azok az emberek, akik Chicago területén szanaszét laknak, nagyjából azonos távolságra vannak Párizstól).

A Kis Magellán-felhő számos Cepheidet tartalmaz. Ezek bizonyos fajta változó csillagok, melyeket John Goodricke 1784-ben fedezett fel. Akkor valamennyien nagyjából azonos távolságra voltak tőlünk. A Cepheidék fényessége változó. Ezt két tényező határozza meg: a tömeg és a távolság. A fényesség a csillag tömegével nő, míg hozzánk mért távolságával csökken. Egy szokatlanul fényes Cepheid ezért vagy nagy tömegű, vagy nagyon közel van hozzánk. Általában lehetetlen megmondani, hogy egy adott esetben a két lehetőség közül melyikről van szó. De mivel a Kis Magellán-felhőben található Cepheideket úgy tekintjük, hogy tőlünk egyenlő távolságra vannak, a távolság ezért elhanyagolható tényezővé válik. Ha azt figyeljük meg, hogy az egyik Cepheid fényesebb a felhőben, mint a másik, tudjuk, hogy a fényesebb Cepheid a nagyobb tömegű.

Leavitt úgy találta, hogy minél világosabb és ragyogóbb a Cepheid a Kis Magellán-felhőben, annál hosszabb a változási periódusa, a fényesség és a periódus között egyenes arányosság áll fenn.

Tételezzük fel, hogy megvizsgáljuk egy adott Cepheid távolságát, és megmérjük a periódusát. Ezekből a tényezőkből meghatározhatnánk a fényességét, és következtethetnénk a – Leavitt által felfedezett – fényesség-

periódus hajlásra.

Ezzel bármely másik Cepheidet is tanulmányozhatnánk a felhőben. A Leavitt-hajlás alkalmazásával periódusából kitalálhatnánk fényességét, abból pedig meg tudnánk mondani, hogy mekkora távolságban kell lennie az égen. Ezáltal a „Cepheid mérőrúd” használható lehetne olyan csillagok távolságának megmérésére, melyek túlságosan távoliak ahhoz, hogy mérhető parallaxisuk legyen.

Az akadály azonban az volt, hogy a legközelebbi Cepheid is túl távol volt ahhoz, hogy távolsága parallaxisal meghatározható legyen. Így nincs meg az a távolsági szám, mely először is szükséges ahhoz, hogy megállapítsuk a mérőrúd hosszát.

Mégis, 1913-ban Ejnar Hertzsprung – a vörös óriások felfedezője – vezetésével, figyelmes következtetések alapján, a parallaxis használata nélkül kiszámították néhány Cepheid távolságát. Elkészült a mérőrúd.

1914-ben Harlow Shapley (1885-1972) amerikai csillagász olyan Cepheid variánsokra alkalmazta a mérőrúdat, melyek különböző gömb formájú csoportokban helyezkedtek el. Egyenként megállapította mindegyiknek a távolságát, és megtervezte a csoportok modelljét, iránysíknak és távolságaiknak megfelelően. Így megkapta minden gömb alakú csoport háromdimenziós mintáját. Ez – véleménye szerint – egy többé-kevésbé gömbölyű labda, melynek középpontja több ezer fényévnyi távolságra van a Sagittarius irányában.

Shapley ésszerűnek vélte feltételezni, hogy a gömbszerű csoportosulások a Galaxis középpontjában vannak. Ebből kitűnik, hogy az milyen messze van tőlünk. Valójában túlbecsülte a távolságot: mi már tudjuk, hogy a Nap nem a Galaxis középpontjában helyezkedik el, sem annak közelében, hanem 30 000 fényévnire tőle, az egyik oldalon.

Ha így áll a helyzet, miért nem látjuk a Tejutat sokkal fényesebbnek a Sagittarius irányában, mint a másik irányban? Valójában a Tejút bizonyos fokig fényesebb és összetettebb a Sagittarius felé, mint bármely másik irányban, de mi nem láthatunk el a Galaxis középpontjáig vagy azon túl. Abban az irányban a Tejutat szennyező sötét csillagködök elrejtik előlünk a csillagok nagy részét.

Amit tehát az égboltra nézve látunk, az csak a Galaxis egy meglehetősen kis része. Ez az a külső terület, mely a legközelebb esik naprendszerünkhöz – más szóval ez a szomszédságunk. Ha a Galaxisnak csak ezt a kis részét vesszük figyelembe, akkor elmondhatjuk, hogy igen közel vagyunk ennek középpontjához. A valódi középpont azonban távol van tőlünk.

## Mi a Doppler-effektus?

Hogy még többet ismerhessünk meg a Galaxisból, meg kell tanulnunk egy másik módszert a csillagok mozgásának meghatározására. Amikor Halley felfedezte, hogy a csillagok mozognak, csak azt az utat figyelhette meg, melyet a láthatáron megtesznek – a tulajdonképpeni mozgást –, mintha pusztán végigsiklanának az égbolton. Mihelyt világossá vált, hogy az égbolt nem létezik, és hogy a csillagok a hatalmas űrben szétszórva hozzánk közelebb és tőlünk távolabb helyezkednek el, felvetődött a kérdés: vajon közeledik vagy távolodik-e egy adott csillag? Ezt a közeledő vagy távolodó mozgást sugárirányú mozgásnak nevezik, mert úgy tűnik, mintha a csillag egy olyan kerék küllője (vagy sugara) mentén mozogna melynek középpontja a Föld.

Vajon hogyan kutathatnánk ezt a mozgást? Ha egy csillag közeledik hozzánk vagy távolodik tőlünk, helyzete ettől nem feltétlenül változik meg az égbolton. Természetesen, ha távolodik tőlünk, halványabb lesz, míg ha közeledik hozzánk, fényesebb. De a csillagok oly távol vannak tőlünk és a távolságokhoz képest olyan lassan mozognak, hogy évezredek is igénybe vehet, míg egy kis változást észlelhetünk, bármilyen érzékeny eszközeink legyenek is. Továbbá, ha egy csillag megfelelő sebességgel halad az égbolton, lehet, hogy közben közeledik és távolodik is, úgy, hogy három dimenzióban rézsútosan mozog. Hogy is érzékelhetnénk egy ilyen mozgást?

A válasz egy olyan földi jelenségben található, melynek látszólag semmi köze sincs a csillagokhoz. Megfigyelték, hogy ha egy lovas katona trombitáját fújva indul harcba, hogy csapatát buzdítsa és ellenségeit megrémítse, a trombita – úgy tűnik – hangmagasságot vált, amikor a lovas elhagyja az álló megfigyelőt. Az elhaladás pillanatában a hang mélyül.

Ez a megfigyelés észrevétlen maradhatott a harc hevében, de 1815-ben George Stephenson (1781-1848) angol mérnök feltalálta a mozdonyt, amely nem sokkal később már olyan gyorsan, ha nem gyorsabban haladt, mint egy vágató ló. A lakott területeken áthaladó mozdonyok pedig általában füttyjelükkel figyelmeztették a járókelőket. Megszokottá vált tehát az a jelenség, hogy az elhaladó mozdony füttyhangja hirtelen elmélyül. Felmerült a kérdés: mi ennek az oka?

Christian Johann Doppler (1803-1853) ausztrál fizikus a problémával foglalkozván arra a megoldásra jutott, hogy amikor a mozdony közeledik, minden egymást követő hang mintegy maga előtt tolja a másikat, ezért a

hanghullámok gyakrabban érik el a fület, mint ha a mozdony egy helyben állna. Ezért magasabb a fütty hangja, mint az álló vonat esetében. Amikor a mozdony elhalad a hallgató mellett, az egymást követő hangok közötti távolság megnő, így a hangok sokkal ritkábban érkeznek a fülhöz, mint ha a mozdony mozdulatlan lenne. A hangfekvés így mélyebb.

Amint tehát a mozdony elhalad, a füttyjel a valósnál magasabb hangfekvésből a valósnál mélyebbe száll alá.

1842-ben Doppler kidolgozta a sebesség és hangmagasság matematikai viszonyát, és elméletét sikerrel igazolta. Kísérletében egy mozdony fedetlen vasúti szerelvényt húzott ide-oda, változó sebességgel. A kocsin különböző hangmagasságban játszó trombitások voltak. A földön abszolút hallással rendelkező zenészek figyelték a változást, amint a mozdony elhaladt. E kísérlet szellemi atyjáról ezt a fajta hangfekvés-változást Doppler-effektusnak nevezik. Ekkorra már felfedezték, hogy a fény is hullámokból áll, bár ezek jóval apróbbak, mint a hang hullámai. Armand Hippolyte Fizeau (1819-1896) francia fizikus 1848-ban kimutatta, hogy a Doppler-effektust mindenféle hullámmozgásra – a fényre is – lehet alkalmazni. Így a fényre alkalmazott módszert néha Doppler-Fizeau effektusnak nevezik.

Ha egy csillag hozzánk képest egy helyben áll, spektrumának fekete vonalai mozdulatlanok. Ha azonban távolodik, nagyobb hullámhosszal rendelkező fényt bocsát ki magából (ennek megfelelője a mélyülő hang), és a fekete vonalak a spektrum vörös vége felé tolódnak el (a vörös-eltolódás). Minél nagyobb az eltolódás annál gyorsabban távolodik tőlünk a csillag. Ha azonban a csillag közeledik hozzánk, rövidebb hullámhosszú fényt bocsát ki (ennek megfelelője a magasabb hangfekvés), a spektrumvonalak pedig az ibolyaszín irányába tolódnak el. Itt is minél nagyobb az eltolódás, annál gyorsabban közeledik a csillag.

Ha ismerjük a sugárirányú mozgást (előre vagy hátra) és a neki megfelelő oldalmozgást, három dimenzióban kiszámíthatjuk a csillag mozgását. Valójában azonban a sugárirányú sebesség a fontosabb a kettő közül. Az oldalirányú mozgás csak akkor mérhető, ha a csillag elég közeli ahhoz, hogy mozgása az égbolton észlelhető legyen. A csillagok elenyésző hányada van csak ilyen közel hozzánk. De – feltéve, hogy ismerjük a spektrumot – a sugárirányú mozgás meghatározható attól függetlenül is, hogy milyen messzire van a csillag.

William Huggins volt az első, aki 1868-ban meghatározta egy csillag sugárirányú távolságát. Megfigyelése szerint a Szíriusz másodpercenként 46 kilométerrel távolodik tőlünk. Jobban képet alkothatunk most már arról, ami az

első ránézésre oly közelinek tűnt.

### **Forog-e a Galaxis?**

Minden objektum, melyet a naprendszerben ismerünk, forog, Naptól az aszteroidákig. Némelyek gyorsabban, mint a többi. Ez a tény amellet szól, hogy a csillagok, sőt az egész Galaxis forog. De hogyan tudhatjuk meg, hogy úgy van-e? Mikor a csillagászoknak sikerült megállapítaniuk sok csillag valós, háromdimenziós mozgását, világossá vált, hogy a csillagok nem véletlenszerűen mozognak a különböző irányokban.

Például 1904-ben Jacobus Cornelius Kapteyn (1851-1922) német csillagász azt észlelte, hogy a Göncölszekér több csillaga és más csillagok is, többé-kevésbé ugyanabba az irányba mozognak. Úgy találta, hogy a csillagoknak két fő típusuk van. Az egyik típus a Nagygöncöl csillagaival együtt mozog, a másik az ellenkező irányba.

1927-ben J. H. Oort (aki később bevezette a távoli üstökösfelhők elméletét) a két csillagcsoport létezését a következőképpen magyarázta: A Galaxis csillagai valamennyien annak középpontja körül forognak. Azok, amelyek közelebb vannak a központhoz, mint a mi Napunk, gyorsabban mozognak nála, és lehagynak bennünket. Ezáltal úgy tűnik, mintha valamennyien egy irányba előznének, ki gyorsabban, ki lassabban mozogva, mint a többi. Azok a csillagok pedig, melyek a Napnál távolabb helyezkednek el a központtól, lassabban mozognak, és a Nap lehagyja őket.

Így ezek, a centrumhoz közelebb lévő csillagokhoz képest az ellenkező irányba látszanak mozogni. Ha tehát a csillagok ugyanabba az irányba mozognak – némelyek gyorsabban, némelyek lassabban – a Galaxis középpontja körül, akkor helyes az az állítás, hogy a Galaxis forog.

