

DR. PHIL. WODETZKY JÓZSEF

A CSILLAGOK VILÁGÁBÓL



BUDAPEST

A SZENT ISTVÁN-TÁRSULAT KIADÁSA

A
CSILLAGOK VILÁGÁBÓL
CSILLAGÁSZATI ÉS ASZTROFIZIKAI
MINIATÚRÖK

«*Multum, non multa.*»
Plinius.

IRTA

DR. PHIL. WODETZKY JÓZSEF

ny. Pázmány-egyet. nyilván. r. professzor, a londoni Royal
Astronomical Society fellowja, a jugoszláv Csillagászati
Társaság tiszteleti tagja, az Astronomische Gesellschaft
r. tagja, a Szent István Akadémia tiszteleti tagja és mathem.-
term. tud. osztályának v. elnöke, stb.



BUDAPEST

A SZENT ISTVÁN-TÁRSULAT KIADÁSA

A kiadásért felelős : Dr. Takáts Ernő.
Stephaneum nyomda Budapest, VIII., Szentkirályi-utca 28.
Felelős : Ketskés János.

ELŐSZÓ

Azt írtam jelen könyvem alcíméül: „miniatűrök”. Azt is mondhattam volna, hogy „apróságok” vagy „esszék”. De az egyik talán túlkeveset sejtet, a másik pedig túlsokat ígér. Azért találtam leghelyesebbnek a „miniatűrök” elnevezést, mely szól a csillagászat magasztos tudománya iránt őszintén érdeklődő művelt közönséghez, mert előre jelezi azt, hogy nem a matematikai levezetések súlyos vértetéssel kerül szembe, hanem könnyen érthetően ismerkedik meg a legmodernebb csillagászati kutatások eredményeivel. Talán van egy-két fejezet, melynek címe meglepőnek tűnik fel csillagászati fejezetek sorozatában, de tartalmuk teljesen igazolni fogja jogosultságukat.

I.

Van-e élet más égitesteken?

„Questa picciola stella si correde
De'buoni spirti che son stati attivi...”

Dante, Paradiso, canto VI, 112—113.

Milyen ősrégi kérdés, mennyi nagy szellemet érintett, hány író, költőt, filozófust inspirált, hány ember gondolatát foglalkoztatja ma is ez a probléma. A legtöbb laikus első kérdése, melyet asztronómushoz intéz, rendesen az, hogy „vannak-e emberek a Holdban?”, vagy szerényebb formában „van-e élet más égitesteken?” — Itt nyilvánvalóan szemben áll egymással a kíváncsi laikus, ki nincsen kellően tájékozva arról, hogy mivel is foglalkozik valójában a csillagász, és az asztronómus, kinek nyilatkoznia kellene olyasmiről, amit nem tud sem kiszámítani, sem mérni vagy észlelni. Már pedig a csillagászat a legpontosabb megfigyelés és mérés és a legszigorúbb számítás tudománya. *Planck*, a jeles modern fizikus, joggal mondhatta, hogy „amit mérni lehet, az van”, és a nagy *Laplace* csak azt tekintette tudományos vívmánynak, amit kísérlet és mérés, észlelés és számítás kétségtelenül igazolt. Így tehát érthető, ha a csillagász óvatos kétkedéssel nyúl ehhez a máskülönben érdekfeszítő kérdéshez, melyre a tudásszomjas laikus a feleletet talán túlegyszerűnek vagy könnyűnek gondolja.

Régebben komoly, helytálló tudományos feleletet a világok lakottságáról egyáltalán nem is lehetett adni, mert hiányzott hozzá minden alap, minden megfigyelés, és homályos analógiákon kívül semmi másra nem lehetett támaszkodni. Csak megtévesztő, csalóka analógiák vezették azt a számos jeles író, filozófust és költőt, kik a más égitesteken vagy csillagokon létező életről sokszor olyan csábosszínű képeket tartak olvasóik elé. Ma a helyzet lényegesen más. Az

asztrofizikai megfigyelések és kutatási módszerek hatalmas fejlődése betekintést enged oly területekbe, melyekre azelőtt gondolni sem lehetett. A lehetőséget ehhez *Kirchhoff* és *Bunsen* nagyszerű felfedezése, a színeképlelemzés vagy spektrum-analízis adta meg mintegy kilencven évvel ezelőtt, mely életrehívta a csillagászat legmodernebb ágát, az asztrofizikát. Amint látni fogjuk, ez a szép tudomány biztos vezérül szolgál nekünk a felvetett probléma megközelítésében. És ha nem is tudunk még bizonyosat a többszáz vagy ezer fényévnnyi távolságban levő csillagok életlehetőségeiről, a naprendszeren belül levő bolygók és a mi Holdunk eme lehetőségei már nem titok előttünk.

Kétezer évvel ezelőtt *Lucretius Carus* a jeles római költő „*De rerum natura*” című nagyszabású tankölteményében fejezte ki először határozott formában azt a gondolatot, hogy nemcsak a Földön van élet, hanem a világtér más régióiban is vannak más, a Földhöz hasonló égitestek; más élőlények, más emberek. Érdekes, hogy *Polignac* kardinális az ő *Anti-Lucrèce* című költeményében igyekszik az epikureista *Lucretiust* mindenben megcáfolni, de a világok lakottságáról való nézetét szintén vallja. *Proclus* szerint már a mythologikus *Orpheus* mondotta, hogy a Holdban lakott városok vannak. Az ilyenféle elgondolásnak azonban nem sokkal több értéke van, mint annak, ha valaki pl. azt állítja, hogy a Föld középpontjában aranygolyó foglal helyet.

Nem sorolhatjuk fel itt azt a számos görög filozófust, kik mint *Thalész* vagy *Anaximandrosz*, azt gondolták, hogy a csillagok hasonló anyagból vannak fölépítve mint a Föld. *Xenophanész* hitte, hogy a Hold és a többi csillag is lakható. *Arisztotelész* tagadta, hogy létezik a Földhöz hasonló más égitest. *Epikurosz* a csillagok lakottságát tanította s az ő ösvényeit követte *Lucretius*. *Plutarchosz* még tovább megy, mikor a Hold-lakók és a földi emberek közti különbségeket feszegeti.

A középkorban különösen a kiváló *Nicolas de Cusa* kardinális említendő a csillagok lakottságában hívők sorában. Utána *Giordano Bruno*, *Thomas Campanella*, és mások tápláltak hasonló nézeteket. *Descartes*, a híres francia filozófus és matematikus szerint merészség volna azt állítani, hogy több emberlakta égitest

is létezik a csillagok között, de minthogy a bolygók a Földhöz hasonlóan sötét szilárd testek, alapos az a feltevés, hogy szintén lakottak. Az egyszerű analógiára támaszkodó okoskodás itt szembeszökő, s hasonló a helyzet a többi említett filozófusoknál is. Nem tudnak kimutatni egyetlen megfigyelt tényt sem, mely nézetüket az elfogadható és meggyőző valóság piédestaljára emelné.

Kant, a nagy német filozófus, úgy vélekedik, hogy a naprendszerhez tartozó bolygókon lakó emberek erkölcsi és fizikai tökéletessége annál nagyobb, minél messzebb vannak a Naptól, mert az anyag, melyből formálva vannak, ezzel a távolsággal arányosan finomodik. A Merkúr és Vénus lakói pl. sokkal durvább anyagból származnak, semhogy értelmesek lehetnének. A Föld és a Mars lakói középhelyet foglalnak el a tökéletlenség és a tökéletesség között. Jupiter és a távolabbi bolygók lakói a tökéletesség és a boldogság állapotát élvezik, sokkal mozgékonyabbak a praktikus életben mint a földi emberek és az ő tízórás napjuk alatt sokkal nagyobb tevékenységet fejtenek ki, mint mi huszonnégyórás napunk alatt. Nem részletezzük itt tovább *Kant*nak és néhány követőjének nézeteit a bolygók lakóiról, melyek teljesen önkényes elképzeléseknél nem egyebek és még analógiákra sem támaszkodhatnak. De ha meglepőnek kell tartanunk az éleselmjű kritikus, nagy filozófus ábrándszerű elgondolásait, talán még meglepőbbnek találjuk, hogy *Laplace* is, a legnagyobb csillagászok egyike, a szigorú fizikai matematikai kutatás nagymestere, oly térre engedte magát ragadtatni, hol nem támaszkodhatott jól bevált természeti törvényekre és az azokra alapított matematikai dedukciókra, hanem inkább a korlátlan képzeletnek engedett szabad teret. *Gauss*, kit a matematikusok fejedelmének mondanak, igen nagyra tartotta *Laplacet* — „*Laplace* mondta, tehát igaz” írta róla egyszer — és fölötte rossznéven vette tőle közismert kozmogóniai elméletét, melyet nem tartott tudományosnak. Ugyanezt kell mondanunk *Laplace* ama nézetéről, mely szerint „az analógia arra a gondolatra késztet bennünket, hogy a Nap jótékony hője a többi bolygókon is ugyanúgy hat a növényzetre és az állatokra, mint a Földön. Mert nem természetes azt hinnünk, hogy az anyag, melynek termékenysége annyi sokféle módon nyilvánkozik

meg a Földön, terméketlen maradjon az oly nagy bolygón aminő Jupiter, melynek szintén megvannak a nappalai, éjszakái, évei és amelyen a megfigyelések szerint hatalmas erőktől előidézett változások látszanak végbemenni. A földi hőmérséklethez szokott ember minden valószínűség szerint a többi bolygókon nem tudna megélni. De nem-e kell végtelen sok organizmusnak léteznie, melyek alkalmazkodtak az égitestek és más világok különböző hőmérsékletéhez? Ha az alapanyagok és a klímák különfélesége már egymagában annyi sokféle földi életformát tudott előidézni, mennyivel többféleképpen kell létezniök a bolygókon és holdjaikon!

Nem azt mondjuk, hogy a fizikai kutatásból a képzelőerőt teljesen száműznünk kell. Sőt, az intuíció ebben is éppenúgy mint a matematikában fontos tényező. Értelmünk úgy van alkotva, hogy látható képekre, fizikai modellekre van szüksége. Ha az atómokról pl. modellszerű képet alkotunk magunknak, akkor ez csak mankó, melyre fogyatékos értelmünk támaszkodik, de még nem bizonyíték, hogy a modell a természetben tényleg meg is van valósítva. Talán úgy is mondhatjuk, hogy ez anthropomorfizmus. Ebből a szempontból kell megítélnünk *Laplace* idézett szavait is, melyek a tipikus modellszerű elgondolás példáját mutatják.

Ha már itt ilyen szigorú mértéket kellett alkalmaznunk, mit mondjunk az írók és költők nagy sokaságáról, kik *Lukianosztól* kezdve egész *Wellsig dús* fantáziájukkal utazásokat tettek a Holdba, a Napba vagy más távoli csillagokra, és az égitesteket bőkezűen benépesítették. Ezeknek a költői, regényes elképzeléseknek természetesen nincsen tudományos bizonyító erejük, nem is az a céljuk, hanem az emberi fantázia szabadon szárnyaló, játékos, szórakoztató elgondolásai. Ősatyjuk a szellemes görög *Lukianosz*, ki elsőnek merészkedett utazni a Holdba, a Napba, sőt tovább a Plejadokba, Hyadokba stb. *Cyrano de Bergerac* utazása a Holdba és Napba ezen a nyomon támadt, éppenúgy mint *Athanasius Kircher* „Iter extaticum”-ja. *Dante* az ő halhatatlan „*Divina Commedia*”-jában a Holdba és a bolygókra helyezi a meghalt lelkeket és csodálatos vándorútján a Napban találkozik Aquinói Szent Tamással. *Voltaire* „*Micro-mégas*”-ában egy *Sirius*-lakóval találkozik a Földön,

ki miután beutazta a Tejutat és néhány csillagot, le-
érkezett a Saturnusra, majd a Jupiterre és a Marsra
és onnét arra a kis sárgöröngyre, melyet mi Földnek
nevezünk. Ne feledjük, hogy *Voltaire* volt *Newton*
leglelkesebb propagátora a kontinensen és hogy a
„*Principia*”-kat ő fordíttatta franciára.

Huyghens, *Newton* egyenrangú kortársa, az ő
„*Kosmotheorosz*”-ában foglalkozik a bolygók lakható-
ságával és azt igyekszik valószínűvé tenni, hogy a
bolygók lakói úgy szellemi, mint fizikai és morális
szempontból hasonlítanak az emberhez. *Fontenelle*
kedves kis írása, az „*Entretiens sur la pluralité des*
mondes habités” inkább csak a címében emlékeztet
az emberlakta más csillagokra, mert valójában höl-
gyek számára írt népszerű csillagászat. A francia Aca-
démie des Sciences jeles örökös titkára mondja e
könyvében a bennünket foglalkoztató kérdéssel kap-
csolatban a következő találó szavakat: „Az igazi
filozófusok azon fáradoznak egész életükben, nehogy
elhigyjék amit látnak, és igyekeznek kitalálni azt,
amit egyáltalán nem láthatnak”. Ezzel szemben a misz-
tikus *Swedenborg* arról számol be, hogy mikor
mit beszélgetett más bolygók lakóival. A világtér-
beli utazások között egészen kivételes hely illeti
meg *Jules Verne* közismert regényeit, melyek „Uta-
zás a Holdba”, „Utazás a Hold körül” és „*Servadac*
Hector utazása a naprendszeren át” címen bölcs tar-
tózkodással kerülnek a Hold és a bolygók lakottságá-
nak kérdését.

Láttuk eddig, hogy sem a filozófusok, sem az írók
vagy költők nem tudtak nekünk pozitív feleletet adni
a címben feltett kérdésre: „Van-e élet más égiteste-
ken?” Most a tudományon a sor, hogy bennünket fel-
világosítson. A legrövidebb növényi vagy állati
lények élete is élet, akár az emberé. Élet van a he-
gyeken, a Föld felszínén és a tenger mélyében egy-
aránt a legkülönbözőbb külső körülmények és fizikai
feltételek között. Az emberi élet lehetőségét a kellő
légnyomás, az oxigén, a víz jelenléte, a gravitáció,
a fény és a hőmérséklet szabja meg. A *Challenger*-
expedíció annak idején kiderítette, hogy a tenger nagy
mélységeiben is színekben és formákban gazdag állati
élet létezik, hol emberi életről szó sem lehet. Más-
részt minden élő organizmusnak egyik fő alkotórésze
a szén mint kémiai elem. Ahol ez nincs, ott élet sem

lehetséges. A kérdés tehát ez: tud-e a csillagászat nekünk megfigyeléseken alapuló pozitív feleletet adni arra, hogy más égitesteken is megvannak-e az életnek mindeme feltételei, és ha megvannak, észlelték-e valami jelét az égitestek felszínén levő életnek?

A mai megfigyelő csillagásznak három hatalmas segítőtársa van: az egyik a távcső, a másik a fotográfia, a harmadik a színeképelemzés. A távcső és a tükröteleszkóp *Galilei* és *Newton* kora óta fejlődött a modern nagyszabású műszerekig. A fotográfiát alig 110 éve fedezték fel, a színeképelemzést még nem is száz éve; ezek azóta hatalmas íveléssel az asztrofizika modern tudományát segítették felépíteni. A kérdés tehát az: tudunk-e a csillagászat említett eszközeivel a bolygókon vagy más égi testeken olyasmit észlelni, ami valamilyen ottani életfolyamatra enged következtetni?

Először az érdekel bennünket, hogy mekkora a legkisebb tárgy, amelyet pl. a Holdon láthatunk? A Yerkes-obszervatórium 100 cm-es refraktorával a lehető legkedvezőbb körülmények között 250 m kiterjedésű objektum látható; a világ jelenlegi legnagyobb műszerével, a Mount Wilson 250 cm-es tükröteleszkópjával pedig 100 méteres kiterjedés a láthatóság alsó határa. Ez azonban alig érhető el, mert a nagytávval csökken a kép fényerőssége és azonkívül a légkör állandó nyugtalansága zavarólag hat. Így tehát fél kilométernél kisebb objektum csak nehezen különböztethető meg a Holdon, mely pedig a hozzánk legközelebb levő égitest. A Mars mikor hozzánk legközelebb van, mintegy kétszázszor oly messze van tőlünk, mint a Hold. Ezért a rajta jól látható részletnek legalább 150 km kiterjedésűnek kell lennie ugyanazon műszereknél. Így kevés a reményünk, hogy akár a Holdon, akár más égitesten oly egyes tárgyat láthassunk, mely létét értelmes lényeknek köszönheti. Itt a fényképezés sem segít, dacára nagyszerű technikai fejlettségének.

Tudvalevőleg a Földet légkör veszi körül, melynek sűrűsége a magassággal folyton csökken és körülbelül 18 km magasságban csak tizedrésze a felszíni sűrűségnek. Levegő nyomait azonban még 150 km magasságban is ki lehetett mutatni. A légkör összes tömege alig milliomod részét teszi a Föld szilárd halmazállapotú tömegének. Szerepe azonban mégis fontos;

ez teszi lehetővé az életet, a folyton változó felhőzetet, ez véd a meteorok zuhataga és a Nap sugárzása ellen és benne játszódnak le a nagyszabású elektromos, hő-, pára- és széláramlás folyamatai. Közelfekvő tehát az a feltevés, hogy más bolygókon vagy égitesteken is adódhatnak hasonló körülmények, mint pl. a Marsnál és Jupiternél ezt már régebben feltételezték, míg a Hold biztosan teljes híjával van minden légkörnek.

Ezért, ha azt akarjuk tudni, hogy más égitesten is van-e a földihez hasonló élet lehetősége, elsősorban azt kell észleléssel eldöntenünk, van-e ennek az égitestnek légköre, és hogy ez a légkör olyan összetételű-e mint a miénk, főleg, hogy tartalmaz-e elég oxigént. A bolygók légkörének közvetlen vizuális megfigyelése nagyobb távcsövekkel igen kényes és nehéz, és a megfigyelő részéről nagy gyakorlottságot és ügyességet kíván. Talán ezek hiánya okozta, hogy néhány évtizeddel ezelőtt szenzációként ható fölfedezésekről röpitettek világgá híreket, melyek később nem bizonyultak helytállónak. Rendkívül kedvező légköri viszonyok szükségesek ezekhez a megfigyelésekhez, melyeket a fotográfia még nem tudott fölölegessé tenni.

Átlátszó, felhőmentes atmoszféra a bolygó felületén nem árulja el jelenlétét. Csak ha felhők vannak benne, úgy ezek mozgását a bolygó felületének fix részleteihez viszonyítva lehetne észlelni. Például a Holdról a Föld kontinenseinek és tengereinek körvonalaikhoz viszonyítva láthatnók a gyorsan mozgó felhőket. Hasonlóan a Földről a Mars felületén látشانak néha fátyolszerűen eltakarva egyes részletek, amit némi önkénnyel ködnek vagy felhőknek tulajdonítanak. A Jupiter felületén is az ekvatori sávok és az úgynevezett „vörös folt” is mutatnak lassú változásokat, melyeket szintén valamilyen légkörnek tulajdonítanak. Mutatkoznak változások a bolygók felületén, melyeket nehéz másképpen magyarázni, mint légkör jelenlétével. Ilyenek pl. a Mars sarkain váltokozva észlelhető fehér foltok, melyeket közönségesen hónak tartanak, ami csak úgy lehetséges, ha ezen a bolygón vízpára és légkör létezik.

Szürkületi tűnemények is elárulhatják a légkör létezését. A Holdon pl. semmiféle szürkületi jelenség nem észlelhető; a megvilágított erősfényű felület min-

den átmenet nélkül határos a teljesen sötét árnyékkal, mert a Holdon atmoszférának a legcsekélyebb nyoma sincs. A Földön a Nap geometriai lenyugvása után az éjjel nem következik be azonnal, hanem a légköri sugártörés és szóródás folytán fokozatosan köszönt be. Ez az úgynevezett szürkület. A Holdról szemlélve mintegy 150 km széles átmeneti sáv látszanék a megvilágított és az árnyékban levő félgömb határa mentén. Hasonlót kellene észlelni a Földről szemlélve a bolygókon is, ha van légkörük. A külső nagy bolygókon — Jupiter stb. — ez az észlelés azért nem lehetséges, mert majdnem teljesen megvilágított felület láthatjuk csupán, nem mutatnak fázist, amint mondani szokás. A Marsnak fázisa elég jelentékeny, mikor a Naptól 90 foknyi szögtávolban van; a szürkületi félárnyéknak tehát mutatkoznia lehetne, de ezt eddig még nem észlelték, nyilvánvalóan mert légköre túl ritka.

A két alsó bolygó, a Merkúr és a Vénusz, mikor a Nappal alsó együttállásban van, vékony fényes sarlóalakot mutat. A korongnak árnyékban levő az a része, mely a sarlóval határos, valójában a szürkület övébe esik és oly világos lehet, hogy a sarló két hegyes vége hosszabbnak látszik, sőt a meg nem világított peremen világos félkör alakban folytatódhatnak. Ezt a tűneményt a Vénusznál lehetett észlelni, bár az észlelés eléggé nehéz, mert nappal kell eszközölni és a bolygó akkor a Naphoz közel van. A Merkurnál ezt a jelenséget még sohasem észlelték. Ebből következik, hogy a Vénusznak bizonyosan van valamilyen légköre. Az kérdés még, hogy olyan összetételű-e, mint a Földé.

Hogyan van az, hogy a földi atmoszféra megmarad a szilárd Föld körül és nem szóródik szét a légüres világtérbe, mint a valamilyen gázzal telt edényből a gáz a vele összeköttetésbe hozott légüres edénybe tódul. Az atmoszférát alkotó gázok molekulái állandó mozgásban vannak. A légköri gázmolekulát apró lövedéknek tekinthetjük, mely annál messzebbre és magasabbra ér, mennél nagyobb a sebessége. Ha ez a sebesség elég nagy, akkor a gázmolekula elhagyhatja azt a bolygót, melynek légköréhez tartozott és eltávozik a világűrbe. Ha pl. a Földön lövedéknek 11'2 km-nyi sebességet tudnánk adni, akkor ez a Földtől a világűrbe távolodnék. Ez az úgynevezett

parabolikus sebesség a Newton-féle nehézkedési törvény szerint függ a Föld vagy az illető bolygó tömegétől. Kistömegű égitestnél a parabolikus sebesség kisebb, nagytömegűnél megfelelően nagyobb. A gázmolekulák átlagos sebessége egyenesen arányos az abszolút hőmérséklet négyzetgyökével és fordítva arányos a molekulatömeg négyzetgyökével. Zérus fok Celsius hőmérsékletnél a hidrogén-molekulák átlagos sebessége 1'84 km másodpercenként, a vízpára-molekuláké 0'62 km, a nitrogénnél ez a sebesség 0'49, az oxigénnél 0'46 és a széndioxidnál 0'39 km. Egyes molekulák sebessége lehet az átlagosnál kisebb vagy nagyobb is, de a nagy átlagot a jelzett számok adják.

Látjuk, hogy még a hidrogén-molekulák átlagos sebessége is milyen messze alatta marad a földi parabolikus sebességnek. Még hozzátesszük, hogy a bolygó felszínétől nagyobb magasságban kisebb a parabolikus sebesség. Azt mondhatjuk, a Föld elég erős az atmoszféra gázmolekuláinak visszatartására. A Merkúr tömege a Földének 18-ad része, a Marsé a 10-ed része, a Holdé pedig csak 81-ed része; ezért az elsőnél a parabolikus sebesség 4'3 km másodpercenként, az utóbbinál 2'4 km. Ez a két égitest nem tudta megtartani légkörét; ha valaha volt is valamilyen atmoszférájuk, az rég szétszóródott a világűrben. A Marsnál a parabolikus sebesség 5 km másodpercenként, a Vénusznál 10 km, a Jupiternél 58 km, a Napnál pedig 620 km. A Mars sem képes légkörét teljesen megtartani.

A bolygók nem saját fényükkel világítanak, hanem a Nap fényét verik vissza a térbe és így felénk is. Ez a visszaverődés nem történik feltétlenül az égitest szilárd felszínéről, hanem származhatik a légkörében esetleg jelenlévő felhőktől, melyek valamilyen folyadék páráiból képződtek. A fény, mielőtt a bolygóról hozzánk érkezik, kétszer megy át annak légkörén; először, mikor behatol, utána pedig a visszaverődéskor; azután pedig a Föld légkörén is kell áthatolnia. A színképelemzés vagy spektroszkópia képessé tesz bennünket arra, hogy a bolygókról jövő fényt, illetve ennek színképét vagy spektrumát összehasonlítsuk a Holdtól visszavert fénnel, mely utóbbi a teljesen légkör nélküli Hold-felületről verődött vissza. Ha vannak különbségek, akkor azok származhatnak abból, hogy a bolygóról jövő fény előbb átment annak atmoszférá-

ján, vagy abból is, hogy a bolygók fényvisszaverő képessége különböző, végül a színekép ú. n. *Fraunhofer*-féle v. abszorpciós vonalai a *Doppler*—*Fizeau*-hatás következtében eltolódást mutathatnak.

A fényt a különféle anyagok különböző mértékben verik vissza. A bolygóknál a visszaverődés hatása az ú. n. albedóban jelentkezik, mely a bolygókról visszavert fény erejének viszonyszáma a reáeső fény erejéhez, másszóval az a szám, mely megmondja, hányadrészét veri vissza a reáeső fénynek a bolygó. A *Merkur* és a *Hold* albedója 0'07, tehát igen csekély, olyan mint a sötétbarna kőzeteké; az is mutatja, hogy ez a két égitest minden légkör híján van. A *Mars* albedója 0'15. A többi bolygó albedója igen nagy; a *Vénuszé* 0'62, a *Jupiteré* 0'44, a *Szaturuszé* 0'42, az *Uránuszé* 0'45, a *Neptunuszé* 0'52. Ezek mind olyan magas értékek, hogy nem származhatnak szilárd visszaverő felületről, hanem finom folyadékrészecskéktől, melyek a bolygó atmoszférájában felhők alakjában úsznak és nemcsak vízpárától eredhetnek. *Lyo*t legújabb polarizációs mérései is ezt igazolják.

Hogy a *Hold*nak nincsen semmiféle légköre, bizonyítják a csillagfedések is, melyek akkor jönnek létre, mikor a *Hold* valamely csillag előtt elvonul és azt egy ideig elfedi vagy eltakarja. Mikor a *Hold* pereme a csillagot eléri, ez a *Hold* mögött hirtelen eltűnik. De mielőtt a csillag eltűnik, ugyanannak az optikai jelenségnek kell bekövetkeznie, mint mikor a fény szilárd él mellett halad el: fényelhajlás, diffrakció áll elő, melyet finom kísérletek és a fény hullámtermészetének alapján pontosan ki lehet számítani. Az emberi szem a csupán 0'04 másodpercig tartó eltűnési folyamatát a csillagfedésnek nem tudja részleteiben követni. De itt segítségünkre jön a csillagászat megbecsülhetetlen értékű segítőtársa, a fotográfia, melyet legújabban *A. Arnul*f alkalmazott a csillagfedés tűneményének rögzítésére. Az eredmények teljes bizonyossággal igazolják, hogy a *Hold*on semmiféle légkör sincsen. Ha légkör volna jelen, a csillag eltűnését a *Hold* korongja mögött bizonyos fénytörési jelenségeknek kellene kísérniök, minőket azonban sohasem észleltek. Bolygótól származó csillagfödés meglehetősen ritka tűnemény, melynek észlelése nehéz. Bolygók légkörének szisztematikus tanulmányozása ezzel a módszerrel eddig még nem történt.

Ha a Nap fénye valamely bolygó légkörén megy át, úgy ennek nyoma abban mutatkozik, hogy a színek bizonyos vonalait a légkör elnyeli, abszorbeálja. Természetesen a földi légkör is előidézi ezt a hatást, mely az ú. n. tellurikus sávok alakjában jelentkezik. Különösen az oxigén és a vízpára árulja el jelenlétét ilyen módon. Tekintsük pl. a Mars színeképét. Az oxigén sávjai mint tellurikus vonalak, természetesen ebben is megvannak. De ha a Mars légkörében is van oxigén, úgy ennek valamiképen nyilvánulnia kell a színeképben, miután a Nap fénye kétszer ment át a Mars légkörén, mielőtt hozzánk érkezett volna. A Holdról jött fényben is megvannak a tellurikus vonalak, csak hogy a Holdon nincsen légkör, mely valamilyen abszorpciót létrehozhatott volna. Ha tehát a két égitest színeképét összehasonlítjuk, a Mars abszorpciós sávjainak erősebbeknek kell lenniök, mint a Hold tellurikus sávjainak. Az eredmény az, hogy a Mars légkörében oxigén csak rendkívül csekély mennyiségben lehet jelen. Ugyanez áll a vízpárára is. Itt az észlelés azért nehezebb, mert a Föld légkörének páratartalma nagyon változékony és ezért a Marst és a Holdat egyidejűleg és ugyanabban a horizon feletti magasságban kell észlelni. Az eredmény itt is az, hogy vízpára csak rendkívül csekély mennyiségben lehet jelen a Mars atmoszférájában.

Újabban a Mount Wilson hatalmas műszereivel más érdekes módszert sikerült alkalmazni a tellurikus és nem tellurikus abszorpciós sávjainak megkülönböztetésére. Ez a *Doppler-Fizeau*-féle hatáson alapszik. A tellurikus sávok nyilvánvalóan nem szenvednek eltolódást a színeképben, a bolygóktól származók ellenben igen, ha radiális sebességük elég nagy. Az eredmény a Marsra és Vénuszra ugyanaz: oxigén és vízpára csak minimális mennyiségben lehet jelen e két égitest légkörében. Megjegyezzük, hogy nem minden gáz mutatható ki az elmondott módszerekkel. Így pl. a nitrogén, hidrogén és argon nem mutat abszorpciós sávokat a színeképben, amennyiben a csillagászati megfigyeléssel hozzáférhető. De ha laboratóriumi kísérlettel az abszorpciós sávokat elő tudjuk állítani, akkor a színeképi sávokkal való azonosítás kétségtelen biztonsággal engedi megállapítani a gáz jelenlétét.

Már régebbi idő óta tudjuk, hogy a négy felső nagybolygónak, Jupiternek, Szaturnusz-, Uranusz- és Nep-

tunusznak színeképében igen erős abszorpciós sávok vannak, melyek bizonyosan a bolygók légkörének köszönik eredetüket, de hogy miféle gáztól származnak, azt sokáig nem tudtuk kifürkészni. Ez csak újabban sikerült azáltal, hogy erős szórású spektroszkóppal vagy spektrográffal a sávokat egyes, külön vonalakra lehetett szétbontani. Ezeknek struktúrája nem egyezett semmiféle ismert abszorpciós színeképpel, de igen nagy valószínűség szólt amellett, hogy a vonalak egy része az ammoniák-, másik része a metángáztól származik. Laboratóriumban ezeket az abszorpciós színeképeket azért nem lehetett tanulmányozni, mert nem tudtak előállítani eléggé vastag gázréteget, mely megfelelt volna a bolygók légkörében levő gázrétegeknek. Különben ez volt az eset az oxigénnél és a vízpáránál is, melyeknek abszorpciós sávjait mint tellurikus sávokat előbb ismertük a színeképekben, míg laboratóriumi előállításuk csak később sikerült. Igen hosszú csövekbe zárt, magas nyomás alatt levő gázzal végzett kísérletek segítségével lehetett az abszorpciós sávokat előállítani. Ily módon kimutatták, hogy az ammoniák-sávok igen erősek a Jupiter színeképében, gyöngébbek a Saturnuséban, hiányzanak az Uranus- és Neptunuséban. Ez érthető, mert a távoli bolygók felületi hőmérséklete az eszközölt tényleges mérések alapján igen alacsony, —100 C-fok alatt is van, az ammoniákgáz pedig egy atmoszféra nyomás alatt —30 C-foknál már cseppfolyóssá válik, —78 C-foknál pedig szilárdodó lesz. A metán —161 C-foknál lesz cseppfolyóssá és így az Uranus és a Neptunus légkörében még mint alkotórész szerepelhet, az ammoniák ellenben ott bizonyára már szilárd halmazállapotban van.

1932-ben *Adams* és *Dunham* eddig ismeretlen vonalakat fedeztek fel a Venus színeképében. 40 m hosszú, 10 atmoszféra nyomás alatt levő széndioxiddal telt csővel sikerült később *Dunham*-nak e vonalak abszorpciós színeképét laboratóriumban előállítani. Ekként kétségtelenné vált, hogy a Venus légkörében tekintélyes mennyiségű széndioxid van jelen, míg, amint mondtunk, az oxigén és a vízpára majdnem teljesen hiányzik. A Mars légkörének létezéséről csak nagyon hiányos ismereteink vannak. Annyi bizonyos, hogy légköre igen ritka és szegény oxigénben és vízpárában. A Mars atmoszférájának ritka volta abban

leli magyarázatát, hogy e bolygó nem elég erős ahhoz, hogy légkörét visszatartsa, amint már említettük. A Merkúr és a Hold, valamint a Saturnusgyűrűk és az ú. n. kisbolygók híján vannak minden légkörnek. A Jupiter légköre ammoniákból és metánból áll. a Saturnus, Uranus és Neptunusé metánból, legteltesebb cáfolataként *Kant* fantáziaszülte elképzelésének.

A modern exakt, szigorú fizikai vizsgálatok és asztronómiai észlelések együttesen íme mennyire eltérő képet adtak nekünk a Földdel együtt a Nap körül keringő bolygókon lehetséges életviszonyokról, mint aminőt filozófusok, költők, írók fantáziájukkal festettek maguknak. Egy feltétlen bizonyosságot mindenki maga is levonhat az elmondottakból: emberi élet — a Földön kívül — egyetlen, a naprendszerhez tartozó bolygón sem lehetséges. A Föld ebben a tekintetben határozottan kivételes helyzetet foglal el. Magán a Napon természetesen semmiféle életnyilvánulás nem lehetséges, amint nem lehetséges semmiféle saját fénnel világító állócsillagon sem. A Nap felszíni hőmérséklete közel 6000 fok, a többi állócsillagé 2000 és 23.000 fok között változik, ami már magában minden életlehetőséget kizár. Ismerünk kettős és többszörös csillagokat, de még eddig nem ismerünk olyant, mely körül a naprendszeréhez hasonló bolygórendszer keringene. Ha ilyen léteznék, emberi élet csak akkor volna lehetséges ilyen bolygón, ha légköri, gravitációs, klimatikus, hőmérsékleti stb. viszonyai a Földével azonosak lennének. Lehetséges, hogy közelebbi vagy távolabbi jövőben a tudomány oly műszereket és eljárásokat fog alkotni és felfedezni, melyekkel ezt a kérdést is a megoldás útjára tudja terelni. De amíg ez nem történik, az asztronómusnak tartózkodnia kell minden elhamarkodott ítélettől és jóslattól. Ezért az alsóbbrendű vegetatív életlehetőségekről semmit sem mondhatunk.

II.

A csillagászati fotografiáról.

1839 augusztus 19-én a nagynevű *Arago D. F.* a francia képviselőházban jelentette, hogy *Daguerre*-nek sikerült a Holdat lefényképezni. A fotografia ezzel helyet foglalt a csillagászati megfigyelések eljárásai között, melyeket úgyszólván teljes gyökerességgel megváltoztatott és új műszerek alkotására is vezetett. Nyomán a csillagászati tudományos felfedezéseknek, megismeréseknek egészen új korszaka kezdődik. A fotografia ma a csillagászatnak hatalmas, nélkülözhetetlen segítőtársa, kutató eszköze. Nagy jelentősége abban is rejlik, hogy talán soha többé nem ismétlődő csillagászati jelenségeket, tűneményeket, folyamatokat pillanatok alatt tud megörökíteni s a további tudományos mérés, feldolgozás számára mintegy konzerválni. A fotometriában, spektroszkópiában, precíziós méréseknél, új égitestek felkutatásánál alkalmazásának számtalan lehetősége van, melyek a fotografia technikai fejlődésével együtt érték el az elmúlt száz év alatt mai nagy tökéletességüket.

Daguerre Louis-Jacques-Mandé francia festő 1829 óta *Niépce Joseph-Nicéphore* kémikussal együtt fáradozott azon, hogy a sötétkamrában keletkező képet rögzítse. *Niépce* már 1828-ban aszfalt segítségével héliografikus úton kapott képeket. Az ő 1833-ban bekövetkezett halála után *Daguerre* önállóan folytatta kísérleteit, melyek őt 1837-ben a róla elnevezett eljárásra, a daguerreotypiára vezették. Ennél az eljárásnál a láthatatlan kép jódgőzök hatásának alávetett, simára csiszolt ezüstlemezen keletkezett, és láthatóvá tétele, előhívása higanygőzökkel történt. Ez volt az első eljárás, mellyel rövid kinntartás, fénybehatás alatt keletkezett láthatatlan kép másik kémiai folyamat segítségével tétetett láthatóvá.

Az első csillagászati fényképet tehát maga a fel-

találó *Daguerre* készítette a Holdról 1839-ben. Ezt követte 1840 márciusában az amerikai *Draper John W.* Hold-daguerreotypiája 20 perces kimutatással. A Nap első daguerreotypiáját *Foucault* és *Fizeau* a két jeles francia fizikus készítette Párisban, 1845-ben, $\frac{1}{60}$ másodperces kinntartással. Az olasz *Majocchi G. A.* már 1842-ben próbálkozott a Nap koronáját teljes napfogyatkozáskor lefényképezni, de fáradozása nem járt eredménnyel. Az említett daguerreotypiák az idők során elkallódtak. Az 1851 július 28-i napfogyatkozásról *Berkowski* német fényképész készített sikertűt daguerreotypiát a königsbergi csillagdán. Ezen a felvételen igen jól látszik a Nap koronájának belső része.

Egy évvel előbb, 1850-ben készítette az amerikai *Whipple J. A.* a Harvard College Observatoryn 2 perces kinntartással az első daguerreotypiát állócsillagról. Az α Lyraet (Vegát) sikerűt ily módon lefényképeznie, mely tudvalevőleg első nagyságrendű vagy fényességű csillag. A halványabb csillagok a fényképen nem váltak láthatóvá. *Whipple* 1851-ben a Holdról is készített daguerreotypiát.

A nedves kollodium-eljárás feltalálása után *Bond G. P.* ugyancsak a Harvard csillagdán 8 másodpercnyi kinntartással a ζ Ursae Maioris (Mizar és Alkor) ket-tőscsillagot tudta lefényképezni 1856-ban. Ez a rövidebb kinntartásidő már nagy haladást jelentett a daguerreotypiás eljárással szemben.