Ez a forgás egy fontos dologra enged következtetni. A csillagászok szerint ez amellet szól, hogy a csillagok a Galaxis középpontja felé egyre közelebb egymáshoz, mind nagyobb és nagyobb sűrűségben helyezkednek el. Valóban úgy tűnik, hogy a Galaxis tömegének 90 százaléka a centrum egy viszonylag kis részén található. A központon kívüli csillagok úgy forognak a centrum tömege körül, mint ahogy a bolygók a naprendszerben a nap körül.

Oort meghatározta a Galaxis forgását, és kimutatta, hogy a Nap körülbelül 230 millió évenként egyszer kerüli meg a Galaxis középpontját. E keringési időből és a Nap távolságából a központtól, kiszámítható a központ csillaghalmazának tömege.



Az eredmény az, hogy a Galaxis tömege – vagy legalábbis a csillagoké, amelyek alkotják – körülbelül százmilliárdszorosa a Napnak. Ez nem azt jelenti, hogy a Galaxisban 100 milliárd nap van, mert a Nap nem egy tipikus csillag. Valószínűleg a Galaxis csillagainak háromnegyede vörös törpe, és mintegy kilencven százalékának kisebb a tömege, mint a Napnak. Ha az átlagcsillag tömege fele a Nap tömegének, akkor mintegy 200 milliárd csillag van a Galaxisban.

### **Eljut-e valami a csillagoktól a Földre a fényen kívül?**

Az 1900-as évekig az egyetlen információ, mely a csillagokból eljutott hozzánk, a fény volt. A fény segítségével határoztuk meg a csillagok helyzetét, fényességét, mozgását, hőfokát, kémiai összetételét, sőt még az egymás közötti gravitációs hatásokat is. De van másfajta információ is, mely elérkezik hozzánk.

Miután 1896-ban a radioaktivitást felfedezték, a tudósok megtanulták nyomon követni a radioaktív sugárzást, különböző eszközökkel. Már kis mennyiségű sugárzás is lenyomozhatóvá vált. A detektorokat olyan ólomfal mögött helyezték el, amely felfogja az intenzív sugárzást, és így a megfelelő vastagságú ólomfal alkalmazásával a sugárzás felbecsülhetővé vált. Meglepte a tudósokat, hogy még akkor is mérhető volt egyfajta különlegesen erős sugárzás, ha olyan vastag ólomfalat használtak, mely az általuk ismert összes sugárzást elnyelte. Felmerült tehát a kérdés, hogy mi ez az ismeretlen sugárzás. Victor Franz Hess (1883-1964) osztrák származású amerikai fizikus szerint, bármi legyen is a sugárzás, földből kell származnia. 1911-ben ezt bizonyítandó, mérőműszerrel ellátott légballont eresztett fel a levegőbe. Tízszer végezte el a kísérletet – ötöt este –, mintegy hat mérföld magasságban. Meglepetésére azonban minél magasabbra ment, a mért sugárzás annál erősebb volt. Az általa elért legmagasabb ponton a sugárzás nyolcszorosa volt a föld felszínén mérhetőnek. Ebből azt a következtetést vonhatta le, hogy a sugárzás nem a földből jön, hanem az űrből. Mások is kutatni kezdték ezt a földre záporozó sugárzást, melyet 1925-ben Robert Andrews Millikan (1868-1953) amerikai fizikus kozmikus sugárzásnak nevezett el.

Előállt tehát a kérdés: mi a kozmikus sugarak természete? Millikan szerint fénynél jóval erősebb, fényszerű hullámformáról van szó. Ezzel szemben egyik-másik amerikai fizikus, Arthur Holly Compton (1892-1962) úgy vélte, hogy elektromosan töltött, az atomnál kisebb, csaknem fénysebességgel mozgó

elemi részecskék együttese. De hogyan lehet ezt bizonyítani?

Ha a kozmikus sugarak fényszerűek volnának, közönyösen viselkednének a Föld magnetizmusával szemben, ha viszont töltött részecskék, akkor a mágneses mező hatna rájuk. Azaz a pólusok felé többet kellene hogy találjunk belőlük, mint azoktól távol. Az 1930-as években Compton körülutazva a világot, különböző helyeken mérte a kozmikus sugarak intenzitását, és azt találta, hogy a pólusok felé ez az intenzitás növekszik. A kozmikus sugarak tehát töltött részecskék.

Mint kiderült a-napszéllel azonos fajta. Napból származó töltött részecskékről van szó. Azaz pozitív töltésű atommagokról, leginkább hidrogénatommagból. Napkitöréskor rendszerint erős napszél keletkezik. A gyorsuló atommagok lehetnek olyan erősek, mint a kozmikus sugarak. Azonban azok a kozmikus sugarak, melyek a naprendszeren kívülről érkeznek hozzánk, sokkal erősebbek, mint amilyeneket a Nap produkálni képes. Ezek valószínűleg a napkitörésnél jóval nagyobb energiájú események termékei, amilyen például egy szupernóva-robbanás. Azonkívül, mikor a kozmikus sugarak elhaladnak a csillagok között, folyamatosan elhajlanak a mágneses mező hatására, mely felgyorsítja mozgásukat, és fokozza energiájukat.

A kozmikus sugarak több szempontból is fontosak. Korábban említettem a biológiai evolúcióban játszott szerepüket. Ezenkívül árulkodnak a világmindenség kémiai összetételéről általában, és segítenek a fizikusoknak azáltal, hogy igen erős ütközéseket produkálnak az atomokkal, az atmoszférában. Ezek az ütközések sokkal erősebbek, mint amilyeneket mi mesterségesen előidézhetnénk. (Azonban a megfelelő kozmikus sugár-ütközésre várni igen fárasztó lenne akkor, amikor vannak atomhasító eszközeink, amelyekkel létrehozhatjuk az ütközést. Ezek gyengébbek ugyan, de mindig rendelkezésünkre állnak.)

Egy fontos hátránya a kozmikus sugaraknak az, hogy nem szolgálnak nekünk a megfelelő információkkal, a világmindenségben lejátszódó adott eseményekről, mert a mágneses mezők annyira befolyásolják haladási irányukat, hogy lehetetlen megmondani, honnan is érkeznek valójában.

A kozmikus sugarakon kívül vannak semleges, elektromosan nem töltött részecskék, melyeknek nincs tömegük, és ezért a fény sebességével haladnak a térben. Létezésüket, elméleti alapon, 1931-ben jósolta meg először Wolfgang Pauli (1900-1958) osztrák csillagász. Ezt a részecskét Enrico Fermi 1932-ben neutrínónak nevezte (olaszul ez azt jelenti, hogy kis semleges dolog).

Mivel a neutrínónak nincs tömege és töltése, és a közönséges anyaggal csak

ritkán lép kapcsolatba, szinte kimutathatatlan. Létezése azonban olyan logikusnak tűnt, hogy a fizikusok elfogadták. De csak 1956-ban sikerült mérnie két amerikai fizikusnak, Frederick Reinesnek (1918- ) és Clyde Lorrain Cowannak (1919- )

Eltérően a kozmikus sugaraktól, a neutrínók nem rendelkeznek töltéssel, és nincsenek kitéve a mágneses mezők hatásának. Ehelyett, leszámítva a gravitációs mezők enyhe befolyását, egyenes vonal mentén haladnak, mint a fény. A Nap és a többi csillag hatalmas mennyiségben bocsátja ki magából őket, és becslések szerint az univerzum milliárdszorosa többet tartalmaz belőlük, mint bármely más, atomnál kisebb részecskékből.

A nehézség abban rejlik, hogy a neutrínó néhány ritka kivételtől eltekintve, minden ütközés nélkül halad át az anyagon. Így a detektoron áthaladó neutrínók közül, több billió esetből, csak néhány észlelhető. Reines például évtizedeken át próbálta észlelni a Naptól kiáradó neutrínókat. Az eredmény azonban a vártak csak egyharmada volt. A jelenség – melyet a hiányzó neutrínók rejtélyének neveztek el – magyarázatát egyelőre még nem ismerjük.

1987-ben egy szupernóva tűnt fel a Nagy Magellán-felhőben. Távolsága tőlünk mindössze 150 000 fényév volt, és ezzel 1604 óta a legközelebbi szupernóvának mondható. Felrobbanásának első jele hét észlelt neutrínó volt, az Alpok hegylánca alatt elhelyezett mérőberendezésen. Ahogy a mérőberendezések tökéletesedtek, egyre több neutrínót találtak. Ezek már többet mondanak nekünk a világmindenség energetikai eseményeiről. 1987 tehát a naprendszeren kívüli neutrínócsillagászat kiindulópontja.

Egy másik részecske, mely az űrből felénk árad, a graviton. A gravitonok töltéssel nem rendelkező, tömeg nélküli részecskék, melyek – mint a neutrínók – fénysebességgel haladnak. Ezek a leggyengébb energiájú, legjobban nyomon követhető részecskék, melyekről tudomásunk van.

Létezésüket először Albert Einstein jósolta meg 1916-ban. Habár a fizikusok biztosak létezésükben, észlelniük még nem sikerült őket. Ha ez sikerülne, valószínűleg képet kaphatnánk az Univerzum legnagyobb energiájú eseményeiről.

A fény és fénytípusú sugárzás részecskeszerűen létező hullámformában halad az űrben. (Minden hullámnak van részecske természete, és viszont.) 1905-ben Einstein a fény görög neve alapján, a fény részecsketermészetét fotonnak nevezte el. A Világmindenségből kapott legtöbb információ, még a mai napig is fotonokon keresztül jut el hozzánk, de nemcsak a látható fény fotonjain keresztül. Sok másfajta foton is létezik, erősebbek és gyengébbek a látható

fénynél.

### **Mi az elektromágneses spektrum?**

Mikor Einstein bevezette a foton fogalmát, világossá vált, hogy minél rövidebb egy adott foton hulláma, annál nagyobb energiával rendelkezik. Ezért a vörös fény, melynek leghosszabb a hulláma a spektrumban, a leggyengébb. Ezután következik a narancs, sárga, zöld és kék fény, míg a viola (ibolya) zárja a sort, mint legtöbb energiával rendelkező foton. A kérdés csak az, vajon a közönséges fény fotonjain kívül léteznek-e fotonok.

A válasz az, hogy igen. Ezt már csaknem kétszáz éve tudjuk, 1800 óta, mikor is William Herschel felfedezte, hogy a spektrum túlnyúlik a látható, vörös határon. A spektrum különböző részeinek hőfokát mérve arra az eredményre jutott, hogy a vörös határon túli eredmények magasabbak, a spektrum bármely más pontján érzékelhetőeknél. Ez egyfajta láthatatlan sugárzásról árulkodik. Ezt a fényt infravörös fénynek nevezték el (a szó jelentése vörösöntúli). Szó volt már róla az üvegházhatással kapcsolatban.

1801-ben Thomas Young (1773-1829) kimutatta, hogy a fény inkább apró hullámokból áll mintsem apró részecskékből. 1850-ben Macedonio Melloni (1798-1854) olasz fizikus bebizonyította, hogy az infravörös sugárzás rendelkezik a közönséges fény összes tulajdonságával, a különbség csak az, hogy hullámai hosszabbak, és nem hatnak a szemre. Mikor megértették a fotonokat, rájöttek arra, hogy az infravörös fotonoknak önmagukban kisebb az energiájuk, mint a látható fény fotonjainak.

Létezik sugárzás a spektrum ibolyántúli részén is, 1801-ben egy német fizikus, Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) azt vizsgálta, hogyan sötétít el a fény bizonyos ezüstkeverékeket. Úgy találta, hogy a sötétedés annál gyorsabb, minél közelebb állunk az ibolyához, de a leggyorsabb akkor lesz, ha átlépjük a határt. Nyilvánvalóvá vált, hogy létezik ultraibolya (ibolyántúli) sugárzás, habár nem látható. Most már tudjuk, hogy az ultraibolya sugárzás rövidebb hullámú mint a fény és, hogy energiája nagyobb.

1870 körül James Clerk Maxwell négy egyenletet alkotott, melyek leírják az elektromosság és mágnesesség összes tulajdonságát, és kimutatják, hogy ez a két jelenség ugyanazon elektromágneses kölcsönhatás két aspektusa csupán. Ezenkívül rámutatott arra a jelenségre, hogyha az elektromágneses mező vibrál, akkor olyan hullámformát képez, mely a fény sebességével mozog. Megfelelő vibráció esetén fény keletkezik. Tehát a fény az elektromágneses

sugárzás egy fajtájának tekinthető.