A csillagászati fotográfia fejlesztése körül nagy érdemeket szerzett az angol *Warren De La Rue*, ki már 1852-ben az ú. n. pozitív kollodium-eljárással igen jó Hold-fényképeket állított elő. 1856-ban a negatív kollodium-eljárásra tért át, mellyel a távcsövi kép a kollodium-lemezen negatív képet szolgáltatott, melyet fényérzékeny papírra kopírozott. Már ő nagyított másolatokat is készített és igen jól átlátta a fotográfia jelentőségét a Hold-felület kartografiájára vonatkozóan. Észrevette azt, hogy vannak részek a Hold felületén, melyek az emberi szem számára (viguálisan) egyenlően fényesnek látszanak, a fényképen azonban különbözőknek mutatkoznak. A fényképeken jelentkező fényfátyolra (clouding) is figyelmessé lett. Ez abban mutatkozik, hogy meg nem világított részekbe a fényképen terjed át a fény, ami zavarólag hat. Ennek elhárításán is fáradozott. A pozitív kollodium-eljárással

1853-ban *Hartnup I.* a liverpooli csillagda ekvatoriálján nyert jó Hold-fényképeket. Ő volt az első, ki ilyen fényképeket sztereoszkópban szemlélt. Erre a célra két olyan fényképet választott, melyek közül az egyik holdtölte előtt, a másik holdtölte után készült. A Hold a sztereoszkópban félig átlátszó glóbus benyomását keltette.

Warren De La Rue 1857-ben a Jupitert fényképezte le, melynek sávjai a képen jól látszottak. A következő évben Jupiter felületi fényességét és aktinikus hatását összemérte a Holdéval. Ennek fényességét a Jupiter háromszorosának találja, viszont a Jupiter aktinikus hatása erősebb mint a Holdé. Ez a megfigyelés már magában hordja a modern színindex-meghatározás első momentumát. Ami az aktinikus hatást illeti, úgy csak azt jegyezzük meg, hogy a színeknek ibolya és ibolyántúli sugarai az ú. n. aktinikus, v. kémiai hatású sugarak, melyek a közönséges fényképlemezre erősebben és gyorsabban hatnak, mint a sárga és vörös sugarak. *Warren De La Rue* a Saturnustól 60 másodpercnyi kinntartással kapott csak képet, míg Jupiternél 5 másodperc volt elegendő, amiből arra következtet, hogy a Jupiterről kiinduló kémiai hatású sugarak 12-szerre hatékonyabbak mint a Saturnusból kiindulók. A Harvard csillagdán 1860 folyamán Venusról és Marsról készítettek felvételeket.

Warren De La Rue 1858—1872 között rendszeresen fényképezte a Napot az ő ftohéliográfja segítségével. Nevezetes az 1860 július 18-i napfogyatkozás, melyet a spanyolországi Rivabellosában ő, 88 kilométernyire délkeletre pedig, Desierto de las Palmasban, *Secchi Angelo* jezsuita páter fényképezett, ki a vatikáni csillagdának volt jeles igazgatója. Az ő felvételeikből lehetett először kétségtelen módon igazolni, hogy protuberanciák tényleg a Napon végbeménő reális tűnemények. Ezzel a fotografiai észlelés fontossága és nélkülözhetetlensége fényesen beigazolódtott és a csillagászatban való rendszeres alkalmazása megindult. A további haladás a fényképezésre szolgáló távcsövek optikai és mechanikai tökéletesedésével és a fotografiai eljárások folytonos, gyors fejlődésével járt együtt.

A távcsőnek a csillagászati fotográfia szempontjából való tökéletesedése az amerikai *Rutherford Lewis Morris*nak köszönhető, ki 1864-ben szerkesztette az

első refraktort, mely a kémiai hatású sugarak koncentrálására csiszolt 28 centiméteres objektív lencsével volt felszerelve. *Rutherford* (1816—1892) eredetileg ügyvéd volt, de 1849 óta kizárólag a csillagászatnak szentelte életét. New-Yorkban csillagdát építtetett, ezen készítette nagyszámú, kitűnő fényképfelvételeit a Napról, Holdról, csillaghalmazokról valamint a Nap színeképéről, egymáshoz nagyon közel levő kettőscsillagokról. Az ő fényképei már oly tökéletességet értek el, hogy mikrometrikus kimérésre is alkalmasak voltak. 1890-ben műszereit és összes fényképfelvételeit az újonnan alapított newyorki Columbia egyetem csillagdájának ajándékozta, hol a felvételek kimérését végezték.

Igazi diadalútját a csillagászati fényképezés a száraz zsélatinemulziós lemeznek *Dr. Maddox R. L.* által 1871-ben történt feltalálásával kezdte. A lemezek érzékenységének folytonos fokozása, a fényérzékeny réteg szemcsészettségének lehető legnagyobb mértékben való megszüntetése az asztrofotografiának két főkövetelménye, melyet a száraz lemez tett lehetővé. A lemeznek az emberi szem fölött az az előnye, hogy a másodperc kicsiny törtrésze alatt már tökéletes képet tud rögzíteni, ha a fényforrás fénye eléggé erős, másrészt hosszú kinntartással olyan igen gyöngé fényerejű égitestekről is kaphatunk képet, melyeket az emberi szem másképen sohasem észlelhetne. A kinntartást a szükségeshez képest tetszés szerint lehet meghosszabbítani, mert a lemez nem fárad el. Az asztrofotografiának az újabb időkben elért nagy sikerei és eredményei a lemezek ezen a két tulajdonságán alapulnak. Igaz, hogy a fényképező lemez másképpen lát, mint az emberi szem, mert még az utóbbi inkább a színekép vörös felé eső részének sugarai iránt érzékeny, addig a fotografikus lemez a színekép ibolya és ultraibolya sugaraira reagál, tehát olyasmit is lefényképezhet, ami az emberi szem számára láthatatlan. Azonban ma már különféle eljárásokkal a lemezt a vörös és infravörös sugarak iránt is érzékennyé tehetjük.

Nagy fontosságú a csillagok fizikájának kutatásában a csillagszínkép fotografálása. Az ezen a téren elért eredményeket főleg annak köszönhetjük, hogy a csillagszínképeket más mesterséges színképekkel együtt tudjuk lefényképezni és utólag kényelmesen

kimérni és más spektrumokkal összehasonlítani. Az első csillagspektrumot — a Vegáét (α Lyrae) — az amerikai *Draper Henry* fotografálta 1871-ben. De lehetséges, hogy már 1863-ban *Huggins* és *Millernek* sikerült csillagszínképet fotografálni, kik az említett év óta a Hold és a bolygók valamint a fényesebb csillagok színképeinek fotografálásával foglalkoztak. *Draper H.* (1837—1882) orvos volt és 1861 óta a new-yorki egyetemen a physiológia és az analitikai kémia tanára. 1858-ban 40 cm-es fotografiai távcsövet szerkesztett, mellyel 130 cm átmérőjű Hold-fényképeket készített. *Sir William Huggins* (szül. 1824 Londonban) 1855-ben Upper Tulse Hillben csillagdat építtetett, melyen eleinte kettőscsillagok és a bolygók észlelésével foglalkozott. 1862-ben kezdett asztrospektroszkópiával foglalkozni. Előbb 26 kémiai elem színképét tanulmányozta és lerajzolta, majd — *Millerrel* együtt — 50-nél több csillag színképét észlelte és azokat a földi kémiai elemek színképével összehasonlította. Ő volt, ki az első üstökös-színképet fotografálta 1881-ben (az 1881 *b* üstökösét). 1900-ban adta ki feleségével együtt az „Atlas of representative stellar spectra” című művét.

Az első spektroszkópiai kettőscsillagot a Mizart (ζ Ursae Maioris) 1887 március 29-én *Miss Maury* fényképezte, ki a spektrogrammon a *K*-vonal és néhány más színképvonal megkettőződését észrevette.

Hazánkban *Gothard Jenő* foglalkozott kiváló sikerrel a csillagászati fotografiával herényi obszervatóriumán, mely 1881-ben épült. 26 cm-es teleszkópjával készítette *Gothard J.* kitűnő fényképeit ködök és csillagok színképeiről. Ő fedezte fel ennek a műszernek a segítségével 1886-ban fotografikus úton a Lyra gyűrűs kódének centrális csillagát, melyet vizuális úton csak egy évvel későbbben tudtak igazolni a bécsi csillagda 68 cm-es és a Washingtoni csillagda 66 cm-es refraktorával. *Gothardnak* ezzel a nagyjelentőségű felfedezésével az asztrofotografiának bizonyos értelemben való fölénye beigazolódott. Nyilvánvalóan a lemeznek fönnebb említett az a tulajdonsága játszik itt nagy szerepet, hogy gyenge fényhatásokat hosszú kinntartás által képes rögzíteni.

Gothard Jenő (1857—1909) Herényben született. A szombathelyi gimnázium elvégzése után a bécsi műegyetemen gépészmérnöki oklevelet nyert. Herény-

ben előbb fizikai laboratóriumot rendezett. Már említett asztrofizikai obszervatóriumát *Konkoly-Thege Miklós* világszerte ismert jeles asztrofizikusnak befolyására építtette, amelyen később majdnem kizárólag asztrofotografiával foglalkozott, amely téren a tudományos világban nagy elismerést aratott és a csillagászati megfigyelésnek ezt az ágát nagy tökélyre emelte. *Vogel H. C.* kiváló német asztrofizikus a legnagyobb elismeréssel adózott *Gothard* érdemeinek, kinek ködfelvételeiről külön tanulmányt írt,¹ és azokat ki is mérte. *Gothard* főműszere 26 cm-es *Newton*-rendszerű tükörteleszkóp volt, melyre 11'4 cm-es vezetőtávcsövet szerelt. Ezzel az aránylag szerényméretű műszerrel nyerte *Gothard* az ő páratlan tökéletességű fényképeit még oly égitestekről is, melyeket csak a Lick-csillagda nagy 91 cm-es távcsövén lehetett akkoriban vizuálisan észlelni. Első üstökös-felvétele az 1886 IX. üstököséről készült, melyet később több felvétel követett. Hullócsillagokról is sikerült felvételt készítenie, ami meglehetősen ritkaságszámbá megy.

Nagy haladást jelentett, mikor *Gothard* 4 órai kinn-tartással az 1892. I. üstökös színeképét lefotografálta. Erről a spektrogrammról sikerült *Gothard*-nak kimutatni, hogy az üstökös-színkép jellemző szalagjai a szénhidrogének égési spektrumának szalagjaival azonosak. Legfontosabb fölfedezése az 1892 január havában feltűnt *Nova Aurigae* spektrumára vonatkozik, mely alkalommal először próbálta ki az objektív-prizmát ily célokra. Az új csillag színképében észlelt 7 fővonal hullámhosszáról és viszonylagos helyzetéről kimutatta, hogy pontosan egyezik a planetáris ködök megfelelő vonalaival. Vizsgálatai a szakkörök teljes elismerésével találkoztak, éppenúgy, mint az 1901-ben feltűnt *Nova Persei* színképében végbement feltűnő változásokról szóló eredményei. Azóta a csillagászati fotográfia folyton tökéletesedett. Külön nagy távcsöveket szerkesztettek fotográfiai célokra, melyeknél a fényképező távcsövel párhuzamosan ú. n. vezetőtávcső van szerelve. Az ebben levő fonálkereszt segítségével a távcsövet valamely csillagra

¹ *Vogel H. C.* Über die Bedeutung der Photographie zur Beobachtung von Nebelflecken, *Astron. Nachrichten*, 119. kötet.

nagy pontossággal lehet beállítani. Elektromos hajtószerkezet a műszert a Föld forgásával ellentett irányban forgatja, úgyhogy állandóan az ég ugyanazon pontja felé marad irányítva. A vezető vizuális távcső arra szolgál, hogy ezt a beállítást pontosan lehessen ellenőrizni, és ha kell, korrigálni. Ha igen hosszú kinntartás szükséges, mint pl. a távoli fénygyöngé spirális ködök fotografálásánál, úgy a fotografálást meg lehet szakítani, a hajtó óramű a műszert tovább forgatja és a kitűzött irányban megtartja. Kellő időben a kinntartást folytatni lehet.

A lemezek emulziójának tökéletesítésén is folyton fáradoznak. Amerikában külön nagy laboratóriumokban folynak az erre vonatkozó kísérletek és vizsgálatok. Nem kímélnék semmi költséget, hogy pl. a Mount Wilson obszervatórium csillagászainak minél tökéletesebb lemezeket bocsássonak rendelkezésükre. Az emulzió szemcsézettségének lehető kiküszöbölése, különböző színek iránti érzékenységének fokozása, az egész fotográfiai technika tökéletesítése e fáradozásoknak célja. Eredménye pedig azok a nagyszerű felfedezések, melyekkel az amerikai hatalmas obszervatóriumok kitűnő csillagászai a világegyetemről való ismereteinket már eddig is gazdagították. *Barnard, Shapley, Humason, Hubble* és számosan mások fáradhatatlan munkásságukkal régibb nézeteinket pl. a Tejútrendszer kiterjedéséről, a távoli galaxisokról, csillaghalmazokról, spirális ködökről stb. teljesen átalakították. Csak a fotográfia segítségével volt lehetséges 150 millió fényévnyi távolságba behatolni a csillagok régióiba, pillanat törtrésze alatt megrögzíteni a távcső látómezejében levő csillagok ezreinek pontos helyét, azt mintegy konzerválni és lehetővé tenni későbbi fényképek összehasonlítása által mozgásuknak, távolságuknak, színeképüknek tanulmányozását. A csillagszíneképek fotografálására külön erre a célra szerkesztett ú. n. spektrográfok szolgálnak. Ezekkel a csillag színeképevel együtt más mesterséges fényforrás spektrumát is lehet lefényképezni és így a két színekép vonalait összehasonlítani és kimérni. Majdnem azt mondhatjuk, hogy a csillagok fizikai és kémiai alkatáról való ismereteinket csakis az asztrofotográfiának köszönhetjük.

Ugyancsak megbecsülhetetlen szolgálatokat tesz a fotográfia a változó csillagok annyira érdekes és fon-

tos tanulmányozásánál, mely ma már szinte kizárólag ezen az úton történik. A Hold felületéről, annak egyes részéről másodpercek alatt részletes és pontos képet kaptunk, milyent azelőtt hosszantartó vizuális észleléssel és fáradságos rajzolással még megközelítőleg sem tudtak készíteni, nem is szólva arról, hogy a fotográfia az emberi szem egyéni tökéletlenségeit teljesen kiküszöböli és a konkrét valóság meg nem veszíthető tanujaként áll a tudomány szolgálatába. A Nap felületén lejátszódó tűnemények fotográfiai tanulmányozását az tette lehetővé, hogy a másodperc elnyésző kicsiny törtrésze alatt lehet fölvételeket készíteni. Ami behatőbb részleteket a napfoltokról, protuberanciákról, a koronáról stb. tudunk, az mind a fotográfiának köszönhető. Ma már pl. a protuberanciákról mozgó fényképfelvételeket is tudunk készíteni, melyek mélyebb betekintést fognak engedni ezeknek a nagyszerű természeti tűneményeknek fizikájába.

Bizonyos, hogy az asztrofotográfia állandóan fejlődni és tökéletesedni fog és még számos új, eddig ismeretlen eredménnyel fogja gazdagítani az asztrofizika nagyjelentőségű, szép tudományát; a matematikai csillagászzal együtt csakugyan az emberi szellem egyik legnagyobbyszerű megnyilvánulása és vívmánya, amit ez a két diszciplína eddig is alkotott. Ha *Adams* és *Leverrier* íróasztalukon előre kiszámították a Neptunus bolygót, vagy ha *Hubble* és *Humason* a sokmilliónyi fényév távolságban rohanó ködfoltok sebességét mérik meg, egyaránt a legmagasabbrendű szellemi teljesítmények közé kell sorolnunk munkájuk eredményeit.

III.

A Saturnus-gyűrűk.

A Saturnus-gyűrűkről bizonyára mindenki hallott. De aki valóban láthatta a bolygó körül szabadon lebegő gyűrűrendszert, ha csak kisebb távcsövön át is, az többé sohasem fogja elfelejteni a lenyűgöző látvány hatását. *Galilei* 1610-ben az ő kezdetleges kis távcsövével először vette észre, hogy a Saturnus korongján kétoldalt valami fogantyúféle függelék mutatkozik. Ő ezen fölötté meglepődött, mert nem tudta mire magyarázni, s azonfelül két év múlva ezek a fogantyúk eltűntek és néhány év múlva váltak ismét láthatóvá. A rejtély közel ötven évig maradt megoldatlanul, míg végre 1655-ben *Huyghens* a nagynevű fizikus fölismerte azt, hogy Saturnus bolygót szabadon lebegő vékony gyűrű veszi körül. 1665-ben *Ball*, kevésbé utóbb pedig *D. Cassini* és *Maraldi* észrevették, hogy a gyűrűn sötét, éles koncentrikus körvonal húzódik végig, és helyesen fölismerték, hogy ez a vonal a gyűrűt tulajdonképpen két külön gyűrűre osztja. 1850-ben *Bond* és *Dawes* még egy harmadik, legbelsőbb, sötét gyűrűt fedeztek föl, mely a fényesebb résztől nincsen élesen elválasztva.

Fölfedeztetésük óta a csillagászok érdeklődése állandóan e sajátos és naprendszerünkben páratlan jelenség felé fordult. Természetes, hogy a gondolkozó laikusokat és a kutató tudósokat egyaránt főképpen az a kérdés foglalkoztatta, hogy mi lehet ez a gyűrű, milyen anyagból áll, és hogy lehet az, hogy a bolygó körül szabadon lebeg. Az a mód, ahogyan ezekre a kérdésekre feleletet adni sikerült, a tudományok történetének egyik legérdekesebb fejezete.

Lowell újabb mérései szerint a Saturnus bolygó átmérője 115.100 km, a Föld átmérőjének kereken 9-szerese. A külső gyűrű külső átmérője 275.000 km,

szélessége 16.080 km. A *Cassini*-féle köz szélessége 4800 km; a belső fényesebb gyűrű szélessége 25.700 km, tehát jóval szélesebb mint a külső, kevésbé fényes gyűrű. A harmadik legbelső sötét gyűrűt 1600 km széles köz választja el a második gyűrűtől; szélessége 18.500 km, úgyhogy a gyűrű teljes szélessége 66.700 km-t tesz ki. A legbelső gyűrű belső pereme a bolygó felületétől 11.260 km-nyi távolságra van. A külső gyűrűn némelykor keskeny sötét vonalat lehet látni, melyet *Encke*-féle köznek neveznek. Eddig még nem sikerült a gyűrűn olyan sötét támpontokat találni, melyek révén a gyűrű keringésidejét lehetett volna megmérni. A gyűrű vastagsága *Lowell* szerint mintegy 20 km, tehát méreteihez viszonyítva nagyon csekély. Ezel magyarázható, hogy a gyűrű bizonyos időközökben láthatatlanná válik, olyankor t. i., mikor a gyűrű síkja a földet metszi és így éléről látjuk; ez minden évben egyszer, két vagy háromszor is előfordul.

Saturnus kereken 30 év alatt végzi keringését a Nap körül. Így kétszer, 15—15 évnyi időközben, a gyűrű síkja merőlegesen áll a földhöz vont irányra. Ilyenkor látszik legszélesebbnek, olyan ellipszis formájúnak, melynek kis tengelye a nagy tengely 0.47 -ad része. A gyűrű síkja a bolygó ekvátorsíkjával egybeesik, és a bolygó Nap-körüli útjában párhuzamos marad önmagához. A Föld a gyűrű síkja fölé legföljebb 27° -nyira emelkedik, ezért az előbb említett ellipszis alak. Eltűnése idején kedvező körülmények között finom tű-alakban észlelhető a gyűrű erős távcsővel. *Galilei* idejében is 1612-ben volt ilyen eltűnés, melyet akkor nem lehetett még megmagyarázni.

Laplace volt az első, aki rámutatott arra, hogy mily nehéz mechanikai alapon megmagyarázni a Saturnus-gyűrűk állandóságát. Kimutatta, hogy ha a gyűrűk szilárdak és teljesen egynemű anyagból valók volnának, akkor szabályos alakjukat nem tarthatnák meg, nem maradhatnának a bolygó körül stabilis egyensúlyban. A legcsekélyebb külső erő megbolygatná az egyensúlyt és a gyűrű darabokra szakadva hullana a bolygóra. Ellenben fennmaradhatna a gyűrű, ha alakja szabálytalan lenne. *Maxwell* azután 1857-ben kimutatta, hogy a gyűrű valamely pontján a homogén és szabályos gyűrű tömegénél négy és félszer akkora tömeget kelene összehalmazni, hogy a

szilárd anyagból állónak képzelt gyűrű stabilis lehessen.

Azonban ekkora szabálytalanságot nem lehet a gyűrűn észlelni. Azonkívül *Maxwell* szerint ily méretű acélgyűrű nemcsak képlékennyé, hanem félig folyóssá válnék a rá ható erők hatása alatt. De azt is ki lehet mutatni, hogy a gyűrű folyadékból sem állhat. *Maxwell* azután azt a föltevést vizsgálta, hogy a gyűrű számtalan apró szilárd testecskéből áll, melyek mind külön-külön, mint megannyi parányi holdcskák *Kepler* törvényei szerint keringenek a *Saturnus* körül. Ha ezek a testecskék nem túlságos nagyok, akkor mozgásuk a bolygó körül zavartalanul mehet végbe, s a gyűrű fennmaradása, stabilitása biztosítva van. *Maxwell* szerint tehát a gyűrű nem egy darabban mozog, hanem milliárdnyi apró részecskéi külön-külön írják le pályáikat. *Kepler* törvényei alapján a belső részeknek gyorsabban kell keringeniök mint a külsőknek. Ha szilárd lenne a gyűrű és egy darabban mozogna, akkor ellenkezőleg a külső részeknek sebesége lenne nagyobb. Hogy a gyűrű ilyen kis különálló testecskékből áll, azt már az említett *D. Cassini* gondolta.

Az elmélet tehát nagyon valószínűvé tette a *Cassini-Maxwell*-féle föltevést. S azt, hogy csakugyan egyezik a valósággal, két teljesen különböző úton sikerült megfigyelések alapján kimutatni. Az egyik módszer amely bizonyítja, hogy a *Saturnus*-gyűrűk kis részecskékből, mondjuk porból állanak, tisztán fotometriai, tehát a fényerősség mérésén alapszik és *Seeligertől* származik. Eszmemenete röviden ez: A gyűrűt alkotó kis testecskéket a Nap világítja meg és mi a Földről szemléljük. Ezek a testecskék egyrészt árnyékot vetnek egymásra, másrészt pedig részben eltakarják egymást s e két körülmény az összfényesség csökkenését vonja maga után. A beárnyékolts és eltakart részek általában különböznek egymástól, de egybeesnek, ha a Nap, Föld és *Saturnus* egyvonalban foglalnak helyet. Ilyenkor árnyékot nem lehet látni, mert az árnyékot az előtte levő megvilágított test eltakarja. De mennél inkább távolodik a *Saturnus* a Napon és a Földön átmenő egyenestől, annál jobban válnak láthatóvá az árnyékok. Ebből következik, hogy a gyűrűnek oppozíció vagy szembenállás alkalmával kell a legfényesebbnek lennie. *Müllernek* Potsdamban 14

éven át folytatott mérései a legteljesebb mértékben megerősítették *Seeliger*nek ezt az elméletét, 60 nappal az oppozíció után vagy előtte a gyűrű fényessége már csak 80 százaléka az oppozícióbeli fényességnek.

Más direkt észlelések is igazolják *Seeliger* elméletét. Így a sötét legbelső gyűrű átlátszósága csak ilyen módon magyarázható. 1889-ben *Barnard* Saturnusnak *Japetus* nevű holdját akkor észlelte, mikor a rendszer árnyékán átvonult. A bolygó és a fényes gyűrű árnyékában a hold teljesen láthatatlanná vált, de látható maradt — a normálisnál gyöngébb fénnel — mikor a sötét gyűrű árnyékába került. A középső gyűrű albedója közel ugyanaz mint a bolygóé, azért ott a részecskék sűrűbben vannak elhelyezve. A külső gyöngébbfényű gyűrű átlátszó; ezt mutatja *Ainslie* és *Knight* megfigyelése, kik 1917-ben egy hetedrendű csillagot láttak a külső gyűrűn keresztül. A két külső gyűrűben a szilárd részecskék *Seeliger* szerint az ösztérfogatnak csak egy tizenhatodrészét foglalják el. *Schönberg* újabban ezt a törtrészt még kisebbnek veszi és azt gondolja, hogy a testecskék között sok nagyon finom porszerű anyag van szétszórva.

Másik bizonyíték a spektroszkópiai s a *Doppler*—*Fizeau*-féle elvnek egyik legérdekesebb alkalmazása. *Keeler* 1895-ben az *Allegheny*-obszervatórium 32 $\frac{1}{2}$ cm-es teleszkópjára alkalmazott spektrográffal lefotografálta Saturnus-színképét úgy, hogy a műszer rését a gyűrű látszó ellipszisének nagytengelye mentén helyezte. Kétórai kinntartás után a Hold-színképét fotografálta a Saturnus-színkép mindkét oldalára összehasonlítás céljából. A fény mindkét esetben a Nap visszavert fénye, de a Saturnus esetében eléggé gyorsan forgó rendszerrel van dolgunk, míg a Hold hozzánk viszanyítva — nagy közelítéssel — nem végez tengelykörüli forgást.

Ha a *Cassini-Maxwell*-féle föltevés igaz, a bolygó testétől és a gyűrűktől származó színképvonalaknak az említett elv alapján más és más eltolódást kell mutatniok, amelyekből a sebességet ki lehet számítani. *Keeler* az ő spektrogrammján a következőket észlelte: A bolygótól származó vonalak erősen hajlottak a bolygó forgása következtében, de a színképnek a gyűrűtől származó vonalai nem követik amazoknak az irányát, hanem ezekhez képest ellenkező irányban látszanak elhajolni. Ennélfogva e vonalak

külső végei kevésbé vannak eltolva mint belső végeik. De tudjuk, hogyha a gyűrű mint egész test forogna, akkor a külső perem sebességének nagyobbak kellene lennie a belső perem sebességénél és ennél fogva e vonalak hajlásának ugyanolyannak kellene lennie, mint a bolygótól származó vonalaknál. Ha ellenben a gyűrű számtalan apró holdocskából áll, akkor a belső gyűrűperem sebessége a nagyobb, és a színekben a gyűrűtől származó vonalak hajlásának ellenkezőnek kell lennie. A színekép fotográfiája tehát közvetlenül bizonyítja az utóbbi föltevés helyességét.

Keeler első észlelését közvetlenül nyomon követték *Belopolsky*, *Deslandres* és *Campbell*, valamint újabban *Slipher* hasonló megfigyelései. Keeler színeképei nagyon kicsinyek, minthogy a rendelkezésére álló mérszer méretei is szerények voltak. Ezért ő nem is mérhette meg a gyűrű vonalainak hajlását. Ez *Campbell*-nek sikerült, ki a *Lick*-obszervatórium hatalmas teleszkópján a *Mills*-féle spektrogáffal eszközölte felvételeit.

Számítás szerint a gyűrű egyik belső részecskéjének sebessége 3'87 km-rel haladja túl egy külső részecske sebességét. *Campbell* és mások mérései a színekp-vonalakon ezt teljes mértékben igazolták, amint igazolták a Saturnus forgási idejét is, melyet *Hall* a bolygón látható foltokból állapított meg nagy pontossággal. Még hozzáteszük, hogy a bolygónak a gyűrűre vetett árnyékából, és abból, hogy a belső sötét gyűrűn keresztül a bolygót fénytörés nélkül lehet látni, az következik, hogy a gyűrű nem lehet gázalakú.

Mit jelent a gyűrűn észlelhető *Cassini*- és *Encke*-féle köz? *Kirkwood* azt gondolja, hogy a Saturnus holdjainak zavaró, perturbáló hatásából erednek, amik akkor jönnek létre, ha valamely gyűrűbeli testecske keringésideje kis egészszámnak megfelelő törtrésze valamelyik belső Saturnus-hold keringésidejének. Így pl. a *Mimas* nevű hold, mely a Saturnushoz legközelebb van, erősebb perturbációkat idézhet elő oly részében a gyűrűnek, melyben a részecskék keringés-ideje a holdénak fele, *Enceladus* és *Tethys* $\frac{1}{3}$ és $\frac{1}{4}$ keringésidejükkel bíró részecskék pályáját zavarják. Ezeknek megfelelő távolságok mind a *Cassini*-féle közbe esnek, ahol részecskék nincsenek jelen. Hasonló jelenséget tapasztalunk a kisbolygóknál, hol Jupiter idéz elő kisbolygótól mentes közöket.

1850-ben *Roche* bebizonyította, hogyha valamely bolygó holdja távolabb van, mint a bolygó félátmérő-jének 2'44-szerese, akkor erre a holdra, ha folyékony anyagból áll, csak alakbeli elváltozásokat előidéző árkeltő erő hat; de ha közelebb kerülne a bolygóhoz, akkor az árkeltő erő oly nagy, hogy a holdat darabokra szakítja. *Mimas*, a *Saturnus* legbelsőbb holdja, 3'11-szer oly messze van a *Saturnus* középpontjától, mint amennyi a bolygó félátmérője, tehát kívül esik a *Roche*-féle határon. A gyűrű külső pereme azonban 2'3 félátmérőnyire van a *Saturnus* középpontjától, és így az egész gyűrű a *Roche*-féle határon belül esik. Ha tehát a gyűrű külön kis részecskékből áll, úgy ezek sohasem egyesülhetnek valamilyen összefüggő egészet alkotó holddó, vagy az is lehetséges, hogy valamely égitest a *Roche*-féle határon belül került a *Saturnus* közelébe és darabokra szakadt, melyek most stabilisan keringenek a bolygó körül. A *Cassini-Maxwell*-féle feltevésnek ez is egyik elméleti igazolása.

IV.

A naptár, az időmérés és a csillagászat.

„Eheu fugaces, Postume, Postume,
Labuntur omni.“

Horatius, Od. II. 14. 1—2.

Nem kevés modern ember van, ki az elektromosságról alig tud többet, mint hogy a villamos csengetyű megszólaltatásához egy gombot kell megnyomni és a lámpa meggyújtásához a konnektoron kell valamit megcsavarni. Amint egyik jeles francia író definiálta a modern embert: *l'homme moderne est un presseur de boutons et un tourneur de robinets*, vagyis a modern ember gombnyomó és vízcsapcsavaró valami. Ez nem is lehet másképp; mert végtelenül bölcsen van elrendezve, hogy az emberek érdeklődési körei sokfélék és különbözők, és nem is mindenki dolga, hogy az elektromosság rejtelseivel foglalkozzék. Az eset hasonló az óránál és a naptárnál. Egyiket sem tudjuk nélkülözni, naponként számtalanszor használjuk, egész életberendezésünket ezek szabályozzák, mégis alig tudunk róluk többet, mint ami rendeltetésüknél fogva amúgy is mindenki előtt ismeretes. Így tehát talán nem lesz érdektelen, ha elmondjuk, mi köze van a csillagászatnak az órához meg a naptárhoz. Mert szögezzük le mindjárt: mind a kettő valójában csillagászati eszköz.

A naptárt és a pontos időt csillagászok állapítják meg. Az elsőt egyes nagy államoktól fenntartott tudományos, ú. n. számoló-intézetekben, a másikat nagyobb obszervatóriumokban, csillagdákon. A naptárkészítők a csillagászati hivatalosan kiadott évkönyvekből veszik a nagyközönséget érdeklő adatokat, a csillagdák pedig néhány nagy rádióleadó állomással közlik a csillagászatilag pontosan meghatározott időt, melyet ezek azután minden rádióhallgató számára hozzáférhetővé tesznek. A nyilvános órákat is a rádió bemon-

dása alapján szabályozzák. A csillagászati évkönyvekben közölt adatokért természetesen a számoló-intézetek felelősek. A legnevezetesebb ilyen évkönyvek a francia *Connaissance des Temps*, mely 1679 óta megszakítás nélkül jelenik meg és mindig 2—3 évvel előre kiszámítva közli a tudományos megfigyelő csillagászatot érintő számtalan pontos adatot; továbbá az angol *Nautical Almanac*, a német *Berliner Astronomisches Jahrbuch* és az amerikai *American Ephemeris*. A *Jahrbuch* alapján készült a német *Normalkalender*, mely a számos naptárkészítő céljait szolgálja.

A pontos időért a csillagda felel, mely azt a rádióleadóval közli. A párisi *Observatoire* 1910-ben kezdte a pontos időt az Eiffel-tornyon levő leadóval szét-sugároztatni. 1919-ben nemzetközileg rendezték a pontos idő kérdését és erre a célra alapították a *Bureau international de l'Heure-t* (B. I. H.). Ennek a nemzetközi hivatalnak órája szinkronizálva van az *Observatoire* főórájával, mellyel minden másodnap összehasonlítják elektromos jelek segítségével. Az *Observatoire* főóráját viszont a meridiántávcsövön észlelt csillagátmenetekkel őrzik ellen a legszigorúbb pontossággal. A B. I. H. időjeleinek átlagos eltérése v. hibája nem nagyobb $\frac{3}{100}$ -rész másodpercnél. A csillagászati pontos időtől való eltérésüket utólag kiszámítják és egy kéthavonként megjelenő bulletinben közzéteszik.

Nincs itt helyünk, hogy a csillagok meridiánátmenetének megfigyelését részletezzük, hogy az észlelő csillagász milyen minuciózus gonddal vizsgálja meg minden észlelés-sorozat előtt műszerének esetleges hibáit, hogyan számítja ki azután azt a pontos időt, melyet a főórának mutatnia kellene, ha nem volna csak emberi alkotás. Csak azt jegyezzük meg, hogy ezek a számítások a szferikus v. gömbi csillagászat formuláin alapszanak. A pontosság és az ellenőrzés biztonsága céljából több, fölötte pontos ingaóra működik légmentesen elzárt üveghengerekben, melyekben a légnyomás és a hőmérséklet állandóan ugyanaz. E két tényezőnek változása az óra járását befolyásolja, s ezért kell ezt a zavaró hatásukat minimumra csökkenteni. A meridiántávcső okulárjában több finom fonál van elhelyezve s a csillagász megfigyeli, hogy valamely csillag mikor halad át az egyes fonalakon. Az időpillanatot elektromos kronográffal

szalagra rögzítik s később erről leolvassák. Láthatjuk ebből, hogy a csillagász lelkiismeretessége milyen messzemenő, némelyek szerint talán túlzott is, mikor a másodpercnek csak alig század- vagy ezredrészéről van szó. De az asztronómia vizsgálatai évszázadokra vagy évezredekre terjednek és ennyi hosszú idő alatt a kicsiny hibák órákra, napokra, sőt évekre növekedhetnek, amint ez a naptár kérdésénél fog kitűnni.

Úgy az ingaórát, mint a finom rúgótól szabályozott órát Chr. Huyghens, a nagynevű csillagász és fizikus találta fel 1657-ben. Az óra főalkotórésze az inga, ill. zsebórákban a finom hajszálrúgó. Erről írta Huyghens híres „*Horologium oscillatorium*” című művét, mely ma is érdekes és értékes olvasmány. A technika azóta rendkívüli módon tökéletesítette ezeket az időmérő eszközöket egészen a legújabb kvarcórákig, melyekben piezoelektromos kvarclemmez szolgál időmérőként. Az elmondottakból kitűnik, hogy az óra a csillagásznak éppen olyan fontos műszere, mint a távcső. Különösen a nagyvárosi közönség ma már nagyobb pontosságot követel zsebóráitól is, melyeket másodpercre ellenőriz, hol erre alkalma van, mint pl. Párisban az Observatoire-nál vagy a Sorbonne-nál, vagy mint volt nálunk is a Múzeum-körúton, ahol 1911-ben e sorok írója állított fel egy szinkronizált, másodpercet mutató utcai ingaórát, melyet a közönség igen méltányolt. A főváros ostroma óta ezt az órát sérülései miatt működésen kívül kellett helyezni.

A régi Róma fórumán egy Görögországból hozott napóra volt felállítva, egy scaphium, félgömbalakúlag kivájt kő, melybe az égi sark felé irányuló mutató, a polosz volt leerősítve és az órák durva vonalakkal voltak jelezve. Az akkori embernek az időről még nem volt oly kifinomított fogalma, mint nekünk. Az ő szükségleteinek teljesen megfelelt a fórumi napóra. A jól számított és felállított napóra a valódi napidőt mutatja; amint egy vidéki kastélyunk napórájának felírása joggal mondja: „*Dei omnipotentis horas monstro*” — a mindenható Isten óráit mutatom. A napóra akkor mutatja a valódi delet, mikor a Nap annak a helynek meridiánján tényleg átmegy. Ez Keleten előbb, Nyugat felé mindinkább későbbben következik be; pl. Budapesten kereken 10 perc 40 másodperccel későbbben van valódi dél, mint Debrecenben, mert ennyivel későbbben delel a Nap itt Budapesten, mint

Debrecenben. De a mi helyesen beállított rendes óráink mind a két helyen, sőt egész Magyarországon egyszerre mutatnak delet, amint a rádiójeleket is az egész országban ugyanabban a pillanatban halljuk.

Óráink nem mutatják a valódi napidőt, hanem az ú. n. középidőt. A Nap nem egyforma időközökben delel. Decemberben két delelés között hosszabb idő telik el, mint szeptemberben. Ez azért van, mert *Kepler* második törvénye szerint a Föld nem egyenletes sebességgel kering a Nap körül. Nem is tudnánk olyan órát készíteni, mely a Nap egyenlőtlen járását követve, a napórákkal egyező időt mutatná. Az időmérés azonban csak egyenletes mérték alapján történhetik. Ezért alkották meg a csillagászok a változatlan hosszúságú középnapot, mely a különböző hosszúságú nap-napok átlaga v. közepese. Ennek óráit, az ú. n. középidőt mutatják a mi mechanikus óraszerkezeteink. De az ilyen jól beállított óra is, ha Debrecenben a valódi délben 12-t mutat, akkor Budapestre hozva, a budapesti (napóra szerinti) valódi délben már 12 óra 10 perc 40 másodpercet mutatna.

Nemzetközi közlekedési és más szempontok szükségessé tették az egységes idő bevezetését, mely 15 hosszúsági fokonként a greenwichi középidőhöz mindig egy órával nő vagy csökken. Pl. nálunk és egész Közép-Európában az ú. n. középeurópai idő használatos, mely szerint mikor nálunk dél van, Greenwichben még csak 11 óra délelőtt van. Az ú. n. keleteurópai idő a greenwichihez képest 2 órával van előre, a nyugateurópai idő pedig a greenwichivel azonos.