Különböző sebességek esetén a vibráció hosszabb és hosszabb hullámokat képez, nemcsak infravörös sugárzást, hanem más fajtákat messze azon túl, valamint rövidebb és rövidebbeket, ultraibolyát, és azon túl. Más szóval egy elektromágneses spektrumról van szó, ahol a hullámok skálája az egészen rövidtől az igen hosszúig terjed. Ezen belül a látható fény tartománya nagyon kicsi.

Miután Maxwell kimutatta ezeknek a szélsőséges sugárzásoknak a létezését, a tudósok már tudták mit kell keresniük és hogy merre találják őket. 1888-ban egy német fizikus, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) felfedezte a rádióhullámokat. Ezek hullámhossza az infravörösnél jóval nagyobb. 1895-ben egy másik német fizikus, Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) felfedezte az ultraibolyánál sokkal rövidebb hullámhosszúságú X, vagyis röntgensugarakat. 1900-ban pedig Paul Ulrich Villard (1860-1934) francia fizikus felfedezte, hogy a radioaktív anyagok gamma sugarakat is kibocsátanak magukból. Ez egy, még az X sugaraknál is rövidebb hullámhosszú elektromágneses sugárzás.

A rádióhullám fotonjainak kisebb az energiájuk, mint az infravörös fotonjainak, a röntgensugár fotonjainak nagyobb az energiájuk, mint az ultraibolya fotonjainak, a gamma sugár fotonjai pedig a legtöbb energiával rendelkeznek valamennyi közül.

A csillagok általában az elektromágneses sugárzás teljes skálájában bocsátanak ki magukból fotonokat. Ha ez így van, miért van az, hogy csak a látható fény szűk tartományát érzékeljük?

Először is az olyan csillag sugárzása, mint a mi Napunk, a látható fény tartományában a legerősebb. Ezért logikus, hogy azok az élőlények, melyek létezésüket a Napnak köszönhetik, olyan érzékszervekkel rendelkeznek, amelyek erre a tartományra reagálnak. A hidegebb csillagok mint például a vörös törpék, sokkal gazdagabbak az energiaszegény infravörös sugárzásban. A melegebb csillagok viszont, mint például a nagy kékfehérek, több, erős ultraibolya sugárzással rendelkeznek. Az ilyen típusú csillagok energiakitöréseikkor röntgen, sőt még gamma sugarakat is kibocsáthatnak.

Továbbá, habár a Föld atmoszférája jól átengedi a látható fényt, annál nehezebben teszi ezt más típusú sugárzásokkal. Így nincs sok lehetőségünk, hogy más fényformákról tudomást szerezzünk. De néhány, a látható fénytartományhoz közeli infravörös és ultraibolya hullámnak sikerül áthatolnia, például az az ultraibolya sugárzás, mely behatol a légkörbe, sokkal erősebb, mint a látható fény, és sokkal jobban barnítja az ember bőrét.

1950-től kezdve, az emberiség folyamatosan küld műholdakat szállító rakétákat a légkörön túlra. Ezek Föld körüli pályára állnak, és azokat az elektromágneses sugárzásokat mérik, melyek nem képesek behatolni a föld atmoszférájába. A Napból származó röntgensugárzásból például a fizikusok bizonyítani tudták, hogy a Nap hőmérséklete egymillió fok. A csillagászok az infravörös sugarakat tanulmányozva porsávokat fedeztek fel a fényes Vega csillag közelében. Ez jelentheti égitestek jelenlétét. Az infravörös sugárzás segít nekik a barna törpék kutatásában. Tanulmányoztak ultraibolya, sőt néha még gamma sugarakat is. Azonban nem kérdéses, hogy az elektromágneses spektrum legfontosabb részei a csillagászatban a rádióhullámok.

### **Hogyan fejlődött a rádiócsillagászat?**

1931-ben Karl Guthe Jansky (1905-1950) amerikai rádiómérnök a Bell Telefonlaboratóriumoknak dolgozván szembekerült a légköri zavarok problémájával. A hajók és a part közötti rádióösszeköttetés zavarainak többféle oka lehet, például vihar a készülék közelében vagy áthaladó repülőgép. Ezek mind rádióhullámokat keltenek, melyek zavarják a telefonkommunikációs vonalakat, furcsa hatásokkal, zörejekkel.

Jansky egy olyan készüléket szerkesztett, mely képes volt lenyomozni ezeket a zavaró rádióhullámokat. Munkája közben egy újfajta, gyenge zavart észlelt, melynek forrását eleinte nem tudta azonosítani. Felülről érkezett, és napról napra következetesen elmozdult. Először Janskynak úgy tűnt, hogy a Nappal együtt mozog. Azonban minden nap négy perccel volt gyorsabb a Napnál, éppúgy mint a csillagok.

Ezért Jansky úgy vélte, hogy a sugárzás forrásának a naprendszeren kívül kell lennie. 1932-ben arra az eredményre jutott, hogy ez a forrás a Sagittarius irányába kell, hogy essen, mely a Galaxis feltételezett középpontjának is az iránya. Ezeket az eredményeket Bell 1932-ben publikálta, és – habár akkoriban nem keltettek nagy feltűnést – azt mondhatjuk, hogy ezzel a rádiócsillagászat megszületett.

Az egyik oka annak, hogy Jansky felfedezésére nem sok figyelmet fordítottak, az volt, hogy az akkori csillagászok még csak nem is gyanították, hogy érdemes lenne az égből jövő rádióhullámokat vizsgálni. Ezért hiányoztak a megfelelő eszközeik ahhoz, hogy felfogják és elemezzék az ilyen jellegű sugárzást. Egy amerikai rádiómérnök, Grote Reber (1911- ) megpróbálta hasznosítani Jansky munkáját. 1931-ben egy rádióhullám-felfogó készüléket szerkesztett, egy

paraboloid mintájára. Ránézésre egy autó reflektorához hasonlított. A harmincegy láb átmérőjű berendezés felfogott és visszavert rádiósugarakat úgy, hogy egy olyan pontba fókuszálta őket, ahol könnyebben tanulmányozhatóak voltak. Így alkotta meg az első rádióteleszkópot, és így vált ezáltal az első rádiócsillagásszá.

Reber felfedezett és feltérképezett olyan területeket az égen, amik a rádióhullámok átlagosnál erősebb forrásai voltak. Ezeket rádiócsillagoknak, az egész térképet pedig rádiótérképnek nevezte el. Eredményeit 1942-ben tette közzé, de a második világháború miatt csak kis figyelmet kapott.

Azonban a mikrohullámoknak nevezett legrövidebb rádióhullámok, melyek közvetlenül az infravörös mellett helyezkednek el a spektrumon a háborúban igen hasznosnak bizonyultak. Ezeket a mikrohullámokat ki lehet küldeni olyan impulzusokban hogy a repülőgépről visszaverődjenek. A hullám visszaverődésének irányából, valamint a kibocsátás és visszaverődés között eltelt időből kiszámítható, hogy hol a gép, milyen irányba repül és milyen gyorsan. Ezt radio detection and rangingnek, rádiókutatás és besorolásnak nevezték, ahol a besorolás a távolság meghatározását jelenti. A kifejezés rövidítése: radar.

A radart gyorsan fejlesztették, Angliában Robert Alexander Wattson-Watt (1892-1973) angol fizikus vezetésével. A radarnak – és nem másnak – köszönhető, hogy az angol légierő győzelmet aratott az 1940-es angliai ütközetben a számbeli fölényrel rendelkező német légierő fölött.

A radar fejlesztése közben olyan berendezések születtek, melyek nyomon tudták követni a rádióhullámokat. Mikor a háború befejeződött, lehetségessé vált ezáltal az úrból érkező rádióhullámok nagy pontosságú észlelése. Mind nagyobb és nagyobb rádiótávcsöveket építettek, mert nagyméretű rádiótávcsövek sokkal könnyebben építhetők, mint a hasonló méretű optikai párjaik.

Természetesen a mikrohullám sokkal hosszabb, mint a látható fény hullámai. Ez azt jelenti, hogy sokkal „homályosabban” látunk mikrohullámmal, mint a látható fénnel. Azonban ahogy a rádiótávcsövek nagyobbak lettek, a kép is tisztult. S mivel a rádiótávcső összehangolható számítógépekkel, a hatóterület így több mérföld lesz. A mikrohullámú kép jóval élesebb lesz így, mint a fényé. Ezért az ötvenes évek óta a rádiócsillagászat sok olyan információt adott nekünk, amire a hagyományos csillagászat nem lett volna képes. Ezáltal elmondható, hogy sokkal többet tanultunk az univerzumból az elmúlt harminc évben, mint annak előtte.

## Mik a pulzárok?

Amikor a csillagászok ráálltak a mikrohullámú megfigyelésre, két óriási előnyét fedezték fel. Az első, hogy ez az egész elektromágneses spektrum egyetlen olyan tartománya – a látható fényen kívül –, mely képes áthatolni a föld atmoszféráján. Létezik tehát egy mikrohullámú ablak – mint ahogy egy fényablak is a világmindenség felé, amely azt jelenti, hogy az univerzum a földről is tanulmányozható, nem kell rakétákat használni.

Továbbá a mikrohullámok – a rendes fénytől eltérően – keresztülhatolnak a homályon, a köd, és porfelhőkön. Ezt a háborúban fedezték fel, mikor azt látták, hogy a repülőgépek még akkor is nyomon követhetők radarral, mikor ködbe vagy felhők mögé próbálnak bújni. Ehhez hasonlóan tudjuk mikrohullámmal kutatni az univerzum azon részeit, melyek a látható fény számára rejtettek, így tudjuk tanulmányozni a Galaxis központját is, mely mindezidáig porfelhők által rejtve volt előttünk.

A Vénusz mikrohullámú kisugárzása – melyet először 1956-ban érzékeltek – vezette a kutatókat arra a felfedezésre, hogy a bolygó felszíne nagyon meleg. Ezenkívül a rakétaszondák mikrohullámjai behatoltak a Vénusz légterébe, és visszaverődtek a lenti, szilárd talajról. Ezen megfigyelésekből 1962-ig sikerült feltérképezni a bolygót anélkül, hogy látható fényt használtak volna. Ez alól csak azok a kis foltok képeznek kivételt, melyeket az atmoszférába dobott kis kamerával fotóztak le.

A radarvisszaverődést a Merkúr és Vénusz forgási sebességének meghatározásánál is tudták használni. Azt találták, hogy a Vénusz sokkal lassabban – és épp az ellenkező irányba – forog, míg a Merkúr forgása jóval gyorsabb, mint ahogyan azt korábban vélték.

1955-ben Kenneth Linn Franklin (1923- ) felfedezte, hogy a Jupiternek nagyon nagy a mikrohullámú kisugárzása. A jelenség magyarázata mely 1960-ban született – az, hogy a Jupiternek hatalmas, a Földénél jóval nagyobb mágneses tere van. Ez a tény megerősítést nyert, mikor a hetvenes években szondákat küldtek a Jupiteren túlra.

Még látványosabb felfedezések születtek a rádiócsillagászat segítségével a naprendszeren túli univerzumból. Mint korábban már említettem, Zvicky és Oppenheimer egymástól függetlenül elmélkedtek a neutroncsillagok létezésén. Ezek igen sűrű, csak neutronokból álló csillagok, melyek egy átlagos csillag tömegét néhány kilométer átmérőjű gömbbe sűrítik. Herbert Friedman (1916- )



amerikai csillagász vizsgálta egy ilyen neutroncsillag képződésének a lehetőségét azzal a szupernóva-robbanással kapcsolatban, ami a Crab csillagködöt is létrehozta. Röntgensugarakat észleltek az égbolt különböző részein, és az egyik forrás a Crab köd volt. Lehet-e, hogy a kisugárzást egy – a csillagködben maradt – neutroncsillag okozta?

1964 júliusában a Hold áthaladt a Crab köd előtt. Ekkor egy rakétát küldtek az űrbe, hogy mérve az esemény alatti röntgensugárzást, ellenőrizzék Friedman feltevését. Ha a röntgensugarak neutroncsillagból származnak, akkor a sugárzásnak egyszerre és teljesen meg kell szakadnia, mikor a Hold áthalad a rakéta előtt. Ha viszont a röntgensugarak fokozatosan halnak el, amint a Hold a Crab köd elé ér, akkor ez azt jelenti, hogy az egész csillagköd a sugárzó forrás, és nemcsak egy benne lévő kis objektum. Az utóbbi történet, és így csalódtak azok, kik így próbáltak egy neutroncsillagot megfigyelni.

1964-ben azonban egy új felfedezés történt. Rádióhullámok az égbolt különböző részein gyors, intenzív fluktuációról árulkodtak. Olyan volt, mintha rádióvillanás lett volna itt is, ott is. Antony Hewish (1934- ) angol csillagász egy olyan rádiótávcsövet szerkesztett, mely képes volt mikrohullámú erősségű, gyors változásokat nagyobb részletességgel tanulmányozni. Néhány próbavizsgálat után 1967 júliusában munkához látott. A konstrukció 2048 különálló érzékelőegységet tartalmazott, csaknem 4 négyzetkilométernyi területen elhelyezve.

Egy hónap sem telt el, amikor egy angol egyetemista, Jocelyn Bell, mikrohullám-kitöréseket észlelt a Vega és Altair között félúton. Ezek a kitörések történetesen meglepően rövidek voltak, mindössze egy harmincad másodpercig tartottak. Még meglepőbb volt az, hogy a kitörések feltűnő rendszerességgel követték egymást. Valójában olyan rendszeresek voltak, hogy ki lehetett pontosan számolni a két kitörés közti időtartamot: ez összesen 1,33730109 másodperc volt. 1968 februárjára, mikor Hewish bejelentette a felfedezést, sikerült három másik rádióvillanást, lokalizálnia, és azóta még több százat fedeztek fel.

Előszörre természetesen nem lehetett megmondani, hogy mit jelképez egy ilyen pulzálás. Hewish csak egy pulzáló csillagra gondolhatott, amely minden lüktetésénél egy adag energiát bocsát ki. Ezt a nevet pulzárra rövidítették, és ez vált ismertté.

A pulzárak közös jellemzője a feltűnően rendszeres rádióhullám-lüktetés, mely csillagról csillagra más és más. Van olyan, melynek mindössze 3,7 másodperces a pulzálási periódusa. 1968 novemberében a csillagászok egy

pulzárt vizsgáltak a Crati csillagködben, melynek csak 0,033089 másodperc volt a periódusa. Másodpercenként harmincszor pulzált. Azóta pedig felfedeztek néhányat, melyek másodpercenként több százszor is.

Felmerült a kérdés, mi tud ilyen rövid villanásokat, ilyen nagy rendszerességgel okozni. Valaminek forogni, pörögni, vagy lüktetni kell, minden fordulatnál, pördületnél, lüktetésnél mikrohullám-kitörést kibocsátva. Ahhoz viszont, hogy ez lehetséges legyen, a pörgés, illetve pulzálás időtartama nem lehet hosszabb, mint egy másodperc, vagy a másodperc egy század része. Ez pedig igen kis méretet és igen nagy gravitációs mezőt jelent. A pulzárak tehát nem lehetnek fehér törpék például, mert azok túl nagyok, a gravitációs terük viszont túl gyenge. Ha a szükséges keringési, pulzási sebességgel képzelnénk el őket, darabokra tépődnének.

Thomas Gold (1920- ) osztrák-amerikai csillagász ugyanakkor azt állította, hogy a pulzár egy forgó neutroncsillag. Ez elég kicsi ahhoz, hogy a másodperc tört része alatt forogjon, és ugyanakkor elég felszíni gravitációval rendelkezik, hogy ilyen nagy sebesség esetén se hulljon darabokra.

Már korábban feltételezték, hogy a neutroncsillag nagy gravitációs mezővel rendelkezik. Mágneses pólusai pedig nem feltétlenül esnek egybe a forgás pólusaival. Ezáltal az elektronok olyan erősen kötődnek a csillag gravitációs erőterébe, hogy csak a magnetikus pólusoknál tudnak kiszakadni belőle. Az elektronok kiszakadása energiavesztéssel jár. Ez mikrohullámok formájában történik. Ha a neutroncsillag forgása közben a mikrohullámok történetesen a mi irányunkba lökődnek ki, akkor egy, esetleg két kitörést észlelhetünk minden fordulatnál.

Gold kimutatta, hogy a mikrohullám kibocsátásával a forgási energia csökken, és ezáltal a neutroncsillag pulzási periódusa nagyon lassan növekszik. Ezt a feltevést több pulzárnál vizsgálták, és észlelték a növekedést. A Crab csillagköd esetében ez az érték a másodpere 36,48 milliárdod része minden nap.

A Crab csillagködben tehát mégis van neutroncsillag. De a csillagköd más részei is bocsátanak ki röntgensugarakat. A röntgensugaraknak csak 5 százaléka jön pulzárból. Ez a tény meglepettette Friedmant. 1969-ben a csillagászok felfedezték, hogy a Crab csillagköd pulzár szintén kibocsát rövid fényvillámokat minden fordulatnál. Harmincat villan másodpercenként, ez egy szemmel látható pulzár.

Az első igazán gyors pulzárt, 1982-ben sikerült meghatározni. Ez 642 rádióimpulzust küldött ki másodpercenként. Valószínűleg kisebb, mint a

legtöbb pulzár. Átmérője feltehetőleg mindössze 5 kilométer. Tömege Napunk tömegének két-háromszorosa. Több gyors pulzárt szintén sikerült lokalizálni. Néha a pulzár változtatja periódusának sebességét. Egyes csillagászok gyanítják, hogy az ilyen változásokat a csillagrendések – azaz a neutroncsillag tömegének átrendeződései – okozhatják. De az is lehet, hogy egy nagyobb tárgy egyesül a csillaggal, hozzáadván a saját nyomatékát a csillagéhoz.

### **Mi az a fekete lyuk?**

Az USA-ban 1800 körül Laplace (ő volt, aki bevezette a csillagködelméletet) kimutatta, hogy minél nagyobb tömegű, minél sűrűbb egy tárgy, annál nagyobb a felszíni gravitációja és a szökési sebessége. Létezhet olyan tömeg-sűrűség kombináció, mely a fénysebességgel egyenlő vagy annál nagyobb sebességet eredményezhet. Ez a tárgy fény kibocsátására alkalmatlan.

Akkoriban ez még csak pusztá feltételezésnek számított, mert senki sem ismert olyan nagy tömegű vagy sűrű tárgyat, mely így viselkedhetne.

Azonban 1939-ben, mikor Oppenheimer leírta a neutroncsillag tulajdonságait, kimutatta, hogy ha egy ilyen neutroncsillag tömege a Nap tömegének 3,2-szerese, még magát a csillagot alkotó neutronok sem bírják a belső, gravitációs vonzást. A neutronok összeomlanának, és így semmi sem akadályozná meg a tömeg teljes, szingularitásba való zuhanását. Így ez egy, gyakorlatilag térfogat nélküli, végtelenül kicsi, végtelenül sűrű ponttá válik.

Az ilyen szuper neutroncsillag nem adhat ki fényt, mint Laplace állította. A jelenséget úgy lehetne leírni, mint egy végtelenül mély „lyuk” a világmindenségben, amibe minden belezuhanhat, de semmi sem jöhet ki belőle. John Archibald Wheeler (1911- ) javaslatára fekete lyuknak nevezték el, mert még a fény sem menekülhet belőle.

1970-ben Stephen William Hawkins (1942- ) angol fizikus azt állította, hogy a fekete lyukak nem állandó objektumok, nagyon lassan „párolognak”. A fekete lyukak kialakulása ott a legvalószínűbb, ahol nagy a csillagsűrűség, a csillagok pusztulása nagyon gyakori, és így a csillagok összetapadhatnak nagy, összeomló tömegekké. Ebből az következik, hogy a fekete lyukak gyakoribbak egy gömbcsoportosulás középpontjában, és a leggyakoribbak a Galaxis középpontjában.

Valóban, Galaxisunk kis magva a Sagittarius irányában olyan aktív, azaz oly sok energiát szabadít fel – emlékezzünk csak vissza: Jansky első felfedezése a naprendszeren kívüli rádióhullámok forrásáról innen származott –, hogy a

legtöbb csillagász biztos benne, hogy egy olyan fekete lyuk van a középpontjában, ami mintegy százmillió csillag tömegével rendelkezik. Ez a nagy tömegű fekete lyuk úgy növekedhet, hogy magába olvasztja a szomszédjában lévő anyagot, elnyeli azt. Annak a veszélye azonban mégsem áll fenn, hogy a közeljövőben elnyelné az egész Galaxist. Ahogy a fekete lyuk megtisztítja a teret maga körül, egyre kisebb és kisebb lehetőség marad a további növekedésre.

A probléma az, hogyan lehet megfigyeléssel megállapítani egy fekete lyuk létezését. Mivel semmilyenfajta fotont nem bocsát ki magából, ezért az elektromágneses spektrum mentén nem érzékelhető. Ha bármilyen anyag a fekete lyuk gravitációs mezejének csapdájába esik, gyors forgásba kezd körülötte, míg energiáját veszve bele nem zuhan. Ekkor röntgensugarak keletkeznek, melyekből legalábbis a fekete lyuk létezésének valószínűsége megállapítható. Szerencsétlenségünkre más folyamatok is előidézhetnek röntgensugarakat, így csak a fekete lyuk létezésének valószínűsége állapítható meg, és semmi több. Tehát, még ha tudjuk is, hogy a Galaxis középpontja aktív és erősen sugároz, ez sem adhat nekünk közvetlen bizonyítékot a fekete lyuk létezésére.

Tételezzük mégiscsak fel, hogy a fekete lyuk a normál csillaggal mint párjával, eleme egy zárt kettes rendszernek. Egy ilyen rendszer egy fehér törpéből és egy normál csillagból áll, mely szupernóvává válhat. Kéttagú neutroncsillagrendszer létezéséről szintén tudunk. Mozgásuk tanulmányozása Einstein általános relativitás elméletének alátámasztásául szolgált. Miért nem állhat akkor egy kettős rendszer egy fekete lyukból és egy normál csillagból?

Ha ez létezne, akkor az anyag leszívódna a csillagról a fekete lyukba, röntgensugarakat lövellve magából. Mivel ez a folyamat rendszertelenül játszódna le, a röntgensugarak mennyisége és intenzitása rendszertelenül változna.

1965-ben egy feltűnően erős röntgensugárforrást figyeltek meg a Cygnus csillagzatban. Cygnus X-1-nek nevezték. 1971-ben egy röntgensugárzást vizsgáló rakéta kimutatta, hogy ezek rendszertelenül kibocsátott sugarak, amik fekete lyuk létezését jelenthetik.

Azonnal, figyelmesen kutatni kezdték a Cygnus X-1-et, és azt találták, hogy egy olyan meleg kék-fehér csillag közvetlen szomszédságában létezik melynek tömege a nap tömegének harmincszorosa. Ez a csillag és a röntgensugárforrás egymás körül kering. A gravitáció központjából ítélve a sugárforrás tömege 5-8-szorosa napunkénak. Mivelhogy nem látható, kis méretű sűrű csillagnak kelt

lennie, és mivelhogy ahhoz túl sűrű, hogy neutroncsillag legyen, nem lehet más, csak fekete lyuk.

Ez a legközelebbi megfigyelési eredmény, mely a fekete lyukakról a birtokunkban van. A legtöbb csillagász elfogadja, hogy a Cygnus X-1 is az, és biztos benne, hogy a fekete lyukak léteznek, sőt meglehetősen gyakoriak lehetnek.

### **Mi a csillagközi porfelhő?**

Létezik por és gáz a csillagok közötti térben. Kezdetben a csillagászok elég biztosak voltak benne, hogy ez a por finom kő- és fémszemcsékből áll. Ez az anyag alkotja végül a kisebb égitesteket, mikor a felhő csillagokból és bolygókból álló naprendszerre sűrűsödik. A gáz főleg hidrogénből és héliumból áll. Habár a gáz elég sűrű ahhoz, hogy elrejtse az előtte és mögötte lévő csillagokat, és elég termékeny ahhoz, hogy csillagokat és bolygókat szüljön, ez az anyag mégis olyan nagy térben oszlik meg, hogy a tudósok először azt hitték, hogy egészen apró porról van szó, és hogy a gáz magányos atomokból áll. Pusztán túl távol vannak ahhoz egymástól, hogy egyik a másikkal összeérjen és egyesüljön.