Sebtiben elmondtunk egyet-mást az órákról és az időmérésről, s az olvasó talán nagyobb érdeklődéssel fogja ezután nézni azt a finom mechanizmust, melyben a mai fejlett óratechnika a legnagyobb precizitást a szép külső alakkal tudja egyesíteni.

Minden 24 óra elteltével azt mondjuk, hogy egy nap múlt el. A nap természetes időtartam, mely amint láttuk, a Nap szabályos delelése által van meghatározva. Azonban a 24 órára való osztás tisztán emberi intézmény, mert lehetett volna másképen is felosztani.

A napok egymásutánja során váltakozva következnek az évszakok, amelyekről azt tapasztaljuk, hogy egy évnek nevezett szabályos időtartam után ugyanabban a sorrendben ismétlődnek, a történelem tanu-

sága szerint már évezredek óta. Az év tehát ismét egy természetszabta időtartam, melyet önkényesen 12 kisebb részre, hónapra osztottak. Az egy évben foglalt napokról, hónapokról számol be nekünk a naptár. A naptár olyan régi, mint az emberi kultúra és a legrégibb csillagászati ismeretek. Mind az egyházi, mind a polgári naptár valójában a csillagászati legfeltűnőbb jelenségeken alapszik, a Nap és a Hold évezredek óta szabályosan ismétlődő járásán. Semmiféle művelt nép nem vonhatta ki magát az említett csillagászati jelenségek hatása alól, és a naptárak története együtt halad a művelődés történetével és a tudomány fejlődésével.

Főnnebb láttuk, hogy az időmérés egysége a mindig egyforma hosszú középnap. 365 ilyen középnap kitesz egy ú. n. közönséges évet. De van ú. n. szökőév is, még pedig minden negyedik évben. Miért van ez és mi hát valójában „egy év”? A Nap középpontja évenként kétszer megy át az egyenlítőn: március 21-én, mikor a déli félgömbről az északra lép át, és szeptember 23-án, mikor az északi félgömből a délre kerül vissza. A márciusi átmenetkor azt mondjuk, hogy a Nap tavaszpontban van. Két tavaszpont közti idő az ú. n. trópusi év, mely az évszakokat és ezzel az egész emberi életet szabályozza. Ha a Föld csak maga egyedül keringene a Nap körül, úgy a trópusi év mindig pontosan egyforma hosszúságú lenne. De a Nap körül keringő többi nyolc bolygó és a Hold a Newton-féle gravitációs törvény alapján zavarólag hatnak a Föld mozgására, perturbációkat idéznek elő, amint az asztronomusok szokták mondani, minek következtében az egyes trópusi évek nem pontosan egyenlő időtartamuak. De az átlagos v. közepes évtartam nagymértékben állandó, amiért hosszú évszadzadokon át a trópusi év közepes értékét vesszük a naptári év egységéül. Newcomb szerint jelenleg évszázadonként 0.53 mperccel csökken a tartama. $1900\text{-ban a trópusi év hossza } 365^{\circ}24219879 \text{ középnap} = 365 \text{ nap, } 5 \text{ óra, } 48 \text{ perc és } 45^{\circ}975 \text{ mperc.}$

Már ebből is kitűnik, hogy az év tartama és a nap hossza nem összemérhető, hanem inkommenzurábilisok, hányadosuk nem egész szám. De az életben természetszerűen csak egész számú napokból álló évekkel számolhatunk. Ha tehát az évet a tavaszponthoz képest akarjuk rögzíteni, amint az évszakok miatt

ésszerűen kell is, úgy már eleve láthatjuk, hogy a naptári, egészszámú napokból álló évhez csak úgy juthatunk, ha a 365 napon felüli többletet időnként egy egész nappá egyesítjük, vagyis a 365 napos közönséges éven kívül pl. négyévenként egy 366 napból álló évet iktatunk közbe, az ú. n. szökőévet.

Még meg kell említenünk egy másik önkényes időtartamot, a hetet. A hét ősrégi intézmény. Eredetét itt nem kutatjuk. Nagy jelentősége *Delambre* szerint abban van, hogy minden más csillagászati periódustól és történeéstől teljesen független, változatlan egészszámú napból álló időszak, mely már több mint 2000 év óta megszakítás nélkül használatos.

Ősrégi idők óta, talán már a Kr. előtti 5-ik, de biztosan a 3-ik évezredtől kezdve az egyiptomiak éve tizenkét 30 napos hónapból állott, melyekhez évenként öt toldaléknapot, ú. n. epagomenákat csatoltak, úgyhogy az év 365 napból állott. Minthogy 1506 egyiptomi év igen közel 1505 tropikus évet tesz ki, ezért a naptári évszakok fokozatosan hátráltak ez alatt az idő alatt, míg a tropikus évben elfoglalt eredeti helyükhöz ismét visszakerültek. A természetes év hosszát az egyiptomiak a Sirius héliakus fölkelésének megfigyelésével állapították meg, amikor a csillag hajnalban legelőször ismét láthatóvá lesz. Ők a természetes (tropikus) év hosszát 365 és $\frac{1}{4}$ napnyinak találták, ami 11 perccel és 14 mperccel hosszabb a valódi csillagászatilag pontos értéknél, melyet az előbb jeleztünk.

Az egyiptomi naptár jelentősége abban van, hogy a hónapok és a naptári év hossza egyszersmindenkorra szabályszerűen volt megrögzítve és hivatalnoki önkénynek nem volt alárendelve. Kr. e. 46-ig, *Julius Caesar* reformjáig ez volt az egyetlen ilyenfajta naptár.

A görögöknek nem volt egységes naptáruk; minden kis államnak és városnak megvolt a maga külön naptára, úgyhogy kb. 100 különféle görög naptárt ismerünk. Közös vonásuk, hogy tiszta lunáris, azaz holdhónapos naptárak. Így pl. a *Szolon*-féle athéni naptár (Kr. e. 594) 12 holdhónapból, illetve 354 napból állott. Az év kezdete a különböző naptárakban más és más évszakra esett. Hogy az évszakokkal mégis valahogy lépést tartsanak, 13-ik hónapot iktattak közbe, ha ennek szüksége mutatkozott. A közbeiktatást vagy inter-

kalációt és a hónapok hosszát a hatóságok állapították meg, és ha ezek idővel kezdtek is némi megbecsüléssel viseltetni a csillagászati megállapítások iránt, még sincs semmi nyoma annak, hogy a régi görögök-nél csillagászati alapon nyugvó naptár törvényesen valaha is érvényben lett volna. Ez annál különösebb, mert a mai értelemben vett csillagászat megalapítói a görögök voltak.

Kr. e. 432-ben az athénei *Metón* 19 éves ciklust állapított meg, mely a holdhónapok interkalációjára szolgált s amely 235 lunációból, kereken 6940 napból állott. *Kallipposz* vezette be a $365\frac{1}{4}$ napból álló évtartamot és a 76 éves ciklust, melyet egy nappal rövidebbre szabott mint 4 *Metón*-féle 19 éves ciklust. Eszerint $235 \text{ lunáció} = 6939\frac{75}{100}$ nap, ami nagy haladás a *Metón*-féle értékhez képest. Az ókor legnagyobb asztronómusa, *Hipparchosz*, 4 *Kallipposz*-féle ciklust egybefoglalt olyformán, hogy összes tartamukat egy nappal rövidebbre vette. Eszerint $304 \text{ év} = 3760 \text{ lunáció} = 111.035 \text{ nap}$. A szinódikus holdhónap (újholdtól-újholdig) és a tropikus év tartama így közel megegyezik a babiloniai *Kidenasz*-féle értékkel. A tropikus év hosszára *Hipparchosz* saját megfigyeléseiből $365\frac{24667}{10000}$ napot $= 365 \text{ nap } 5 \text{ óra } 55 \text{ perc } 13 \text{ mperccel}$ talált, ami 6 perc $27\frac{22}{100}$ mperccel nagyobb a tropikus év jelenlegi értékénél. Ez a különbség sokkal tetemesebb, mint amit az említett *Newcomb*-féle rövidülés megengedne; viszont jobban megközelíti a valódi tropikus évet, mint a *Kallipposz*-féle év.

A lunáris naptár (aminők a mohamedán és a zsidó naptár is) nem volt alkalmas a földművelés szempontjából fontos évszakok megállapítására, amiért az egyiptomiak és a görögök úgy segítettek magukon, hogy régi tapasztalatok alapján bizonyos csillagok fölkelését vagy lenyugvását, valamint a napfordulatokat (solstitium) figyelték. Úgy látszik, a jeles francia csillagász *Delambre* a zilált görög naptárviszonyokból merítette azt a nézetét, hogy teljesen mindegy, miféle naptárt használnak a népek és hogy minden naptár-reform fölösleges.

Róma alapítása idejében (753 Kr. e.) 10 hónapos év volt használatban, mely 304 napból állt. A hónapok neve: Martius, Aprilis, Maius, Junius, Quintilis, Sextilis, September, October, November, December. A Kr. előtti negyedik században még két hónapot csatoltak

hozzá: Januariust és Februariust, abban a sorrendben, melyet a mi naptárunkban ma is elfoglálnak. A római év akkor közel $10\frac{1}{4}$ nappal rövidebb volt, mint a tropikus év. Ezért kétévanként tizenharmadik hónapot iktattak közbe, mely felváltva 23 és 22 napból állott és Mercedonius volt a neve. A kezdetben túlrövid római év most túlhosszú lett. A közbeiktatást a pontifexekre, magasabb papokra bízta. Ezek azonban annyira önkényesen jártak el, barátaik és saját érdekeik szerint, vagy a választások és hivatalok igényeinek megfelelően, hogy Kr. e. 46-ban, Róma alapításának 709-ik esztendejében, az eltérés a naptári és a csillagászati napéjegyenlőség (aequinocetium) között mintegy három hónap volt; a szüret januárra esett.

Ennek a nagy rendetlenségnek véget vetendő, *Julius Caesar*, aki Kr. e. 63 óta pontifex maximus volt, elrendelte a naptárreformot. Kr. e. 46-ban *Sosigenes alexandriai* csillagász közreműködésével az év átlagos tartamát $365\frac{1}{4}$ napban szabta meg és hogy az évek során szembetűnő eltolódást a tavaszi napéjegyenlőséghez képest ismét helyrebillentse elrendelte, hogy az akkori év 445 napból álljon. Ez volt az ú. n. annus confusionis. Ezzel elérte, hogy a tavaszi napéjegyenlőség március 24-ére essen. Említettük, hogy már *Hipparchosz* 90 évvel ezelőtt már pontosabban állapította meg a tropikus év tartamát és nem egészen érthető, hogy *Sosigenes* miért vette az év tartamát $365\frac{1}{4}$ napnak. Minthogy a naptárban természetszerűen csak egész napokkal lehet számítani, az egynegyed napot vagy 6 órát minden negyedik évben úgynevezett szökőnapra egyesítette *Caesar*, úgyhogy a 366 napból álló szökőév keletkezett. Kr. e. 16-ban *Antonius* javaslatára a Quintilis hónap nevét *Julius Caesar* tiszteletére Juliusra változtatták, a *Caesar* alkotta naptár pedig a julián naptár elnevezést nyerte.

Caesar halála után (Kr. e. 44) a szökőév szabály helytelen alkalmazása következtében ismét rendetlenség támadt a római naptárban, mert nem minden negyedik évben iktattak közbe egy napot, hanem minden harmadik évben, úgyhogy 36 év alatt 9 helyett 12 szökőévet számítottak. Következőleg a Kr. e. 8. év 3 nappal később kezdődött. Ezt a hibát észrevették és *Augustus* császár rendeletére akként hozták helyre, hogy t2 éven át nem iktattak közbe szökőnapot. Kr. u. a 8. év volt a következő szökőév és ettől

kezdvé a Julián naptár megszakítás nélkül érvényben maradt egészen 1582-ig, *XIII. Gergely* pápa reformjáig.

A római szenátus Kr. e. 8-ban az eddigi sextilis hónap nevét *Augustus* császár tiszteletére Augustusra változtatta, egyben ennek a hónapnak is 31 napot adott az addigi 30 helyett, részben, hogy ne legyen kevesebb nap ebben a hónapban, mint júliusban, részben pedig azért, mert a rómaiak szerint csak a páratlan számok szerencsések: „numero deus impare gaudet” mondja *Vergilius* (*Ecloga* VIII. 75.). Ezt a napot februáriustól vették el, melynek eddig 29, illetve szökőévben 30 napja volt. Azonkívül, hogy ne legyen három 31 napos hónap egymásután, szeptember 31-ét októberre, november 31-ét pedig decemberre tették át. Azóta a hónapok neve és a bennük foglalt napok száma a mai napig semmit sem változott, mert a *Gergely*-féle reform csak a csillagászati hibák kiküszöbölésére szorítkozott, a történelmi hagyományokat azonban teljesen érintetlenül hagyta.

Rómában a naptári év kezdete hosszú időn keresztül ingadozott, míg Kr. e. 153-ban január 1-ére tették és azóta megszakítás nélkül ez is maradt mindig a hivatalos év kezdete. Az ókorban a keleti népek, a görögök és rómaiak a nappalt a napkeltétől napnyugtáig 12 egyenlő órára osztották, az éjjelt pedig napnyugtától napkeltéig külön szintén 12 egyenlő órára. Ezek voltak az ú. n. „horae temporales”. Eszerint a nappali és az éjszakai órák csak a tavaszi és őszi napéjegyenkor voltak egymással egyforma hosszúak; ezek voltak a „horae aequinoctiales.”

A világszerte használt keresztény érat — Krisztus születésétől számítva — *Dionysius Exiguus* javaslatára vezették be 532-ben Kr. u., úgyhogy Krisztus születésének évét a *Caesar*-féle naptárreform 46-ik évére tették. Említettük, hogy a julián év tartama 11 perc és 14 másodperccel hosszabb, mint a tropikus év. Ez a különbség 128.2 év alatt egy egész napra növekedik. *Caesar* reformjakor a tavaszi napéjegyenlőség március 24-ére esett. A niceai zsinat idejében, Kr. u. 352-ben azonban már március 21-ére került a hibás julián évhossz következtében. A XV. században ez a különbség további 9 nappal növekedett, úgyhogy ekkor a napéjegyenlőség március 12-ére esett. Már eben az időben *Pierre D'Ailly* francia, majd *Nicolaus*

De Cusa olasz kardinális javasolta annyi nap elhagyását a naptárból, amennyi szükséges, hogy a napéj-egyenlőség március 21-ére essék, mint a niceai zsinat idején. IV. Sixtus pápa 1475-ben Rómába hívta *Regiomontanust* a Mátyás király alatt Budán is járt jeles csillagászt és őt bízta meg a naptár javításával. De *Regiomontanus* rövid idő múlva meghalt. X. Leo pápa, ez a széleslátókörű államférfi, az 1516-i lateráni zsinattal egyetértve, a nagy *Copernicust* akarta megbízni a naptár javításával. *Copernicus* szerényen azaz háritotta el a megbízást, hogy észlelései és számításai eredményeit még nem érzi elég tökéletesnek.

A trienti zsinat 1563-ban felkérte a pápát a naptár javítására. XIII. Gergely pápa 1576-ban hosszas előkészületek után jeles tudósokból álló bizottságot hívott össze, mely a naptárhelyesbítés kérdését behatóan tanulmányozta. A javítás tervezete főleg *Lilius Alajostól* származik és *Clavius Kristóf*, a római jezsuita kollégiumban a matematika kiváló tanára, későbbi bíboros bírálta fölül és helyesbítette. Ebben az időben a juliáni és a tényleges tropikus év között a különbség már 10 napra emelkedett. A bizottság javaslata alapján ezért XIII. Gergely elrendelte, hogy 1582 október 4-ike után ne 5-e, hanem 15-e következék. Azonkívül, hogy ilyen eltolódás a valóságos csillagászati tropikus évhez képest többé elő ne fordulhasson, elrendelte, hogy minden év, melynek évszáma néggyel osztható, szökőév legyen, kivéve a kerek évszázadokat, melyek csak akkor lehetnek szökőévek, ha 400-zal oszthatók, mint pl. 1600, 2000 stb. Eszerint a Gergely v. gregorián naptárban minden 400 évben három szökőnap kiesik. Amíg tehát 400 julián évben 146.100 nap van, addig 400 gregorián év 146.097 napot, vagyis pontosan 20.871 hetet foglal magában. Egy gregorián év tartama ennél fogva 365 nap 5 óra 49 perc 12 másodperc. *Copernicus* is ezt az értéket találta. Ez még mindig 26'2551 másodperccel hosszabb a tényleges tropikus évnél. De ez az eltérés csak 3294,5, vagy kereken 3300 év alatt növekszik egy napra, míg a julián számításban már 128'2 év alatt. Erre az utóbbi feltűnő eltolódásra céloz már *Dante* a *Paradiso* XXVII. énekének 142—143 sorában:

„Ma prima che gennaio tutto si sverni,
Per la centesma ch'è laggiù negletta.”

(Azaz: még mielőtt január megszűnnék a télhez tartozni az amott (a világtól) elfelejtett századrész (nap) miatt. A julián naptár pl. 1937 december 27-ét írt, mikor a gregorián naptár szerint 1938 január 9-e volt.)

A szökőévnek ezzel az egyszerű és szellemes szabályával a Gergely-féle naptárreform azt is elérte, hogy a tavaszi napéjegyenlőség állandóan március 21-e körül marad és csak mostantól számítva 3000 év múlva kell majd egy szökőévet soronkívül elhagyni. A kérdés csillagászati része, ami az év tartamát illeti, ezzel úgyszólván tökéletesen el van intézve s a Gergely-féle javítás legnagyobb elismerésünket érdemli. Csodálatos az a pontosság, melyet a tudós bizottság három és félszázaddal ezelőtt elért. A jeles *Clavius*-t illeti az érdem oroszlánrészé.

A pápai bullában elrendelt időre Spanyolország, Portugália, Olaszország, majd Franciaország, Lotaringia, Lengyelország és Hollandia katolikus része vezette be az új naptárt, Németország és Svájc katolikus részei 1583-ban, Magyarország 1587-ben, a protestáns Németország és Hollandia 1700-ban. Anglia, heves ellenállás után, csak 1752-ben tért át a gregorián naptárra. Ebben nagy érdeme volt *Bradley*nek, a jeles csillagásznak. Ezért nagy népszerűtlenségben volt része élete végéig. Erre jegyezte meg csipősen *Voltaire*: „Az angol nép jobb szerette, hogy a naptár ne egyezzek a Nap járásával, semhogy a pápával egyetértsen, és vonakodott elfogadni azt a reformot, melyért a török szultánnak tartoztak volna hálával, ha ő javasolta volna”. Svédország 1753-ban, Svájc egyes részei csak 1798-ban vezették be a Gergely-naptárt.

Mint sok más újítás, úgy a gregorián naptár helyesbítés is sok helyütt heves ellenállásba ütközött, bár a két akkori legnagyobb protestáns csillagász, *Tycho Brahe* és *Kepler* helyeselte az újítást, mint 170 évvel később *Bradley* is. De ezek a nézeteltérések mind feledésbe merültek és a Gergely-naptár ma már az egész világon tért hódított: 1873-ban Japán, 1879-ben Egyiptom, 1912-ben még Kína is, mely a mediterrán kultúra bölcsőjétől ugyancsak messze esik, 1916-ban Bulgária, 1918-ban átmenetileg Oroszország, 1926-ban Törökország vezette be, 1923-ban Görögország, Románia és Szerbia is elfogadta az alább kifejtendő új interkaláris szabállyal.

A keleti egyházakhoz tartozó államok a legújabb időkig a julián naptárt használták. 1923 májusában a keleti orthodox egyházak Konstantinápolyban értekezletet tartottak, melyen *Milanković Milutin* dáljai születésű jeles belgrádi professzor javaslatára új, a gregorián rendszertől némileg eltérő naptárszabályt fogadtak el. Eszerint a julián 1923 október 1. mint október 14. szerepel. Szökőévek lesznek a négygyel oszthatók. A kerek évszázadok csak akkor szökőévek, ha a századok száma 9-cel osztva 2-t vagy 6-ot ad maradékul. Az új orthodox naptár szerint tehát, a gregorián naptártól eltérően, 2800 és 3200 nem maradnak szökőévek, helyettük 2900 és 3300 lesz szökőév. A tropikus év tartamát *Milanković* 365 nap 5 óra 48 perc 48 másodpercnek veszi, ami 2 perccel hosszabb a tényleges tropikus évnél. Az ú. n. húsvéti teliholdat nem ciklikusan számítják, hanem a tényleges csillagászati észlelések alapján határozzák meg a tudomány mindenkori haladásának tekintetbevételével. Görögország, Románia és Szerbia ezt az újítást be is vezette, a hét és a hónapok régi felosztásának megtartásával.

Kétségtelen, hogy a Gergely-féle naptárt még pontosabbá lehetett volna tenni a szökőévek más elosztásával, ha pl. minden 289 évben 70 szökőnapot helyezünk el, a pontosság akkor a másodperc századrészéig terjed. *Milanković* szabálya ezt célozza, de nem olyan egyszerű mint a Gergely-féle. A Föld tengelykörüli forgásának állandó lassulása következtében a nap tartama is hosszabbodik. Az év tartama szintén változhat, ha pl. a Nap tömege vagy pedig a Föld-Nap közepes távolság megváltozik. Előbbit a mai fizika lehetségesnek tartja, utóbbi csak igen hosszú idő alatt szenvedhet alig észrevehető változást. Ezért a tropikus év tartamát nehéz több évezredre teljes pontossággal előre kiszámítani s a Gergely-féle egyszerű interkaláris szabály csillagászati szempontból teljesen kielégítő.

XIII. Gergely pápa a húsvét ünnepét illetően is rendelkezett. A húsvét ünnepe a Hold járásával volt összefüggésben régi idők óta. A niceai zsinat a húsvét ünnepét arra az első vasárnapra helyezte, mely a tavaszi telihold után közvetlenül következik. A tavaszi telihold vagy március 21-ére esik, vagy az e dátum után bekövetkező első telihold. Eszerint a keresztény húsvét legkorábbi dátuma március 22., a leg-

későbbi április 25. A Hold járását régebben különböző ciklusok alapján számították. Ezek azonban pontatlannak bizonyultak. Ezért Gergely pápa a húsvét kiszámítására a *Lilius* által alkotott és *Clavius* által tökéletesített ú. n. epaktákat rendelte alapul venni. *Lilius*, — kinek életéről mindössze csak annyit tudunk, hogy orvos és csillagász volt, — epaktáival közelítőleg szabályokba tudta foglalni a Hold szeszélyes járását. *Lilius* szellemes epaktaszámítása valóban rendkívüli teljesítmény volt abban az időben és teljes elismerésünket érdemli. Az epaktákkal ciklusszerűen számított egyházi Hold sokáig nem fog a csillagászati, nagyon nehezen számítható Holdtól lényegesebben eltérni. *Clavius* ezt az epaktaszámítást Kr. u. 303.300-ig terjesztette ki. A 8100 évnél megjegyzi, hogy „idáig bezárólag az újholdak jól megfelelnek”.

Clavius azonban nem ismerte még a *Halley* felfedezte évszázados Hold-akcelerációt, melynek okát későbbben *Laplace* derítette ki. Ennek a gyorsulásnak következtében a Hold a *Clavius* által jelzett időben közel három nappal előbb fogja elérni a tényleges telihold fázisát a számítottnál. *Clavius* a szinodikus holdhónapot 29 nap 12 óra 44 perc 3'18 másodperccnek vette, ami Gauss szerint 0'39 másodperccel túlhosszú. Ez az elenyészőnek látszó különbség is hozzájárul az előbb említett eltérés növeléséhez, úgyhogy 11.800 év alatt 3'7 napra fog növekedni. A Hold mozgása a matematikai csillagászat egyik legbonyolultabb problémája, mely véglegesen még ma sincs megoldva. XIII. Gergely idejében a mai értelemben vett csillagászatilag pontosan előre kiszámított holdtáblákról szó sem lehetett, ezért a Hold járását szükség-szerűen kellett ciklikusan számítani.

1800-ban Gauss, a nagy német matematikus, felállította híres húsvéti képletét, mellyel a húsvét kiszámítását néhány szorzásra és osztásra csökkentette; *Delambre* ezt a képletet kiegészítette. A sokkal bonyolultabb zsidó húsvét kiszámítására is alkotott Gauss ilyen képletet, melyet természetesen használnak is. Nem áll az, hogy a *Lilius*-féle húsvétszámítás szabályai azért oly bonyolultak, nehogy a keresztény húsvét összeessék a zsidó húsvétal. Így pl. a jelen században 1903, 1923, 1927-ben esett össze a két húsvét és ismét össze fog esni 1954-ben és 1981-ben. Inkább az a tény váltotta ki a keleti orthodox egy-

házak ellenállását a gregorián naptárral szemben, mert ragaszkodtak a niceai zsinat óhajához, mely a kétféle húsvét összeesését elkerülni kívánta. Az is téves, hogy a húsvét ideje nem térhet többé vissza ugyanabban a sorrendben az évszázadok folyamán. Valóban, úgy a *Lilius*-féle epakták, mint a *Gauss*-féle képlet szerint 5,700.000 év múlva a gregorián húsvétok ismét ugyanabban a sorrendben fognak ismétlődni. (A julián naptár szerinti húsvétok minden 532 évben ismétlődnek.) De majdnem hatmillió év még csillagászati időköznek is nagy, és abszolút biztos-sággal még néhány százezer évre sem állíthatjuk valamely asztronómiai tény bekövetkezését.

A francia forradalom naptárát (calendrier républicain) a konventnek 1793 október 5-én hozott határozata rendelte el és 1792 szeptember 22-vel, az őszi napéjegyzennel kezdette első évét. Úgy, mint a már említett egyiptomi valamint a kopt naptárakban a 12 hónap mind 30 napos, s hozzájuk az év végén 5 vagy 6 pótnapot (jours complémentaires vagy sansculottides, a régi epagomenák) csatoltak. A hetet eltörölték és a hónapot 3 dekádra osztották. Eltörölték a hónapok és a hét napjainak régi neveit is és helyettük újakat vezettek be. Ez a naptár nem tudott gyökeret verni s csak nagyon rövidéletű volt. *Laplace* bölcsen megfontolt javaslatára Napoleon 1806 január 1-én a köztársasági naptárt eltörölte és a *Gergely*-féle naptárt visszaállította.

A jelenleg használatos zsidó naptár a Kr. u. IV. században keletkezett. A hónapok 29 v. 30 napos holdhónapok; a közönséges év 12, az interkaláris v. embolismikus év 13 hónapból áll. A közönséges évben lehet 353, 354 vagy 355 nap, az interkaláris évben 383, 384 vagy 385. Ezek a különféle évek akként sorakoznak, hogy 19 év múlva a zsidó év kezdete visszatér a napév ugyanazon epochájára. A 19 éves ciklus a *Metón*-félének mintájára szabódott és 12 közönséges meg 7 interkaláris évet foglal magában. A zsidó nap a megelőzőnek napnyugtakor kezdődik, tehát pl. az ő vasárnapjuk már a mi szombatunk estéjén. A zsidó év az elmondottak szerint luni-szoláris év.

A mohamedán naptár Kr. u. 622-ben kezdődött. Éve tiszta lunáris v. holdév, mely tizenkét 29 v. 30 napos holdhónapból áll; 354 v. 355 napot foglal magában. Ennélfogva évről évre 10 vagy 11 nappal korábban

esik a kezdete a mi tiszta szoláris évünkben. A hónap elseje az a nap, amelyen az újhold sarlója először válik láthatóvá. Az éveket 30 éves ciklusba sorolják; közülük 19 van 354 napos, 11 pedig 355 napos.

Meg kell itt emlékeznünk az újabban oly sűrűn hangoztatott naptárreform állítólagosan elhalaszthatatlan szükségességéről. Ennek a kérdésnek állandóan felszínen tartására a Népszövetség annak idején külön bizottságot alakított, Amerikában egy „world calendar”, világ naptár, Angliában „rational” meg „fixed” calendar stb. propagálására alakultak különféle társaságok. Ez nagyon különös jelenség. A gregorián naptárt hosszú küzdelmek után az egész művelt világ bevezette. Semmiféle más téren még nem jött létre ilyen általános megegyezés. Anglia pl. még ma sem vezette be a méterrendszert és szívosan ragaszkodik a Fahrenheit- vagy Réaumur-hőmérőkhöz. Még nagyobb zűrzavar uralkodik a számtalan pénznem, súlymérték stb. terén. A gregorián naptár újabb megreformálására főokul kereskedelmi és közgazdasági szempontokat hoznak fel. Meglepő, hogy pl. a pénznemek nemzetközi egységesítése nem ilyen fontos kereskedelmi szükségesség, amint ezt objektíve gondolnók. *Lallemand*nak, a jeles tudósnak a francia tud. akadémiában néhány év előtt erre vonatkozólag tett javaslatáról egyszerűen nem vettek tudomást. A naptár nehéz kérdése világszerte végre nyugvópontra érkezett. Miért kell ezt az egyensúlyt újból megzavarni és felbillenteni? A Népszövetséghez érkezett számos reformterv közül a legjobbnak vélt sem tudja nélkülözni az évenként alkalmazott egy vagy két toldaléknapot (*jours blancs*), melyet azért alkalmaznak, hogy így látszólag négy egyenlő negyedre oszthassák az évet. Ezzel a hét intézménye illuzóriussá válnék és azonkívül évenként ismételné meg, amit mostani naptárunk csak négyévenként alkalmaz. A *jour blanc*kal való kísérletezés bizonyos primitívség benyomását kelti, mert ugyanaz, mint a régi epagomenák vagy a sansculottideók. Ezekkel eltörölhetni vélték azt az inkommenzurabilitást v. összemérhetetlenséget, melyet a természet az év és a nap tartama között örökre megszabott. Ebből következik, hogy a hét, a hónap vagy bármiféle más beosztás is összemérhetetlen marad a tropikus évvel, melyhez

pedig feltétlenül alkalmazkodnunk és ragaszkodnunk kell.

A legtöbb kifogás a húsvét mozgó volta ellen irányul azon a címen, hogy kereskedelmi, közgazdasági s hasonló szempontokból az ünnepeknek nem határozott dátumhoz kötöttsége káros. De elsőben is húsvét, mint tisztán vallásos, egyházi ünnep egyedül az egyháznak ügye. Ebbe sem a tudománynak, sem világi hatalomnak beleszólása nincs és nem is lehet. A protestáns Kepler a „Dialog über den Kalender” című művében védelmébe veszi a gregorián naptárt és a húsvétot illetően az ő szelíd kedvességével mondja: „Ostern ist ein Fest und khein Stern”, a húsvét ünnep, nem pedig csillag (melynek helye az égen változatlan). Hogy az ú. n. „közgazdasági” bizonyítékok nem helytállóak, az abból is kiviláglik, hogy a zsidók igen szigorúan betartják egyházi ünnepeiket közgazdasági érdekeik legkisebb sérelme nélkül. Ezt bizonyítják a francia forradalom alatt bevezetett köztársasági naptárral szerzett tapasztalatok is. A közgazdasági stb. helyzet semmit sem változott azáltal, hogy az évet az őszi napéjegyenlőséggel kezdték, 12 egyenlő 30 napos hónapot használtak, hogy a Gergely-naptár négyévenként egy szökőnapja helyett évenként 5 v. 6 pótnapot vezettek be, a kezdetleges abesszin-kopt naptár tökéletes másaként. *Napoleon*, *Laplace* tisztelője és barátja ezt a naptárt eltörölte és a gregorián naptárt visszaállította. Amivel talán ítéletet mondott az újabban oly sűrűn fölmerülő naptárreformokról is.

De, kérdezhetjük joggal, miért nem kell megreformálni a sokkal bonyolultabb mohamedán vagy zsidó naptárt? Miért nem vezetik be pl. Angliában a méterrendszert, vagy miért nem fontos kereskedelmi szempontból a számtalan pénznemek egységesítése stb., amelyek nem érintenek lelki imponderabilitásokat és amelyek egységesítése igazán természetes előny és szükségesség.

A Gergely-féle naptár semmiféle újabb reformra nem szorul. A reformerek naívságból és tájékozatlanságból elfelejtik, hogy év, nap már magukban, egész számokkal ki nem fejezhető viszonyban vannak egymással, következőleg a hét, a hónap és bármiféle más beosztás is, amint már előbb említettük. „Die ganzen Zahlen sind vom lieben Gott, alles andere ist

Menschenwerk", mondja *Kronacker*, a jeles német matematikus. („Az egész számok a jó Istentől valók, minden más csak emberi alkotás."). Amit észszerű javításként el lehetne ismerni, az a hónapok tartamának arányosabb elosztása. Amint annak idején pl. a február hónapból elvettek egy napot, hogy azt *Augustus* imperator tiszteletére a sextilishez — a mostani augusztus hónaphoz — csatolják, úgy azt vissza is lehetne helyezni. A gregorián naptár a lehető legegyszerűbb és csillagászati szempontból teljesen kifogástalan, amint azt a kiváló, mindenestre pártatlan cambridgei asztronómus és kronológus *Fotheringham* az angol hivatalos Nautical Almanacban leszögezi.

V.

Relativitás-elmélet és csillagászat.

A mult évszázad nyolcvanas éveinek elején egy 15 számozott kockából álló játék hozta lázba világszerte az embereket. Minden ujság hónapokon át állandó rovatban foglalkozott ezzel az ú. n. „fifteenth-puzzle”-lel; az utcán járó-kelők, omnibuszon, vasúton utazók izgatottan elmerültek az igénytelen kockák ide-oda tologatásába; versenyeket rendeztek nagy díjakkal, nagynevű, komoly tudósok nem sajnálták idejüket s az új türelmijátéknak szentelték idejüket. Az egész aztán hirtelen divatját multa s eltűnt.

Az 1918 utáni években valami hasonló izgatott érdeklődés ejtette igézetbe az egész művelt világot. De ezúttal az érdeklődés nem egyszerű játéknak, hanem csodálatosképen és kivételesen valamely tudományos elméletnek szólt. Ha valahol két embert hevesen vitatkozni láttunk, biztosra vehettük, hogy erről az elméletről folytatnak élénk eszmecserét. Az özönével megjelent többé-kevésbé tájékozott és tájékoztatlan ujságcikkek, számtalan népszerű könyv és füzet, nyilvános előadások egyébről sem szóltak mint a relativitásról. Ez volt a tárgy, mely kivétel nélkül mindenkit érdekelt és sok oly embert ejtett rabul, kik egyébként sohasem foglalkoztak volna azokkal a kérdésekkel, melyeket ez az elmélet felszínre vetett. A körülötte támadt izgalom hihetetlen méreteket öltött. Lelkes védők és elkeseredett támadók heves összecsapásokban már politikai térre is tévedtek. De a nézetek kezdtek lassan tisztulni, az izgalom elült s a kérdés végül abba a mederbe terelődött, melyből kezdettől fogva nem kellett volna kicsapnia: a szigorú, tárgyilagos tudományos vizsgálatába.

Bizonyára örvendetes, ha a közönség minél szélesebb rétegei érdeklődéssel fordulnak az exakt tudományok felé, ha ezeknek nemcsak eredményeit él-

vezik, hanem az azokat éltető gondolatokkal is megismerkedni igyekeznek. Igaz, hogy az exakt természetű tudományokban ez sokszor nem könnyű feladat, s a szellem tehetetlenségi ellenállása többnyire nehezebben leküzdhető, mint az élettelen anyagé. Annál meglepőbb, hogy a nagyközönség figyeime ily erősen fordult a relativitástan körébe vágó problémák felé, melyek alapjukban véve tulajdonképen a matematika legbelsőbb házi ügye, tehát a legtöbb ember szemében éppen nem hatnának az érdekkeltés varázsával. De más kérdés, hogy van-e értéke és értelme annak, hogy ilyen még el nem döntött s talán még hosszú ideig el nem dönthető egészen speciális természettudományi kérdést mint kész eredményt, mint bebizonyított végleges tényt halljuk emlegetni, mint olyasmit, amit pl. csak *Copernicus* nagyszerű művével lehetne összehasonlítani. Érzelmi momentumokban gyökerező nézeteket mindig nehéz fizikai igazságokkal megdönteni, s ezért céltalan is minden összehasonlítás. De a mai kor általános műveltsége mégis csak tetemesen különbözik úgy mélységben, mint területi elterjedtségben akár *Ptolemaiosz* akár *Copernicus* korától s így az emberek valamely új érzelmi beidegződésnek könnyebben hozzáférhetők. Talán ez magyarázza némileg azt az egészen szokatlán érdeklődést, melyet a relativitásban kívánni tudott.

Seeliger, a jeles német csillagász mondotta egyik mélyenszántó értekezésében, hogy „a fizikai elméletek rövidéletűsége arra tanít, hogy az elméleteknek a világegyetemre való kiterjesztésénél nagyon óvatosak és nagyon szerények legyünk”. Sokaknak azonban impulzívabb a természetük, nem szeretnek hosszú ideig várni és hamarább akarják elméletük gyümölcsét learatni, mint ahogy azt a tapasztalatok igazolják. Viszont ennek is megvan a maga jogosultsága: ha túlon túl türelmesek volnánk, akkor a tudomány haladása is csak nagyon lassú lépésekkel haladna előre. Ilyen szellemben értelmezendők e sorok, melyek teljes objektivitással akarnak reávilágítani a relativitástan bebizonyítottságának ma is sokat hánytorgatott kérdésére.

Nagyon messze vezetne, ha a relativitás elméletét itt fejtegetni akarnám. Ezt annál könnyebben mellőzhetem, mert igen kitűnően írt tudományos és nép-

szerű művek erről bőségesen gondoskodtak. De néhány oly dolgot óhajtanék elmondani, melyek bizonyára mindenkit érdekelnek, ki valaha a relativitásról hallott.