A felhők valós összetételéről először Johannes Franz Hartmann (1865-1936) német csillagász szolgáltatott információkat 1904-ben. A Delta Orionis radiális sebességét vizsgálva azt találta, hogy a különböző spektrumvonalak néhány kivételtől eltekintve azonos mennyiségben tolódnak el. Például a kalcium-vonalak nem mozdulnak. Nem látszott valószínűnek az a feltevés, hogy egy mozgó csillag hagy maga után kalcium-vonalakat, és ezért Hartmann úgy vélte, hogy a kalciumot főleg abban a vékony, mozdulatlan csillagközi anyagban észleli, ami köztünk és a csillag között van.

Természetesen a csillagközi anyag fő összetevője a hidrogén volt. 1951-től ionizált hidrogén spektrumvonalakat észlelt egy amerikai csillagász, William Wilson Morgan (1906- ). Ezt a jelenséget olyan hidrogénatom okozza, mely elég meleg ahhoz, hogy elektronokat veszítsen. A hidrogén azért volt meleg, mert közvetlen közelben több nagy kék-fehér csillag volt. Ezek a csillagok görbe pályán mozognak a Galaxisban. A forró hidrogén ráállt ezekre a vonalakra. Ezáltal Galaxisunk nem egyszerűen lencse formájú, hanem inkább egy, a központból kiinduló spirális kerékhez hasonlít. A mi naprendszerünk a spirál egyik karja.

Amíg a látható fénytartományt tanulmányozták, addig a felhőkből csak igen kis

rész volt látható. A rádiócsillagászat felfedezésével minden megváltozott. Mert azok az atomok és atomcsoportok, melyek nem bocsátanak ki magukból fényt, annál több, kisebb energiájú mikrohullámot sugároznak.

1944-ben Hendrik Christoffel Van de Hulst (1918- ) holland csillagász a második világháborúban a német megszállás alatt bujkálni kényszerült, és így nem volt módja, hogy tudományát a hagyományos módon művelje. Ehelyett azon töprengett, hogyan viselkedhetnek a hideg hidrogén atomok az űrben. Úgy találta, hogy atommagjaik és elektronjaik (mindegyiknek egy van csupán) állhatnak azonos vagy ellenkező irányba, és mindig, mikor egy hidrogénatom az egyik konfigurációból a másikba vált, 21 centiméter hosszúságú mikrohullámokat bocsát ki magából. Egy hidrogénatom életében mindössze egyszer történik ilyen váltás minden 11 millió évben. A hidrogénatomok azonban olyan nagy számban fordulnak elő, hogy mindig akad közöttük néhány, amely éppen kibocsát ilyen mikrohullámokat. 1951-ben Edward Mills Purcell (1912- ) figyelte meg ezt a mikrohullám kibocsátást. Eredményeit felhasználták a csillagközi térben koncentrált hideg hidrogén vizsgálatára.

Ahogy a mikrohullám-vizsgálat fejlődött, a gázfelhők mind finomabb összetevői váltak érzékelhetővé. Például létezik egy olyan ritka fajta hidrogénatom, ahol az atommag tömege kétszer akkora, mint a normál hidrogénatom esetében. A közönséges hidrogén, a hidrogén 1, míg ennek a másinak a neve – a második görög elnevezéséből – deuterium, vagy hidrogén 2. 1966-ban észlelték a hidrogén atomot, és néhány jelből arra lehet következtetni, hogy az univerzumban található hidrogénatomok 20 százaléka ebbe a típusba tartozik.

Az atomkombinációk a rájuk jellemző mikrohullám-kibocsátásukból azonosíthatók. Például a hidrogén utáni leggyakoribb atom, mely hajlamos vegyülni más atomokkal, az oxigén. Így nem meglepő, hogyha egyszer hosszú idő után egy oxigén és egy hidrogén találkozik, akkor összeállnak, úgynevezett hidroxil csoportot alkotva. Egy ilyen csoport négy hullámhosszágon bocsáthat ki, illetve nyelhet el mikrohullámokat. Kettőt 1963-ban figyeltek meg a felhőkben.

A csillagászok már elfogadták két atomból álló csoportok létezését a csillagközi anyagban, azonban három vagy többtagú csoportok létezése bizonytalan. Mégis, 1968 vége felé, mikrohullám-ujjlenyomatokból vízmolekulát (két hidrogén, egy oxigén, azaz összesen három atom) és ammónia molekulát (három hidrogén és egy nitrogén, összesen négy atom) is kinyomoztak.

Ezután számos, még összetettebb alakzatokat találtak, melyek egy vagy több szénatomot tartalmaztak. Ezzel indult a csillagkémia tudománya. A csillagászok még nem tudják pontosan, hogy festenek ezek az alakulatok. Némelyek tizenhárom atomból is állhatnak, a ritkás vákuumszerű térben. Annak is megvan azonban a lehetősége, hogyha sikerülne vizsgáló berendezéseket eljuttatni a csillagközi felhőkbe, még összetettebb csoportosulásokat találnánk. Ez azonban egyelőre még lehetetlen, az óriási távolság miatt.

### **Mi a SETI?**

Korábban már elméltünk a más naprendszerek bolygói előforduló élet lehetőségéről. Egyelőre még nincs meg a technikai felkészültségünk, hogy meglátogassuk ezeket a bolygókat, és tudomásunk szerint onnan sem érkeztek még hozzánk. Ezért sokkal praktikusabb, ha üzenetet küldünk, semmint ha embereket küldenénk bármilyen irányba. Ez így olcsóbb, és nem is veszélyeztetni senkinek az életét. Ráadásul, amíg egy űrhajónak évszázadokat vagy egy évezredet is igénybe vehet, míg a legközelebbi csillaghoz eléri, addig a fénysebességgel mozgó üzeneteknek ez mindössze néhány év vagy évtized. A fénysebesség mellesleg a lehetséges leggyorsabb sebesség, amint azt Einstein 1905-ben kimutatta.

A mi civilizációnk nem eléggé fejlett ahhoz, hogy olyan üzeneteket küldjön, melyek megfelelő erősséggel érkeznek el a távoli csillagokhoz. Viszont feltételezzük, hogy ha léteznek idegen intelligenciák, azok sokkal fejlettebbek lehetnek nálunk. Így feladatunk elsősorban inkább az érkező üzenetek megfigyelése lehetne.

Felmerül a kérdés, vajon milyen formában érkezhettek az üzenetek hozzánk. Nem valószínű, hogy modulált kozmikus sugarakról lenne szó. Ezek túl nagy energiával rendelkeznek, görbe pályán haladnak, és ezért szétszóródnának és eltorzulnának anélkül, hogy eredetükről kellő információt adnának. A neutrínót és a gravitációt túlságosan komplikált lenne nyomon követni. A legvalószínűbbek tehát a fotonok.

Ami a fotonokat illeti, a fénysugarakat ki kell zárni, mert a csillagok által kibocsátott nagy mennyiségű fényben észlelhetetlenek. A látható fénynél erősebb fotonok pedig túl sok energiát igényelnek. Így jutunk arra a következtetésre, hogy a mikrohullámú fotonok azok, amikkel a legvalószínűbb, hogy üzeneteket küldenek.

Ezért a Földön kívüli intelligencia kutatása – search for extraterrestrial

intelligence (rövidítése SETI) – az égbolton feltűnő olyan rádiójelek aprólékos megfigyelését jelenti, melyek nem teljesen szokványosak. Ilyenek a pulzárkitörések vagy a meglehetősen ritka, turbulens felhők kitörései. Ezek közül egyik sem utal Földön kívüli intelligencia létezésére. Nekünk olyan irreguláris jelek kellene, melyek nem véletlenül keletkeznek.

1960 óta folytatnak ilyen kutatásokat. Ezek rövidek és korlátozottak voltak, és nem vezettek semmilyen eredményre. Amire valójában szükség lenne, az egy olyan érzékeny megfigyelő rendszer, amely hosszabb ideig képes vizsgálni az egész égboltot. Sajnos ez sok pénzbe és munkába kerülne. Az az emberiség, amelyik milliárd dollárokat költ háborúra és annak előkészületeire egy évben, nem képes arra, hogy olyan dologra áldozzon jóval kevesebbet, mint a SETI. Ennek az oka az a félelem, hogy a vállalkozás nem hoz eredményt, és így a pénz kárba vész. Ráadásul jelen van még egyfajta gyanakvás azok körében, akik túl sok primitív filmet láttak, hogy fennáll a veszélye annak – ha túlságosan felhívjuk magukra a figyelmet –, hogy az idegenek felbátorodnak, és meghódítanak bennünket. Mintha az idegenek képesek lennének nagyobb károkat okozni nekünk, mint amilyeneket mi igyekszünk okozni magunknak.

Valójában a SETI még akkor is hasznos eljárás lenne, ha nem találnánk semmilyen üzenetet. Először is az a törekvés, hogy ilyen üzenetek észlelésére alkalmas berendezést szerkesszünk, kétségtelenül javítaná a rádiócsillagászat technikáját is. Ez pedig még akkor is hasznos lenne, ha többet nem kutatnánk semmit.

Továbbá, ha nagy figyelemmel vizsgáljuk az eget, annak ellenére, hogy nem találunk üzeneteket, biztosak lehetünk abban, hogy sok olyan érdekes, új objektumot figyelhetünk meg, melyet nem észleltünk annak előtte. Például a pulzárokat sem azért találták meg, mert valaki kereste őket. A felfedezés véletlenül történt, egy tudományos kutatás váratlan melléktermékeként.

Harmadszor, még ha sikerülne is néhány üzenetet észlelni, melyeket nem tudnánk megfejteni – ami nagyon valószínű –, pusztán létük bizonyítaná, hogy létezhet a mienknél jóval fejlettebb technikával rendelkező intelligencia, amely nem pusztította el önmagát.

Negyedszer, ha az idegeneknek fontos lenne, hogy megértsük őket és így szándékosan elég üzenetet küldenének ahhoz, hogy megfejthessük azokat, ez olyan új területeket nyitna a tanulásban, ami lehetővé tenné, hogy egy adott idő alatt sokkal több tudás birtokába jussunk.



## **A Galaxis azonos a világegyetemmel?**

Mikor Herschel kimutatta, hogy a Galaxis lencse alakú, úgy hitték, hogy ez a teljes univerzum. Mikor pedig tisztába jöttek méretével – hosszában 100 000 fényév, és valószínűleg 200 milliárd csillagot tartalmaz –, úgy tűnt, hogy ez valóban elég nagy ahhoz, hogy egy tekintélyes univerzum legyen. 1910 előtt egy csillagász sem álmodott hasonló méretű univerzumról.

És mégis, a Galaxis még korántsem az egész világmindenség. A Magellán-felhő, melyben Leavitt a Cepheid típusokat tanulmányozta, és kidolgozta a Galaxis méretének meghatározására alkalmas mérőrudat, a Galaxison kívül fekszik. A Cepheidekből kimutatható, hogy a Nagy Magellán-felhő 160 000, a Kis Magellán-felhő mintegy 200 000 fényév távolságra van. Természetesen lehetséges, hogy a Magellán-felhők éppúgy mellékbolygói a Galaxisnak, mint ahogyan a Hold a Földnek vagy a bolygók a Napnak. Más szóval a Magellán-felhőket felfoghatjuk a Galaxis külső kerületeinek, külvárosainak.

Létezik-e bármi más a Galaxison kívül?

Egyes – bizonytalanak tűnő – vélemények szerint ilyen a Galaxison kívüli objektum az Androméda-köd. (Már korábban említettük, Laplace csillagköd-hipotézisei kapcsán.) Az Androméda egy negyedik nagyságrendű, kis tárgynak látszik. A pusztá szemnek olyan, mint egy halvány, kissé homályos csillag. Simon Marius (1573-1624) német csillagász volt az első 1612-ben, aki távcsövén keresztül megpillantotta. Messier a homályosnak látszó objektumok listájába sorolta, de nem az üstökösökhöz. A harmincegyedik lett ezen a listán, ezért az Androméda-ködöt időnként M 31-nek nevezik.

Laplace csillagköd-hipotézisét az Androméda hatása alatt dolgozta ki, ami véleménye szerint olyan, mint egy örvénylő gáztömeg, melyet akár csillag- és bolygórendszer is alkothat. Immanuel Kant, aki 1755-ben ugyanezzel a hipotézissel megelőzte Laplace-t, másként vélekedett. Feltevése szerint az Androméda-köd-szerű objektumok mérhetetlen távoli csillagrendszerek. Ezeket sziget-univerzumoknak nevezte el. Történetesen nagyon közelében járt az igazságnak, de véleményét nem vették figyelembe.

Az Andromédának valóban örvénylő formája van, és 1845-1850 között Lord Rosse – a Crab csillagköd névadója – több mint egy tucat más csillagködöt figyelt meg, melyeknek hasonló a formájuk. Valóban, némelyek papírforgóhoz vagy örvényhez hasonlítanak. A Messier listáján található egyik objektum, az M 51 olyan látványosan örvény formájú, hogy Örvény köd lett a neve.

Ezeket az örvénylő ködöket spirális ködöknek nevezték el. Az Androméda-köd egy volt közülük, csak olyannyira oldalról látható, hogy spirális formáját nem

volt könnyű felismerni. 1900-ra 13 000 spirál-ködöt pillantottak meg, és úgy vélték, hogy valamennyien alakulóban lévő bolygórendszerek a Galaxisban. (Később rájöttek, hogy a Galaxis is spirál alakú, azonban ez a tény még teljesen ismeretlen volt 1900-ban.)

Noha ebben az időben már tanulmányozták a csillagászati objektumok színekét. 1864-ben William Huggins az Orion színekét vizsgálva kimutatta, hogy az élénk vonalakból áll, sötét háttérrel. Ez az a színekép, amit forró gáztömeg esetén tapasztalnunk kell.

Másrészt az Androméda spektruma – melyet először 1899-ben észleltek – olyan, mint egy csillagé. Vajon lehetséges-e, hogy az Androméda-köd egy csillaghalmaz, mely olyan távolságra van a Tejútól vagy a Magellán-felhőktől, hogy lehetetlen az egyes csillagokat megkülönböztetni benne? Ha így van, akkor ennek – a többi csillagködhez hasonlóan messze Galaxisunkon kívül kell lennie. Ha pedig ez igaz, akkor az univerzum sokkalta nagyobb Galaxisunknál.

Hogyan lehetne tisztázni az ügyet? Ha pusztán arról van szó, hogy a normális csillagok túl messze vannak az Androméda-ködben ahhoz, hogy láthatók legyenek – feltéve, hogy valóban csillagok alkotják –, mi a helyzet az átlagosnál fényesebb csillagokkal? Mi a helyzet a nóvákkal?

Az igazság az, hogy 1885-ben észleltek nóvát az Androméda-ködben. S Andromedae-nek nevezték el. Ez olyan fényes volt, hogy csaknem puszta szemmel is láthatóvá vált. Azonban nem lehetett megmondani, hogy valóban az Andromédában volt-e, vagy csak annak irányában.

A feladat tehát az volt, hogy még több nóvát észleljenek. Heber Doust Curtis (1872-1942) amerikai csillagász aprólékos megfigyelést végezve számos nóva apró fényét regisztrálta az Androméda-ködben. Ezek olyan sokan voltak, hogy valószínűtlen volt az, hogy véletlenül, csak úgy a csillagköd irányában forduljanak elő. Az égbolt semmilyen más hasonló méretű része nem produkált ennyi nóvát ilyen rövid idő alatt. Ezért tehát ezek a nóvák valóban az Androméda-ködben találhatók.

Továbbá a legtöbb nóva, ami az Andromédában van, olyan halvány, hogy szabad szemmel alig látható. Sokkal halványabbak, mint azok, melyek minden kétséget kizárólag a Galaxis részei. Ez a jelenség arra utal, hogy az Androméda csillagköd a Galaxison kívül, attól nagyon távol van, (Akkor vajon miért olyan fényes az S Andromedae? Mert – mint arra később a csillagászok rájöttek – ez nem egy közönséges nóva, hanem egy szupernóva.)

Curtis elképzelései – melyeket 1918-ban fejtett ki – megdöbbentették a csillagászvilágot. 1920-ban Curtis és Shapley – ők azok, akik nemrég

meghatározták a Galaxis méretét – vitatkoztak ebben a kérdésben. Az utóbbi nem volt hajlandó elfogadni az előbbi állításait. A vita egyfajta döntetlennel ért véget, de az idő előrehaladtával kiderült, hogy Curtisnak igaza van.

A kérdést végül Hubble válaszolta meg, aki egy új száz inches teleszkópot használt a Mt. Wilson csillagvizsgálóban, Kaliforniában. Ezzel a csillagköd szélén különálló csillagokat észlelt, mely felfedezés bizonyította, hogy nem pusztán gáz- és portömegekről, hanem csillaghalmazokról van szó. 1923-ban az egyik csillagot Cepheidnek azonosította, és felhasználta azt az Androméda-köd távolságának meghatározására. Az indulási érték túlságosan alacsonynak bizonyult, de ahhoz elég magas volt, hogy megmutassa: az Androméda csillagköd messze kívül esik Galaxisunkon.

Ma már tudjuk, hogy az Androméda 2,2 millió fényévre van tőlünk. Ez a távolság Galaxisunk teljes szélességének a 22-szerese. Az Androméda tehát Androméda galaxis, a spirál-ködkök pedig Spirál galaxis néven váltak ismertté. Az univerzum pedig több millió, talán milliárd galaxisból áll, és sokkalta nagyobb, mint a mi Galaxisunk.

### **Mozognak-e a galaxisok?**

Miután már négyszáz éve tudjuk, hogy a Föld kering a Nap körül, százötven éve, hogy a Nap a Galaxis középpontja körül, nem érne meglepetésként, ha arról értesülnénk, hogy a Galaxis szintén kering.

A legközelebbi galaxisok aprólékos tanulmányozása megmutatja, hogy a Tejút, galaxisok csoportjának egy tagja. Ezt a csoportot helyi csoportnak nevezik. A Tejúton kívül fő tagja még az Androméda galaxis, ami 3 milliárd csillagával még a mi Galaxisunknál is nagyobb. A csoport szélén egy másik nagy Galaxis, a Maffei 1 található. Nevét arról a csillagászról kapta, aki először tanulmányozta. Erről nem tudjuk teljes biztonsággal, hogy tagja-e a csoportnak. Ezenkívül hús, mintegy 100 milliárd csillagot tartalmazó galaxis létezik.

Ezek a helyi csoport galaxisai – a mienkkel egyetemben – méltóságteljesen keringenek a rendszer gravitációs központja körül. Az egész beleilleszhető egy 3,5 millió fényév átmérőjű gömbbe. Azonban ez a hatalmas gömb is csak közvetlen szomszédságunkat jelenti. Ezen túl más, a mienknél nagyobb galaxiscsoportok vannak, olyanok, melyek több ezer galaxist is magukba foglalnak.

Feltételezhető, hogy az egyes csoportokban a galaxisok a gravitációs központ körül keringenek. De vajon hogyan mozog az egész csoport?

Az első lehetséges válasz erre a kérdésre még akkor jött, mikor a csillagászoknak fogalmuk sem volt róla, hogy más galaxisok is léteznek az univerzumban. 1912-ben Vesto Melvin Slipher (1875-1969) amerikai csillagász megmérte az – akkori nevén – Androméda-köd radiális sebességét. A kapott eredmény 200 kilométer másodpercenkénti értékhez közelít. Részint ez az oka annak, hogy a Nap – a Galaxis középpontja körüli keringés közben – az Androméda felé mozog. Az Androméda és a mi Galaxisunk centrumának közeledése azonban csak 50 kilométer másodpercenként.

Ez még nem is lenne olyan különleges tény. De Slipher megmérte mind a tizenöt csillagköd radiális sebességét, és azt találta, hogy az Androméda és egy másik galaxis kivételével – melyről végül is kiderült, hogy a helyi csoport tagja – valamennyien – néha nagy sebességgel – távolodnak tőlünk.

Más csillagászok folytatták a kutatást, és azt találták, hogy az összes galaxis – a Slipher által tanulmányozott első kettő kivételével – távolodik tőlünk. Azonkívül minél homályosabb egy galaxis – azaz feltehetően minél távolabbi –, sebessége annál nagyobb.

Milton La Salle Humason (1891-1972) amerikai csillagász többek között galaxisokat fényképezett. Munkáját esténként végezte, hogy a nagyon halvány galaxisokat is meg tudja örökíteni. 1928-ban egy olyan galaxist talált, ami 3800 kilométeres másodpercenkénti sebességgel távolodik. 1936-ban pedig egy olyat, ami egy másodperc alatt 40 000 kilométert tesz meg.

Ezek a megfigyelések felvetnek egy problémát. Miért van az, hogy minden galaxis távolodik tőlünk, és miért van az, hogy minél távolabb van az illető galaxis, távolodásának sebessége annál nagyobb? Vajon ez a mi Galaxisunk sajátossága? Lehetséges-e, hogy Galaxisunk taszítja a többi galaxist és hogy taszításának ereje a távolsággal nő?

A válasz az, hogy nem. Hiszen ha a Galaxisunknak lenne taszító ereje, akkor ez érezhető lenne a helyi csoportban is. Ráadásul az nem valószínű, hogy a taszítóerő a távolsággal növekedjék. Az azonos töltésű mágneses és elektromos pólusok taszítják egymást, de ez a taszítóerő egyik esetben sem növekszik a távolsággal. Valami másról van itt szó.

Hubble – az első kutató, aki az Androméda galaxisban csillagokat látott – foglalkozott a kérdéssel. Azt állította, hogy a galaxisok nem egyszerűen tőlünk, hanem egymástól távolodnak. Így bármely galaxisban lennének is, úgy éreznék, hogy a többi galaxis a tőlünk számított távolsággal azonos arányban távolodik. Hubble 1929-ben arra az eredményre jutott, hogy az egész univerzum folyamatosan tágul. Ez a tágulás – és nem bármilyen taszító erő – okozza, hogy

a galaxisok távolodnak egymástól.

Valójában Albert Einstein 1916-ban kidolgozott néhány egyenletet az egész univerzum tulajdonságainak leírására. Ezek az általános relativitás-elmélet részét alkották. Einstein akkor még nem fedezte fel a tényt, hogy az egyenletekből az következik, hogy az univerzum tágul.

### **Van-e az univerzumnak középpontja?**

A naprendszer középpontja a Nap, és minden égitest a rendszerben körülötte forog. A Galaxisnak is van egy központi magja, és minden attól távol eső csillag körülötte forog. Vajon van-e középpontja az univerzumnak, egy olyan pontja, amitől a galaxisok távolodnak?

Úgy tűnik, hogy hábr lennie kellene, még sincs, mert az univerzum tágulása nem a szokványos háromdimenziós rendszerben történik. A – már megszokott – három dimenzió – hosszúság, szélesség, magasság – kívüli negyedik az idő. Nehéz ezt a négydimenziós tágulást érzékeltetni, de talán segítségünkre lehet a növekvő léggömb analógiája.

Képzeljük el, hogy az univerzum egy növekvő léggömb és hogy a galaxisok a léggömbön lévő pontok. Mi egy ilyen pontban élünk. Továbbá képzeljük el, hogy sem mi, sem a többi galaxis nem mozdulhat se kijjebb, se beljebb. Csak a léggömb felszínén mozoghatunk. Ez a kép most – bizonyos szempontból – kétdimenziós lényeknek mutat bennünket.

Ha az univerzum tovább tágul, azaz a labda felszíne tovább növekszik, a pontok egyre gyorsabban távolodnak egymástól. Ha valaki az egyik ponton van, úgy látja, hogy a többi távolodik, és minél messzebb van egy pont, annál gyorsabban.

Most képzeljük el, amint azt a pontot keressük, amitől az összes többi távolodik. A kétdimenziós léggömb felszínén nem találhatjuk, mert az a ballon belsejében van. Ez pedig számunkra – akik a felszínhez láncolva létezünk – elérhetetlen.

Ugyanígy van ez az univerzum esetében. A kiterjedés központja nem pusztán a háromdimenziós térben, hanem valahol a milliárd évekkkel ezelőtti múltban van. Nem utazhatunk oda, de ha majd meglátjuk, információkat szerezhetünk róla.

### **Mennyi idős az univerzum?**

Ha az univerzum növekszik, ez azt jelenti, hogy ma nagyobb, mint tegnap volt vagy, mint egy évvel ezelőtt. Ha pedig még tovább haladunk visszafelé az időben, akkor eljutunk ahhoz az állapothoz, mikor még egészen kicsi volt. Ekkor egy apró pontban koncentrálódhatott. Először Georges Edouard Lemaitre (1894-1966) gondolt komolyan a fenti hipotézisre. 1927-ben azt állította, hogy az univerzum, mint egy kozmikus tojás indult, amely durván felrobbant. Ennek a robbanásnak az eredménye a ma is távolodó univerzum. Ezt a robbanást George Gamow orosz-amerikai csillagász (1904-1968), „big bang”-nek nevezte el.