Hogyon keletkezett a modern relativitáselmélet? Tulajdonképpen egy optikai kísérlet magyarázata szolgáltatotta hozzá az első alapot. Ezt a kísérletet a stettini születésű chicagói egyetemi professzor *Michelson* végezte abból a célból, hogy vele megállapítsa a Föld forgását a nyugvónak feltételezett éterrel szemben. *Maxwell* állította először (1865), hogy a fényhullámok lényegükben azonosak az elektromágneses hullámokkal, melyeknek létezését kísérleti úton később *Hertz* mutatta ki. *Faraday* kísérleteire és felfogására támaszkodva, *Maxwell* az elektromágneses folyamatokat az ú. n. éter feszültségi jelenségeinek tekintette, ugyanannak az éternek, melynek rezgései a régebbi fényelmélet szerint a fény jelenségeit idézik elő. *Maxwell* kimutatta, hogy a fény másképpen terjed két pont között, ha ezek a pontok az éterben közös mozgást végeznek anélkül, hogy az étert magukkal ragadnák, mint mikor az éterben mozdulatlanul maradnak. Ebből következik, hogy a *Fresnel*-féle ismeretes fénytalálkozási vagy interferencia-sávok másképpen helyezkednek el, vagy amint mondani szokás eltolódnak, ha a Föld az éterhez képest forog és ha megfelelő műszert a forgás irányával szemben különböző irányokban helyezünk el. Igaz, hogy a várt hatás feletle kicsiny, de mégis elég nagy ahhoz, hogy igen érzékeny műszerrel kimutatható legyen.

De *Michelson* a várt eltolódásnak nyomát sem találta. Így arra következtetett, hogy a Föld forgásánál az éter nem marad nyugalomban. Ő azután 1887-ben *Morley*vel együtt sokkal fokozottabb pontossággal megismételte kísérletét, 1905-ben pedig *Morley* és *Miller* végeztek újabb kísérletet a lehető legnagyobb gondnal. Az eredmény ugyanaz maradt: semmiféle eltolódás nem mutatkozott. A várt hatás elmaradását többféle magyarázattal igyekeztek megvilágítani. Így *Ritz* feltételezte, hogy a fényhullámok sebessége függ a fényforrás sebességétől. De ez ellen *De Sitter* a kettőscsillagok ismert mozgástüneményeit hozta fel ellenérvül. *Ritz* elvéből ugyanis az következne, hogy ugyanazt a csillagot egy megfigyelés alkalmával egyszerre két helyen is kellene látni pályájában; de ilyen-

féle jelenség nem ismeretes. *Fitzgerald* és *Lorentz* majdnem egyidőben (1895) azt tételezték fel, hogy a mozgó testek mozgásuk irányában összehúzódást szenvednek, a mozgás irányára merőlegesen azonban nem változik méretük. Ez a sajátságos elmélet tényleg megmagyarázná a *Michelson*-kísérlet negatív eredményét, de azzal a feltevéssel, hogy az éter abszolút nyugalomban van.

Lorentz 1904-ben már oly álláspontot foglal el, mely igen közel jár a relativitás elvéhez. amennyiben kimutatta, hogy az ú. n. *Maxwell*-féle egyenletek nem változtatják alakjukat, ha a bennük szereplő időn és koordinátákon bizonyos átalakításokat eszközölünk, melyek ma általánosan a *Lorentz*-transzformációk nevéen ismeretesek. 1905-ben *Poincaré* a *Lorentz* munkájában fennmaradt hézagokat kipótolta és általános érvényűnek jelentette ki az ú. n. relativitás elvét, mely szerint a mechanika törvényeinek teljesedniök kell függetlenül az egyenesvonalú egyenletes mozgástól. Végül *Lorentz* és *Poincaré* munkáitól teljesen függetlenül *Einstein* alapozta meg (1905) az ú. n. speciális relativitáselméletet, mely nemcsak az említett két tudós lényeges eredményeit öleli fel, hanem a problémát teljesen új felfogásban mutatta be.

Az exakt természettudományokban sokszor szükséges és hasznos, hogy olyan folyamatokról, amelyeknek lényegét nem tudjuk egyszerre átlátni, bizonyos képet alkossunk magunknak olymódon, hogy ezeket a folyamatokat analógiák révén összehasonlíttjuk másokkal, melyeket már ismerünk és amelyek ennek következtében a felfoghatósághoz is sokkal közelebb állanak. Másszóval modellt készítünk magunknak, melyen a magyarázandó folyamatot tanulmányozzuk. Emlékezzünk csak a villamosság magyarázatára alkotott régi egy- és kétfluidumos elméletekre. Egy másik alakja a magyarázatnak, mikor tisztán logikai, matematikai okoskodásokkal igyekszünk hozzáférközni a fizikai tünetmények megértéséhez. Érdekes például szolgálhatnak itt azok a változások, amelyeken a fényről alkotott nézetek estek át az idők során. *Seeliger*-nek fenntebb idézett kijelentése is beigazolódik és fogalmat alkothatunk magunknak arról is, hogy mint kell érteni valamely elmélet fizikai bebizonyított voltát. *Newton* feltételezte, hogy a fényjelenségeket a fényforrásból nagy sebességgel távozó apró tömeg-

részecskék, korpuszkulumbok idézik elő. Mikor azután *Malus* fölfedezte a fény polarizációját és *Fresnel* az interferencia tüneményeit, nyilvánvalóvá vált, hogy a *Newton*-féle fényemissziós elmélet nem tartható fenn tovább. Helyet kellett adnia *Young* hullámelméletének. De *Planck* legújabb ú. n. kvantumelmélete arra vezetett, hogy a fényben mégis van valami korpuszkulumszerű is, úgyhogy a fény kettős természetű, hullámszerű is meg korpuszukuláris is.

Mikor *Fresnel* nézetei alapján *Hamilton* előre megmondta a kúpos refrakció létezését és mikor *Lloyd* ezt utóbb kísérletileg kimutatta, úgy ez az elasztikus éterrezgésre alapított fényelmélet nagy diadalának számított. De következtek *Faraday* kísérletei és nyomukban *Maxwell* elektromágneses fényelmélete, melyet *Hertz* kísérletei igazoltak. De a kutatás itt sem tudott megállni. *Maxwell* elméletének nagy nehézségeket okozott a fény diszperziójának, pl. üvegprizmában való szétbontásának magyarázata. A magyarázatot az újabb elektronelmélet tette lehetővé, melyre a kvantumelmélet következett. Látjuk ebből, hogy valamely biztosnak vett elméletet a következő hónapok vagy rövid évek tapasztalatai megdönthetnek, s ezért nagyon meggondoltan és óvatosan kell eljárunk, ha csak azt is akarjuk megállapítani, hogy valamely elmélet mily fokban, mennyire van bebizonyítva.

Einstein első ú. n. speciális relativitás elméletére főleg az időre és térre vonatkozó új és sokban paradoxnak látszó nézetek és bizarr következtetések terelték a nagyközönség figyelmét, mely csak fokozódott, mikor a matematikus *Minkowski* egy 1908-ban tartott érdekes előadásában az idő és tér fogalmának még gyökeresebb megváltoztatását proklamálta.

Láttuk, mint sarjadt a speciális relativitáselmélet a *Mishelson*-kísérlet negatív eredményéből. De szabad-e, vagy jobban mondva lehetséges-e ily messzehoderejű elméletet oly kísérletre alapítani, mely nemcsak hogy a legszubtilisabb mérhetőség határán fekszik, de mely azonkívül nem volt még eléggé és elég-szer ismételve. Eötvös csodálatosan finom graviméteres készülékénél már nincsen semmi kétség a mérés eredményét illetően. De *Mishelson* kísérleténél?

És csakugyan *Dayton C. Miller*, mikor utóbb megismételte ezt a híres kísérletét, pozitív hatást talált,

mely azonban eltér a várt eredménytől és így új problémák elé állítja a kutatókat és új kérdéseket vet föl. *La Rosa* pedig *Ritz* elve alapján szellemes magyarázatát adja a kettős csillagoknál észlelt és eddig megmagyarázhatatlannak tartott jelenségeknek, amivel *De Sitter* ellenvetései erejüket veszítik.

A számtalanszor beigazolódott *Newton*-féle nehézkedési törvény pillanatnyilag tovább terjedő és ható erőt tételez fel, ami a relativitás elmélettel össze nem egyeztethető. Ezen elmélet szerint ugyanis a gravitáció terjedése sebessége legfőlőbb a fény sebességével lehet egyenlő, mely pedig a vákuumban mindig egy és ugyanaz, 300.000 km másodpercenként. Már *Poincaré* foglalkozott azzal, hogy a *Newton*-féle törvényt a relativitás elvének megfelelően megváltoztassa. *Minkowski*, *Sommerfeld* és *Lorentz* is foglalkoztak ezzel a kérdéssel.

Mikor a speciális relativitásra vonatkozó vizsgálatok bizonyos fokban befejezést nyertek, *Einstein* 1907-ben megkísérelte, hogy a relativitás elvét nem-egyenletesen mozgó rendszerekre is kiterjessze. Ekkor állította fel az ú. n. ekvivalencia elvét, mely szerint homogén gravitációs téren és egyenletesen gyorsuló rendszerben végbemenő fizikai tünetmények azonosan mennek végbe. Ebből azt a következtetést vonta le *Einstein*, hogy az óra lassabban jár oly helyen, hol a gravitációs potenciál alacsonyabb és ezzel kapcsolatban rámutatott arra, hogy ez maga után vonja a Nap színeképvonalainak a spektrum vörös szélé felé való eltolódását a földi laboratóriumi színeképvonalakkal szemben.

Az is következett az említett föltevésből, hogy gravitációs térben a fény sebessége változó — egyenes ellentétben a speciális relativitás követelményeivel —, és hogy ennek folytán a fény görbe vonal mentén halad. Ezzel át volt törve a speciális relativitáselmélet kerete; az egyenidejűségnek ebben szereplő definíciója valamint a *Lorentz*-transzformációk érvényüket veszítik. Az elméletet még ki kellett terjeszteni nem-homogén gravitációs térre. Többféle próbálkozás után 1916-ban adta meg *Einstein* végleges alakját elméletének, mely az ú. n. általános relativitáselmélet néven ismeretes. Ebben az előbb említett két hatáson kívül — vöröseltolódás és fényút elgörbülés — megmutatja,

hogy elmélete a Merkur-perihélium mozgását kvantitatíve helyesen adja meg.

Az általános relativitáselmélet eszerint három olyan jelenségre tud hivatkozni, melyek belőle következnek és amelyek igazolják vagy bizonyítják az elmélet helyes voltát, ha a jelenségeket kísérlet vagy megfigyelés útján sikerült kimutatni. Láttuk már eddig is, hogy azonosan vett fizikai kérdések miként kapcsolódtak össze par excellence csillagászati problémákkal. Ez a kapcsolat a két tudomány között mindig megvolt, és a relativitáselmélet nyomán felmerült problémák ezt a kapcsolatot csak szorosabbá tették. Így tehát nem meglepő, hogy az általános relativitáselmélet a csillagászathoz fordult igazának bebizonyítása céljából. Ezt azért is kellett tennie, mert a relativitástan követelte két első hatás csak igen nagy tömegek közelében jut érvényre, milyenek csak a csillagászatban szerepelnek.

Itt közbevetőleg rá kell mutatnom arra, miszerint téves néhány túltemperamentumos ujságírónak az a sokszor hangoztatott véleménye, hogy az általános relativitáselmélet megdöntötte *Newton* törvényét. Erről szó sincs. Ellenkezőleg, a relativitástant akként kellett formálni, hogy minél kevesebbet térjen el a számtalanszor és mindig újból beigazolt *Newton*-féle törvénytől. Olyan szubtilisabb kiegészítésekről lenne szó, amelyeket *Newton* maga még nem oldhatott volna meg. Ez a feladat nem volt könnyű, s az általános formulákon sok egyszerűsítést kellett megengednie a relativitástannak, hogy a közeledés lehetségessé váljék és ne lépjenek fel szembeszökően lehetetlen eltérések.

A három említett csillagászati jelenség bizonyító erejében azonban, hogy úgy mondjam, fokozatbeli különbség van. A Merkur-perihélium mozgásbeli rendellenessége nem közvetlenül észlelhető vagy mérhető mennyiség, hanem egy nagy kiegyenlítő számításnak eredménye, mely kiegyenlítésnek az volt a célja és feladata, hogy a naprendszert alkotó bolygók pályaelemeit és a velük összefüggő különböző ú. n. állandókat összhangba hozza. Ilyen kiegyenlítést legelőször *Laplace*, utóbb *Leverrier* s újabban *Newcomb* végeztet. *Leverrier* azt találta, hogy a Merkur-perihélium elmozdulásában 38"-nyi eltérés mutatkozik évszázadonként, melyet a *Newton*-féle törvény alapján egyedül

a többi ismert bolygó hatásából nem lehet megmagyarázni. Így született meg a Vulkán-bolygó hipotézise, mely a Merkurnál közelebb keringene a Nap körül s mellyel a jelzett eltérést meg lehetne magyarázni. De ilyen bolygót eddig nem sikerült felfedezni, bár elég tetemes tömegének kellene lennie, ha vele ezt az eltérést meg akarjuk magyarázni.

Newcomb a Merkur-perihélium eltérésére $41'24''$ -et talált a *Leverrier* $38''$ -e helyett. Itt megjegyezzük, hogy a perihélium a bolygó pályájának az a pontja, melyben a Naphoz legközelebb kerül. Ha pl. a Merkur egyedül keringene a Nap körül, akkor örökké ugyanazon az elliptikus *Kepler*-féle pályán keringene és perihéliuma mozdulatlanul ugyanabban a pontban következne be. De a többi bolygó gravitációs hatása egymás pályáit megzavarja, deformálja s a perihélium többé nem fix helyzetű, hanem idővel elmozdul, amely elmozdulás azonban pontosan kiszámítható. Ettől a számítástól tér el Merkur perihéliumának elmozdulása a jelzett mértékben. *Newcomb* a *Leverrier*-találta értéktől való eltérés magyarázatára egyes bolygók tömegén kísérelt megfelelő változtatást eszközölni, de kiderült, hogy ez nem lehetséges, ha nem akarunk ellenmondásba jutni más jól meghatározott naprendszerbeli számállandókkal és értékekkel. Utóbb *Grossmann* kimutatta, hogy *Newcomb* számításaiba hiba csúszott be, s hogy a Merkur-perihélium rendellenesség tetemesen kisebb kell hogy legyen s $29''$ — $38''$ között fekszik.

A Merkur-perihélium mozgásának magyarázatára segítségül vették a Napnak a gömbalaktól való eltérésének hipotézisét és a *Newton*-féle törvény megváltoztatását is. De ha ezekkel sikerült is volna ezt a rendellenességet számbelileg megkapni, úgy más bolygóknál, nevezetesen a Hold mozgásában oly eltéréseknek kellett volna mutatkoznia, melyek nem kerühtek volna el az észlelők figyelmét. Ilyenek azonban nem mutatkoztak. Hasonló sikertelenséggel kísérelték meg a *Leverrier*-féle Vulkán-bolygót intramerkurialis bolygógyűrűvel helyettesíteni. 1906-ban *Seeliger* a zodiakális fényt előidéző kicsiny porrészcskéket vette segítségül a Merkur-perihélium rendellenesség magyarázatára. Az ő feltevése a *Newton*-féle törvényt érintetlenül hagyja s teljesen kielégítően fejti

meg a Merkúr-perihélium mozgását és a naprendszerben ismeretes többi eltéréseket is.

Amíg ezek az említett magyarázat-kísérletek ad hoc alkotott feltevések, addig az általános relativitás-elméletnek a perihélium-elmozdulás szerves folyománya. Azonban többféle nehézség mutatkozik itt is. Az *Einstein*-féle képlet $42'89''$ -et szolgáltat az elmozdulás értékéül, tehát a *Newcomb*-énál is nagyobb értéket. Kisebb érték mindenesetre plauzibilisabb lett volna. A képlet melyet *Einstein* talált, tökéletesen megegyezik egy másik kutató képletével, mely az általános relativitás tan megalkotása előtt 18 évvel vált ismeretessé. *Gerber* vezette le abból a feltevésből, hogy a gravitáció ugyanolyan sebességgel terjed mint a fény. Levezetése azonban kifogások alá esik. Nyilvánvaló, hogy *Gerber* képletének sem szolgál igazolására, ha segítségével a Merkúr-perihélium elmozdulására $42''$ -et talál. *Gaston Bertrand* 1921-ben kimutatta, hogy számtalan vonzási törvényt lehet föllátni, melyek mind ugyanezt a képletet szolgáltatják s ugyanígy alkalmasak a Merkúr-perihélium rendellenességének magyarázatára. De súlyosabb *G. v. Gleich*nek az a megjegyzése, hogy a relativitás tan csak bizonyos elhanyagolásokkal jut az ő egyenleteiből a perihélium képletéhez. Ha ezeket az egyenleteket a kellő szigorral kezeljük, úgy azt találjuk, hogy a perihélium-elmozdulás lehet pozitív vagy negatív, vagy zérus is, és így az említett képlet nem mértékadó és nem jogosult.

A második megfigyelési lehetőség, amelyre a relativitás tan hivatkozhatik, a fénysugár elgörbülése megfelelően erős gravitációs térben. *Laue* a relativitás tanról írt nagyszabású és kitűnő munkájában azt mondja, hogy *Einstein*nek ez a fölfedezése, ha beigazolódik, az emberi szellem egyik legnagyobb diadalát jelenti. *Laue* könyvének megjelenése évében derült ki aztán, hogy már 1804-ben, tehát több mint száz évvel a relativitás elmélet megalkotása előtt, *I. v. Soldner* kitűnő német geodéta, a régi *Newton*-féle emissziós elmélet alapján számította ki a fénysugár elgörbülését, 1833-ban pedig *Poisson*, a kiváló francia matematikus eszközölt hasonló számítást ugyanezen az alapon. *Einstein* első képlete megegyezett a *Soldner*-félével; később ezt az értéket megkészszerelte. *Soldner* meg *Poisson* korábbi felfedezéséről *Einstein* termé-

szetesen nem tudott, mert azok teljesen feledésbe merültek és a csillagászok nem siettek annak idején *Soldner* felfedezését megfigyeléseikkel kellő próbára tenni. Hasonló eset ez mint a *Foucault*-féle ingakisérleté, melyet 190 évvel *Foucault* előtt már *Viviani* végzett s amely teljesen feledésbe merült. A jelen esetben azonban az a fontos, hogy a régi, klasszikus fizika is szolgáltat fényelgörbülést, ha feltesszük, hogy a fény ponderomotorikus erőknél van alávetve. 1919 óta a csillagászok nagy gonddal észlelik a teljes napfogyatkozásokat, mert csak ezek alkalmával lehet a távoli csillagok fényének a Nap közelében való elmenetelét észlelni.

A kérdés nemcsak akörül forog, hogy a *Soldner*-féle, vagy az újabb *Einstein*-féle elgörbülés érvényes-e, hanem hogy más okok is nem-e idézhetnek elő hasonló hatásokat a Nap közelében elhaladó fény-sugár útjában. A Nap közvetlen környezetét még nagyon kevésbé ismerjük. Nem ismerjük a napatmoszférát, a korona alkatát; a fotografikus hatások a fényképlemezen sem ismeretesebbek még eléggé, s így nagyon elővigyázatosnak kell lennünk, mikor valamely észlelt hatást ennek vagy annak az oknak akarunk tulajdonítani. Még nagyon számos észlelést és sok gondos számítást és összehasonlítást kell végezni, míg az itt esetleg közrejátszó különféle tényezőket szét lehet választani s befolyásukat egyenként latolgatni. Érdekesebben illusztrálja ezt pl. az 1922 szept. 21-i napfogyatkozás. Először azt a hírt bocsátották világgá, hogy a Wallal-expedíció a lehető legpontosabban igazolta az általános relativitáselméletet. Később *Campbell* és *Trümpler* azt közölték, hogy az *Einstein*-félénél nagyobb értéket találtak a fény eltérésére s azt a következtetést vonják megfigyeléseikből, hogy még valamely más hatásnak is kell léteznie, mely az előbbihez hozzáadódik, s ez lehetne talán a *Courvoisier*-féle ú. n. évi refrakció, melyet ez a gondos észlelő fedezett föl.

Viszont mások úgy találják, hogy a napfogyatkozások alkalmával észlelt fényeltérések — melyek a Nap közelében látszó állócsillagok helyeinek csekély megváltozásában jelentkeznek — sokkal jobban egyeznek a *Courvoisier*-féle évi refrakcióval, semmint a relativitáselmélet követelte értékkel. Mások meg azon a nézeten vannak, hogy a *Courvoisier*-féle

hatás tisztán a csillagászati észlelések természetéből folyó szisztematikus hiba, melynek semmi köze sincs a napfogyatkozások alkalmával észlelt csillagpozíció-eltolódásokhoz. De ha úgy járunk el, ahogyan *Campbell* és *Trümpler*, akkor époly joggal azt mondhatnók, hogy méréseink a *Soldner-féle* formulát igazolják, s azonkívül valamely eddig ismeretlen hatást. Nyilvánvaló, hogy ilyen módon sok mindenfélét lehet bebizonyítani.

Gehrcke nagyon egyszerű meggondolásokkal mutatta ki, hogy szükségszerűen a *Soldner-féle* képletre jutunk, ha fölteszük, hogy a gravitáció hatással van a fényre s hogy valamely csillag fénye a Nap közelében eltérést szenved, s ha figyelembe vesszük minden fizikai egyenlet legelemibb követelményét, mely szerint az egyenlet két oldala ú. n. fizikai dimenzióinak egyezniük kell. De ez természetesen nem bizonyítja sem az éter létezését vagy nemlétezését, sem az emissziós, sem valamely más elméletet vagy feltevést.

A harmadik hatás, mely az általános relativitás-elmélet folyományaként lép fel, a színekpvonalaknak a vörös felé való eltolódása. Ez a hatás az, amelyről sokáig úgylátszott, hogy egyedül az általános relativitástan sajátos következménye, annyira, hogy az elmélet megalkotója maga jelentette ki, miszerint elmélete tarthatatlan volna, ha a vörös felé való eltolódás nemlétezése igazolódna be.

Színekpvonalak eltolódása a *Doppler-Fizeau-féle* elv alapján már régebben ismeretes. De ezen hatás és a relativitáselmélet követelte eltolódás között lényeges különbség van. A *Doppler-Fizeau-féle* hatás létrejöttéhez szükséges, hogy pl. a fényforrás az észlelőhöz képest közeledjék vagy tőle távolodjék. A relativitás-követelte hatás azonban ettől függetlenül akkor is fellép, ha észlelő és fényforrás egymáshoz képest nyugalomban vannak, vagyis változatlanul megtartják kölcsönös távolságukat. Az eltolódás csupán a fényforrás (pl. a Nap) és az észlelő helyének (pl. a Föld) potenciál különbségétől függ.

Még 1920-ban *Lenard Fülöp* a híres fizikus is azon az állásponton volt, hogy ez a színekpvonal-eltolódás kizárólag az általános relativitáselmélet révén adódik. Azonban már 1921-ben *Mahoroviciè* a polározott fényre, 1922-ben pedig e sorok írója tisztán az emisz-

sziós elméletre támaszkodva kimutatták, hogy a klasszikus fizika is tökéletesen ugyanazt az eltolódást adja és ugyanabban a formában mint a relativitástan, t. i. mint potenciálkülönbséget. Később *Förster* és *Bucherer* a kvantumelméletből vezették le a színeképvonal-eltolódás formuláját, *Lenard* pedig a fény kvantumenergia változásából és a *Hasenöhrl*-féle energia-tehetetlenségből.

Az észlelés a vonaleltolódásra még nem nyújtott egységes eredményt. A Mount Wilson obszervatórium nagyszerű műszereivel dolgozó és kitűnő észlelő *St. John* pl. kezdetben semmiféle vonaleltolódást sem talált a Nap színeképeiben, vagy pedig oly csekély mértékűt, de pozitív és negatív irányban egyaránt, hogy vöröseltolódásról a relativitáselmélet értelmében nem lehetett szó. Más észlelők ellenben, mint pl. *Grebe*, *Bachem* és *Pérot* oly megfigyeléseket tettek, melyek nagyságban elérik a relativitáselmélet követelte eltolódást. Utóbb *St. John* is arról számolt be, hogy ilyen eltolódást észlelt. Megjegyzendő, hogy ez az eltolódás oly rendkívül csekély, hogy teljesen a mérhetőség határán fekszik. Eltekintve attól, hogy még nincsenek kiderítve az összes körülmények, melyek a Nap felületén ilyen, a *Doppler-Fizeau*-félétől különböző színeképvonal-eltolódást előidézhetnek, nyilvánvaló, hogyha végleges és pozitív formában ki is derülne ilyen eltolódás, akkor is nemcsak egy elmélet van ezáltal igazolva, hanem mindazok az elméletek, melyek helyes úton ugyanazt az eredményt szolgáltatják. Azzal pedig, hogy a klasszikus fizika is — mégpedig sokkal egyszerűbb úton — le tud vezetni oly hatásokat, melyek látszólag a relativitáselmélet sajátos eredményei voltak, elesik ezen elméletnek az az állítása, hogy a régi *Eukleidész*-féle geometria már első közelítésben sem elégséges a természeti tünetmények leírására s hogy helyébe más, ú. n. nem-eukleidészi geometriát kell bevezetni.

Az *Eukleidész*-féle geometria elejtése maga után vonta az általános relativitáselméletnek azt a feltevését, hogy a világtérben az ú. n. *Riemann*-féle geometria érvényes, amely szerint a tér véges, párhuzamos vonalak nincsenek és a háromszögben a szögek összege nagyobb 180° -nál. *Einstein* meghatározta ennek a térnek a görbületi sugarát. Teljesen ugyanezt a görbületet adja az *Eukleidész*-féle tér is oly

csillagvilág számára, melynek tömege elég nagy ahhoz, hogy a fénynek kifelé való terjedését lehetlenné tegye, amint ezt e sorok írója kimutatta. Különben *Einstein* és *De Sitter* 1930-ban közös nyilatkozatban visszavonták a *Riemann*-féle geometria egyedüli jogosultságára vonatkozó nézetüket, hozzájárultak ahhoz, hogy az *Eukleidész*-féle geometria teljes pontossággal elegendő a kozmikus történések leírásához és hogy jelenleg a tér görbületét nem tudjuk megállapítani.

Említettük, hogy míg a speciális relativitáselmélet a fény terjedéss sebességének abszolút állandóságát tanítja s fölteszi azt, hogy a gravitáció is csak a fény sebességével terjedhet, addig az általános relativitáselmélet szerint a fénysebességnél nagyobb sebességek is lehetségesek és a fénysebesség változó. *Laplace* kimutatta, hogy a gravitációnak legalább hatmilliószor gyorsabban kell terjednie mint a fénynek, ha a megfigyelésekkel összhangban akarunk maradni. Újabb ily irányú, szintén a klasszikus asztronómiában gyökerező, de más utakon induló vizsgálatok nem vezettek kielégítő eredményre s *Laplace* felfogásának helytelen voltát nem sikerült kimutatniok. *Wood* több évvel ezelőtt kísérletileg megmutatta, hogy — teljesen eltekintve a gravitációs terektől — fémgözőkben a fény nagyobb sebességgel terjed mint a vákuumban, *Kundt* pedig megmutatta azt, hogy szilárd fémeknél a törésmutató kisebb az egységénél, ami szintén azt jelenti, hogy bennök a fény gyorsabban terjed mint a vákuumban.

Éppenúgy, amint pl. *Soldner* képletéből nem következik az emissziós fényelmélet helyessége, époly kevésbé lehet az említett háromféle képletből a relativitáselmélet vagy valamely más elmélet igaz voltát bizonyítani. Azonkívül szinte elenyészően csekély és fölötté nehezen mérhető mennyiségekről van szó s közismert tény, hogy alapjukban nagyon különböző elméletek formailag azonos szerkezetű képletekre vezethetnek, melyek legföljebb valami arányossági tényezőben különböznek, mint pl. a fény elgörbülésénél a *Soldner*- és az *Einstein*-féle képlet. *Wiechert* az ilyenféle hatásoknak nagyon érdekes elméletét alkotta meg, mely az *Einstein*-féle általános relativitáselméletet mint speciális esetet foglalja magában. *Wiechert* ezzel éles világításba helyezte a különböző

relativitás elméleteket, minőt pl. Weyl is alkotott, ki elméletében az elektromos jelenségeket is felölelte. De Weylnek ez a kísérlete nem talált visszhangra.

Ha tehát lényegesen le is kell csökkentenünk a relativitáselmélet megbízhatóságába vetett esetleges reményünket, egy kétségtelen haszna mégis volt ezen elméletnek, s ez az, hogy felszínre vetett elfelejtett kérdéseket, újabb problémákat vetett fel és oly megfigyelésekre serkentett, melyek nélküle talán csak sokkal később kerültek volna sorra. De azt is megmutatta, mily elővigyázatosan kell eljárunk, ha tisztán formális matematikai eredményeket csillagászati vagy fizikai jelenségekre akarunk vonatkoztatni. Jellemző erre nézve *Emile Picard* jeles francia matematikusnak az Académie des Sciences 1923. évi nyilvános ülésén tett kijelentése, mely szerint a relativitáselméletben rejlő határozatlanság oly nagy, hogy dinamika felépítésére nem látszik alkalmasnak.

„Cominciare dall'esperienza e per mezzo di questa scoprirne la ragione” — mondta már *Leonardo da Vinci*. A tapasztalatot kell kezdeni s ennek révén felhatolni az okhoz.

VI.

Hogyan mérjük a csillagok távolságát?

„Cogitatio nostra caeli munimenta perrumpit
nec contenta est id, quod ostenditur, scire.”

Seneca, De otio; V, 6.

Utazásnál, egyik városból a másikba menet, ha kíváncsiak vagyunk mekkora utat tettünk meg, megnézzük a menetrendet, amelyben az egyes állomások távolságai föl vannak tüntetve; ezeket az adatokat bizalommal tudomásul vesszük. Ha volna olyan utazási lehetőség, mely bennünket pontosan a Föld egyenlítője mentén a kiindulás helyétől oda vissza vezetne, úgy abban a menetrendben 40.070 km-t talál-nánk az út hosszára. Meg is értjük ezeket a menetrendi távolságokat, s azért el is hisszük, mert a távolságokat tudtunkkal akként mérik, hogy a — mondjuk pl. 10 m hosszú — mérőszalagot pontosan egymásután lerakva, tényleg megméri az egyes állomások közti távolságot. A Föld egyenlítőjének előbb említett hosszát ugyan nem mérték meg közvetlenül ilyen módon, hanem megmérték néhány foknyi hosszt, és minthogy a Föld biztosan közel gömbalakú s a köz-kerületében 360 fok van, az egyenlítő hosszát pontosan ki lehetett számítani. Ebből meg a geometria legelső elemei szerint megkapjuk a Föld sugarát, vagyis a föld felszínétől a középpontjáig való távolságot, 6378 km-t, aminek a kétszerese a Föld átmérője, 12.756 km. Ez a legnagyobb egyenesvonalú távolság, ami a mi Földünkön lehetséges mely a Föld középpontján át az egyenlítő két ellentett pontját összeköti, míg az egyenlítő maga a Föld felületén lehetséges legnagyobb kör. E kör hosszának a fele, 20.035 km, a legnagyobb földfelszíni távolság két hely között.

Az imént föltételeztük, hogy a mérőszalagot akadálytalanul rakhatjuk le egymásután a megméréndő

hosszúságra. De mi történik, ha közben akadály merül fel, mint pl. az egyenlítő mentén a tengerek, vagy a szárazföldön valamely folyó, melyen nem vezet át híd? Ezt legegyszerűbben konkrét példa fogja megvilágítani. Geodeták térképeznek és a folyó túlsó partján látszó helység templomtornyának távolságát kell megállapítaniok. Egyszerűen a legelemibb mértani tételt fogják alkalmazni, mely szerint, ha háromszögben ismerjük az egyik oldal hosszát és a rajta nyugvó két szöget, akkor a másik két oldal hosszát egyszerű háromszögmértani v. trigonometriai számítással megtudjuk állapítani, éppen olyan pontosan, mintha mérőszalaggal tényleg lemértük volna. Ezt akként fogják elérni, hogy sík területen hosszabb egyenest mérnek le pontosan, melynek két végpontját pl. póznákkal kitűzik. Onnét szögmérő theodolitjukkal a távoli templom tornyára célozva megméri a kijelölt alap egyenes két végpontján a két szöget, mely alatt a torony látszik. A többi már csak egészen elemi számítás, amint jeleztük.

A templom tornya helyébe gondoljuk pl. a Holdat, az alapegyenes két végpontja helyébe két egymástól lehetőleg messze lévő csillagdat, és rögtön megértjük, hogy égitest távolságát éppenúgy mérhetjük meg ezzel a közvetett módszerrel, mint a Föld felületén valamely hozzáférhetetlen pontét, anélkül, hogy a mérőszalagot v. lécet egymásután tényleg leraktuk volna. A Holdnak tőlünk, ill. a Föld középpontjától való távolságát csakugyan ezzel a módszerrel határozták meg először pontosan 1750-ben *Lacaille* és *Lalande*, két jeles francia csillagász. *Lacaille* Cape Townban, Afrika legdélibb csúcsán, *Lalande* pedig Berlinben észlelt egyidejűleg. A két város majdnem ugyanazon a délkörön fekszik és földrajzi szélességükből és hosszúságukból könnyen ki lehet számítani, hogy egyenes vonalban mily távol vannak egymástól. A két csillagász lehetőleg sokszor és egyidőben vette célba a Holdnak ugyanazt a pontját, és így a trigonometria elemei alapján ki lehetett számítani a Holdnak a Földtől való távolságát, mely átlag 384.000 km-nek, kerekén 60 földugárnak adódott.

A Hold tudvalevőleg a hozzánk legközelebb levő égitest, ezért távolságának megmérése aránylag a legkönnyebb. Már az ókorban próbálkoztak ennek a távolságnak a meghatározásával. Az első, tudományos

szempontból kifogástalan elgondolás számoszi *Arisztarchosz*tól a nagy görög csillagásztól ered (III. század Kr. e.). Sőt *Arisztarchosz* még messzebbre menő feladat megoldását kísérelte meg: azt akarta megtudni, hogy a Nap hányszorosa oly távol van tőlünk, mint a Hold. Látszólag ugyan a Nap éppen olyan nagy mint a Hold, de mégis távolabb kell hogy legyen, mert hiszen napfogyatkozáskor a Hold a Föld és a Nap közé kerül, és azonkívül a Hold 29 nap alatt kerüli meg a Földet, míg a Nap csak egy év alatt. *Arisztarchosz* elgondolása az volt, hogy első vagy utolsó negyedkor, amikor a Holdnak pontosan a fele van megvilágítva, a Holdtól a Naphoz és a Földhöz vont két egyenes derékszöget alkot. Ha tehát a Földön megmérjük a Nap és a Hold középpontjához vont két egyenes alkotta szöget, akkor egyszerűen kiszámíthatjuk a Nap-Hold-Föld alkotta derékszögű háromszögben a Föld-Hold távolság, a kisebbik befogó, hányszor foglaltatik a Föld-Nap távolságban, az átfogóban. *Arisztarchosz* 87 foknyinak találta a mért szöget, amiből következnek, hogy a Nap 19-szer oly messze van mint a Hold. Az újszerű és a merész ebben az elgondolásban az, hogy a nagy csillagász itt először használ kozmikus mértékegységet, a Föld-Hold távolságot más égitest távolságának megméréseére. Eredménye azonban a megméréendő távolságnak csak huszadrészét szolgáltatta, mert a Nap valóságban 388-szor oly messze van tőlünk, mint a Föld.

Amint mondtuk, a probléma felállítása matematikailag teljesen kifogástalan, csak az említett szög megmérése ütközik lehetetlen nehézségekbe. Egyrészt akkor fonalkeresztes távcsővel ellátott pontos szögmérő még nem létezett, másrészt lehetetlen pontosan megállapítani a dichotomiának, a Hold fél megvilágítottságának időpillanatát. A megméréendő szög pontosabban $89^{\circ} 51'$, tehát csupán $9'$ -cel kisebb 90° -nál. Az akkori primitív szögmérőeszközökkel ívperceket még nem tudtak mérni; *Tycho Brahe* volt az első csillagász, ki ilyen pontosságot ért.

A Hold tényleges távolságát az ókor másik nagy asztronómusa, *Hipparchosz* (Kr. e. 120 körül) határozta meg először a holdfogyatkozások segítségével. Messze vezetne, ha szellemes módszerét itt ismertetni akarnám. Dacára annak, hogy ez nem enged meg nagyobb pontosságú észleléseket, *Hipparchosz* eredménye

mégis közel jár a valósághoz: azt találta, hogy a Holdnak tőlünk való távolsága 66-szorosa a Föld sugarának. Ez kissé túlnagy érték, mert tényleg a Hold közepes távolsága tőlünk 60 földsugár (384.000 km). A Föld sugarának nagyságát (sztadionokban kifejezve) pedig 130 évvel *Hipparchosz* előtt már kiszámította *Eratoszthenész* jeles görög csillagász, úgyhogy akkor közönségesen használatos hossz mértékben is meg volt adva a Hold távolsága. *Eratoszthenész* földmérése is tudományosan kifogástalan elven alapul és igen jó eredményt szolgáltatott. Megjegyzendő, hogy ő az Alexandrián átmenő délkör kerületét határozta meg, amiből a Föld sugarát — helyesebben az Alexandriához tartozó görbületi sugarát — könnyű kiszámítani.

Hipparchosz a Föld sugarát vette hosszegységnek a Hold-távolságnál. Említettük már, hogy a Föld átmérője a lehtő legnagyobb egyenes távolság két földi pont között. Ennek fele a Föld sugara, melynek egyik végpontja a Föld középpontjában, másik vége az egyenlítő valamelyik pontjában van. A csillagászati méréseket az egyöntetűség és összehasonlíthatóság céljából a Föld középpontjára kell vonatkoztatni. Valamely égitest távolsága alatt annak az egyenes vonalnak a hosszát értjük, mely a Föld vagy a Nap középpontjától amaz égitest középpontjáig terjed. De láttuk, hogy a csillagász ezt a távolságot csak közvetve tudja megmérni, közvetlenül csak szögeket mérhet.