De mikor történt ez a big bang? Ha tudjuk a galaxisok közötti átlagtávolságot, valamint sebességüket, akkor könnyen visszaszámolhatunk, hogy mikor volt az az idő, amikor egy pontban voltak.

Van azonban néhány nehézség. Először is nehéz meghatározni azt, hogy milyen messzire vannak a galaxisok egymástól. Másodszor nehéz megmondani, hogy pontosan mi is a sebességük. Harmadszor nem biztos, hogy ez a sebesség mindig ugyanakkora.

Mikor Hubble azt állította, hogy a világmindenség tágul, a legmegfelelőbb számokkal dolgozva megállapította az átlagtávolságot, a távolodás sebességét, és a sebesség időbeli változását. Végeredménye az lett, hogy a big bang 2 milliárd évvel ezelőtt történt. Ez a becslés azonban nagy megütközést keltett a geológusok és biológusok körében. Meggyőződésük szerint maga a Föld öregebb 2 milliárd évesnél, és az belátható, hogy az univerzum nem lehet ennél fiatalabb.

A Hubble becslése óta eltelt hatvan évben, az információk bővülésével, a big bang idejét is hátrább tolták a múltba. A manapság elfogadott nézet szerint a big bang 15 milliárd évvel ezelőtt történt. Az univerzum tehát 15 milliárd éves. De ez nem az egyetlen vélemény. Néhányan a 10, néhányan a 20 milliárd évre voksolnak. Feltehetőleg, ahogy egyre több, és pontosabb adat birtokában leszünk, a döntés majd megszületik ebben az ügyben.

Ha a 15 milliárd a helyes szám, akkor naprendszerünk alakulása idején az univerzum már 10 milliárd éve létezett.

### **Mik a kvazárok?**

Már említettem, hogy a múltba nem tudunk visszamenni, hogy megtudjuk, mikor volt az ősrobbanás, de láthatunk a múltba.

Ha egy távoli tárgyra tekintünk, tudjuk, hogy a fénynek, amit látunk bizonyos

időre van szüksége, amíg elér minket. A sugárzás nem haladhat gyorsabban, mint a fény (pontosan 299 800 kilométer/másodperc), és olyannak látjuk ezt a tárgyat, amilyen akkor volt, amikor a sugárzás elkezdte útját és nem amikor befejezte. Így hát, amikor az Androméda galaxist nézzük, nem szabad elfelejtenünk, hogy a fény, amit látunk, 2,2 millió évvel ezelőtt indult el, tehát olyannak látjuk, amilyen 2,2 millió évvel ezelőtt volt.

Persze valószínű, hogy az Androméda galaxis épp olyan, amilyen 2,2 millió évvel ezelőtt is volt, így ebben az esetben a késés nem számít sokat. De mi van akkor, ha sokkal távolabbi tárgyat nézünk? Mik azok a legtávolabbi tárgyak, amelyeket még láthatunk?

Ezeket a tárgyakat már akkor láttuk, mielőtt tudtuk volna, hogy valójában távol vannak. Ahogy a rádióteleszkópok tökéletesedtek és a mikrohullámú képek élesedtek, lehetségessé vált bizonyos rádióforrások nagyon kis régiókba való beszűkítése. Ezek voltak a kompakt rádióforrások, köztük a 3C48, a 3C147, a 3C196, a 3C273 és a 3C288 néven ismert tárgyak. A 3C a „Rádiócsillagok harmadik cambridge-i katalógusának” egy gyűjtőneve, amelyet egy brit csillagász, Martin Ryle (1918-1984) állított össze.

1960-ban egy amerikai csillagász, Allen Rex kutatta ezeket a forrásokat, és rájött, hogy mind a 16-os magnitúdójú homályos csillagaiból keletkezik, amely terület még a mi Galaxisunkhoz tartozik. Ez rendkívül meglepő volt, mivel egyedülálló csillagok általában nem forrásai észlelhető mikrohullámoknak. A Naptól kapunk ilyeneket, mert közel van hozzánk, de a csillagoktól nem, még azoktól sem, amelyek csak néhány fényévre vannak tőlünk. Akkor miért nem érzékelnek mikrohullámokat ezektől a távoli csillagoktól? A csillagászok úgy vélték, hogy ezek nem normális csillagok, ezért kvázi-csillagoknak (csillagszerűeknek) nevezték el őket. 1964-ben egy kínai-amerikai fizikus, Hong-Yee Chiu alakította a kvázi-csillag szót kvazárrá.

De hol vannak a kvazárok? 1963-ban a holland-amerikai Maarten Schmidt csillagász a 3C273 spektrumát vizsgálva a vonalakat furcsának találta, amíg hirtelen rá nem jött, hogy hasonlatosak a nagy távolságokban, az ultraviolában felbukkanó vonalakhoz, egyszerűen olyan fokú volt a vöröseltolódás, hogy ezért nem lehetett felismerni őket.

A vöröseltolódásból ki lehetett számolni, hogy a 3C273 nem a Galaxis egy közönséges csillaga, hanem milliárdnyi fényévre lévő tárgy, bármily eddig észlelt galaxisnál messzebb. A többi kvazár még ennél is messzebb van –, a 3C273 még a legközelebbi köztük. Most már több százat ismerünk, és némelyikük 10-12 milliárd fényévnnyire van tőlünk.

A probléma most az: hogyan láthatnánk meg ezeket a tárgyakat ekkora távolságból? Fel kell tennünk, hogy sokkal fényesebbek a galaxisoknál, olyan fényűek, mint egymilliárd Nap, százszor fényesebb, mint egy közönséges galaxis.

Ugyanakkor úgy találták, hogy a sugárzás, amit kibocsátanak, változó és ez a változás akár néhány hét alatt is jelentős lehet. De bármilyen hatás okozza is ezt a változást, nem képes elég rövid időn belül lezajlani, mert semmi sem lehet gyorsabb a fénynél. Hogyan hordozhat egy ilyen kicsiny test ekkora energiát?

A legelfogadhatóbb válasz 1943-ban született, amikor az amerikai Carl Seyfert megfigyelte, hogy a galaxisnak vannak nagyon fényes és nagyon sötét pontjai. Más ilyen tulajdonságú galaxisokat is megfigyeltek, és ezek csoportját Seyfert-galaxisoknak nevezték el.

A Seyfert galaxisok atomjai nagyon aktívak, nyilván mert sok szokatlanul nagy fekete lyuk pusztítja az atommagokat. Talán a kvazárok különösen nagy és fényes Seyfert-galaxisok, és amiket mi látunk hatalmas távolságokból, azok csak az ő nagyon aktív és fényes magjaik.

Mert a kvazárok óriási távolságokra, milliárd fényévekre vannak tőlünk, és milliárd évekkel ezelőtt virágozhattak, a világegyetem ifjúkorában. Talán amikor a galaxisok fiatalok voltak, sokan közülük fekete lyukakba zuhantak. Idővel a fekete lyukak egymásba olvadtak, és a galaxisok csendesebbek, nyugodtabbak lettek, és a kvazárok lassan kihűltek.

Ez is mutatja, hogy az univerzum egészen más volt, mint most, és forradalmi változásokon ment át. Így tehát megdőltek azok a teóriák, melyek szerint a világegyetem ugyanolyan volt mindig a végtelen múltban.

### **Érzékelhetjük-e az ősrobbanást a big banget?**

Mindegy, hogyan hatolunk a messzeségbe, a big banget magát, nem láthatjuk. Néhány éve arról lehetett hallani, hogy galaxisokat láttak 17 milliárd fényévre (ami arra utalna, hogy az univerzum legalább 17 milliárd éves) és olyan sokat, hogy szinte egymás hegyén-hátán vannak – ami nem meglepő, hisz a világegyetem 17 milliárd évvel ezelőtt természetesen jóval kisebb volt, így a galaxisok is közelebb voltak egymáshoz.

Hogy még mindig nem látjuk az ősrobbanást, az nem a fény miatt van. Az univerzum keletkezésekor az űr nem volt olyan átlátszó, mint ma, hanem energiafelhőkkel volt kitöltve. Bármerre néztünk is volna, ezen a ködön nem



hatolhattunk volna át.

Ez azonban a fényre vonatkozik. 1949-ben Gamow, aki először használta a big bang kifejezést, vetette fel, hogy talán még mindig fel tudnánk fogni az ősrobbanás gyenge, távoli visszhangjait. A kozmikus robbanás eredményeként lehetnek olyan mikrohullámok, amelyek át tudnak hatolni ezen a ködön és elérhetnek minket. Még meg is jósolta ezeknek a mikrohullámoknak a pontos energiatartalmát.

És amint a távcsövek messzebb és messzebb tekintenek a távolba és így a múltba is, követik a spirális vonalat, ahogy a világegyetem zsugorodik, visszafelé az időben. Bármerre nézünk is, a spirál elvezet bennünket az ősrobbanás centrumába. Gamow tehát megjósolta az ég minden pontjából érkező, azonos energiájú és tulajdonságú mikrohullámok jöttét.

1964-ben Arno Allan Penzias német-amerikai fizikus (1933- ) és Robert Woodrow Wilson amerikai fizikus (1936- ) felfogták ezeket a mikrohullámokat, éppen olyan energiával, amelyet Gamow megjósolt. Ez tehát a legdöntőbb bizonyíték, hogy valóban volt ősrobbanás.

Csillagászok próbálják kidolgozni a big bang korai stádiumában történeteket. Úgy gondolják, hogy ha visszafelé tekintenek az időben, megláthatnak az űrben egymásnak ütköző égitesteket, mintha egy mozifilmet néznének visszafelé. Az eredménynek ugyanannak kell lennie, mint amikor naprendszerek anyagai egymással találkozva létrehozták a Napot és a bolygókat. A hőmérséklet emelkedett és létrejött a Föld forró központja és a Nap még forróbb belseje. Ha visszanezünk az időben, amikor a világegyetem keletkezett, ez a legforróbb központ. Más szóval kezdetben az univerzum nagyon kicsi volt, és hihetetlenül forró, és azóta tágul és hűl.

A tudósok, ismerve a hihetetlenül magas hőmérsékleteket, számos elméletet állítottak föl az ősrobbanás után történt eseményekre. Próbálják összerakni, mi történt a másodperc billiomod részének első milliomod részében. Ezek ma még csak találgatások és azok is lesznek mindaddig, amíg elegendő bizonyíték gyűlik össze, hogy elfogadhassuk őket.

### **Hogyan történt az ősrobbanás?**

Még nemrégiben is sok ember hitte, hogy a Földet természetfeletti lények teremtették hatezer évvel ezelőtt. (Még ma is sokan hiszik ezt, bár az ő értelmi képességeik olyan szinten lehetnek, mint azokéi, akik szerint a Föld lapos.) Ma a tudósok által elfogadott tény, hogy a naprendszer természeti folyamatok révén

jött létre por- és gázfelhőből 4,6 milliárd évvel ezelőtt, és hogy ez a felhő nem sokkal a Világegyetem után keletkezett, talán 15 milliárd éve.

De még ha visszamegyünk az ősrobbanásig, és elképzeljük, hogy az univerzum összes energiája egy kicsi, hihetetlenül sűrű és hihetetlenül forró golyóban koncentrálódott, amely felrobbant, hogy létrehozza a világegyetemet, joggal kérdezhetjük: hol keletkezett ez a golyó? És hogyan jött létre? Muszáj feltételeznünk ehhez természetfeletti erőt?

Nem feltétlenül. Egy tudóscsoport az 1920-as években kidolgozta az ún. kvantummechanikát, ami túl bonyolult ahhoz, hogy itt kifejtsük. Rendkívül hatékony elmélet, mely magyarázatot ad eddig megmagyarázhatatlan jelenségekre, és képes a jelenségek várható alakulását meghatározni.

1980-ban Alan Guth amerikai fizikus a kvantummechanika segítségével próbálta megközelíteni az ősrobbanást. A big bang előtti univerzumot a semmi végtelen tengereként képzelhetjük el. A leírás azonban nem pontos. Ez a semmi energiát hordoz és nem teljesen vákuum, mert a meghatározás szerint a vákuum nem tartalmaz semmit. Ennek az univerzumnak volt energiája és mivel más tulajdonságai a vákuumhoz hasonlították, hamis vákuumnak nevezik.