Arisztarchosz meg *Hipparchosz*, *Lacaille* és *Lalande* is egy ilyen szöget akart ismerni, amelyből azután a megméréendő távolságot is kiszámíthatja. Ennek a szögnek neve parallaxis (görögül annyi mint elmozdulás, eltolódás) és ez a következő. Pl. a Hold középpontjából képzeljünk egyenes vonalat a Föld középpontjáig, egy másik egyenest pedig mely a földi ekvátort érinti. A Föld középpontjától ehhez az érintési ponthoz vont egyenes nyilvánvalóan a Föld ekvatori sugarával egyenlő és harmadik oldala a tőlünk elgondolt derékszögű háromszögnek. Az ezzel a harmadik oldallal szemközt fekvő szög, melynek csúcsa a Hold középpontjában van, a parallaxis, — példánkban a Holdé. A Hold középpontjából szemlélve ez alatt a szög alatt látszanék a Föld egyenlítői sugara. Ez a szög mutatja azt az eltolódást, melyet a Hold középpontjához vont irány szenved, ha egyszer a Föld

középpontjából, azután az egyenlítőnek ama pontjáról szemléljük, melynek a Hold középpontja éppen a horizonjában van. Minél közelebb van a Hold, vagy valamely másik észlelés alá vett égitest, annál nagyobb lesz ez a látszó eltolódás, mennél távolabbra helyezzük az égitestet, annál kisebb lesz ez a szög, a parallaxis, úgymint mikor a robogó vonatról szemlélve a közeli fák erősebb mértékben látszanak elmozdulni, míg a távoliak annál kevesebbet, mennél messzebb vannak. Szobában is észlelhetjük ezt a közismert jelenséget, ha köztünk és a fal között levő tárgyat egyszer jobb, majd bal szemünkkel nézünk s a falnak más és más helyére látjuk vetítve: ha fejünk oly nagy volna, hogy két szemünk egy földszagárnyira lenne egymástól, akkor a csillagásztól észlelt mértékben látnók a távolabbi csillagokhoz képest eltolódni a Holdat vagy más alkalmas égitestet.

Ebből az eltolódás szögéből, a parallaxisból lehet most már egyszerű trigonometriai úton a kívánt távolságot kiszámítani. A hold parallaxisa $57'$, csak három ívperccel kevesebb egy foknál. Ez még oly nagy szög, hogy már *Ptolemaiosz* (Kr. u. 150 körül) is meg tudta mérni. Ebből az $57'$ -nyi parallaxisból rögtön következik, hogy a Hold 60 földszagárnyira van tőlünk, és minthogy a Föld sugarának nagyságát pl. km-ekben geodéziai mérésekből ismerjük, így a Holdét is megadhatjuk km-ekben. Kör kerületén lemérve a sugár $57^\circ 17' 45''$ -nyi (kikerekítve) szöget fog be a kör középpontjából mérve. Ha ugyanezt a sugarat egy 60 -szorta nagyobb sugarú kör kerületére mérjük le, akkor a hozzátartozó szög 60 -szorta kisebb, azaz $57' 17.75''$, tehát majdnem pontosan a Hold parallaxisa. Most már mondhatjuk, hogy minél nagyobb valamely égitest távolsága, annál kisebb a parallaxisa, vagy pedig: a távolság fordítva arányos a parallaxissal, természetesen mindig egységül véve az $57^\circ 17' 45''$ -nyi szöget, amely $206.265''$ -is egyenlő. Elnézését kell kérnem az olvasónak, hogy ily száraznak látszó dolgokkal fárasztom, de a naprendszer, a Tejút csillagrendszer és az egész kozmosz méreteinek hitelességéhez és megértéséhez ez alapvetően fontosságú. Parallaxisnál hosszalap egységül a Föld egyenlítői sugarát vettük; ezért ezt geocentrikus horizontális parallaxisnak nevezik. Horizontálisnak azért nevezik, mert a horizonban éri el legnagyobb értékét. Ha tehát az

előbb említett $206.265''$ -et elosztjuk az ívmásodpercekben kifejezett parallaxissal, megkapjuk az égitest távolságát földsugáregységben kitejezve. Ebből viszont következik, hogyha ismerjük valamely égitest látszó (— szögmértékben kifejezett —) átmérőjét vagy sugarát, akkor az előbbi számot a látszó sugárnak ívmásodpercekben kifejezett értékével elosztva megkapjuk a Föld távolságát az illető égitest sugarával mint egységgel. Így pl. a Hold látszó átmérője átlag $31' 5''$, látszó sugara tehát $15' 32.5'' = 932.5''$. Ennélfogva a szabály alapján 221.2 holdsugárnyira (vagy 110.6 holdátmérőnyire) vagyunk a Holdtól. De ez a távolság $= 384.000$ km; ezért a Hold sugara ennek 221.2 -ed része, vagyis kereken 1736 km. A Nap látszó közepes átmérője $31' 59''$, tehát látszó sugara $15' 59.5'' = 959.5''$, nagyon keveset különbözik a Holdétól, amint ez tapasztalásból mindenki előtt ismeretes. Ismét az előbbiekből alapján a Föld a Naptól kereken 215 -szerte oly messze van, mint amekkora a Nap sugara (vagy 107.5 napátmérőnyire). De itt most nem tudjuk megmondani mekkora a Nap sugara km-ekben kifejezve, mert még nem ismerjük a Nap távolságát vagy parallaxisát.

Láttuk, hogy *Arisztarchosz* azt igyekezett megmérni, hányszorta oly távol van tőlünk a Nap mint a Hold. De a csillagászok minden fáradozása hiabavalónak bizonyult, hogy a Nap parallaxisát közvetlenül oly módon határozzák meg mint a Holdét. De közvetett módszer eredménnyel kecsegtetett. Ez arra támaszkodott, hogy Mars szembenálláskor elég közel jár a Földhöz, hogy parallaxisát, tehát a Földtől való távolságát meg lehessen mérni. Másrészt *Kepler* ú. n. harmadik törvénye szerint a bolygók keringésidejének négyzetei úgy aránylanak egymáshoz mint a Naptól való távolságuk köbei. A Föld és a Mars keringésidejét igen nagy pontossággal ismerjük és így a kívánt Nap-parallaxist (ill. távolságot) is meg tudjuk állapítani. Először 1672 -ben állapították meg ezzel a módszerrel a Nap parallaxisát, mikor *Richer* francia csillagász Cayenneben, *Picard* és *Römer* Párisban észlelte Marsot szembenállásakor. A Nap parallaxisa az ő megfigyeléseikből $9.5''$ -nek adódott, ami túlnagynak bizonyult. A múlt század eleje óta felfedezett számos kisbolygó közül némelyik sokkal közelebb jut a Földhöz mikor oppozícióban, szembenállásban

van, és így parallaxisa is pontosabban határozható meg, következőleg a Napé is. Auwers és Gill a Victoria és Sappho nevű kisbolygók heliométerrel való megfigyeléséből 1889—1890-ben $8'802''$ -et, Hinks az Eros kisbolygónak vizuális észleléséből $8'806''$, fotográfiai megfigyeléséből pedig $8'807''$ -et talált 1900—1901-ben. Jones és Halm a Mars fotográfiai észleléseiből $8'809''$ -et talált 1924-ben. Különféle más módszerekkel talált értékek átlaga $8'803''$; a csillagászati számításokban az 1900. évi nemzetközi megállapodás értelmében $8'80''$ -nek szokás venni a Nap geocentrikus közepes parallaxisát, ami 23.439 földszugarat vagy kereken 149,500.000 km-t jelent. Előbbi megfontolásaink alapján ebből megkapjuk a Nap sugarának vagy félátmérőjének hosszát, mely = 695.349 km, tehát 109-szer akkora mint a Föld félátmérője.

1679-ben Halley jeles angol csillagász, Newton kortársa rámutatott arra, hogy a Venus bolygó átvonulása a Nap korongja előtt alkalmas a Nap parallaxisának meghatározására. A Venus közelebb van a Naphoz mint a Föld, és némelykor, alsó együttállás alkalmával, egyvonalba kerül a Nap és a Föld közé, s ilyenkor mint kis fekete folt észlelhető, amely a Nap korongja előtt keletről nyugati irányban elvonul. Két földi észlelő, kiknek egyike északabbra van mint a másik, a Nap-korongnak nem ugyanazon helyén látják ezt az átvonulást; az északi megfigyelő délebbre, a déli megfigyelő északabbra kell hogy lássa a bolygó útját a Nap korongján. Ez nyilvánvalóan parallaktikus, eltolódási jelenség és így alkalmas a Nap parallaxisának megállapítására. Az első Venus-átvonulást 1761 júniusában figyelték meg több helyen, majd ismét 1769 júniusában. Ez az utóbbi átvonulás volt az, melyet jeles magyar csillagászkunk Hell Miksa is észlelt és a ma elfogadottal közel egyező értéket talált a Nap parallaxisára. Azóta 1874 és 1882 decemberében volt ismét ilyen Venus-átvonulás, melyet szintén több tudományos expedíció észlelt az arra alkalmas helyeken. A következő átvonulások 2004 és 2012 júniusában lesznek. A Venus (— és hasonlóan a Merkúr —) átvonulások azonban nem szolgáltatnak eléggé pontos eredményt, mert a fényes Nap-korong előtt elvonuló kis fekete pontocska észlelését optikai jelenségek zavarják.

Az eddig ismertetett módszerek a Nap-parallaxis meghatározására tisztán geometriaiak. Az asztronómusok azonban fáradhatatlanul igyekeztek minél különfélébb eljárásokat kigondolni, hogy így eredményeiket ellenőrizhessék, összehasonlíthassák és a lehető legpontosabban állapítsák meg ezt a mennyiséget, melynek ismerete nélkülözhetetlen a többi állócsillagok távolságának megméréséhez. A Nap is éppen olyan saját fényével világító, izzó csillag vagy égitest, mint a többi sok millió ú. n. állócsillag, és csak abban különbözik ezektől, hogy ő hozzá vagyunk a legközelebb, ő hozzá vagyunk kötve örökre a gravitáció törvénye által és az ő általa felénk árasztott fény és hő minden földi életnek kútforrása. A Föld egy év alatt teszi meg egyszer útját a Nap körül, és ezért félévnyi időközben pályájának két ellentett pontjába kerül, melyek tehát a majdnem köralakú pálya egyik átmérőjének két szélső pontja. Nyilvánvaló, hogy ilyen átmérő az a legnagyobb elmozdulás, melyet a Föld a térben — a Naphoz viszonyítva — elérhet. érthető ennél fogva, hogy a csillagászok miért tulajdonítanak ismeretének oly nagy fontosságot.

De lássuk röviden a többi módszerek közül a legfontosabbakat. Ismeretes, hogy a Jupiter-bolygó távolabb van a Naptól mint a Föld és hogy négy nagyobb holdját *Galilei* fedezte föl 1610-ben. Jobb színházi látcsővel is ezeket a holdakat jól lehet látni. A Naptól megvilágított Jupiter árnyékot vet maga mögött, és ezek a holdak, ha ebbe az árnyékba kerülnek, fogyatkozást mutatnak éppenúgy mint a mi Holdunk, mikor a Föld árnyékába kerül. Ismerve a Jupiter keringésidejét és távolságát a Naptól és holdjait a Jupiterhez viszonyítva, ezeket a fogyatkozásokat előre ki lehet számítani és megfigyeléssel a számítás helyességét ellenőrizni. 1675-ben *Olaf Römer* dán csillagász Párisban e holdak észlelésével foglalkozva észrevette, hogy fogyatkozásaik a számítottnál későbbben következnek be, ha a Jupiter távolabb van tőlünk, mint mikor szembenálláskor legközelebb van hozzánk. *Römer* igen helyesen felismerte, hogy ez azért van, mert a fénynek idő kell, hogy a Jupitertől hozzánk érkezhessék, másszóval a fénynek terjedési sebessége van, mely kereken 300.000 km m-percenként. Ismerve ezt a sebességet — melyet ma már

laboratóriumban is meg tudunk mérni —, megfordítva kiszámíthatjuk a Nap távolságát, mely utat a fény 498 m-perc alatt fut be.

A Föld is a Nap körüli útját bizonyos sebességgel teszi meg, mely most már könnyen kiszámítható. A köralakú földpálya hosszát megkapjuk a Nap távolságából, ezt elosztjuk az egy évben foglalt másodpercek számával és így találjuk, hogy ez a sebesség átlag 30 km m-percenként. Ez a fény sebességének kereken 10.000-ed része. Ebből következik, hogy a távcsövet csillag észlelésekor a Föld mozgása irányában kissé előre kell hajlitanunk, ha azt akarjuk, hogy a csillag fénye a távcső optikai tengelye mentén jusson szemünkbe. Kissé durva hasonlattal az esőben ferdén előre tartott esernyőre gondolhatunk. Pontos, sokszoros megfigyelések azt mutatják, hogy ez az előre-hajlás, az ú. n. fény-aberráció állandója, $20'47''$ -et tesz ki. Ebből viszont a Föld sebessége adódik a fénysebesség hányadaként, ha a fönnebb már többször említett $206.265''$ -öt az aberráció állandójával, $20'47''$ elosztjuk. Ez igen közel 10.000, vagyis a Föld sebessége a fény sebességének 10.000-ed része, vagyis 30 km m-percenként, amiből azután a Nap távolsága adódik az előbbi számítás megfordításával.

Gyorsan mozgó hangforrás hangja — pl. rohanó lokomotív sípjáé — magasabbnak hallatszik, mikor felénk közeledik, mélyebbnek mikor tőlünk távolodik. Ez azért van, mert közeledéskor másodpercenként több hanghullám éri fülünket mint mikor a hangforrás hozzánk képest nyugvó helyzetben van, távolodáskor pedig kevesebb a fülünket érő hanghullámok száma. A fény is hullámtermészetű, rezgésszerű fizikai tűnemény. Ezért gondolta *Doppler* bécsi fizikus (1843), hogy a tőlünk távolodó csillagoknak vörös, a közeledőknek kékszínűnek kell látszaniok. *Fizeau* francia fizikus mutatta ki (1848), hogy nem a csillag színe változik meg, hanem a csillag spektrumában az ú. n. *Fraunhofer-féle* vonalak szenvednenk eltolódást a vörös felé, ha a csillag távolodik tőlünk, az ibolya felé, ha felénk közeledik. Az eltolódás nagysága függ a csillag és a fény sebességétől, tehát hasonló jelenség mint az aberráció. Ha a Földpálya síkjában, az ú. n. ekliptikában levő csillag színeképét észleljük és összehasonlítjuk laboratóriumi színeképpel, akkor a Földnek a Nap körüli mozgása következtében

egy bizonyos időben a csillag felé közeledünk, félév múlva tőle távolodunk. A mérhető színekpvonaleltolódásból az imént kifejtett *Doppler-Fizeau*-féle elv alapján azután a Föld sebességét és — úgymint az aberráció esetében — a Nap távolságát kiszámíthatjuk. Végül megjegyezzük, hogy a *Newton*-féle nehézkedési törvény alapján is kiszámíthatjuk a Nap parallaxisát a föld felszíni gyorsulásból vagy a Hold mozgásában fellépő eltérésből, perturbációból, melyet a Nap nagy tömege idéz elő. De ennek a kifejtése nagyon hosszadalmassá válnék.

Természetes, hogy a csillagászok régóta fáradoztak az ú. n. állócsillagok távolságának megmérése. Hogy ezek az ú. n. állócsillagok igen nagyon messze vannak tőlünk, azt már az ókori csillagászok is tudták. *Ptolemáiosz* (Kr. u. 150 körül) az ő híres *Almagest*-jében azt mondja, hogy a csillagok távolságához képest a Föld csupán geometriai pont. Mikor *Copernicus* (1520 körül) kidolgozta az ő héliocentrikus vilárendszerét, mely szerint a Föld nem áll mozdulatlanul a csillagok között a világ középpontjában, hanem a Nap körül kering, ő nagyon jól tudta, hogy akkor a csillagoknak is eltolódást, parallaxist kell mutatniok, mely annál kisebb, mennél távolabb van a csillag, s amelynek következtében minden állócsillag egy év leforgása alatt kis kör formájában látszik helyét változtatni az égen a Föld évi mozgása következtében. De sem ő, sem a későbbi *Tycho Brahe*, sem *Kepler* ilyen évi parallaxist nem tudtak találni, mégpedig azért nem, mert *Brahe*, a jeles észlelő, még csak ívpercnyi pontossággal tudott szöget mérni, ami messze távol volt még a csillagparallaxis megmérésehez szükséges pontosságtól. A héliocentrikus világnéppellenzői, kik ragaszkodtak *Ptolemáiosz* geocentrikus elgondolásához, ebben az ő igazuk bizonyítékát látták s az évi csillagparallaxis hiányát súlyos ellenvetésnek látták *Copernicus* tanával szemben.

Bradley (1725 körül) a jeles csillagász és elsőrendű észlelő tudott először egy ívmásodpercnyi szöget mérni. De ő is hiába fáradozott, a csillagok parallaxisának megmérése neki sem sikerült. Talált ugyan egy évi eltolódást; de ez először is túlnagynak látszott — közel $21''$ —, s azonfelül $\frac{1}{4}$ fázissal eltért attól, amelyet a parallaxisnak mutania kellett volna, meg azután minden csillagnál egyforma nagyságú

volt, tehát parallaxis nem lehetett, mert a csillagok bizonyára különböző távolságokban vannak elhelyezve a világtérben s így parallaxisaiknak is különbözniök kell. Amit *Bradley* felfedezett, az a már említett aberráció volt, amelyet ő helyesen felismert és magyarázott. Nem kell külön mondanunk, hogy az aberráció is *Copernicus* igazát bizonyítja.

Végre 1838-ban *Bessel*nek, a híres német csillagásznak sikerült a *Cygnus* (Hattyú) csillagkép 61 jelzésű csillagjának parallaxisát megmérnie, melyet $0.30''$ -nek talált. A mérés lehetőségét annak köszönhette, hogy *Gauss* elgondolása alapján *Fraunhofer* elkészítette a héliométernek nevezett távcsövet, mellyel ilyen igen kicsiny szögek megmérése vált először lehetségessé. Az (évi) csillagparallaxisoknál az alaptávolság a Föld-Nap távolság. Ennélfogva ez a nevezetes *Bessel*-féle parallaxis annyit jelent, hogy a 61 Cygni jelzésű csillag annyszor távolabb van tőlünk mint a Nap, ahányszor a $0.3''$ foglaltatik a már többször említett $206.265''$ -ben. Ez annyit jelent, hogy ez a csillag 687.550 -szer oly messze van tőlünk, mint a Nap, tehát közel 103 billió km-nyire. A csillagászok az ilyen nagy távolságokat ú. n. fényévekben szokták kifejezni. Egy fényév az az út, melyet a fény egy év alatt m-percenként 300.000 km-nyi sebességgel tesz meg. Minthogy egy évben kereken $31,560.000$ m-perc van, egy fényév 9461 billió km. A 61 Cygni tehát tőlünk 10.9 fényévnél távolabb van. Ugyanabban az évben, 1838-ban, *Henderson* a déli ég α Centauri nevű elsőrendű csillag parallaxisát $0.758''$ -nek találta. Ezt sokáig a legközelebbi állócsillagnak gondolták, 4.3 fényév távolsággal. Még valamivel közelebb van — eddigi ismereteink szerint — ugyanabban a csillagképben a *Proxima Centauri*, (szó szerint a Centaurusnak legközelebbi csillagja), melynek távolsága 4.26 fényév. A *Sirius*é 8.8 fényév. Azóta sikerült számos más csillag parallaxisát ezzel az alapvető fontosságú trigonometriai módszerrel meghatározni.

Azonban a kicsiny szögek direkt mérhetősége hátrált szab eme módszer alkalmazhatóságának, $0.01''$ -nél kisebb szög biztos mérése fölötté nehéz. Ezért mai műszereinkkel 300 fényévnél távolabb levő csillagok parallaxisának megmérése más módszereket kellett kitalálni. Ilyen pl. a ma már csaknem kizárólagosan

használt fotografiai parallaxis mérés módszere. Ennek tökéletesítése körül különösen *Schlesinger* amerikai jeles asztronómusnak vannak nagy érdemei. Az eljárás százszorta gyorsabb és kényelmesebb, mint a mikrométerrel való fáradságos észlelés. A fotográf-lemez egyszerre többszáz csillag helyét rögzíti meg pontosan és lehetővé teszi az utólagos kényelmes kimérését a lemeznek és ekként a csillagparallaxisok meghatározását. *Schlesinger*nek 1935-ben kiadott katalógusa 7534 parallaxist sorol fel, amelyek közül csupán 20% határozott meg trigonometriai eljárással, a többi mind fotografiai úton méretett.

Ismeretes, hogy a legfényesebb csillagokat elsőrendű, a szabad szemmel még éppen láthatókat hatodrendű fényességű vagy nagyságrendűnek mondjuk. Ezt a látszó nagyságrendet szabad szemmel $\frac{1}{10}$ rendig elég jól lehet megbecsülni, de ú. n. fotométerrel pontosabban is lehet megmérni. Lehet, hogy valamely csillag közel van hozzánk, de gyöngé fénye miatt csak hatodrendűnek vagy ötödrendűnek látszik, míg valamely távolabbi csillag első- vagy másodrendűnek, mert fényesebb. A tényleges fényességét ismernők, ha a csillagokat mind ugyanabban a távolságban tudnók elhelyezni; ekkor látnók valódi, abszolút fényességüket. Minthogy a fényesség a távolság négyzetével fordítva arányosan csökken, azért a látszó és abszolút fényesség ismeretéből kiszámíthatjuk a csillagnak ú. n. fotometriai parallaxisát. A nehézség itt az abszolút fényrend vagy magnitudo megállapítása.

Erre a célra kiindulhatunk pl. statisztikai megfontolásból. Föltesszük, hogy a csillagok átlag egyenlő fényességűek és annál gyöngébb fényűnek látszanak, mennél távolabb vannak. A fényrendskála akként van megállapítva, hogy egy fényrendkülönbségnek a látszó fényesség $2^{\cdot}512$ -szerese felel meg. Az elsőrendű csillag $2^{\cdot}512$ -szerte fényesebb mint a másodrendű s így tovább. Ennélfogva a másodrendű csillag $\sqrt{2^{\cdot}512} = 1^{\cdot}585$ -szorta oly távol van mint az elsőrendű s. i. t. 22 elsőrendű csillag átlagos parallaxisa $0^{\cdot}0686''$, aminek $47^{\cdot}2$ fényév felel meg. A másodrendű csillagok átlagos statisztikai távolsága ennélfogva $74^{\cdot}8$ fényév, a harmadrendűeké $118^{\cdot}6$ fényév stb. Az egyes csillagok tényleges parallaxisai, ill. távolságai ezektől az átlagoktól erősen eltérhetnek. Kissé pontosabb

eredményt érünk el, ha minden szinképosztálynak más-más távolságot tulajdonítunk.

A spektroszkópikus módszernél az abszolút magnitúdóra egyes szinképvonalakból következtetünk. Ily módon már több mint 8000 parallaxiszt állapítottak meg. Az ú. n. spektrofotometriai eljárás nem egyes vonalakból, hanem a folytonos szinkép intenzitásából következtet az abszolút fényrendre. Ez adja az ú. n. színparallaxist.

Nagyon érdekesek és az újabb időben rendkívüli fontosságra tettek szert az ú. n. Cepheida-parallaxisok. A Cepheidák elnevezése alatt változó fényességű csillagokat értünk, melyeknek tipikus képviselője a δ (delta) Cephei. Fényük a minimumtól gyorsan emelkedik a maximumig s attól lassabban süllyed a minimumig. A fényváltozás időtartama $1\frac{1}{2}$ és mintegy 100 nap között fekszik és szabályosan ismétlődik. Miss Leavitt a Harvard-obszervatóriumon vagy 1800 ilyen Cepheida-változót fedezett fel az ú. n. Magellán-felhőkben, a déli égnek ismeretes csillagfelhőiben. Megfigyeléseiből azt a nevezetes eredményt vezette le, hogy eme változó csillagoknál a fényváltozás periódusa és az abszolút fényrend szoros összefüggésben van egymással: mennél nagyobb a periódus, annál nagyobb az abszolút fényrend. Ebből és a könnyen megmérhető látszó fényrendből közvetlenül adódik a csillag parallaxisa. Shapley jeles amerikai csillagász felismerte ennek a módszernek rendkívüli fontosságát, melynek segítségével a világtérnek oly részeiben tudunk parallaxisokat és ennél fogva távolságokat megbízhatóan mérni, melyek a régebbi módszerekkel teljesen elérhetetlenek voltak. Azt lehet mondani, hogy a Cepheida-parallaxisok módszere a kozmosz nagyságáról és felépítéséről való régebbi nézeteinket és ismereteinket teljesen átalakította, és oly grandiózus képet tár elénk elé, mely mellett a legragyóbb költői képzelet is eltörpül. Shapley a Magellán-felhőkben megfigyelt Cepheidákból a nagyobbik felhő távolságára 112.000 fényévet talált, a kisebbikére 104.000 fényévet; a két felhő középpontjai 39.000 fényévnire vannak egymástól. Ily módon meg tudta állapítani, hogy az ismert Andromeda-köd 870.000 fényévnire van tőlünk és messze kívül esik a Tejútrendszer határain, mely utóbbihoz mi is tartozunk és

amelyben a Nap csak egyik nagyon szerény csillag a többi sok milliárd között.

A közönségesen állócsillagoknak nevezett égitestek nem mozdulatlanok a térben, hanem mindenféle irányban különféle sebességekkel haladnak. Nagy távolságuk miatt látszólagos ú. n. saját mozgásuk csak igen csekély, de mai észlelési módszereinkkel mérhető. Mozgásuk közben egyes csillagok tőlünk távolodnak, mások meg közelednek felénk. Ezt a távolodást vagy közeledést, az ú. n. radiális sebességet a *Doppler-Fizeau*-elv alapján a színeképvonalak eltolódásából ki lehet számítani. Úgy a saját mozgás, mint a radiális sebesség alapján a csillag parallaxisát is meg lehet állapítani.

Még megemlítjük, hogy kettős csillagoknál a *Newton*-féle gravitációs törvény alapján lehet parallaxisokat kiszámítani, ha pályájuk ismeretes és tömegeikre általános feltevéssel élünk. Végül *O. Struve* 1929-ben megállapította, hogy a csillagszínképben a calciumnak ú. n. lehasadt K-vonala is alkalmas parallaxismeghatározásra, mert annál erősebbnek mutatkozik, mennél távolabb van a csillag.

Ime, a távolságmérés egyszerűnek látszó művelete mily szellemi erőfeszítéseket igényelt és váltott ki a csillagászoknál, kik fáradhatatlan odaadással, nagy-szerű leleményességgel és olthatatlan tudásszomjjal győzték le az elébük tornyosuló nehézségeket, hogy feltárhassák a kozmosz megdöbbentően grandiózus architektúráját.

VII.

Megemlékezés Laplace-ról.

Halálának 120-ik évfordulójára.

„Laplace mondta, tehát igaz.”

Gauss egyik leveléből.

Laplace nevét világszerte minden művelt ember ismeri, ha másról nem, úgy az ő kozmogoniája révén, melyet sokan felületességből *Kant*tal kapcsolatban emlegetnek. Ez a felületesség *Laplacet* sokszor ferde világításba helyezte s nevének nagy hírével bizonyos körök céltudatosan visszaéltek, mikor olyan nézeteket és kijelentéseket tulajdonítottak a világhíres tudósnek, milyeneket az sohasem vallott és sohasem tett. Így *Laplacet* sokszor vallástalansággal vádolják, mások meg mint tipikus atheistára szeretnek őreá hivatkozni, sőt azt is olvashatjuk, hogy *Napoleon* egyenesen nála rendelt meg bizonyítékokat Isten léte ellen. Az adomaterjesztés felületes szenvedélye sokat vétkezett abban, hogy ez a rosszindulatú legenda több más valótlansággal és igazságtalansággal együtt úgyszólván a köztudatba ment át. Ebben még saját honfitársai is vétkesek. A „*Figaro*” című kitűnő párisi hírlap 1925-ben körkérdest intézett több jeles francia tudóshoz, kiknek feleleteit „*Le sentiment religieux et la science*” (A vallásos érzelem és a tudomány) címen közölte. A május 8-i számban *H. L. Le Châtelier* jeles francia fizikus azt írja, hogy „*D'autres savants, comme Laplace, Berthelot, Curie ont été tout à fait irréligieux*”: Más tudósok, mint *Laplace, Berthelot, Curie* teljesen vallástalanok voltak. Hogy *Laplacera* vonatkozólag ez mennyire téves, és hogy az igazság egészen más, azt megmutatni e kis megemlékezésnek célja, mellyel a nagy géniusznak újból hódolni kötelességünknek tartottuk.

Franciaország számos nagy tudóssal dicsekedhetik,

különösen az exakt tudományok terén. Közöttük egyike a legnagyobbaknak, hazája határain kívül is, *Laplace*. Mindennél jobban mutatja ezt *Gauss*nak, a matematikusok fejedelmének idézett kijelentése, azé a *Gauss*é, aki dicséretben és elismerésben oly fukarnak mutatkozott, mikor a mi *Bólyai Jánosunkról* volt szó. *Copernicus* merész és határozott kézzel megmutatta az utat, melyen a kozmosz tudományának, a csillagászatnak haladnia kell, ha célhoz akar érni. Hogy ez az útkijelölés helyes volt, azt *Galilei* és *Kepler* elévülhetetlen fejtegetései minden időkre megdöntöhetetlenül bizonyossá tették. E három nagy szellem munkái adták meg a lehetőséget, hogy *Newton* hatalmas absztrakcióval leszűrje belőlük azt a csodálatosan egyszerű törvényt, melynek egyaránt engedelmeskedik úgy a mi parányi Földünkön lehulló kődarab, mint a világtér legtávolabbi részeiben keringő óriáscsillag. Igaz, hogy ezt a törvényt csak egyszer lehetett fölfedezni s így *Newton* érdeme az előbb említett nagy úttörők érdeme mellé sorakozik. De *Newton*, bár éles lángelméje teljesen átlátta törvényének horderejét, nem bírta következtetéseinek sorát a végső határig levonni. Ehhez egy emberélet nem volt elég-séges, nem is szólva arról, hogy *Newton* még oly nehézkes matematikai fegyvereket forgatott, melyeket mi már emelni is alig tudunk.

Már maga *Newton* is, valamint *Descartes* és *Leibniz* oly finomabb kutatóeszközöket szolgáltatottak a tudománynak az infinitezimális módszerekkel és az analitikai geometriával, melyek lehetővé tették, hogy az utánuk jövő kutatók addig teljesen hozzáférhetetlennek hitt terekbe hatolhassanak. A csillagászat és az elméleti fizika legfinomabb kutató módszereinek egyik legnagyobb mestere kétségkívül *Laplace* volt, ki *Newton* törvényének következtetéseit a legtávolabbi lehetőségekig kimerítette, úgyhogy az égitestek mechanikájának alig van olyan kérdése, melyet fel ne vetett volna s melyre meg nem adta volna a helyes választ. A franciák tehát jogos büszkeséggel nevezik *Laplacet* a „francia *Newton*”-nak.

Alsó-Normandiában, nem messze *Lisieuxtól*, van *Beaumont-en-Auge* kis falu, ahol 1749 március 23-án született *Pierre-Simon De Laplace*. Normandia sok jeles férfiút ajándékozott Franciaországnak; *Malherbe*, *Corneille*, *Poussin*, *Fontenelle*, *Fresnel*, *Papin*, *Élie de*

Beaumont ott születtek, hogy csak néhányat említsünk. Az összes életrajzok írják, hogy *Laplace* szegény parasztszülők gyermeke volt. Ujabban G. A. *Simon* abbé nagy fáradsággal fölkutatta az egész *De Laplace*-család származására vonatkozó eredeti anyakönyvi adatokat egészen a XVII. század elején élt *Olivier de Laplace*ig, kit az anyakönyv „maître”-nek nevez, aki tehát már bizonyos tekintéllyel rendelkezett. *Laplace* atyja. *Pierre de Laplace*, pedig *Beaumont* „syndic”-je, a hitközség elöljárója volt, ami szintén csak úgy lehetséges, hogy a jobbmódú, tekintélyesebb polgárok közé számított. *Laplace* anyja, *Marie-Anne Sochon*, gazdag földművescsaládból származott. *Laplace* legközelebbi rokonai atyjának testvérei, *Louis de Laplace* abbé, kit mint jó matematikust említenek, és *Thomas-François de Laplace* orvos-kirurgus. Egy másik rokona a jeles *Carrey*-családból származik és szintén orvos volt. Így hát szertefoszlott a *De Laplace*-család szegénységéről szóló mendedonda és egészen más színben látjuk azt a miliőt, melyben a gyermek *Laplace* nevelkedett. Nem igaz tehát néhány felületes életrajzírónak az az állítása, hogy az ő gyermek- meg ifjúkoráról azért tudunk olyan keveset, mert restelte alacsony származását. Az atyai háztól nem messze volt a bencések iskolája; ebbe járt *Laplace* mint extern növendék hétévestől tizenhatéves koráig (1756—1765). A kis *Laplace* korán feltűnt rendkívüli intelligenciájával és szinte csodálatos emlékezőtehetségével. A család őt papi pályára szánta. Már ebben az időben megnyilatkozott kiváló matematikai képessége, de a nyelvekhez és különösen a zenéhez szintén nagy vonzalommal viseltetett. Matematikai tehetségét az imént említett matematikus nagybátyja ébresztette és fejlesztette.

Tizenhatéves korában *Laplacet* szülei Caenba küldték, hogy az ottani egyetemen folytassa filozófiai tanulmányait abból a célból, hogy pappá lehessen. A szülők jómódja lehetővé tette, hogy egy penzióban lakhassék és így látogassa az egyetemet. Valamelyik nap a felsőbb mathezist tárgyaló könyvek kerültek *Laplace* kezébe. Nagy buzgalommal veti magát tanulmányozásukra, nemcsak mert az újdonság ingerével hatottak reá, hanem mert kényszerű szimpátia vonzza. „Ettől a naptól kezdve igazi pályája, hivatása el volt döntve: korlátlanul aláveti magát zsenije parancsoló

impulzusának: Achillész megtalálta fegyverét”, mondja róla *Puiseux*. Hogy mily rendkívüli gyorsasággal haladt előre az exakt tudományokban, erről a Torinóban megjelent első dolgozata tanuskodik, melyet legkésőbb 1769-ben írhatott, tehát legföljebb 20 éves korában. *Lagrange*, a nagy francia matematikus ekkor ott élt és ő adta ki a dolgozatot a torinói tudományos társaság „*Mélanges*” című közleményeinek IV. kötetében (1766—1769). Így *Laplace* nem lett klerikus és bizonyos, hogy sohasem kapta a tonzurát. Egyik matematikaprofesszora, ki ismerte *D’Alembert*t, a nagyhírű matematikus-enciklopedistát, ajánlólevelet adott az alig húszéves ifjúnak a neves tudóshoz, és így 1770-ben *Laplace* Párisba került. Az elmondottakból ismét két felületes adat helytelensége derül ki: az egyik szerint a beaumonti bencés, k jó-tékonykodásának köszönhetette volna a gyermek *Laplace*, hogy iskolájukba járhatott; a másik szerint a beaumonti katonai iskola növendéke, majd egyideig tanára lett volna. Ez a katonai iskola azonban csak 1766-ban létesült, mikor *Laplace* már 6 éve Párisban élt.

D’Alembert nem akarta fogadni *Laplacet*, dacára jóakarató ajánlólevelének. *Laplace* úgy segített magán, hogy a mechanika alapelveiről írt értekezését küldte el *D’Alembert*nek, ki fölismerve az ifjú rendkívüli tehetségeit, őt tüstént meleg pártfogásába vette: már néhány nap múlva a királyi katonai iskolán a matematika tanárává nevezte ki. Ekkor kezdte meg *Laplace* nagyszerű tudományos munkásságát, melyet közel 60 éven át szakadatlanul, egészen haláláig, kiapadhatatlan frissességgel folytatott. Sűrű egymásutánban nyújtotta be a párisi tudományos akadémiához értekezéseit. Így pl. *Condorcet*hez 1771-ben írt egyik levelében olvassuk: „Ha végignézek azokon a különböző értekezéseken, melyeket eddig az akadémiához benyújtottam...” Az akadémiától kiadott értekezések VI. kötetének (*Mémoires présentés par divers savants à l’Académie des Sciences*, 1774) előszavában pedig a következő megjegyzést találjuk: „*De la Place* úrnak ezt a két értekezését ama igen nagyszámú munkáiból választottuk ki, melyeket három év lefolyása alatt az akadémiához benyújtott, amelyben jelenleg mint fizikus foglal helyet. Ez a társulat, mely sietett elismerni az ő munkáit és tehetségét, még

sohasem találkozott kebelében senkivel, ki ilyen fiatal korában oly rövid idő alatt annyi fontos és oly sokféle és nehéz tárgyakról szóló értekezést nyújtott be, mint ő".

Laplace már 1772-ben közel volt ahhoz, hogy az akadémiába bekerüljön. Egyideig arról volt szó, hogy a berlini akadémia tagjai közé lépjen, hová Nagy Frigyes gyűjtötte össze Európa akkori legjelesebb tudósait. A szükséges lépéseket D'Alembert tette meg védenice érdekében; de mielőtt ez a terv megvalósult volna, Laplacet a párisi akadémia tagjává választották 1774 áprilisában.

Laplace munkálkodása már kezdettől fogva főleg két irányba terelődött, melyekről csak ritkán tért el: az egyik a valószínűség-számítás elméletének tökéletesítése s alkalmazása a gyakorlati élet jelenségeire; a másik az égitestek mozgásának és alakjának az általános nehézkedésből, mint egyetlen elvből való magyarázata. Ezekkel a kutatásokkal függött össze az a legnagyobb probléma, amelyet Laplace erősebb fegyverekkel és nagyobb következetességgel tudott megközelíteni mint Newton: a Nap körül keringő bolygók mozgásának, pályájának állandósága vagy stabilitása.

1773-ban Laplace megmutatta, hogy a bolygók közepes mozgásában első közelítésben nincsenek évszázados perturbációk, azaz olyan eltérések és változások, melyek az idővel folyton növekszenek, más szóval a bolygók belátható időn belül nem zuhanhatnak a Napba, sem el nem távolodhatnak tőle a végtelenbe. 1784-ben fölfedezte a Jupiter és Saturnus mozgásában mutatkozó nagy egyenlőtlenységek okát és leszögezi azokat a határokat, amelyek között a bolygópályák hajlása és excentricitása változhatik. 1787-ben megmagyarázta a közepes Hold-hosszúság évszázados gyorsulásának okát. Kutatásainak ezek a legkiemelkedőbb eredményei, s tudományos nagy jelentőségének és hírnevének szilárd alapját ezek adták meg.

Egyidejűleg számos értekezésében a Föld alakjával és a tenger árapályával foglalkozik. Eltérően a régebbi statikai árapályelmélettől, mely Newtontól, Eulertől és Mac Laurintól származott, megalkotja a dinamikai árapályelméletet, mely a mai elméletnek is alapja. A valószínűség-számítás fölvetette problémák

megoldására új módszereket talál, melyek a véges vagy végtelen kicsiny differencia-egyenletek integrációjára alkalmasak. Rendkívül szellemes eljárást fedez föl oly formulák közelítő kiszámítására, melyek igen nagy számok függvényei.