Ebből a hamis vákuumból az élet egy keskeny pontja tűnik fel, mely a vak véletlen folytán magába gyűjti az energiákat. Úgy képzelhetjük el ezt a határtalan, bugyborékoló, hamis vákuumot, amely itt-ott apró életpontokat hoz létre, mint a tajtékozó, hullámozó óceánt. Ezek a kis pontok rögtön eltűnhetnek, visszaolvadva a hamis vákuumba. Mások pedig megnőhetnek akkorára, hogy adott körülmények között univerzummá táguljanak: mi is egy ilyen sikeres buborékban élünk.

Ezzel a modellel kapcsolatban is vannak problémák, és a tudósok egyre azon dolgoznak, hogy megoldják őket. És ha sikerül, vajon tudni fogjuk-e végre, honnan származik a világegyetem?

Persze, ha Guth elméletének valamelyik változata helyes, még mindig tehetünk egy lépést vissza és kérdezhetjük, hogy a hamis vákuum energiája honnan keletkezett. Ha nem tudjuk is megmondani, az semmiképpen sem segít, ha természetfölötti erőt feltételezünk, mert ekkor is visszakérdezhetünk, hogy ez a természetfölötti erő vajon honnan jött. Erre a szokásos válasz az, hogy nem jött sehonnan, hanem mindig is létezett. Ezt persze nehéz elképzelni, de mi is mondhatjuk, hogy a hamis vákuum energiája mindig is létezett.

**Örökké tágulni fog a világegyetem?**

Van valami, ami lelassíthatja vagy megállíthatja a világegyetem tágulását?

Az egyetlen általunk ismert erő, mely képes lenne erre, az az univerzum pontjainak kölcsönös vonzása – a gravitációs erő. A Világegyetem saját gravitációs ereje ellenében tágul, tehát a táguláshoz a gravitációnál nagyobb energia szükséges. Így a tágulás lassulhat, sőt meg is állhat. Ebben az esetben az univerzum rövid stagnálás után addig zsugorodna, míg össze nem roppanna, ami az ősrobbanás ellentéte lenne. Azt az univerzumot, amelyik örökké tágul, nyitott, amelyik nem tágul tovább, illetve összehúzódik, zárt univerzumnak hívjuk.

Ugyanezzel a problémával találkozunk akkor, ha egy tárgyat fölfelé, a Föld gravitációjának ellenében dobunk el. Közös tapasztalatunk, hogy az ilyen fölfelé dobott tárgyat normál körülmények között legyőzi a földi gravitáció. Emelkedtében a sebessége nullára csökken, majd zuhanni kezd a föld felé. Az erősebben fölhajított tárgy, lévén kezdeti sebessége nagyobb, magasabbra jut és főbb időbe telik, mire visszahullik. Bárhogyan is, a Föld gravitációs ereje a távolsággal csökken. Egy elegendő sebességgel kilőtt test eljuthat olyan magasra, ahol a Föld gravitációja már nem elég erős, hogy lelassítsa. Ekkor folytatja útját az űrbe, és soha nem tér vissza. Az ehhez szükséges sebességnek többnek kell lennie, mint 11 kilométer másodpercenként. Ez a szökési sebesség, amivel a rakétákat lövik fel a Holdra.

Joggal kérdezhajjuk, mennyi az univerzum tágulási rátája és belső gravitációs ereje, mekkora a szökési sebesség. A tudósoknak ezen kívül meg kell állapítaniuk a világegyetem átlagos sűrűségét, amelyből leszámíthatják a belső gravitációs erőt. Mindkét számítás, a tágulási ráta és a az átlagos sűrűség, rendkívül nehéz és csak közelítő értékek kaphatók.

A világegyetem jelenlegi sűrűsége körülbelül 1 százalék. Az univerzum, úgy tűnik, nyitott és örökké tágulni fog. Természetesen csak az általunk látott anyagokat számoljuk. Ha létezik olyan anyag, amelyet nem látunk, vagy egyéb módon nem tudunk érzékelni, akkor a világegyetem akár zárt is lehet.

### **Van-e olyan anyag az univerzumban, amit nem látunk?**

A csillagászok szerint igen. Többször is rámutattam már, hogy a gravitációs hatás olyan dolgokat is elárul nekünk, amit a fény nem. A Szíriusz B-t a Szíriusz A-ra gyakorolt gravitációs ereje alapján előbb fölfedezték, mielőtt egyáltalán meglátták volna. A Neptunusz bolygót szintén azelőtt fedezték fel, mielőtt szemmel látták volna, pusztán az Uránuszra gyakorolt gravitációs ereje

folytán, és még lehetne sorolni.

A galaxisokban minden tömeg a középpontja fele koncentrálódva jelenik meg, és a csillagok a galaktikus mag körül köröznek, mint a bolygók a csillagok körül. Azt várnánk, hogy a csillagok egyre lassabban köröznek, amint távolodnak a magtól. Ez ami naprendszerünkben igaz is, ahol a bolygók egyre lassabban haladnak, ahogy egyre nagyobb lesz a távolság köztük és a Nap között.

Meg tudjuk állapítani a galaxis forgásának sebességét, ha megmérjük a magtól különböző távolságokból kibocsátott sugárzás sebességét. Az derül ki, hogy azokban a galaxisokban, ahol ez a mérés elvégezhető, a csillagok ugyanolyan sebességgel haladnak a mag körül, tekintet nélkül a köztük lévő távolságra.

Ez a megfigyelés ellentmond a gravitáció törvényének, a tudósok azonban nem hajlandók elvetni azt. Lehetséges megoldásként azt feltételezik, hogy a galaxisok tömege nem koncentrálódik a magban, hanem szétszóródik az űrben. Hogy lehet ez igaz, amikor mi látjuk ezt a tömeget, csillagok formájában a központ felé koncentrálódni?

Titokzatos az is, ahogyan a galaxisok csoportokat alkotnak, a kölcsönös gravitáció fogságában. Ha kiszámítjuk a galaxisok vonzását, amit a bennük lévő csillagokból nyernek, továbbá a galaxisok egymáshoz viszonyított mozgását a csoporton belül, arra jutunk, hogy nincs elég gravitációs erő, ami a csoportot együtt tarthatná. Márpedig együtt vannak, ami azt jelenti, hogy további anyagnak kell léteznie, amit mi nem látunk és amelynek elegendő nagynak kell lennie, hogy pótolja a csoport összefogásához hiányzó gravitációs erőt.

Mi lehet ez a láthatatlan anyag? A csillagászok még nem tudják a választ, ezért úgy emlegetik, mint „a hiányzó anyag rejtélye”. Sok elgondolás született, de várunk kell további bizonyítékok felbukkanására, mielőtt biztosak lehetnénk az anyag mibenlétében vagy egyáltalán a létében. Mindenesetre, ha létezik ez az anyag, akkor adott mennyiségben egy nap bezárhatja a világegyetemet, és talán milliárdnyi évek után, minden elkezdhet újra zsugorodni. Ez csak egy példa azokból a körülöttünk lévő világgal kapcsolatos kérdésekből, amelyek annyi sikerünk és eredményünk ellenére, még mindig megválaszolatlanok.

# Tartalom

[Bevezetés](#)

[Milyen alakja van a földnek?](#)

[Mekkora a Föld?](#)

[Ha a Föld gömb alakú, miért nem csúszunk le róla?](#)

[Mozog-e a Föld?](#)

[Ha felugrunk, miért nem esünk máshova vissza?](#)

[Mitől fúj a szél?](#)

[Miért melegebb a nyár, mint a tél?](#)

[Hogyan mérjük az időt?](#)

[Hogyan mérjük a napnál rövidebb időszakokat?](#)

[Milyen idős a Föld?](#)

[Hogyan határozták meg a Föld korát?](#)

[Mi a tömeg?](#)

[Mennyi a Föld tömege?](#)

[Mi a sűrűség?](#)

[Igaz, hogy a Föld üreges?](#)

[Milyen valójában a Föld belseje?](#)

[Mozognak-e a kontinensek?](#)

[Mi okozza a földrengéseket, vulkánkitöréseket?](#)

[Mi a hó?](#)

[Mi a hőmérséklet?](#)

[Hogyan mérjük a hőmérsékletet?](#)

[Mi az energia?](#)

[Lehetséges, hogy egyszer csak kifogyunk az energiából?](#)

[Mekkora a Föld belső hőmérséklete?](#)

[Miért nem hűl ki a Föld?](#)

[Igaz, hogy az égbolt a Földdel együtt fordul?](#)

[A Föld a világegyetem központja?](#)

[Még egyszer, tényleg a Föld a világegyetem központja?](#)

[Tökéletesíthető e Kopernikusz elmélete?](#)

[Hogyan alakult ki a Föld?](#)

[A Föld egy mágnes?](#)

[Vajon a Földnek tökéletes gömb alakja van?](#)

[Miért változik a Hold alakja?](#)  
[Világít-e a Föld?](#)  
[Miért van Nap- és Holdfogyatkozás?](#)  
[Milyen messze van a Hold?](#)  
[Mekkora a Hold tömege?](#)  
[Mi az árapály?](#)  
[Hogyan hat az árapály a Földre?](#)  
[Van-e élet a Holdon?](#)  
[Mitől jöttek létre a Hold kráterei?](#)  
[Hogyan alakult ki a Hold?](#)  
[Eljuthatunk a Holdra?](#)  
[Mi a meteorit?](#)  
[Veszélyeztethetik-e a meteoritok az életet és értékeinket?](#)  
[Mik az aszteroidák?](#)  
[Csak az aszteroid övezetben vannak aszteroidák?](#)  
[Mik az üstökösök?](#)  
[Milyenek látjuk az üstökösöket?](#)  
[Mi történik az üstökösökkel?](#)  
[Honnan jönnek az üstökösök?](#)  
[Milyen messze van a Nap?](#)  
[Nagy-e a Föld?](#)  
[Ismert-e az ókori ember minden bolygót?](#)  
[Miben különböznek az óriásbolygók?](#)  
[Van-e élet a Vénuszon?](#)  
[Van-e élet a Marson?](#)  
[Van-e élet a külső Naprendszerben?](#)  
[Hogyan néz ki a Nap?](#)  
[Mi a napfény?](#)  
[Mik a spektrumvonalak?](#)  
[Van-e a Napnak tömege?](#)  
[Miből áll a Nap?](#)  
[Milyen anyagokból állnak a bolygók?](#)  
[Milyen meleg a Nap?](#)  
[Mi az a napkorona?](#)  
[Mik a napkitörések?](#)  
[Miért nem hűl ki a Nap?](#)  
[Hogyan termeli a Nap a nukleáris energiáját?](#)

Ismert e az ókori ember minden csillagot?  
Tényleg állnak az állócsillagok?  
Van-e a csillagoknak is égboltjuk?  
Mik a csillagok?  
Valójában milyen messze vannak a csillagok?  
Milyen gyorsan terjed a fény?  
Mi az a fényév?  
Mozog-e a Nap?  
A természet törvényei mindenütt azonosak?  
Mik a változó csillagok?  
Miben különböznek egymástól a csillagok?  
Mi történik, ha megcsappan egy csillag hidrogénkészlete?  
Lesz-e vörös óriás a mi Napunkból?  
Miért léteznek még mindig nagyon fényes csillagok?  
Mi a fehér törpe?  
Mi a nóva?  
Mi a szupernóva?  
Látjuk e valamilyen hasznát a szupernóváknak?  
Van-e élet más csillagok bolygóin?  
Mik a gömbhalmazok?  
Mik a csillagködök?  
Mi a Galaxis?  
Hol van a Galaxis középpontja?  
Mi a Doppler-effektus?  
Forog-e a Galaxis?  
Eljut-e valami a csillagoktól a Földre a fényen kívül?  
Mi az elektromágneses spektrum?  
Hogyan fejlődött a rádiócsillagászat?  
Mik a pulzárak?  
Mi az a fekete lyuk?  
Mi a csillagközi porfelhő?  
Mi a SETI?  
A Galaxis azonos a világegyetemmel?  
Mozognak-e a galaxisok?  
Van-e az univerzumnak középpontja?  
Mennyi idős az univerzum?  
Mik a kvazárok?

Érzékelhetjük-e az ősrobbanást a big banget?

Hogyan történt az ősrobbanás?

Örökké tágulni fog a világegyetem?

Van-e olyan anyag az univerzumban, amit nem látunk?