1784-ben jelent meg egy munkája „a bolygók mozgásáról és ellipszoidos alakjáról”, melynek címlapján mint a királyi tűzértség növendékeinek examinátora, továbbá mint a műszaki csapatok és tengerész-növendékek felügyelője és examinátora szerepel. Ez a fordulat anyagi helyzetén is javított, mely eddig nagyon szerény volt. Bizonyos, hogy mint tűzérsegi examinátor találkozott először a fiatal *Napoleon Bonapart*tal, ki 1785—86-ban volt a párisi École militaire növendéke. *Bonaparte* ekkor 17, *Laplace* 37 éves volt. *Napoleon* szeretett hivatkozni matematikai ismereteire s így nagyon valószínű, hogy már ekkor szimpátiával és csodálattal viseltetett *Laplace* iránt, amint későbbi tetteiből kitűnik. Az imént említett munkát *Bochart de Saron*, a párisi parlament elnöke, maga is ügyes matematikus, a tudományos akadémia tiszteleti tagja nyomatta ki saját költségén.

Az 1793—94-i rémuralom, a terror, széjjelszórta a régi akadémiákat. *Laplace* ekkor a mértékhitelesítő bizottság tagja lett, ahonnet azonban csakhamar elbocsátották *Bordaval*, *Lavoisierral*, *Coulomb*-, *Brisson*- és *Delambreral* együtt, mert „nem mutatkoztak eléggé megbízhatóknak köztársasági érzelmeik és a királyság elleni gyűlölet szempontjából”.

Laplace ebben az időben Melunben élt nagyon visszavonultan és ott is írta meg azt a munkáját, mely nevét a legszélesebb körökben tette ismertté, az „*Exposition du Système du Monde*”-ot, a szó legnemeesebb értelmében vett népszerű csillagászatot, mely ma sem veszített semmit eredeti frissességéből, szépségéből és mélyreható fontosságából. A könyv 1796-ban jelent meg először, hatodik kiadását 1835-ben érte. Valószínűleg Melunben kezdte megírni legnagyobb és legjelentősebb munkájának, a „*Mécanique céleste*”-nek, az ég mechanikájának első könyveit. *Bailly*, Páris polgármestere és jeles csillagász *Laplace*-nál keresett és talált menedéket; de a rémuralom vezérei itt megtalálták és a vesztőhelyre vitték, mint sok más kitűnő képviselőjét a francia szellemnek, kik közül elég megemlítenem *Lavoisier*t, *Laplace* ba-

rátját és munkatársát, kit a terror egyik bírāja, *Coiffinhal*, azzal az indokolással küldött a guillotine alá, hogy „a köztársaságnak nincsen szüksége tudósokra”.

Mikor a forradalom borzalmi alábbhagytak, *Laplace* számára új élet kezdődött. Tudományos tevékenysége ugyanúgy megmaradt, de régebi dolgozatait hatalmas nagy egésszé kezdi összekovácsolni, hogy végleges didaktikai formát adjon nekik. A politikai életben is résztvesz és megkezdődik a külső elismerések és kitüntetéseknek folyton emelkedő sorozata, melyek őt méltóan megillették.

1794-ben *Langrange*szal, a híres matematikussal együtt a rövidéletű *École normale*-on volt a matematika professzora. Itt volt tanítványa *Fourier*, a kiváló matematikus és elméleti fizikus. Mikor 1795-ben a ma is fennálló *Bureau des Longitudes*, a híres francia mértékhivatal megalapított, *Lagrange* és *Laplace* voltak az első, kik a matematikusok részére szánt két helyet betöltötték. Ugyancsak ők ketten az első két rendes matematikustagjai az 1795-ben életbe léptetett *Institut national des Sciences et Arts*-nak, melynek úgynevezett első osztálya 1816-ban ismét az *Académie des Sciences* nevet vette föl, melyet ma is visel.

1810 óta *Laplace* Európa majdnem valamennyi tudós társaságának tagja volt. 1816-ban az *Académie française* is tagjává választotta s így *Laplace* helyet foglalt a negyven halhatatlan között. Csak természetes, hogy irigyei ezért lekicsinyelték, de tény az, hogy az *Exposition du Système du Monde* a francia nyelv- és művészet egyik legszebb remeke s hogy szerzője méltán megérdemelte ezt a kitüntetést, mely minden francia írónak és tudósaknak leghőbb vágya.

Laplace politikai pályafutásáról sok elítélő vélemény hangzott el. Ezek teljesen igazságtalanok. A forradalommal Franciaországra szakadt folytonosan változó politikai állapotok kizártak valamely állandó irányt s ha *Laplace* jónak látta politikai nézeteit változtatni, úgy ezt meg tudjuk érteni most az Európát ért nehéz megpróbáltatások után. *Painlevé*nek, a kiváló francia matematikusnak, ki a múlt világháborúban francia hadügyminiszter majd miniszterelnök volt, senki sem tesz szemrehányást politikai pályafutásáért.

Bonaparte azzal adott kifejezést *Laplace* iránt érzett

nagyrabecsülésének, hogy az 1799 brumaire 18-át (nov. 9. a Directoire bukásának napja, mikor *Napoleon* államcsinnyel első konzul lett) követő napon őt belügyminiszterré nevezte ki. Még aznap az új miniszter 2000 frankos évjáradékot eszközölt ki a szerencsétlen véget ért *Bailly* özvegye számára, ki a legnagyobb nyomorban tengette életét. Másnap kora reggel *Laplace* felesége maga sietett a nyugdíj első negyedévi részét a szegény özvegynek elvinni. Ez kezdetnek nagyon nobiles volt, mondja *Arago*. De azért *Laplace* hatheti működés után kénytelen volt miniszteri székét *Napoleon* öccsének, *Lucien Bonapartenek* átengedni, mert a nagy csillagász és matematikus híján volt azoknak a tulajdonságoknak, amelyek ilyenféle politikai hivatal teljesítéséhez szükségesek, igazolva *Pascal* szavait, melyek szerint a matematikusok elvesztik lábuk alatt a talajt, mihelyt olyan térre vetődnek, hol tudományuk tiszta és félre-magyarázhatatlan elvei nem találnak megfelelő alkalmazást. Abban a mozgalmas időben a belügyminiszteri székre csak az akció embere volt alkalmas, ki gyorsan és katonás határozottsággal tud döntené. *Laplace* pedig nem volt az akció embere, éppenúgy mint *Condorcet* vagy *Cicero*. A konzulság sorsa volt a mérleg egyik serpenyőjében, és a tudós, intuitív elme nem volt alkalmas arra, hogy a szükséges egyensúlyt biztosítsa. Ez az incidens *Laplacet* egyáltalán nem helyezi kedvezőtlen világításba, talán inkább javára irandó. Ha *Napoleon* csalatkozott *Laplace* adminisztrátori képességeiben, ez semmiben sem befolyásolta az ő feltétlen csodálatát a nagy asztronómus és matematikus iránt.

Évekkel később *Napoleon* az ő ismeretes Szent Ilona-szigeti „Mémoires”-jaiban ezekkel a szavakkal emlékezik meg az incidensről: „*Laplace*, a legmagasabb rangú matematikus, rövidesen fölötte szegényes adminisztrátornak bizonyult. Már első intézkedései meggyőztek engem tévedésemről. Mindenütt szubtilitásokat keresett, csak problematikus elgondolásai voltak, és a „végtelen kicsiny” fogalmát belevitte az adminisztrációba”. Mikor *Laplace* 1802-ben a híres „*Mécanique céleste*” első kötetét *Napoleon*nak ajánlotta, ez, megköszönve az ajánlást, azt írta *Laplace*-nek, hogy az első szabad hat hónapját a nagyszerű munka elolvasásának fogja szentelni. Néhány fejezet

elolvasása után ismét írt, sajnálkozásának adva kifejezést, hogy a körülmények őt a tudománytól oly messze eső pályára sodorták. Három évvel később, 1805-ben Milanóból azt írja: A „*Mécanique céleste*”-ről az a nézetem, hogy új fényt van hivatva árasztani arra a századra, amelyben élünk”. Végül 1812-ben Moszkva felé való vonulása közben Witepszkból — ahol az akkor megjelent „*Théorie analytique des Probabilités*” (a valószínűségszámítás analitikai elmélete) című munkát kapta kézhez — azt írja: „Volt idő, mikor érdeklődéssel olvastam volna a valószínűségekről szóló művét. Ma csak arra kell szorítkoznom, hogy megelégedésemnek adjak kifejezést, melyet érzek, valahányszor valamely új művét látom, mely tökéletesíti és előbbre viszi a tudományok legelsejét és ekként emeli nemzetünk fényét. A matematika haladása és tökéletesedése karöltve jár az állam boldogulásával”. Érdekes ezeket a gondolatokat összehasonlítani *Coffin*hal főnnebb idézett kijelentésével, mellyel *Lavoisier*t a halálba küldte. *Napoleon* szavai nem pusztán konvencionális köszönetnyilvánítás; inkább azt bizonyítják, hogy sajátmaga után — Európa szemeiben — *Laplace*t tartotta nemzete legnagyobb büszkeségének.

Rouse Ball az ő matematika történetében, minden forrás és auktoritás megnevezése nélkül, azzal gyanúsítja *Laplace*t, hogy a miniszterséget kikönyörögte magának és azzal vádolja, hogy politikai nézeteit folyton változtatta. Hasonló módon ír *Agnes Clark* az *Encyclopaedia Britannica*-ban (11. kiad. XIV. köt., 302. lap.) *Karl Pearson*, a valószínűségszámítás angol kitűnőse joggal ítéli el a legnagyobb felháborodással ezeket az inszINUÁCIÓkat és *Agnes Clark*ról megállapítja, hogy „a legfelületesebb író, aki valaha is elsötétítette a tudomány történetét”. *Laplace* soha politikai véleményt nem nyilvánított, sem a forradalom előtt, sem alatta, sem utána. Ellenben *marquis De Pastoret* 1827 április 2-án a francia pairek gyűléseztében tartott emlékbeszédében megállapítja, hogy *Laplace*nak a szenátusban és a pairek ülésein a költségvetésről, a bűnügyi eljárásokról és a gabonakivitellről mondott beszédei mindig világosak és in-s-truktívek voltak.

Minisztersége után *Laplace* a szenátus alelnöke, majd elnöke, 1803-ban pedig kancellárja lett, ami-

vel 100.000 frank évi jövedelem járt. A becsületrend megalapításakor annak főtisztje, 1808-ban pedig a császárság grófja lett. 1814-ben *Napoleon* detronizálása mellett szavazott. XVIII. *Lajos* Franciaország pairjévé majd marquisvá tette s a becsületrend nagykeresztjével tüntette ki. Ha *Laplace* ilyen külső elismeréseket és kitüntetésekert szerzett és anyagi jóléthez jutott, azt csak az ítélni el, ki az életet nem ismeri. Miért ne vívhasza ki a tudós is, ki az egész emberiségnek elévülhetetlen szolgálatokat tesz, azokat a kitüntetésekert, melyeket az uralkodók oly könnyen osztogatnak katonáknak és efemer politikusoknak? A jeles angol fizikus *Cavendish* királyi vérből származott és Európa egyik leggazdagabb embere volt. *Buffon* grand-seigneuri életet élt; *Lavoisier* nagy vagyonnal rendelkezett; *Leibniz* politikai tevékenykedése semmiben nem kisebbíti tudományos kiválóságát. Vagy *Newton* érdemei talán kisebbek, mert parlamenti tag, meg a pénzverde igazgatója volt? És csak helyeselnünk kell, hogy úgy *Newton* mint *Galilei* teljes tudatában voltak értéküknek. S miért éppen a tudós lángész legyen közömbös a társadalmi rangok iránt? Nem azt akarjuk ezzel mondani, hogy *Laplace* dicsőségéhez ezek a külső címek mint lényeges kellékek tartoznak. De ha ezek hozzájárultak ahhoz, hogy viselőjüket anyagi gondoktól megkíméljék és munkáját megkönnyítsék, úgy megbecsülhetetlen szolgálatot tettek a tudománynak és ennek folytán az egész emberiségnek. S *Laplace* dicsőségének oszlopai az ő tudományos munkái: az *Exposition du Système du Monde*, a *Traité de Mécanique céleste* és a *Théorie analytique des Probabilités*. Az *Exposition*ról már megemlékeztünk. A *Mécanique céleste* öt kötetének elseje 1798-ban, utolsója 1825-ben jelent meg. A *Probabilités*n 1783 óta dolgozott *Laplace*, de első kiadása csak 1812-re készült el; harmadik, végleges formába öntött kiadása 1820-ban jelent meg.

Ezen nagyszabású munkái közben állandóan számos értekezést tett közzé úgy az *Institut*ben, mint a *Bureau de Longitudes*ben, folyton tökéletesítve korábbi vizsgálatait és szerencsés kézzel kiterjesztve kutatásait a matematikai és kísérleti fizikára is. Így megalkotta a róla elnevezett jégkalorimétert és *Lavoisier*val együtt a fajhőre vonatkozó kísérleteket végzett. 1816-ban megadta a hangnak a levegőben

vagy gázokban való terjedésére vonatkozó nevezetes képletét. A hajcsövességnek elméletével igen behatóan foglalkozott s az elektromosság és mágnesség sem kerülte el figyelmét. A két utóbbi jelenségcsoportnak egyik alapvető törvénye, melyet a németek *Biot-Savart*-féle törvénynek neveznek, — tulajdonképpen *Laplacetól* származik, és úgy a franciák, mint az angolok igen helyesen az ő nevééről nevezik el. Behatóan foglalkozott a Föld alakjával és a méterrendszer megalkotásában tevékeny részt vett.

Laplace 1788-ban nősült és igen boldog családi életet élt feleségével, szül. *Marie-Charlotte de Courty de Romangezs*sal, ki *besançoni* hivatalnokcsaládból származott. Fia a híres párisi *École Polytechniquen*ek és az *École de Metz*nek volt a növendéke s tüzérségi tábornok lett. Leánya *marquis De Portes* felesége, 21 éves korában halt meg, árva leánygyermeket hagyva maga után, ki később *Colbert* *marquis*nak lett a felesége. Ezek második fia a *Colbert-Laplace* nevet vette föl.

Említettük, hogy *Laplacet* vallástalansággal vádolják s mint atheistát szeretik emlegetni. Hogy mik voltak valóságos benső érzelmei, arról tegyen tanúságot néhány sor fiához írt egyik leveléből (1809 június 17): „Bizony nagyon fáj nekem, kedves fiam, hogy *Metzből* távozol anélkül, hogy megölelhetnék s reád adhatnám áldásomat. Remélem, becsülettel fogod megállani helyedet azon a nemes pályán, melyet életed feladatává tettél. Te leszel az én és édesanyád vigasza. Kérem Istent, hogy őrködjék életed fölött. Gondolatban tartsd Őt mindig szemed előtt, amint atyád és anyád is teszik. Ne feledd el, hogy a mi boldogságunk elsősorban tőled függ. Sajnos, kötelességeim Párisban tartanak vissza, s így csak írásban tudom neked kifejezni, hogy mennyire szeretlek és mennyire óhajtom, hogy hazád javának szolgálatában kitünjél”.

E levélnek mély vallásosságról tanuskodó gyöngéd szavaihoz nem kell semmiféle magyarázat. De *Laplace*-nak ilyenféle leveleire nem szeretnek hivatkozni azok, akiknek jobban tetszik őt az atheizmus védőjének feltüntetni. Az atheizmus vádja egy közismert adomából keletkezett. Említettük, hogy *Laplace* a *Mécanique céleste* első kötetét *Bonapartenak* ajánlotta. *Bonaparte*, ki értett a matematikához, elolvastván a művet, állí-

tólag csodálkozásának adott kifejezést afölött, hogy az ég mechanikájában sehol sem találkozott az Isten nevével. *Laplace* polgártárs erre azt válaszolta volna: „Első konzul polgártárs, nem volt szükségem erre a föltevésre”. Hogy ez rosszakaratú és szántszándékos elferdítése a valóságnak, az nyilvánvaló. Az első konzul egyszerűen hátat fordított volna annak a polgártársnak, aki ilyen feleletet adott volna neki. De *Laplace* soha nem is mondta ezeket a szavakat, amelyekkel Istent egyszerű föltevésnek minősítette volna.

A valóság a következő: *Newton* a „*Principia*” második kiadásának végéhez egy scholiumot függesztett, mely az első kiadásból teljesen hiányzik. Ebben a scholiumban *Newton* azt mondja, hogy a bolygók Nap-körüli mozgásának állandóságát csak a Teremtő ujjának időről-időre való beavatkozása biztosítja; a scholium azután teljesen teológiai elmélkedés medrébe terelődik. Optikájának vége felé *Newton* hasonló gondolatnak ad kifejezést. *Laplace*, ki mindig gondosan ügyelt arra, hogy matematikai vagy fizikai bizonyítási módszerekkel dolgozzék, jogos kritika tárgyává teszi az *Exposition*ban *Newton*nak eme megjegyzéseit. Idézi *Leibniz*ot, aki szerint *Newton*nak fölötte szűk fogalmai vannak Isten bölcseségéről és hatalmáról.

Ezért a kritikaért meg *Barthélemy-Saint-Hilaire* támadta meg *Laplacet* egy előszóban, melyet *Arisztotelész*nek az égről szóló értekezésének fordításához írt. Ezekről a dolgokról beszélgethetett *Laplace Bonapart*tal. És *Laplace*, ki mélyenszántó matematikai analízissel kimutatta a bolygók mozgásának stabilitását, az első konzulnak csak azt felelhette és kellett is felelnie, hogy *Newton*nak nem volt igaza, mikor Isten külön beavatkozását hívta segítségül, mely időről-időre rendbe hozza a naprendszer mozgásait s hogy neki magának, *Laplacenak*, ilyenféle hipotézisre nem volt szüksége. Tehát nem Istent mondta hipotézisnek, hanem időnkénti beavatkozását a bolygók mozgásába. Ez pedig nagy különbség. *Valson*, *Cauchy* életrajzírója, az említett anekdóta alkalmából kifejezetten hangsúlyozza, hogy „*Laplace* nem volt atheista mint pl. *Lalande*”. *Faye*, a párisi obszervatórium egykori jeles igazgatója is megjegyzi, hogy *Laplace*, számos XVIII. századvégi íróhoz hasonlóan a filozófiával kacérkodott ugyan, de sohasem vallotta az atheizmust

és sohasem ment túl *Montaigne*nek ama szegényes kijelentésén, mely szerint „a tudatlanság és a nem-törődömség két nagyon kényelmes párna egy szép fej számára”; ellenben igen magas fogalmai voltak a tudomány jogairól és szabadságáról. Különben bizonyos, hogy *Laplace* egyházi körmeneteken is résztvett, ami abban az időben meglehetősen merész dolog volt.

Kevéssel *Laplace* halála előtt életrajzgyűjtemény készült megjelenni, melyben a fenti anekdóta is szerepelt. *Laplace* kérte *Aragot*, hogy a kiadót bírja rá az anekdóta kihagyására. Csakugyan, az anekdótát vagy meg kellett magyarázni, vagy pedig elhagyni. Az utóbbi lett volna a legegyszerűbb. Sajnos egyik sem történt meg, és így az anekdóta szélteben elterjedt.

1806-ban *Laplace* a Párizshoz közeli Arcueilben telelt és házat vett, tőzsomszédságában barátjához *Berthollet*hez, a neves kémikushoz. Ott alakult a híres *Société d'Arcueil*, az arcueilli társaság. *Laplace* és *Berthollet* időközönként maguk köré gyűjtöttek néhány jelesebb fiatal tudóst, többnyire tanítványait, hogy velük fesztelenül beszélgessenek a tudomány legmagasabb kérdéseiről, főleg azokról, melyek az általános fizika körébe vágnak. E tudósok közül csak a legismertebbeket említjük: *Chaptal*, *Alexander v. Humboldt*, *De Candolle*, *Thénard*, *Gay-Lussac*, *Malus*, *Arago*, *Dulong*, *Biot*, *Poisson*.

Itt idéznünk kell *Laplace* saját szavait, amelyek éles fényt vetnek arra, hogy miként értelmezte és korlátozta ő a tudományok szerepét, és amelyek úgyszólván az ő tudományos hitvallása: „Az izolált tudós minden melléktekintet nélkül mélyedhet el az ő rendszere szellemébe; a felvetődő ellenmondások csak távoli hangokként hatnak reá. De tudományos társulatban a rendszerre alapított nézetek összeütközése hovatovább arra vezet, hogy egyik nézet a másikat megdönti; a kölcsönös meggyőzés vágya meg szükségszerűen arra a megegyezésre vezeti a társulat tagjait, hogy csupán a megfigyelés és a számítás eredményeit fogadják el. Minthogy valamely felfogás becstét nemcsak annak hasznossága, hanem nagysága és nehézsége szerint is mérlegelik s minthogy számos példa alapján meggyőződtek arról, hogy a látszatra legmeddőbb felfogás is valamely nap messzeható kö-

vetkezményeket vonhat maga után, a tudós társaságok előmozdították az igazság kutatását minden irányban, annak kivételével, mely az emberi értelemnek — korlátozott voltánál fogva — sohasem lesz hozzáférhető“. E szavak jelentését és jelentőségét, azt hiszem, nem lehet félremagyarázni.

Arcueil házában *Laplace* bensőséges családi élet meleg szeretetétől volt körülvéve. Itt szeretett visszavonulni dolgozószobájába, melyet *Racine* és *Newton* arcképe díszített, s elmerülni mély kutatásaiba. Itt fogadta a legnagyobb előzékenységgel, melybe mindig egy kis formaság és szertartásosság vegyült, azokat a tudósokat, kik a világ minden részéből jöttek hozzá, hogy nála tisztelegjenek és tőle útbaigazításokat kérjenek. S mikor néha rövid percekre levetette a nála megszokott, állandóan legmagasabbfokú szellemi feszültség béklyóit, itt szeretett szabadon és legnagyobb jóindulattal elbeszélgetni kedvenc tanítványaival, különösen *Biot*-val és *Poisson*-nal. F fiatal tudósoknak és íróknak, kik munkáikkal kezdtek kitűnni, époly állhatatos mint szeretetreméltó pártfogója volt. Mindenki aki hozzá fordult, buzdításban és fölvilágosításokban részesült. Ezzel a tudományt és az irodalmat egyaránt szolgálta. Semmi sem maradt közömbös előtte, ami arra szolgált, hogy az embereket szellemileg fölemelje, egyesítse és civilizálja, mondja róla *Pastoret* marquis a paires gyülekezetében tartott meleghangú emlékbeszédében.

Laplace rövid betegség után 1827 március 5-én halt meg Párisban, a Rue du Bac 108. számú házban, hol lakása volt. Elméjét szinte legutolsó lehelletéig állandóan a tudomány foglalkoztatta. Körülvéve szeretett családjától, felesége jelenlétében, ki hű odaadással osztozkodott vele az élettől elválaszthatatlan viszontagságok elviselésében, kinek gyöngédsége és kedvessége feltárta előtte az otthon boldogító voltát, a nagy szellem elvált földi hüvelyétől és — *Fourier* szavaival élve — „visszatért az égbe“, mely bizonyára a legméltóbb hely ama nagy ész számára, mely a csillagok útjának titkait tárta fel földi életében.

Vannak, akik örömeiket lelik abban, hogy vallás és tudomány között ellentéteket keresnek és szítanak. Ezt a rozsdás fegyvert bátran hagyhatjuk a hit ellenségeinek kezében. De nem szabad könnyelműen a hitetlenség vagy az atheizmus vádjaival illetni valakit,

naiv kommentárok vagy felületes életrajzi lexikonok bemondásai alapján. Egy újabban napfényre került dokumentum véglegesen teljes igazságot szolgáltat a nagy tudós emlékének, mert kiderült, hogy *Laplace* katolikushoz méltó halállal mult ki. A *La Quotidienne* című párisi napilap 1827 március 7-i számában (No. 66.), a 2. oldalon ily szavakkal ad hírt *Laplace* haláláról: „Paris, március 6. *Laplace* marquis, Franciaország pairje, az Institut tagja, az Égi mechanika és több más mű szerzője, akit művei az újabb idők legnagyobb matematikusai sorába emelnek, tegnap halt meg Rue du Bac-beli házában, két lekipásztorának karjai között; az egyik a külföldi missziók plébánosa, a másik arcueilli plébános, akiket magához hivatott, hogy a halotti szentségben részesítsék. Ennek a híres tudósnek életét a közeljövőben fogjuk ismertetni. De már most rá kell mutatnunk arra, hogy halálával mily felemelő példát mutatott családjának, barátainak és csodálóinak. Ez oly ellentét, melyet jól esik szembeállítanunk azoknak a botrányos haláleseteknek leírásával, melyek a vallás ellenségeinek szolgálnak örömmül. A gyászszertartás holnap, szerdán, 7-én a külföldi missziók templomában lesz”. — Ugyanaznap ugyanezt a hírt közli a *L'ami de la Religion et du Roi* (A vallás és a király barátja). *Laplace* halálának itt leírt körülményeit teljesen elhallgatták, úgyhogy ismeretlenek maradtak még azok előtt is, kik egyébként kitartóan keresték az igazságot.

Laplace utolsó szavai ezek voltak: „Ce que nous savons est peu de chose, ce que nous ignorons est immense” (Amit tudunk, az vajmi kevés, amit nem tudunk az meg végtelen sok).

A Rue du Bac-beli házon, melyben *Laplace* meghalt, márványtábla van elhelyezve a következő felírással:

Laplace
Mathématicien et astronome
Né le 23 Mars 1749.
Est mort
Dans cette maison
Le 5 Mars 1827.

Hamvait a párisi Père-Lachaise-ből a család kívánságára 1888-ban exhumálták és a gróf *Colbert-Laplace* családnak Lisieux közelében fekvő Saint Julien de

Mailloc-i családi sírboltjában helyezték örök nyugalomra. A *Colbert-Laplace*-ok Normandia egyik legrégibb arisztokrata családja. A híres Mailloc-i kastély 20.000 kötetes könyvtárával, a *Laplacera* vonatkozó összes emlékekkel, levelezésével, kiadatlan műveivel 1925-ben tűzvész által teljesen elpusztult, örök kárára a tudománynak. Az arcueili házat a család *Laplace* tábornok óhajára 1889-ben a dominikánusoknak adta el, kik *Berthollet* házat is már megvették, és ott iskolát rendeztek be. A *Combes*-féle kongregációs törvény a házat az államnak juttatta, ez pedig fölparcellázta a gyönyörű parkot. „Soha többé oda vissza nem tértem” — írja egyik levelében gróf *Colbert-Laplace*.

Pastoret marquis emlékbeszédéről már szólottunk. Az *Académie des Sciences*ban *Fourier* báró tartott emlékbeszédet, sírjánál a gyászbeszédet pedig *Poisson* mondotta. Ugyanaznap mint *Laplace*, halt meg gróf *Volta* olasz híres fizikus is; de míg *Laplace* szinte élete utolsó pillanatáig világos elmével alkotott, *Volta* már hat év óta öntudatlan állapotban félhalott volt.

Laplace munkáinak behatóbb méltatása vagy ismeretése egész külön könyvet töltené meg; ez nem is célja ennek a kis miniatúrnek, mely a benső embert és külső élet körülményeit akarja helyesen megvilágítani és több téves adatot és rosszindulatú inszINUációt kellő mértékre redukálni. Csak az *Exposition*ról akarunk még egy-két szót mondani. *Laplace* ebben azt a célt tűzte ki maga elé, hogy matematikai formulák nélkül, de egyszersmind az e téren már akkor is túlságosan elcsépeelt dithyrambikus szölamok nélkül ismertesse a nagy laikus közönséggel a mindenség érdekes, feszítő jelenségeit, s hogy megmutassa, miként lehet egyes-egyedül a nehézkedés törvényével az égitestek összes mozgásait megmagyarázni. Célját csodálatos tökéletességgel valósította meg. Nem kevésbé érdekes része az *Exposition*nak a csillagászat történetének rövid, de annál mesteribb ismertetése.

Az *Exposition*hoz csatolt egyik függelékben (note) állítja fel *Laplace* az ő híres kozmogoniai hipotézisét; ő maga kifejezetten bizalmatlan az efféle hipotézisekkel szemben, mert hiszen sem a megfigyelés, sem a számítás eredménye. De nevét a nagy laikus közön-

ség körében mégis leginkább ez tette ismertté. Rendesen *Kant-Laplace*-féle kozmogoniai elméletnek szokták nevezni. Ez egyáltalán nem helyes. *Kant* az egész mindenség keletkezését akarta megmagyarázni. *Laplace*, ki nem mint filozófus, hanem mint csillagász és matematikus foglalkozott a problémával, sokkal szerényebben csupán a naprendszer keletkezésére szorítkozik, miközben elkerüli mindazokat a hibákat, amelyek *Kant*-nál a mechanika szempontjából kifogásolhatók.

Gauss, ki máskülönben *Laplace* nagy tisztelője volt és nagyságát elismerte, rossz néven vette tőle ezt a hipotézisek birodalmába való kirándulást. Mégis a *Laplace*-féle kozmogónia *H. Poincaré* szerint még most, több mint száz év után is valamennyi kozmogónia között a legjobb, dacára a sok ellenvetésnek és dacára a számos újabb csillagászati felfedezéseknek, melyeken talán *Laplace* maga is meglepődött volna.

1877-ben az *Académie des Sciences* elhatározta *Laplace* összes munkáinak kiadását, mely *Laplace* fiának és unokájának, *Colbert* marquisenek bőkezű hozzájárulásával 1878—1912-ig tizennégy kötetben meg is jelent. Ez a kiadás forma és typográfiai kivitel szempontjából valóságos remekmű. A *Mécanique céleste* öt kötetét minden évben az *École Polytechnique* legjobb növendéke jutalmul kapja.

Nem fejezhetjük be méltóbban rövid életrajzunkat, mint ha idézzük *Fourier* emlékbeszédének eme szavait: „*Laplace* arra volt hivatva, hogy mindent tökéletesítsen, mindent mélyebben megalapozzon, minden határt a lehető legmesszebbre kitoljon, hogy megoldjon mindent, amit eddig megoldhatatlannak lehetett tartani. Ő befejezte volna az ég tudományát, ha ez a tudomány egyáltalán befejezhető volna”. És hozzátehetjük *Vergilius* eme sorait (*Georgica*, II. 475—477), melyeket *Laplace* is annyira szeretett, hogy *Mécanique céleste*jének jelmondatául választotta:

„Me vero primum, dulces ante omnia Musae,
Quarum sacra fero, ingenti percussus amore,
Accipiant, coelique vias ac sidera monstrant”.

(Ám a mindenek fölött kedves Muzsák, kiknek hatalmas tudvágytól sarkalva áldozok, elsőben is fogadjanak engem, föltárva előttem az égbolt mozgásait és csillagait).

VIII.

Kettős csillagok, változó és új csillagok.

Az emberi szem szerkezete olyan, hogy egymáshoz nagyon közel levő pontokat nem bír megkülönböztetni, ha e pontoktól a szemhez vont egyenesek oly szöget alkotnak mely, a szem élessége szerint, egy vagy két ívpercnél kisebb. Papirosra egymástól egy milliméternyire rajzolt két pont a rendes látás távolságából (20—30 cm) szemlélve, mintegy 14'-nyi látószög alatt látszik, tehát igen jól megkülönböztethető. Ha azonban a papirost $3\frac{1}{2}$ —4 méternyi távolságba helyezzük, akkor a két pont egybeolvad, mert a látószög kisebb 1'—2'-nél. Éppen úgy két, egymástól 10 m-nyire álló lámpa 30—35 km távolságból szemlélve, csak egynek látszik. Általában két testet nem tudunk egymástól megkülönböztetni, ha oly távolságból szemléljük, mely egymástól való távolságuknak mintegy 3600-szorosa. Föltéve természetesen, hogy a látószöget felező vonal a két tárgyat összekötő egyenesre merőleges.

Ha el tudnók hagyni a Földet és 3600-szor oly messze távoznánk el tőle, mint amilyen messze van a Föld a Naptól, akkor a Földet, még ha fényes égitest lenne is, nem tudnók többé megkülönböztetni a Naptól, vagyis a két égitestet egynek látnók. 110.000 Föld-Nap távolságból a naprendszer legszélsőbb nagyobb bolygóját a Neptunt sem tudnók többé külön látni. Az eddig ismert hozzánk legközelebb levő egyik állócsillag az α (Alpha) Centauri 273.000 Föld-Nap távolságban van tőlünk. Ha tehát az α Centauri két nagy fénylő Napból állna, melyek egymástól két és félszer oly távol vannak mint Neptun a Naptól, akkor szabad szemmel még mindig csak egyszerű csillagnak látszanék. Ennek a jelenségnek az a magyarázata, hogy az 1'-es látószögnek megfelelő kép nagysága a szem belsejében körülbelül $4-6\ \mu$ (mikron) = 0'004—

0'006 mm, és ennyi a fényérzékeny ú. n. csapocskáknak egymástól való átlagos távolsága az ú. n. sárga folt legérzékenyebb helyén, melyre éles látáskor a tárgy képét irányítjuk. Ha a tárgy képe oly kicsiny, hogy csak egy csapocskát tud érni, akkor a tárgyat csak kerek pontnak látjuk és semmi részletet nem tudunk rajta megkülönböztetni. Ha a tárgy képe az említett 4—6 mikront meghaladja, akkor már két vagy több csapocskát érhet, és a szem pl. két pontot külön tudja választani.

Ezt azáltal érhetjük el, hogy vagy a tárgyat közelebb hozzuk, vagy pedig a látószöget megnagyobbítjuk. A távcső hatása éppen abban áll, hogy megnagyobbítja a látószöget, amelyet valamely távoli tárgy szélső pontjaihoz vont egyenesek egymással bezárnak. Ha két csillaghoz a szemünktől vont egyenesek pl. csak 1'-nyi szöget alkotnak, akkor szabad szemmel nem tudjuk őket különválasztani, egyetlen csillagnak fognak látszani. Már csekély nagyítású távcső a látószöget annyira megnagyobbíthatja, hogy az tetemesen nagyobb 1'- vagy 2'-nél, és akkor a két csillagot elkülönítve láthatjuk. Itt azonban még egy jelenség játszik közbe, mely a fényhullám természetéből következik. Ez a fényelhajlás, mely a fénylő pont képét nem pontszerűen adja vissza, hanem kis korongocskává szélesíti, mely kicsiny fénygyűrűkből van összetéve. Távcsőben két egymáshoz közelnek látszó csillag két ilyen korongocskát fog létesíteni, és ezeket kell a nagyítás által szétválasztani. A távcső szétválasztó képessége a tárgylencse átmérőjétől függ. Fejezzük ki ezt az átmérőt centiméterekben; akkor a legkisebb szöget, melyet a távcsővel még meg lehet különböztetni, úgy kapjuk, ha 6"-et elosztjuk az átmérőnek centiméterekben kifejezett mérőszámával. Gyakorlatlan vagy gyöngé szemnél ennek kétszeresét vehetjük. Oly távcső, melynek objektív nyílása 6 cm, legkedvezőbb esetben 1"-es kettős csillagot lesz képes szétválasztani, s ezen a határon túl semmiféle nagyítás alkalmazásával sem fog emelkedhetni. A Lick-obszervatórium nagy távcsövének tárgylencséje 91 cm átmérőjű, legfőljebb 0'1"-es kettős csillagokat választhat szét.

Az elmondottakból érthető, hogy a távcső fölfedezése előtt a kettős csillagok ismeretlenek voltak, mert szabad szemmel az efféle csillagok csak egy-

szerűnek látszottak. Az első kettős csillagot a ζ (zeta) Ursae Maiorist (Nagy Medve) vagy Mizart Riccioli vette észre 1650-ben. 1656-ban Huyghens, a nagynevű fizikus, a Θ (theta) Orionist négyszeres csillagnak találta; ez valójában hatszoros, tehát már valóságos kis csillaghalmaz. A következő évszázad folyamán elvértve, nem rendszeres kereséssel, hanem inkább véletlenül fedeztek föl kettős csillagokat. Mayer Chr. mannheimi csillagász kutatott először rendszeresen kettős csillagok után, és 1781-ben már 79 ilyen csillagról tudott beszámolni, melyeknek legnagyobb részét ő fedezte föl.

Sir William Herschel, az Uranus felfedezője, az égneek ez a fáradhatatlan kutatója, akkor kezdett nagy hévvel és kitartással a kettős csillagok rendszeres kereséséhez, mikor Galilei egy régebbi eszméjéből kiindulva a kettős csillagok megfigyelésétől várta a csillagászat egyik nagy feladatának megoldását, t. i. az állócsillagok távolságának meghatározását. Képzeljük el, hogy két, egymástól több százvezernyi Föld-Nap-távolságban levő csillag összekötő egyenesén állunk; a két csillag ekkor födi egymást, csak egyetlen csillagnak látszik, amit úgy is mondhatunk, hogy látszó- vagy szögtávolságuk zérus. Ha az összekötő egyenest elhagyjuk és úgy haladunk tovább, hogy a közelebbi csillagtól mindig egyforma távolságban maradunk, másszóval oly körön haladunk, amelynek középpontját a közelebbi csillagban képzeljük, akkor a két csillag szögtávolsága egy bizonyos legnagyobb értékig folyton növekedni fog. Ha mindig csak az összekötő egyenes közelében maradunk, de helyzetünket folyton változtatjuk, a látszó szögtávolság is folyton kicsiny marad, de szintén folyton más és más lesz. Ha a Föld nem áll mozdulatlanul a térben, hanem a Nap körül kering, akkor két ilyen csillag szögtávolságának évenként ismétlődő változásokat kell mutatnia, melyek annál nagyobbak, mennél közelebb vagyunk az egyik csillaghoz, és annál kisebbek, mennél távolabb vagyunk tőle. Minthogy tudjuk, hogy a Föld helyváltozása mekkora, úgy a szögtávolság változásából egyszerű számítással megkapjuk, hogy a közelebbi csillag mily távol van tőlünk. Ha a másik csillag az elsőhöz képest sokszorta távolabb van, akkor az észlelt legnagyobb szögtávolság egyenlő azzal a szöggel, amely alatt a Föld-Nap-távolságot a

közelebbi csillagról szemlélve látnók. Ezt a szöget nevezik évi parallaxisnak, amint egyik előző fejezetben elmondottuk. Ott rámutattunk arra, hogy az állócsillagok távolságának meghatározása a csillagászat legfontosabb feladata. Másrészt belátható, hogy a parallaxis megméréséhez éppen a kettős csillagok nyújthattak legbiztosabb eszközt; ugyanis, ha olyan szorosan helyezkednek el egymás mellett, hogy szögtávolságuk néhány évmásodpercen nem terjed túl, akkor a távcső látómezejének közepén, hol az optikai eltérések a legcsekélyebbek, kényelmesen figyelhetők meg egyszerre.

Herschel abban a hiszemben, hogy a kettős csillagok csak látszólag vannak közel egymáshoz, különösen oly kettős csillagok után kutatott, melyek közül az egyik nagynak, a másik kicsinynek látszott, mert valószínűnek tartotta, hogy a kisebb csillag távolabb van. Éppen úgy mint *Bradley*, ki szintén parallaxisokat keresett, de nem talált, hanem e helyett 1726-ban fölfedezte az aberrációt és a nutációt, *Herschel* 40 évi folytonos megfigyelés után (1782—1822) sem talált parallaxisokat, hanem olyasvalamit fedezett föl, ami a világegyetemről való ismereteinket nagyjelentőségű új ténnyel gazdagította. Azt találta ugyanis (1803-ban), hogy több kettős csillag közül egyik a másik körül kering, úgy mint pl. a Föld és a bolygók a Nap körül; hogy ennél fogva az ilyen kettős csillagok nemcsak látszólag állanak közel egymáshoz, hanem a valóságban is, hogy tehát fizikai rendszert alkotnak, mely hódol a naprendszerben és az egész világegyetemben egyaránt érvényes *Newton*-féle törvénynek.

Eszerint vannak kettős csillagok, melyek oly nagy távolságban vannak egymástól, hogy mozgásukat kölcsönösen nem befolyásolhatják és amelyeket mi csak azért látunk kettősnek, mert összekötő egyenesükhöz igen közel vagyunk: ezeket optikai kettős csillagoknak nevezzük. Vannak továbbá oly kettős csillagok, melyek a valóságban is közel vannak egymáshoz és egymás körül elliptikus pályán keringenek: ezek a tulajdonképeni valóságos vagy fizikai kettős csillagok.

Herschel W. mintegy 700 kettős csillagot figyelt meg. Kutatásait fia *John* folytatta, ki 6000 kettős csillagot jegyzett föl, melyek közül 2000 az ég déli

felén van. *Herschel J.* módszert is dolgozott ki, melynek segítségével a kettős csillagok pályáit a *Newton*-féle törvény alapján ki lehet számítani.

A kettős csillagok megfigyelése a fonálmikrométerrel történik, melyet a távcső okulár-végéhez erősítenek. A mikrométerben négy finom fonál van elhelyezve. Közülök kettőt egymáshoz egészen közel és párhuzamosan úgy kell állítani, hogy a két csillagot pontosan maguk közé foglalják és irányuk meg egyezzen annak az egyenesnek irányával, melyet a két csillagon át húzva képzelhetünk. Ez az irány a meridiánnal szöget zár be, melyet pozíciószögnek neveznek. Ha az egyik csillag a másik körül kering, akkor ez a szög az évek során változni fog, mégpedig folytonosan ugyanabban az értelemben. A csillagpár látszólagos vagy szögtávolságának megmérése két másik fonál való, melyek az előbbi fonalakat derékszög alatt keresztezik; ezeket két csavar segítségével akként mozgatjuk, hogy mindegyik fonál egy-egy csillagon pontosan átmenjen. A megfelelő szögértéket, az *ú. n.* disztanciát, a mikrométer dobján lehet leolvasni. Ha a csillagpár kölcsönös távolsága változik, a disztancia is változni fog. Ily módon a kettős csillagok pályáit tetszőleges mértékben le lehet rajzolni. Ha ez a pálya ellipszis és ha a mozgás úgy történik, ahogyan *Kepler* második törvénye kívánja, akkor a csillagpár oly kettős rendszert alkot, mely *Newton* általános nehézkedési törvényének engedelmeskedik. *Seeliger* azt gondolta, hogy az észlelések adatai még nem igazolják eléggé az utóbbi feltevést. De a színképelemzés azt mutatja, hogy a világtérben mindenütt a csillagok ugyanazokból a kémiai elemekből vannak alkotva, melyeket itt a Földön ismerünk. Ennélfogva bizonyosnak kell vennünk, hogy az egyforma anyag a távoli világtérben is ugyanúgy hódol a *Newton*-féle törvénynek, mint a Földön vagy a naprendszerben.

1824-ben *W. Struve* kezdett a kettős és többszörös csillagok kutatásához a dorpati híres *Fraunhofer*-féle ekvatoriállal, melynek objektív nyílása 27 cm és ennélfogva szétválasztó képessége $0''.22$. *Struve* feladataul tűzte ki mindama kettős csillagok észlelését, melyeknek disztanciája $32''$ -nél kisebb. Rendkívül becses megfigyelései 3134 csillagpárt ölelnek fel. A kettős csillagok disztancia és nagyságrend szerint

nyolc osztályba sorozta; ez azonban fölösleges, mert a kettős csillagok disztanciája idővel megváltozik. *Struve* az α (Alpha) *Lyrae* v. *Vegától* $43''$ -nyire egy tizedrendű csillagocskát talált, melyről már e nagy szögtávolság miatt föl lehetett tenni, hogy a *Vegával* nem alkot fizikai kettős rendszert, és ezért a fönnebb leírt módszer segítségével mérte meg a *Vega* parallaxisát.

Amint már említettük, az „állócsillagok” elnevezés nem egészen helyes azért, mert ezek a csillagok is változtatják helyzetüket az égen, csakhogy ez az ú. n. saját mozgás a csillagok rendkívül nagy távolsága folytán évenként alig tesz ki néhány ívmásodpercet, úgyhogy az állócsillagok saját mozgását csak *Bradley* óta lehetett fölismerni. Valószínű, hogy mennél közelebb van hozzánk valamely csillag, annál nagyobb-nak látszik ez a saját mozgás. Ilyen feltűnő nagy saját mozgást, évenként $5'16''$ -et mutat a 61 *Cygni* kettős csillag, melyet *Bessel* éppen ezért választott parallaxismérés céljára, mert valószínűnek tartotta, hogy aránylag közel lehet hozzánk. Tudjuk már, hogy ez volt az első biztos parallaxismeghatározás, melyet *Bessel* $0'313''$ -nek talált. Ezen az értéken újabb megfigyelések nem sokat változtattak. Ma $0'300''$ van elfogadva legjobb értéknek, aminek $10'9$ fényévnnyi távolság felel meg.

Herschel rendkívül érdekes fölfedezése, valamint *Struve* és *Bessel* fontos eredményei a legnagyobb mértékben keltették föl a csillagászok érdeklődését, és azóta számos kitűnő észlelő szinte állandóan versenyez egymással a kettős csillagok megfigyelésében. *Mädler*, *Dawes*, *O. Struve*, újabb időben *Burnham*, *Aitken* és *Hussey* foglalkoztak tüzetesen a kettős csillagokkal. Ma már több mint 17.000 kettős és többszörös csillag ismeretes. Kettős csillag itt általában oly két csillagot jelent, melyeknek szögtávolsága $32''$ -en alul van. Azt, hogy fizikailag is egymáshoz tartoznak-e s valamely törvény szerint keringenek közös súlypontjuk körül, csak hosszú, kitartó és pontos megfigyelés döntheti el. Ily megfigyelések 160 év óta folynak, ami nagyon rövid idő oly problémák megfejtéséhez, melyek természetszerűleg hosszú évtizedek ernyedetlen munkáját és szorgalmát igénylik. .

Arra, hogy mily óvatosnak kell lennünk, míg egy csillagpárról kimondhatjuk fizikai kettős csillag vol-

tát, tanulságos példa a 61 Cygni. *Bessel* néhány évnyi megfigyelés alapján kiszámította, hogy e kettős csillagban a gyengébb fényű ú. n. „kísérő” 400 év alatt elliptikus pályát fut be a fényesebb főcsillag körül. A további megfigyelések azonban azt mutatják, hogy a kísérő a főcsillaghoz képest egyenes vonalban halad. E két csillag tehát nem alkot rendszert, a *Newton*-féle törvény nem kapcsolja őket egymáshoz, egymástól függetlenül haladnak a térben. Másszóval a két csillag valószínűleg oly messze van egymástól a térben, hogy a *Newton*-féle erő hatása elenyésző, s a 61 Cygni csak optikai kettős csillag és nem rendszer.

A kettős-csillag-katalogusokban nyilvántartott mintegy 15.000 csillagpár közül csak 100-nál valamivel többről bizonyos, hogy fizikailag egymáshoz tartozó kettős csillagok és mintegy 1500-nál észleltek oly görbevonallú pályát, mely a kettősséget igen valószínűvé teszi. Némi bizonyossággal csak akkor lehet állítani kettős csillagról, hogy kettős rendszer, ha a kísérő legalább 270° -nyi fordulást tett meg a főcsillag körül.

A távcső segítségével szétválasztható, ú. n. vizuális kettős csillagok közül az eddig ismert legkisebb teljes keringésideje vagy periódusa a δ (delta) Equuleinek van; ez 5'7 év, tehát csak közel fele a Jupiter keringésidejének a Nap körül. A következő legkisebb periódus a 13 Cetié, 6'9 év. Mintegy tucatnyi csillagpár keringésideje van 25 év alatt, ötvené van 25 és 100 év között. A periódusnak úgy az alsó, mint felső határa az észlelhetőség feltételeitől függ. Nagyon rövid periódussal bíró kettős csillagok oly közel lehetnek egymáshoz, hogy a távcső már nem képes őket szétválasztani, hanem csak a spektroszkóp vagy az interferométer árulja el kettős voltukat. Viszont a 100 évnél hosszabb periódusú kettős csillagoknál az észlelt pályarész túlkicsiny ahhoz, hogy az egész pályára biztos következtetést vonhassunk. Ezért a 150 v. 200 évnél hosszabb periódusú kettős csillagok kiszámított pályái még nem egészen megbízhatók, tekintve, hogy az észlelés legföljebb 100 évre terjed visszamenőleg és csak későbbi évtizedek vagy évszázadok fognak több és megbízhatóbb eredményekkel rendelkezni. A naprendszerben a két szélső bolygónak, Neptunusnak és Plutónak keringésideje rendre 164'8 ill. 249 év; de itt a pálya ismeretének

biztonsága természetesen sokszorta nagyobb, relatív közelségük miatt. A σ (szigma) Coronae Borealis hármas csillagrendszerben a számított keringésidők 500, 900 és 1680 év, amelyek igazolása későbbi évszázadokra hárul.

Mi nem láthatjuk a kettős csillagok pályájának valódi alakját, hanem ennek csak vetületét a látósugárra merőleges síkra. Ha ismerjük a kettős csillag parallaxisát vagy tőlünk való távolságát, akkor a két csillag észlelt látszó szögtávolságából (disztanciájából) kiszámíthatjuk a két csillag kölcsönös távolságát az említett vetületben. Ha föltesszük a Newton-féle törvény általános érvényességét az egész világtérben, akkor a valódi pályát is kiszámíthatjuk. Ha még ezenkívül föltesszük, hogy a gravitációs vagy *Cavendish*-féle állandó is, mindenütt ugyanaz mint naprendszerünkben, akkor kiszámíthatjuk a kettős csillagrendszer tömegét is a Nap tömegéhez viszonyítva. E számítások fogalmat adnak e rendszerek valódi méreteiről. Az eddig legbiztosabban ismert 28 vizuális kettős csillag elliptikus pályájának fél nagy tengelye 4'5 és 55 Föld-Nap-távolság között változik. Összehasonlításként megemlítjük, hogy a Jupiter közepes távolsága a Naptól 5'2, a Plutóé 39'6 Föld-Nap-távolság. A csillagpárok két tömege együttvéve nem haladja túl sokszorosan a Nap tömegét; csak egy esetben annak 11-szerese, egyszer 7'5-szerese, egyszer pedig csak mintegy fele. A szélső tömeg-értékek tehát úgy aránylanak mint a 25 az 1-hez. Sokkal nagyobb eltérések vannak azonban a fényintenzitásban; így az α (alpha) Aurigae vagy Capella 60.000-szerre fényerősebb mint a Krüger 60 jelzésű kettős csillag. A kettős és többszörös csillagrendszerek ennél fogva lényegesen különböznek a naprendszertől abban, hogy míg a kettős csillagok mindegyike saját fényben világít, tehát izzó állapotban van, és tömegük nem nagyon különböző, addig a naprendszerben csak a Nap világít saját fényben, míg a körülötte keringő bolygók sötét égitestek, melyek közül a legnagyobbnak, Jupiternek tömege a Nap tömegének még nem is egészen ezredrésze.

Fölfedeztetése körülményeinél fogva a legérdekesebb kettős csillagok egyike a Sirius. *Bessel* észrevette, hogy a Sirius saját mozgása oly eltéréseket mutat, amelyek bizonyos szabályszerűséggel ismétlődnek és amelyeket nem tudott a megfigyelések hibájául fel-

róni. Sirius átlag egy irányban és állandó szögsebességgel mozog, de úgy, hogy a középső helyzet körül folyton ide-oda oszcillál. *Bessel* 1844 körül arra a gondolatra jött, hogy Siriusnak ennél fogva kettős csillagnak kell lennie, melynek kísérője vagy sötét, vagy annyira gyöngé fényű, hogy távcsőben nem lehet meglátni. *Struve* W. ezt a föltevést nem volt hajlandó elfogadni. 1751-ben *Peters* C. újabb megfigyelések fölhasználásával kiszámította a Sirius láthatatlan kísérőjének pályáját. Később *Auwers* 11.500 megfigyelés fölhasználásával újra számította a Sirius kísérőjének pályáját és *Peters*ével megegyező eredményre jutott. A keringés idejéül mindketten 49'3 évet találtak. Még mielőtt *Auwers* munkája megjelent volna, *Clark* A. bostoni híres távcsőkészítő 1862 január 31-én ki akarta próbálni azt a 46 cm-es távcsövet, melyet a chicagói egyetem számára készített. Ebből a célból a távcsövet a Siriusra irányította, s legnagyobb meglepetésére a Sirius közvetlen közelében egy közel kilencedrendű csillagocskát pillantott meg. Sirius sokat emlegetett kísérője föl volt fedezve s *Bessel* eszméje helyesnek bizonyult. A kísérő pozíciószöge nagyjából megfelelt *Peters* számításainak.

Azóta a Sirius-rendszert számosan észlelték; a kísérő egy teljes keringésnél többet végzett és a keringésidő — 50 év — igen közel megegyezik a *Peters* és *Auwers* találta értékkel. *Bessel* gondolatát könnyen meg lehet érteni. A mozgás egyik alaptörvénye azt mondja, hogy oly test, vagy oly rendszer súlypontja, amelyre külső erő nem hat, vagy nyugalomban van, vagy egyenletes sebességgel egyenes pályán halad tovább. Föltevés szerint a csillagok oly távol vannak egymástól, hogy nagy megközelítéssel mindegyik ily szabad testnek tekinthető. A Siriusnak tehát, ha csak egyetlen csillagból áll, egyenes vonalban, egyenletes sebességgel kellene mozognia, ha pedig kettős csillag, akkor e két csillag súlypontja az, mely egyenesen halad egyenletes sebességgel, míg a főcsillag és kísérője a súlypont körül ellipsziseket ír le, ami a *Bessel* észlelte oszcilláló mozgást idézi elő.

A Siriushoz teljesen hasonló a Prokyon (α Alpha Canis minoris) esete. *Bessel* ennél is észrevett oly változásokat a saját mozgásban, melyekből láthatatlan kísérőre lehetett következtetni. A láthatatlan kí-

sérő pályáját előbb *Auwers*, majd *Struve L.* számította ki jól egyező eredménnyel. Keringésidőül mindketten közel 40 évet találtak. A Prokyon kísérőjét, bár a legszorgosabban keresték, csak 1896-ban sikerült *Schaeberlenek* megtalálnia a *Lick*-obszervatórium hatalmas 91-cm-es távcsövével. Ez a kísérő csak 13-ad rendű csillagocska, míg a Siriusé 8⁴-ed rendű; Prokyonnak parallaxisát is ismerjük, 0³12", vagy 10⁴ fényév, amiből következik, hogy közepes kölcsönös távolságuk 13 Föld-Nap-távolság. A Sirius parallaxisa 0³71", azaz 8.8 fényév, s ezért a kísérő közepes távolsága a főcsillagtól 20⁴ Föld-Nap-távolság. Összehasonlításul megemlítjük, hogy a Saturnus átlagos távolsága a Naptól 9⁵, az Uranusé 19² Föld-Nap-távolság, a Neptunusé pedig 30. A két említett kettős csillag-rendszer méretei tehát a Naprendszerénél kisebbek. A Prokyon tömege csak valamivel haladja túl a Napét, kísérőjének tömege pedig a Nap tömegének 0⁴-része. A Sirius tömege a Nap tömegének közel 2⁵-szerese, a kísérőé pedig közel egyenlő a Nap tömegével. De *Adamsnek* a Mount Wilsonon eszközölt észlelései szerint a kísérő sugara a Nap sugarának csak 0⁰³-része, amiből következik, hogy sűrűsége 50.800-szorosa a víz sűrűségének. Ilyen óriási sűrűségű (— fajsúlyú —) anyagot a Földön nem ismerünk. Legnagyobb sűrűsége a platinának van: 21⁴. Másszóval míg a platina egy köbdeciméterének súlya 21⁴ kg, addig a Sirius kísérőjének anyagából egy dm³ 50.800 kg-ot (vagy 508 q-t) nyomna. Ily nagy sűrűség még nemrégiben lehetetlennek látszott. De *Eddington* a modern atómelelmélet alapján kimutatta, hogy még ennél jóval nagyobb sűrűségek is lehetségesek, amint erről későbbben még lesz szó.

A Siriusnál elért sikeren felbuzdulva, a csillagászok most már hajlandók voltak nemcsak egyes csillagok saját mozgásának szabálytalanságait láthatatlan kísérőnek tulajdonítani, hanem oly kettős vagy többszörös csillagoknál is, melyeknek kísérőinél látszólagos eltérések mutatkoztak, legott láthatatlan kísérőket vettek segítségül. Így volt ez pl. a 70 Ophiuchinél, melynek kísérője oly eltéréseket mutatott a *Kepler*-féle ellipszistól, hogy ezek megmagyarázására némelyek egy harmadik sötét kísérőt véltek szükségesnek. De e föltevés tarthatatlannak bizonyult. Azonban *Lau* kimutatta, hogy mindezek a vélt sza-

bálytalanságok eltűnnek, ha figyelembe veszünk egy hibaforrást, mely a megfigyelésekre lényegesen hat: ez az emberi szem asztigmatizmusa, mely különösen a kettős csillagoknál a pozíciószöveget eltorzítja. Ennek figyelembe vételével a 70 Ophiuchira vonatkozó megfigyeléseket összhangzásba lehetett hozni, úgyhogy kettős csillag volta kétségtelennek tekintendő.

Érdekes hármas rendszer a ζ (Zeta) Cancrié, melyet Mayer T. fedezett fel 1756-ban. A rendszert alkotó három égitestet A-val, B-vel és C-vel szokás jelölni. Ezek mozgása akként megy végbe, hogy A a B körül 60 év alatt kis ellipszist ír le, a távolabb levő C pedig A és B súlypontja körül mintegy 700 évben végezne közel köralakú keringést, mely a körtől többé-kevésbé szabályosan eltér. Ezeket az eltéréseket *Seeliger* egy negyedik, láthatatlan kísérővel igyekezett megmagyarázni. *Burnham*, a kettős csillagok egyik legalaposabb ismerője, a negyedik láthatatlan kísérőt nem fogadja el. A ζ Cancri mozgásával e sorok írója is foglalkozott tüzetesebben és kimutatta, hogy ha a rendszer négy égitestből állana, akkor a *Seeliger*-féle mozgás csak úgy volna lehetséges, ha mind a négy égitest vagy állandóan egy egyenesben maradna, vagy ha állandóan parallelogrammát alkotnának.

A Castor vagy α (Alpha) Geminorum vizuális kettős csillag, melynek periódusa három évszázadnál több. Tőle 73"-nyire egy harmadik kicsiny csillag látható, melynek ugyanaz a saját mozgása mint a főcsillagé, amely körül több mint 10.000 év alatt végez egy keringést. Mind a három csillag spektroszkopikus, rövid periódusú kettős csillag, úgyhogy ez a rendszer hat csillagból áll. Az ϵ (Epsilon) Lyrae két pár kettős csillagból áll, melyek közül a legfényesebb spektroszkopikus kettős csillag. A közeli párok keringésideje néhány évszázad, a távolabbi pár periódusa több százezer év.

A Göncöl Szekere rúdjának középső csillaga a Mizar vagy ζ (Zeta) Ursae Maioris másodrendű. Élesebb szem hozzá közel — 12'-nyire — egy ötödrendű csillagocskát különböztethet meg, az Alkort. Mizar volt az első teleszkopikus vagy vizuális kettős csillag, melyet *Riccioli* ismert föl ilyennek 1650-ben. *Pickering* 1889-ben észrevette, hogy a főcsillag színképében némely vonalak $20\frac{1}{2}$ napnyi szabályos időközökben

megkettőződnek és ismét egybeesnek. Ez a *Doppler-Fizeau*-féle elv alapján csak úgy lehetséges, ha a színek két fényforrásból ered, melyek a látóvonalba eső, vagy ahhoz igen csekély hajlású síkban mozgást végeznek, melynek folyamán szabályos időközökben hozzánk közelednek és tőlünk távolodnak, amikor a színek vonalainak ellenkező irányban el kell tolódnok, a vonalak ekkor különválnak és akkor látszik a színekben a vonal-kettőződés. Ha a mozgás közben a két égitest a látóvonalba kerül, a mozgás iránya erre merőleges, tőlünk sem nem távolodnak, sem nem közelednek hozzánk, a színeknek tehát egyszerűnek kell lennie. Az ilyen csillagokat nevezzük spektroszkopikusnak, mert csak spektroszkóp segítségével ismerhetők fel ilyeneknek és a legerősebb távcsővel sem lehet őket vizuálisan különválasztani, mert túl közel vannak egymáshoz. A kettősséget csak a színek változásai árulják el. Ezek a csillagok sok esetben közelebb vannak egymáshoz mint Merkúr a Naphoz. Ez következik rövid keringésidejükből, mely pl. μ (Mü) Scorpiinál csak 35 óra, másoknál 4—10 nap, Mizarnál $20\frac{1}{2}$ nap. Ennélfogva a Mizar hármas rendszert alkot; vizuális kettős csillag, és a főcsillag ezenkívül spektroszkopikus kettős csillag. Ezt interferométerrel is sikerült igazolnia *Peasenek* 1925. Az interferométer a már említett *Michelson*tól alkotott műszer, mely a távcsövek szétválasztó erejét korlátozó fényelhajlási vagy diffrakciós korongocskáit használja fel igen kicsiny szögek mérésére és mint neve is mutatja, a fényinterferencián v. hullámtalálkozáson alapszik. Az *Anderson*-féle interferométernél távcső tárgylencséje és okulárja közé van helyezve egy lemez, melyen két párhuzamos rés van. A kettős csillagról tehát két kép keletkezik, melyek egymást fedik. A lemez forgatásával elérhetjük, hogy a diffrakciós csillagkorongocskán kellő nagyítással látható sötét sávok egymást erősítsék vagy közömbösítsék. A fény hullámmélete alapján ki lehet számítani a két csillagot elválasztó szöget. Így tudta szétválasztani 1920-ban *Anderson* a Capella (α Alpha Aurigae) spektroszkopikus kettős csillagot, melynek disztanciája csak $0.045''$, periódusa csak 104 nap.

Ezernél több spektroszkopikus kettős csillag ismeretes. A legrövidebb keringésideje — $2\frac{1}{4}$ óra — van a γ (Gamma) Ursae Minorisnak, leghosszabb — 15 év —

az ϵ (Epszilon) Hydraenek. Mintegy 250-nek pályáját is ki lehetett számítani. Közöttük több van olyan, mely vizuális kettős csillag is, és az egyik csillag spektroszkopikus kettős csillag, mint a Mizar is, vagy pedig a Sarkcsillag, α (Alpha) Ursae Minoris.

Vannak oly csillagok, melyeknek fényrendje — latinul magnitudoja — hosszabb-rövidebb időközökben szabályosan változik egy minimum és maximum között. A legismertebb ezek közül az Algol vagy β (Beta) Persei. Először 1669-ben vette észre *Montanari*, hogy a rendesen másodrendű Algol némelykor fénygyöngébb. *Goodricke* ismerte föl 1782-ben, hogy ez a fényváltozás periodikus és 2 nap 20 óra 49 percnyi időközben pontosan ismétlődik. 2 nap és 11 órán át az Algol egyformán másodrendű; a következő 5 óra alatt fényessége a harmadrend alá süllyed, és 5 további óra alatt ismét visszanyeri maximális fényességét. Már *Goodricke* annak a gondolatnak adott kifejezést, hogy ezt a fényváltozást egy sötétebb nagy csillag idézheti elő, mely a fényesebb körül kering és azt időközönként eltakarja, mint pl. napfogyatkozáskor a Hold a Napot. De abban az időben más kettős csillagot még nem ismertek, és így *Goodricke* magyarázata feledésbe merült, mígnem 100 évvel utóbb *Pickering* újból fölélesztette. Eddig vagy 200 ilyen fotometriai kettős csillagot vagy fődési változó csillagot ismerünk biztosan, mintegy 100-ról pedig valószínűnek látszik, hogy azok, de még további észlelések szükségesek. Azért nevezzük ezeket fotometriai kettős csillagoknak, mert a fényesség változását a fotométernek nevezett műszerrel mérhetni pontosan.

Zöllner 1865-ben más magyarázatot kísérelt meg. Szerinte, úgy mint a Napon, e távoli csillagokon is vannak foltok, melyek nagy kiterjedésűek lehetnek és éppen úgy előidézhetik a fényváltozás jelenségeit, ha föltesszük, hogy e csillagok tengelykörüli forgást végeznek. A döntést 1889-ben *Vogel* észlelései hozták meg, ki észrevette, hogy az Algol színeképének vonalai az összehasonlító színekép vonalaihoz képest szabályosan hol a vörös, hol az ibolya felé tolódnak el, s hogy ennél fogva a fényes főcsillag úgy viselkedik, mintha láthatatlan középpont körül keringene, amihez természetesen egy második égitest is szükséges. Algol kettős csillag volta így bizonyossággá vált.

Valamely csillag fényváltozásáról akként kaphatunk szemléletes képet, ha elkészítjük fénydiagrammját, azt a görbe vonalat, mely mutatja, hogy minden megfigyelési időhöz mily fényrendje a csillagnak tartozik. A fényrendet vagy magnitudót többféle módon mérhetjük. Régebben szabad szemmel becsülték a csillagok fényrendjét. A legfényesebb csillagokat nevezték elsőrendűnek, a szabad szemmel még éppen láthatókat hatodrendűnek. A csillag tehát annál gyengébb fényű, mennél nagyobb a fényrendet jelző szám. A Mount Wilson hatalmas reflektorával vizuálisan még 19-ed rendű, fotografikusan 21-ed rendű csillagokat lehet észlelni.

A fényrendnek műszerrel való pontos mérését Zöllner kezdte a múlt század hatvanas éveiben. Az ő műszere még csak vizuális észlelésre szorítkozott. Ma a fényrend mérése úgyszólván kizárólag fotografiai úton történik. Vannak ezenkívül más eljárások, melyek pl. a szelén nevű fémnek elektromos ellenállás-változásán, a nátrium és rubidiumnak elektron-ki-bocsátásán (az ú. n. fotocellában), bolometrikus méréseken stb. alapszanak. Ezeknek leírása keretünket messze túlhaladná. A fotografiai fényrendmérés azért biztos és kényelmes, mert a fotográflemez nem fárad el úgy mint az emberi szem; a lemez eltolásával több csillagról egyszerre készíthetünk sorozatos felvételeket, ezeket azután bármikor a laboratóriumban mikrofotométerrel kényelmesen kimérhetjük. Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy az emberi szem és a fotográflemez színérzékenysége különbözik egymástól. Az emberi szem a vörös és zöld sugarak iránt érzékeny, a fotográflemez ellenben az ibolya és ultraibolya sugarak iránt. Ezért a vizuális fényrendje valamely csillagnak más mint a fotografiai fényrendje. Az ú. n. izokromatikus lemezek színérzékenysége hasonló az ember szeméhez. Ezt a hasonlóságot alkalmas színszűrőkkel is elérhetjük, melyek a kék és ibolya sugarakat kellően elnyelik. Az ily módon kapott fotografikus fényrendet foto-vizuálisnak nevezik. A kétféle fotografikus fényrend közötti különbséget színindexnek nevezzük, mely becses útmutatót szolgáltat nekünk a csillag felületi hőmérsékletére vonatkozólag.

De térjünk vissza az Algol-típusú fotometrikus változó csillagokhoz. Fénygörbéik részletes vizsgálá-

latából pl. kitűnt, hogy némely ilyen csillag komponensei, pl. a TX Cassiopeiaenél, nem gömbalakúak, hanem erősen megnyúlt ellipszoidok, amit árkelő hatásnak kell tulajdonítanunk. Másoknál meg a kísérő csillag mindig ugyanazt az oldalát fordítja a főcsillag felé — úgy mint pl. a Hold a Föld felé —, és hogy ez a fele magasabb hőmérsékletű és fényesebb mint a másik fele. Azt is lehetett kiolvasni a fénygöréből, hogy némely csillag a látszó pereme felé kevésbé fényes mint középen, éppen úgy, mint a mi Napunk.

Ismeretes, hogy a naprendszer bolygói a köralaktól kissé eltérő pályán keringenek a Nap körül, amit úgy is mondhatunk, hogy excentricitásuk nagyon kicsiny. Legnagyobb a Merkuré, 0.2 . A kettős csillagok excentricitása rendszeren igen nagy, 0.50 — 0.70 ; spektroszkopikus csillagoknál rendszeren kisebb, átlag 0.17 .

A fődési vagy Algol-típusú változóknál a két komponens viszonylagos fényessége sokszor erősen különbözik, úgy hogy pl. fényminimumkor a csillag erősebbnek mutatkozik mint maximumkor, vagyis a fotografikus fényrend nagyobb, mint a vizuális. Ilyenkor a kísérő gyöngébb fényű és tetemesen alacsonyabb hőmérsékletű mint a főcsillag. Ilyen pl. az *U Cephei*, mely fénymaximumkor a korai *Ao* osztályba, minimumkor a későbbi *Ko* osztályba tartozó spektrumot mutat. Az egyik komponens kisebb és fényes, a másik nagy, de gyöngfényű. Fotometriai és spektroszkopikus mérésekből néhány ilyen csillag valódi nagyságára is lehetett következtetni; ezek átmérői a Nap átmérőjének 2-szerese és 8-szorosa között váltakozik. Az elmondottakból már eddig is látható, hogy a csillagok fizikai tanulmányozása, az asztrofizika, milyen sok érdekes, nagyfontosságú és nem sejtett ismeretekkel gazdagította tudásunkat.

Vannak változó csillagok, melyek fényváltozását nem lehet akként megmagyarázni, mint az Algol-típusú csillagoknál, hogy t. i. két egymáshoz közel levő csillag szabályos időközökben eltakarja vagy födi egymást. Ezek a tulajdonképeni szorosabb értelemben vett változó csillagok. A legérdekesebbek egyike ezek között az *o* (Omikron) Ceti vagy *Mira Ceti* (*Mira* latinul a. m. csodás), melyet 1596-ban *Fabricius* ismert föl először változónak. Ennek a csillagnak fényváltozásai nagyon feltűnőek. Fénymini-

mumkor 9-ed rendűnek mutatkozik, tehát csak távcsővel látható; 3—4 hónap múlva szabad szemmel is láthatóvá válik, fénymaximumkor rendszeren 3-ad rendű, de némelykor csak 4-ed vagy 5-öd rendű, időnként azonban a 2-odik fényrendet is eléri, mint pl. 1906-ban. A fényváltozás periodusa két minimum vagy két maximum között 320 és 370 nap között váltakozik. Már ez a körülmény magában mutatja, hogy nem lehet fődési változó. Pedig újabban a Mira színképéből kiderült, hogy valószínűleg kettős csillag, de a fényváltozást nem a kettősség okozza. A Mirának látszó átmérőjét interferométerrel lehetett megmérni. Ebből kiderült, hogy a Mira ú. n. super-óriás csillag, melynek átmérője a Nap átmérőjének 300-szorosa. A Föld-Nap távolság 149,500.000 km, míg a Mira félátmérője 208,600.000 km, vagyis a Nap helyébe téve még 58,500.000 km-rel túlterjedne a Föld pályáján, mely e szerint kényelmesen keringhetne a csillag belsejében. Ezzel szemben az említett valószínű kísérő tizedrendű ú. n. fehér törpe csillag.

A Mira-típusú változók mind super-óriások vagy legalábbis óriás csillagok, mint a változó csillagok általában valamennyien azok. Az óriás csillagok átmérője a Nap-átmérő többszöröse, sőt többszázszorosa, fényességük igen nagy, azonban az anyag sűrűsége belsejükben igen csekély, a földi légkör sűrűségének $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{3000}$ -ed része. A törpe csillagok átlag akkorák mint a mi Napunk, de némelyike még az Uranusnál is kisebb, az anyag sűrűsége bennük több-ezerszerese is lehet a földi legnagyobb sűrűségű platinának.

A Mira-típusú változó csillagok periódusa 60—700 nap között váltakozik; ezek tehát ú. n. hosszú periódusú változók. A 60 napnál kisebb periódussal bíró változó csillagokat rövid periódusúnak mondjuk. Ez utóbbiak fényváltozása elég szabályosan megy végbe, míg a Mira-típusú változók periódusa szabálytalanul ingadozik. Erre a szabálytalan fényingadozásra még eddig nincsen kielégítő magyarázat.

Másik fontos csoportja a változó csillagoknak a δ (Delta) Cephei-típusú csillagok vagy Cepheidák, melyeknek nevezetes szerepéről a ködfoltok távolságának megállapításánál már megemlékeztünk. A Cepheidák fényváltozásának periódusa $2\frac{1}{2}$ óra és 100 nap között váltakozik; a legtöbbnek periódusa

$1\frac{1}{2}$ nap és 5 nap körül van, amely állandó s nem olyan ingadozó, mint a Mira-típusú csillagoké. A Cepheidák mind super-óriások, abszolút fényességük nagyobb mint a közönséges óriás csillagoké. Átmérőjük átlag 7—200-szerre nagyobb mint Napunké és annál nagyobb, mennél nagyobb a periódus. Fontos az az összefüggés, mely a periódus és az abszolút fényesség között áll fenn ezeknél a csillagoknál: mennél nagyobb a periódus, annál nagyobb az abszolút fényesség. Ezen fizikai tulajdonságukon alapszik annak lehetősége, hogy a világtér oly távolságait mérhessük meg, melyek a geometriai parallaxis-mérésnek teljesen hozzáférhetetlenek. Látszó fényrendjük 9—17 magnitudo között van. Az ilyen gyöngfényű változók felismerése ma leginkább a blink-mikroszkóp és a sztereokomparator segítségével történik fotográf-lemezekről, melyeken különböző időpontokban készült fölvételek vannak rögzítve.

A Cepheidák fényváltozását *Eddington* az ú. n. pulzációs-elmélettel magyarázta, mely szerint a csillag szabályos időközökben kitágul, majd ismét összehúzódik. Ez a szellemes elmélet a Cepheidáknál észlelhető számos jelenségről ad számot, azonban nem magyarázza meg pl. a periódus és az abszolút fényesség közti összefüggést. *Jeans* elmélete a Cepheidák fényváltozását a csillag ellipszoidos alakjával magyarázza, mely ellipszoid legrövidebb tengelye körül forog, míg végül körtealakot vesz föl, majd kettéválk és fődési változó lesz belőle.

Vannak még más típus-csoportok is, ezek azonban ritkébbak és csak kevés csillagot foglalnak magukba. A *RV Tauri* típusú változók periódusa nem állandó, átlag nagyobb mint a Cepheidáké és kisebb mint a Mira-csillagoké s 70—200 napos periódusukkal mintegy átmenetet képeznek e két típus között. Az *R Coronae* típusú csillagok sokszor éveken át állandó fényrendűek, majd hirtelen erősen gyöngülnek és némi idő múlva ismét visszanyerik eredeti fényességüket; periódusuk teljesen szabálytalan. Az *U Geminorum* típusú csillagoknál a hosszabb ideig állandó fényesség hirtelen néhány fényrenddel erősödik, átlag mintegy 100 napnyi, de szabálytalan időközökben. A μ (Mü) Cephei-típusú csillagok fényváltozása úgy periódusban, mint fényességben szabálytalanul megy végbe. Ide tartozik az α (Alpha) *Orionis*

és az α (Alpha) Herculis is. Az α (Alpha) Lyrae v. Vegánál kicsiny periódikus fényrendváltozásokat lehetett észlelni, melyek a csillag radiális sebességének időszakos változásával szorosan együttjárnak. Az említett szabálytalanságok némelyikét azzal igyekeztek megmagyarázni, hogy az ilyen csillagok előtt a világterben bizonyosan létező, sötét, porszerű kozmikus anyagból álló fátyol vonul el.

Vannak csillagok, melyek hirtelen növekvő fényességükkel tűnnek föl, egyideig folyton gyöngülő fényvel láthatók maradnak, majd lassanként teljesen eltűnnek vagy teleszkópikus csillaggá válnak. Ezek is a változó csillagok közé számítandók, csakhogy teljesen szabálytalanul viselkednek. Új csillagoknak vagy latinosan nováknak szokás őket nevezni, de jobban illenék rájuk az időleges csillag elnevezés. 134-ben K. e. *Hipparchosz*, a nagy görög asztronómus vett észre ilyen csillagot, és ez indította őt arra, hogy a csillagok pontos helyét katalógusba foglalja. 1572 november 11-én *Tycho Brahe* a Cassiopeia csillagképben feltűnt új csillagra lett figyelmes, mely azelőtt nem volt ott látható. November végén oly fényes volt, mint a Venus, mikor legnagyobb fényességét eléri, s nappal is látható volt. 1573 elején első fényrendűvé vált, 1574 márciusában pedig szabad szemmel már nem volt látható. (Távcső ekkor még nem volt.) Jelenleg egy 12-ed rendű csillag van a *Tycho Brahe*-féle új csillag helyén. 1604-ben *Kepler* észlelt egy új csillagot, mely oly fényes volt, mint a Jupiter és két évig volt látható. Azóta mintegy 100 új csillag vált ismeretessé, melyek közül a legfényesebb volt az 1918-ban föltűnt Nova Aquilae, a Sas-csillagképben, mely majdnem oly fényes volt, mint a Sirius. Modern, hatalmas távcsöveinkkel a távoli spirális ködökben is tudtunk új csillagokat észlelni, ezek között olyanokat, melyeknek fényereje több milliószorosa a Napénak, és amelyeket ezért super-nováknak neveznek. Ilyen pl. az 1885-ben az Andromeda-ködfoltban megfigyelt super-nova, melynek abszolút fényrendje -15.4 , míg a Napé csak 4.85 , a különbség a kettő között tehát 20.25 fényrend. Egy fényrend különbség azt jelenti, hogy az egyik csillag 2.521 -szerte fényesebb mint a másik. Az Andromeda-ködben észlelt super-nova ennél fogva $2.521^{20.25} = 125,900.000$ -szerte oly erősen sugároz

mint a Nap. Ez másszóval annyit jelent, hogy ez a super-nova egy másodperc alatt annyi energiát sugároz a világűrbe, mint a Nap 4 év alatt.

A jelen században észlelt új csillagok között különösen érdekes volt az 1901-ben föltűnt nova Persei, a Perseus csillagkép új csillagja. 1901 február 22-én fedezte föl *Anderson* Edinburghben mint 3-ad rendű csillagot. 20-án éjjel a Harvard-csillagdán fotografálták az égnek ezt a tájékát, és bár a lemezek 11-ed rendig mutatták a csillagokat, ennek a csillagnak nem volt még nyoma. Február 23-án és 24-én már olyan fényes volt, mint a közelében levő α (Alpha) Aurigae vagy Capella, mely 0'21 rendű, tehát elsőrendűnél fényesebb, sőt rövid ideig nálánál fényesebb is volt. 25-én már kezdett gyöngülni s az év végén folytonos ingadozások között 7-ed rendűvé süllyedt, 1902 végén már csak 10-ed rendű, s azóta még alacsonyabb rendű lett. Miközben fényessége még növekvőben volt, a színekben az ibolya felé eltolódott *Fraunhofer*-féle abszorpciós vonalakat fotografáltak, amik azt mutatják, hogy felénk irányuló mozgásból eredtek. Február 24-én a színek teljesen megváltozott; széles fényes vonalak mutatkoztak, melyek mindegyikét az ibolya felé eső oldalon erős sötét vonal kísérte, s azonfelül erős folytonos színek is látszott. Ezek a vonalak azután lassan eltűntek. Ebből következik, hogy a csillagon gyors és erős változásoknak kellett végbemenniök. Hasonló változások a többi novák színekében is jelentkeznek.

A nova Persei és környékéről a nagy távcsövek segítségével készült fotografiákon nagyobb kiterjedésű ködszerű tömegek mutatkoztak a csillag körül, melyek idővel a csillagtól mind messzebbre kerültek. A csillag igen nagy messzeségben van tőlünk, s ezért ennek a távolodásnak nagy sebességgel kellett végbemennie, hogy észlelhetővé válhatott. Arra kell gondolnunk, hogy a csillagot sötét ködtömegek vették körül, melyet a csillagnak hirtelen kitört fénye világított meg egymásután.

Mi okozza az új csillagok fellobanását? Egyik magyarázat *Seeliger* szerint az volna, hogy a csillag a világtérben való mozgása közben kozmikus porszerű felhőbe hatolt, miközben a csillag felülete erősen fölhevül és hatalmas izzó gáztömegek szakadnak el tőle, melyek azután a térben tovább terjednek. Ilyenféle

természetű folyamatot lehetett észlelni az 1918—1919. évek folyamán a nova Aquilaenél. A csillag belsejében végbemenő hirtelen nagyszabású változásokra is lehet gondolni, melyek hatalmas robbanásszerű kitörésekben nyilvánulnak. Az is lehetséges, hogy óriás meteornak a csillagra való zuhanása idézi elő a hirtelen föllángolást. De ezek egyelőre csak spekulatív föltevések, melyeket talán a fotografiai és spektrográfiai észlelések fognak idővel konkrét tudásunk körébe vonhatni. Annyi azonban bizonyos, hogy minden nova megjelenésekor nagy kozmikus katasztrófának vagyunk szemtanúi. Vajjon *Arisztotelész*, ki meg volt győződve az égi szféra tökéletességéről és változhatatlanságáról, ragaszkodnék-e még eme nézetéhez, ha látná modern asztrofotográfiai dokumentumainkat?

Végül még megemlíjtük, hogy vannak csillagok, melyek több évnyi szabálytalan időközökben mutatnak nova-szerű fénykitöréseket. Ilyenek pl. a *T Pyxidis*, az η (Éta) Carinae és a *P Cygni*. Ezek viselkedésének magyarázata is bizonytalan.

IX.

Atomfizika és asztrofizika.

Az asztrofizika, a legújabb kor csillagászata, még száz éves multa sem tekint vissza. Mégis oly sok váratlan, meglepő és érdekes eredménnyel dicsekedhetik, melyek az emberi szellem legszebb vívmányai közé sorolandók és fontosságukban egyenrangúak a több mint kétezeréves geometriai és dinamikai csillagászat nyújtotta megismerésekkel. Az asztrofizika keletkezéséhez az első impulzust a *Kirchhoff*-tól 1859-ben fölfedezett színeképelemzés és a *Zöllner*-tól alkotott pontos csillagfotometria adta. Ezekhez szervesen csatlakoztak a hőtan, a fénytán és a modern atomkutatás laboratóriumi kísérleteken alapuló eredményeinek alkalmazása a világtér óriási műhelyének objektumainak, a csillagoknak kutatására. Ez fölötté merész lépés volt, mert a kicsinyméretű kísérletekből leszűrt törvényszerűségekről föltette, hogy a gigantikus égitesteken is érvényesek. Az eredmény azonban igazolta a föltevés jogosultságát: a világtérben szétszórt anyag mindenütt ugyanazoknak a fizikai törvényeknek látszik engedelmeskedni és ugyanolyan kémiai összetételűnek mutatkozik, mint a Földön vagy a naprendszerben. Valószínűnek kell tartanunk, hogy a csillagok tanulmányozása új fizikai megismerésekre is fog vezetni, mert ezeken a nagy égitesteken az őket alkotó anyagok oly magas hőmérsékleten, nyomás alatt és egyéb fizikai körülmények között vannak jelen, minőket laboratóriumban semmiképpen sem tudunk előállítani. Az asztrofizika tudománya még csak kezdetének legelején van, és így nem meglepő, ha számos jelenséget nem tudunk még megmagyarázni.

Ismeretes, hogy az üvegprizma a rajta keresztülmenvő fehér fényt a szivárvány színeire bontja. A fény-

forrásból jövő fényt sötét helyiségben keskeny résen át engedjük az üvegprizmára és egy mögéje helyezett fehér lapon fogjuk fel a színeire felbontott fényt; ez lesz a fényforrás színeképe vagy spektruma. A fehér lap vagy ernyő helyébe fotográf-lemezt is tehetünk és a színeképet lefotografálhatjuk. Az előbbi elrendezés a spektroszkóp, az utóbbi a spektrográf leegyszerűsített alapja. A csillagászatban használatos spektroszkópok és spektrográfok összetettebb, nagyméretű készülékek, melyek a távcső okulár-végére vannak erősítve.

Az első laboratóriumi spektroszkópot *Kirchhoff* *Bunsen*-nel, a jeles kémikussal együtt szerkesztette. *Kirchhoff* azt vizsgálta, hogy a különféle kémiai elemeknek milyen a színeképük, ha szilárd, folyékony vagy gáznemű izzó állapotban vannak. Azt találta, hogy szilárd vagy folyékony halmazállapotban levő világító anyagnak színeképe folytonos, vagyis a vöröstől az ibolyáig minden szint magába foglal folytonos átmenettel. Ez *Kirchhoff* ú. n. első törvénye. Egészen másként alakul a spektrum, ha a világító anyag gáznemű halmazállapotban van. Ekkor minden kémiai elemnek más a színeképe, mely nem folytonos, hanem az illető elemre jellemző fényes vonalakból vagy sávokból áll, amelyek mindig pontosan ugyanazon a helyen mutatkoznak a spektroszkópban alkalmazott mértékskálán. Így pl. a *Bunsen*-égő lángjában izzó nátriumgőznek színeképe két sárgaszínű vonalból áll. Amely színeképben ez a két sárga vonal mutatkozik, ott feltétlenül bizonyos, hogy a fényforrásban nátrium van jelen. Ezt fejezi ki a második *Kirchhoff*-féle törvény: ha valamely világító test színeképe sávokból vagy vonalakból áll, akkor az a test gázállapotban van; a gáz kémiai minőségét minden kétséget kizáró módon meg lehet állapítani a színekép sávjainak vagy vonalainak számából és elhelyezkedéséből.

Egy alkalommal *Kirchhoff* konyhasóoldatot tartalmazó üveget helyezett az izzó nátriumláng és a spektroszkóp prizma közé, s ekkor meglepetéssel tapasztalta, hogy a színeképben a nátrium két fényes sárga vonala helyében két fekete vonal mutatkozik. A konyhasó nátriumnak chlórral való vegyülete. Kellő kísérletek alapján azután *Kirchhoff* kimondhatta harmadik törvényét, mely szerint minden test alacsonyabb hőmérsékleten éppen azokat a vonalakat

nyeli el, melyeket magasabb hőmérsékleten maga kibocsátana.

Kirchhoff ezt a nevezetes fölfedezését azonnal a Nap színeképre alkalmazta, melyben már 1802-ben *Wollaston* észrevett fekete vonalakat, melyeket később *Fraunhofer*-féle vonalaknak nevezték el, ki azokat behatóan tanulmányozta (1824). Ezek a vonalak *Kirchhoff* szerint akként keletkeznek, hogy a Nap izzó felületéből kiinduló sugarak egy alacsonyabb hőmérsékletű gázzrétegen hatolnak át, mely azokat elnyeli. Ezzel először nyertünk betekintést egy távoli égítستن uralkodó fizikai viszonyoknak egy részébe: az asztrofizika megszületett. A színeképek vizsgálatát azután számos módosítással folytatták, különböző hőmérsékleteken, az izzóvátevés különféle eljárásaival, a *Bunsen*-égőn kívül elektromos ívlámpában, *Geissler*-féle csővel, elektromos szikrával és elektromos kemencével. Mindegyik eljárásból adódott valamilyen eredmény, melyet a csillagok színeképeire lehetett alkalmazni.

A csillagszíneképeket nemsokára a színeképelemzés felfedezése után, 1864-ben páter *Angelo Secchi* S. J., a vatikáni csillagda jeles igazgatója és *Huggins* kezdtek behatóan tanulmányozni. Ezekből az észlelésekből az következett, hogy a csillagok is, hasonlóan a Naphoz, izzó fotoszférával bírnak, melyet elnyelő gázzréteg vesz körül; ez hozza létre az elnyelési vagy abszorpciós színeképet. Némely csillag színeképében fényes vonalak is mutatkoznak, de ezek a kibocsátási vagy emissziós színeképek aránylag ritkák. Továbbá megállapították, hogy a csillagszíneképekben mutatókozó vonalak legtöbbjét azonosítani lehet a földi kémiai elemek vonalaival, s csak nagyon kevés olyan színeképvonal van, melyet még nem sikerült azonosítani a laboratóriumban előállított színeképvonalakkal, valószínűleg azért, mert abban nem tudjuk létrehozni a hatalmas égítsteken uralkodó feltételeket. A legnevezetesebb következmény, mely ebből leszüremlik, az, hogy a világegyetemet betöltő égítstek mindenütt ugyanazokból az atomokból vannak fölépítve. A színekép szerkezete ugyanis a legszorosabb összefüggésben áll az atomokkal, amelyektől a színekép származik és amelyekből minden anyag összetevődik.

Másik nevezetes eredménye *Secchi* vizsgálatainak az, hogy bár a csillagok milliárdszámra vannak szét-

szórva az univerzumban, színképeik mégis csak négy különböző osztályba sorolhatók. Ezek a következők: I. színképek erős sötét hidrogénvonalakkal; II. számos kevésbé erős fémvonalakkal; III. a vörös felé élesen határolt sávokkal, (melyekről ma már tudjuk, hogy a titánium-oxidtól erednek); IV. az ibolya felé élesen határolt sávokkal, (melyek a széntől vagy szénvegyületektől erednek).

A fotográfia alkalmazásával a csillagszínképek tanulmányozása nagy mértékben fejlődött. Különösen az amerikai nagy obszervatóriumok vezettek és vezetnek ezen a téren. A színképeket katalógusokba foglalják, melyek közül a legnevezetesebb a *Harvard-obszervatóriumtól* kiadott ú. n. *Henry Draper-katalógus*, mely több mint 270.000 csillagszínképről ad számot. Idők folyamán szükségesnek mutatkozott a színképek osztályozásának tökéletesítése. A régebbi *Secchi-féle* osztályozás helyett ma a *Harvard-osztályozás* használatos. Az egyes színképosztályokat nagy latin betűkkel jelzik, ezek: O, B, A, F, G, K, M, R, N, amelyeket a betű mellé tett 0—9 számokkal 10 al-osztályra osztanak.

Már korán feltűnt, hogy az egyes színképosztályokhoz tartozó csillagok egyféle színt is mutatnak. Így a *Secchi-féle* I., vagy az O, B, A osztályba tartozók fehérszínűek; a II. vagy F, G, K osztálybeliek sárgák, (a G osztályba tartozik a Nap is); a III., ill. M, R, N osztálybeliek vörösszínűek. Ez annyit jelent, hogy a színképek között mutatkozó különbségek nem a különböző kémiai összetételből ered, mert ebben az esetben a különféle kémiai elemekhez tartozó vonalak egymástól függetlenül változhatnának, pl. lehetnének erős vas-vonalak és gyöngye calcium-vonalak, vagy megfordítva, ami azonban sohasem fordul elő. Ellenben a csillag színe összefüggésben van a csillagot körülvevő atmoszféra és fotoszféra hőmérsékletével, és az őket alkotó atomok ú. n. gerjesztés- vagy keltésfokával.

A Nap és a csillagok felszínén uralkodó hőmérsékletet többféle módon tudjuk megállapítani. Legrégibb eljárás a spektroszkópikus, mely azon alapszik, hogy a csillagokban is kimutatható különböző elemek színképét a laboratóriumban vizsgáljuk növekvő hőmérsékletek alatt. Így a *Bunsen-láng* átlagos abszolút hőmérséklete 2000°C , az elektromos ívlámpáké 4000°C ,

az elektromos szikráé 5000°C . A laboratóriumban nyert eredményeket azután összehasonlítjuk a csillagokon észleltekkal. Például a titaniumoxid vonalai az ívláng közepén nem mutatkoznak, csak a szélén, valószínűleg azért, mert a láng legmelegebb részében a titaniumoxid alkotó elemeire bomlik, disszociálódik. Viszont ezek a vonalak igen intenzívek az M-színképosztályú csillagok spektrumában, alig láthatók a K_s-osztályuékban és teljesen hiányzanak a K₀-osztályuéból. Ebből azt következtethetjük, hogy az M-típusú csillagok felszíne alacsonyabb hőmérsékletű, mint az ívfény középső része, a K₀-típusúak körülbelül épp olyan melegek, a K_s-osztályúak pedig valamivel magasabb hőmérsékletűek mint az ívfény kerületi részei. Az ívfény különböző részeinek hőmérsékletét pirométerrel lehet megmérni, s ilyenformán fogalmat alkothatunk magunknak a csillag felületének hőmérsékletéről, ahonnet a színkép származik. Ennek az eljárásnak az a hátránya, hogy csak alacsonyabb hőmérsékletű csillagokra alkalmazható, mert a laboratóriumi hőmérsékletek rendszeren 4000 fokon alul vannak.

Másik eljárás a fekete test sugárzásának tulajdonságaira támaszkodik. Ideális abszolút fekete test mindenfajta sugárzást vagy sugárzásenergiát teljesen elnyel. Valamely eléggé magas és sűrű gázréteg majdnem teljesen el tudná nyelni a beléje hatoló sugárzásokat. Már az aránylag vékony, néhány kilométer vastagságú földi légkör a Nap sugárzásának mintegy 20 százalékát nyeli el. A Napot és a többi csillagokat többszáz vagy ezer kilométer vastag gáz- gőz-atmoszférák veszik körül, melyeket nagy közelítéssel fizikai fekete testnek lehet tekinteni. Az ú. n. *Stefan—Boltzmann*-féle törvény szerint valamely fekete test energiasugárzása arányos abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával. A Nap energiasugárzását meg tudjuk mérni, s ennél fogva az említett törvény alapján felszíni közepes vagy effektív hőmérsékletét ki tudjuk számítani. Ezen az alapon a Nap effektív hőmérséklete közel 6000 abszolút fok.

Az ú. n. *Wien*-féle törvény szerint a legnagyobb intenzitású sugárzáshoz tartozó hullámhossznak és az abszolút hőmérsékletnek szorzata állandó. A Nap spektrumában mért különböző intenzitás-maximumokhoz tartozó hullámhosszakból 5800—6300 abszolút fok

hőmérséklet adódik, tehát átlag szintén 6000 fok. Alkalmas műszerrel, radiométerrel vagy thermoclemmel ma a csillagok energiasugárzását is meg tudjuk mérni. Az imént említett eljárással *Abbot* (1923 óta) a következő csillagok effektív hőmérsékletét határozta meg:

Csillag neve	Színkép- osztály	Effektív hőmér- séklet
β Orionis (Rigel)	B ₈	16,000°
α Lyrae (Vega)	A ₀	14,000°
α Canis Maioris (Sirius)	A ₀	11,000°
α Canis Minoris (Procyon)	F ₃	8,000°
α Aurigae (Capella)	G ₀	5,800°
α Tauri (Aldebaran)	K ₃	3,000°
α Orionis (Betelgeuze)	M ₀	2,600°
β Pegasi (Scheat)	M ₃	2,850°
α Herculis (Ras-Algethi)	M ₆	2,500°

Ebben a kimutatásban szembeszökő, hogy a hőmérsékletek annál magasabbak, mennél előbbre van a csillagszínkép a *Harvard*-osztályozás szerint. A tapasztalás alapján alkotott természetes színképosztályozás tehát mélyebb fizikai jelentőséget foglal magában: már a színkép alapján tudhatjuk a csillag felületének hozzávetőleges értékét. Az előbb elmondottak alapján tehát a fehér csillagok hőmérséklete a legmagasabb és a vörös csillagok felé állandóan csökken.

Planck kvantumelméleti megfontolások alapján fedezett föl összefüggést az egyes hullámhosszak és a hozzájuk tartozó energiasugárzás és hőmérséklet között. Bolométerrel a színképben egyes hullámhosszakhoz tartozó energiát megmérhetjük és a *Planck*-féle képlet alapján a hőmérsékletet kiszámíthatjuk. Megjegyezzük, hogy ez a nevezetes *Planck*-féle képlet magában foglalja úgy a *Stefan Boltzmann*, mint a *Wien*-féle törvényt. A *Planck*-féle képlet alapján is 6000 fok a Nap felületi hőmérséklete. *Wilsing* és *Scheiner* Potsdamban spektrofotométerrel mérték csillagszínképekben az 5—5 hullámhosszhoz tartozó sugárzásenergiát, és a *Planck*-féle képlet alapján számították száznál több csillag felületi hőmérsékletét.

Kiszámíthatjuk a csillag hőmérsékletét a már emlí-

tett színindexből is, mely a fotografikus és vizuális abszolút fényrendjének különbsége, vagy a hőindexből, mely a vizuális és radiometrikus abszolút fényrend közti különbség. Láthatjuk, hogy a fizikai kutatási módszerek többféle módon engednek megoldani csillagászati problémákat egymástól független eljárásokkal. Az eredmények egyöntetűsége megerősíti bizalmunkat azok helyességében.

Amikor *Kepler* a bolygók mozgására vonatkozó három ismeretes törvényét fölfedezte, azok különálló, egymással nem összefüggő megállapításoknak látszóttak. *Newton*nak érdeme, hogy megtalálta közös forrásukat az általános gravitációban. A spektrumokban mutatkozó *Kirchhoff*-féle törvények is látszólag egymástól független megállapítások; közös gyökerüket csak most kezdjük megismerni a modern atómfizikai kutatások révén. Az összefüggés azonban érthetően nem olyan egyszerű, mint a *Kepler*-féle törvények esetében; az atóm- és kvantumfizika fejlődésének még csak legkezdetén van, úgy hogy számos fontos kérdésre feleletet még nem tudunk adni.

Uvegcsőbe (*Geissler*-cső) zárt erősen ritkított gázon át történő elektromos kisülések vezették *Plücker*t (1858) a katódsugarak fölfedezésére, melyek behatóbb tanulmányozása körül *Hittori* és különösen *Lenard Fülöp* szerzett nagy érdemeket. *Wiechert* mondotta ki először teljes határozottsággal (1896), hogy ezek a sugarak a negatív „elektromosság atómjaiból” állanak. *Lenard* kísérleteivel minden kétséget kizáróan bebizonyította, hogy a katódsugarakban áramló részecskék nem lehetnek semmiféle kémiai anyagnak molekulái vagy atómjai, és hogy ez utóbbiakhoz viszonyítva rendkívül kicsiny méretűeknek kell lenniök. *Wiechert* és *J. J. Thomson* vizsgálatai azután végleg eldöntötték, hogy csakugyan a negatív elektromosság elemi részecskéi vagy kvantumjai. A ma közkeletű „elektron” elnevezés *Stoney*től ered (1891). *Millikan* az elektron elektromos töltését mérte meg a legnagyobb pontossággal (1912), amiből tömegének nagyságát is meg lehetett állapítani; ez 9×10^{-28} grammnak vagyis a gramm egy kilencvenezer kvadrilliomod részével egyenlő. A legkönnyebb kémiai elemnek a hidrogén atómjának ez az 1838-ad része. A hidrogén atómja ennél fogva nem lehet egyszerű, oszthatatlan anyagrészecske, amint régebben

hitték, hanem össze van téve kisebb részekből, mint bizonyosan a többi kémiai elemek atómjai is.

További fizikai felfedezések, így pl. a fotoelektromos jelenségek, vezettek az atóмок belső szerkezetének vizsgálatához, az atómfizikához és kvantumelméletéhez, melyek a modern fizikusok érdeklődésének középpontjában állanak. Ha ultraibolya fény fémfelületre esik, úgy ebből elektronokat választ le. Ez a fotoelektromos hatás vagy effektus, mely az alkali fémeknél (kálium, nátrium) már a látható ibolyafénynél is bekövetkezik. *Lenard* 1902-ben a következő alapvető felfedezést tette: a fém felületéről leválasztott elektronok mozgási vagy kinetikai energiája független a gerjesztő fény intenzitásától és csak annak hullámhosszától függ, továbbá szigorúan arányos a fény rezgésszámával és hatása mérhetetlenül rövid idő alatt következik be.

A már említett *Planck*-féle képlettel teljesen új elv vonult be a fizikába (1900), mely a klasszikus elmélettől lényegesen eltér. *Planck* szerint az energiaszintek vagy állapotok nem folytonosak, hanem csak egészen határozott véges értékekben ugrásszerűen mennek végbe. Elektromos oszcillátor pl. a klasszikus nézet szerint egymásba folytonosan átmenő rezgéseket végezhet, míg *Planck* szerint csak bizonyos határozott rezgések lehetségesek. Mikor egyik állapotból a másikba ugrásszerűen átmennek, az energiaszinteknek megfelelő különbségek fény formájában jelentkeznek. Viszont a fényt is csak határozott energiakvantumok alakjában tudják elnyelni, absorbálni, melyek az energiaszinteknek megfelelnek. Ez az energia mindig egyenlő a fény rezgésszámának és az ν . *Planck*-féle elemi kvantumának szorzatával. A *Planck*-féle elemi kvantum a fizikának egyik legfontosabb állandója azonos a fönnebb említett *Lenard*-féle törvény arányossági tényezőjével. *Einstein* ismerte föl (1905), hogy a fény rezgésszámai csakis az elemi kvantummal együtt szerepelhetnek, s hogy az így alakult energiakvantumok mint parányi korpuszculumok, anyagi részecskék haladnak a térben. E szerint a fénynek — ellentétben a hullámelmélettel — korpuszkuláris alkatrészei is vannak, az ν . fénykvantumok. Úgy mint a hullámelélet ez is modellszerű elgondolás. Vannak fényjelenségek, melyeket csakis a hullámelélet alapján lehet megmagya-

rázni, mint pl. az interferencia; más jelenségeket pedig csakis a fénykvantumok teszik érthetővé, pl. a fotoelektromos hatást. Már *Newton* azt gondolta, hogy a fény ilyen korpuszkuális természetű. Valóságban a fény úgy a hullámszerűséget mint a fénykvantumos természetet egyesíti magában. Mi ezt azonban csak kétféle modellel tudjuk magunknak szemléltethetővé tenni.

Ha a fénykvantumok mozgó anyagszerű részecskék, akkor valamely testet, mely reá eső fényt elnyeli, éppen úgy lökés éri, mint egy lemez, melybe lövedék hatol. Ez az ú. n. sugárzó nyomás. Megfordítva, a fényt kisugárzó test olyanféle ellenlökésnek van kitéve, mint pl. az ágyú a lövés elsütésekor. A fény visszaverődésekor létrejövő nyomás kétszerese az abszorpciós nyomásnak. A sugárzó nyomást számos kísérlettel lehet kimutatni.

A Nap és a többi csillagok közelében a sugárzó nyomásnak fokozottabb mértékben kell érvényesülnie. Az üstökös csóvák nagyrészt úgy keletkeznek, hogy a napfény sugárzó nyomása a csóvát alkotó molekulákat a gravitációval szemben a Naptól távolítani igyekszik. Hogy a Nap atmoszférájának legnagyobb magasságában is nehezebb elemek, úgy mint ionizált kalciumatómok még előfordulnak, ez annak tulajdonítható, hogy ezek az ionok éppen a Nap sugárzásának energiamaximumában erősen abszorbeálják a fényt és ekként különösen erős sugárzónyomást szenvednek, mely a Naptól kifelé irányul.

Eddington, a híres cambridgei asztronómus, mutatott rá először, hogy a csillagok belsejében fellépő sugárzónyomásnak milyen döntő szerepe van a csillagot alkotó anyag egyensúlyviszonyaiban. Az állócsillagok belsejében a hőmérséklet a 20,000.000 fokot is eléri, minek következtében állandóan óriási sugárzásenergia áramlik a csillag belsejéből a felszíne felé. A magas hőmérséklet következtében, a *Planck*-féle törvény szerint, ez a sugárzás főleg a *Röntgen*-és *gamma*-sugarak keretébe esik. Kifelé való útjában ez a sugárzás mind nagyobb hullámhosszúságú sugárzássá alakul, részben a csillag anyagának hatására, részben a hőmérséklet folytonos csökkenése következtében, úgy hogy végül mint látható fény hagyja el a csillagot. A csillag anyaga tehát kétféle ellentett irányú erő hatása alatt áll: az egyik a ki-

felé irányuló sugárzó nyomás, mely nem sokkal kisebb rendű mint a vele ellentett irányú másik, a gravitáció. Minél nagyobb a csillag tömege, annál nagyobb a sugárzás árama s következésképp a sugárzó nyomás is. Ha valamely csillag tömege nagyobb volna mint a Nap tömegének százszorosa, akkor a sugárzó nyomás erősebb volna mint a gravitáció s a csillagot szétrobbantaná. Tényleg a csillagoknál eddig megfigyelt legnagyobb tömegek 10—100-szorosa a Nap tömegének.

Már említettük, hogy atomok nem lehetnek oszthatatlan testecskék, mert hiszen a fotoelektromos hatás negatívöltésű részecskéket választ le. Ez volt a kiinduló pont az atómszerkezet további vizsgálatához, az atómfizikához. Ki lehetett mutatni, hogy pl. a hidrogénatóm egy elektronból és egy pozitívöltésű ú. n. protonból áll, melyet a hidrogénatóm magjának, nucleusanak neveznek. *Rutherford*nak modellszerű elgondolása szerint minden atóm egy pozitívöltésű magból és körülötte a bolygókhoz hasonlóan keringő elektronokból áll. A mag tartalmazza az atóm tömegének túlnyomó részét. Elektromosan neutrális atómban az elektronok száma akkora, hogy negatív töltéseik összege egyenlő a mag pozitív töltésével, mely ennél fogva egészszámú pozitív elemi kvantumokból áll. Ez a szám azonos az illető kémiai elem rendszámával, melyet az elemek periodikus rendszerében elfoglal. Eddig 92 kémiai elemet ismerünk.

Ez a *Rutherford*-féle atómmodell azonban ellenkezőben áll a tapasztalattal. A mag körül keringő elektron a klasszikus elektrodynamika szerint oszcillátornak tekintendő, tehát folyton változó elektromágneses mezőt kellene létesítenie s állandóan energiát kellene kisugároznia fény alakjában. A folytonos energiavesztés következtében az elektronnak végül is a magba kellene zuhannia, ami pedig nem történik. Továbbá a kisugárzott fény hullámhosszát ki lehet számítani. E szerint az atomoknak folytonos színeképet kellene létrehozniuk, míg a valóságban az atomoktól kisugárzott spektrum egyes különálló éles vonalakból vagy sávokból áll.

A *Rutherford*-féle atómmodellnek ezt a fogyatékoságát *Niels Bohr* elgondolása szüntette meg (1913) azzal, hogy a kvantumelméletet alkalmazta az atomok szerkezetére. Szerinte az elektronok csak egészen ha-

tározott pályán keringhetnek állandóan, míg a régi klasszikus elmélet számtalan pályát tesz lehetővé. Amíg az elektron ilyen pályán kering, fényt nem sugároz ki. Fény- vagy energiakisugárzás csak akkor történhetik, ha egyik pályáról v. energiafokozatról másik pályára vagy energiafokozatra ugrászerűen megy át, melyen energiája kisebb, másszóval, ha kvantumugrást végez. Nem bocsátkozhatunk itt az atómelmélet további részleteibe, csak azt jegyezzük meg, hogy a vázolt alapon eddig csak a hidrogénatóm elméletét sikerült teljesen kiépíteni és részben a héliumét és nagyjából a többi elemekét. A hidrogén színeképeinek minden vonalát ki lehetett számítani. A *Kirchhoff*-féle második törvény magyarázatát az atómelmélet és a kvantumelmélet adta meg. Az ionizáció következtében szabadabbá vált elektronok tetszőleges energiaértékeket vehetnek föl, tehát folytonos színeképet adnak. Ez a *Kirchhoff*-féle első törvény magyarázata. Ahogyan az atom csak kvantumszerűen képes fényt kisugározni, úgy elnyelni vagy abszorbeálni is csak kvantumszerűen tudja; ez pedig a harmadik *Kirchhoff*-féle törvény.

A csillagokról való fizikai ismereteinket túlnyomóan színeképek tanulmányozásából merítjük. Az előbbiekben láttuk, hogy milyen benső összefüggés áll fenn a spektrumok és az őket létesítő atomok között. De más vonatkozásban is fontos az atomokban végbe menő fizikai folyamatok ismerete.

A Nap és a csillagok állandóan órási mennyiségű fényt, energiát sugároznak a világűrbe. A Nap évmilliárdok óta ontja sugarait, anélkül, hogy történelmi idők folyamán bármilyen gyöngülést vagy csökkenést észlelhettünk volna. Az előbbiek szerint minden energiának bizonyos tömeg felel meg; a sugárzásnak ennél fogva tömegvesztéssel kell járnia, ha csak ebből a forrásból táplálkozik; a Nap vagy a csillagok tömege állandóan fogyna. Ha a Nap tömege kisebbednék, úgy ez a Föld vagy a bolygók keringésidejének megnövekedésében mutatkoznék. Ilyen változást eddig még nem lehetett észlelni, bár a keringésidő megmérése egyike a legpontosabban végezhető asztronómiai műveletnek.

A Nap tömege kerekén 2×10^{33} g; az egy év alatt kisugárzott energia $1{,}23 \times 10^{41}$ erg. Ha a sugárzás az anyagnak energiává való átváltozásától eredne, úgy

a Nap tömege 14 billió év alatt elfogyna, megsemmisülne. A Nap kora ennél biztosabban nagyobb. Honét pótolja tehát a Nap az állandóan kisugárzott energiát? Ha égési hőből származnék a kisugárzott energia, úgy néhány év alatt elégne a Nap, feltéve, hogy szénből áll. *Robert Mayer* a Napra hulló meteorok hővé átalakított kinetikai energiájából akarta pótolni a sugárzás által előidézett energiavesztéset; ez azonban teljesen elégtelennek bizonyult, éppenúgy mint *Helmholtz* föltevése, mely szerint a Nap az összehúzódás következtében keletkező hőből pótolja energiavesztességét. Igen tetszetős *Eddington* magyarázata, mely az atómelméletre támaszkodik. A hélium atómjának magja 2 protonból és 2 töltés nélküli neutronból van összetéve. A proton tömege 1.00721 , a neutroné 1.008 , a hélium-magé azonban csak 4.001 , ami 0.02942 -vel kevesebb mint az alkotórészek tömegeinek összege. Ha a héliumatóm a protonok és neutronok összetevéséből keletkezik, úgy ennél a folyamatnál tömeghiány lép fel. Ez csak úgy lehet, ha a hiányzó tömeg sugárzás formájában energiává változott át, mely igen tetemes. Négy gramm hélium képződésével annyi hőenergia keletkeznék, mely ötmillió liter vizet 0°C -ról 100°C -ra melegítene föl. Hasonló tömegdefektust magasabbrendű atómoknál is lehetett kimutatni. *Eddington* szerint főleg a hélium-mag képződésénél föllépő tömeghiányból eredő hősugárzás pótolja a Naptól vagy a csillagoktól oly pazar bőséggel a világűrbe sugárzott energiát. Ezzel szemben *J Jeans* azon a nézeten van, hogy a tapasztalat inkább amellett szól, hogy a csillagokban a magasabbrendű elemek bomlanak szét alsóbbrendű elemekre, mint pl. az uránium, melynél tényleg sugárzás megy végbe, mely az anyagnak energiává való átváltozásával jár. Valószínű, hogy vannak a 92-nél magasabbrendű elemek, melyek atómjainak bomlása és energiává való átváltozása teljesen megmagyarázná a Nap és a csillagok sugárzásának hosszú időközön át való sugárzását. *Fermi*, *Hahn* és *Meitner* tényleg előállítottak ilyen transurániumokat egészen 96-odrendig.

Végül meg kell említenünk, hogy a csillagászat miként igazolta *Kirchhoff*-nak a *Fraunhofer*-féle sötét színképvonalak eredetére vonatkozó elméletét. Ha ez az elmélet igaz, akkor Nap spektrumában a sötét vonalak helyett fényes vonalakat kellene észlelnünk, ha

a fotoszféra fölött elterülő megfordító gágréteg színképét elő tudnók állítani. Ez teljes napfogyatkozások alkalmával lehetséges, mikor a Hold a Nap korongját már majdnem teljesen eltakarja. Néhány pillanatig a fotoszférát a Hold már eltakarja s a megfordító réteg még látható. A spektroszkópban ekkor fényes vonalakkal felvillan a Nap emissziós színképe, melyet spektrográffal természetesen le is fotografáltak. Az angolok ezt „flash-spektrum”-nak nevezik. Először *Young* észlelte Spanyolországban az 1870-i napfogyatkozás alkalmával. Ez tényleg *Kirchhoff* földi laboratóriumi kísérleteinek fényes igazolása volt az égi nagy laboratórium által és iskolapéldája annak, hogy két látszólag egymással kevésbé összefüggő tudomány mily alapvető fontosságú megismerésekre képesítik az emberi szellemet együttműködésük által. Remélhető, hogy az atom- és kvantumfizikának is megjön a *Newtonja*, amikor a csillagokról sok mindent fogunk tudhatni, ami ma még felderítetlen homály előttünk.

X.

A világegyetem fizikája: a kozmologia.

A tapasztalat útján szerzett fizikai ismeretek akkor válnak exakt tudománnyá, mikor matematikailag összefüggő rendszerbe vannak foglalva, úgy hogy a tüneteményeket számítás útján előre meg tudjuk mondani, vagy a multba kísérni. A naprendszerrel való ismeretünk egészen Newtonig tisztán empirikus, tapasztalati volt. Az általános gravitáció felfedezése egyszerre a legexaktabb tudomány rangjára emelte a csillagászatnak ezt a részét. Lehetővé tette, hogy a bolygók útját a messze jövőbe vagy multba követhessük, hogy a tenger árapály tüneteményeit előre kiszámíthassuk, hogy pontosan előre megállapítsuk a precesszió és nutáció nagyságát s. i. t. A világegyetemről, a kozmoszról való ismereteink a legújabb időkig szintén csak empirikusak voltak; kellő számú tapasztalati, megfigyelési adatot kellett összegyűjteni, mielőtt szó lehetett volna arról, hogy az egész kozmoszról exakt módon tudjunk számot adni, olymódon, mint az említett bolygómozgásokról, vagy mint a fizika a fényről, a hőről vagy elektromosságról. Ettől az időtől ugyan még nagyon messze vagyunk, de a kezdet nehézségeinek legyőzésére mégis már biztató kísérletek történtek.

A világegyetem fizikája, a kozmológia, az asztrofizikának legújabb ága, mely az egész létező világegyetemet a kozmoszt egyetlen egésznek vagy összefüggő rendszernek tekinti és annak mechanikai és fizikai szerkezetét kutatja. Mint tudomány alig harminc éves. Lényegükben a benne fölmerülő problémák a világegyetem nagyságára, geometriájára, a világterben létező hatalmas csillagrendszerek mozgására vonatkoznak, amely problémákat csak újabban sikerült oly exakt keretbe foglalni, hogy szigorúbb matematikai feleletet nyerünk ott, ahol azelőtt csak üres

spekulációknak volt helyük. Ha nem is tudunk minden kérdést megoldani, mégis már számos új szempont és eredmény adódott e gondolat közben, mely már a legrégibb idők óta foglalkoztatja a kutató elméket.

Az utolsó évtizedek csillagászati fölfedezéseinek hatása alatt szinte megtorpanunk a probléma nagyszerűsége előtt. Olyanformán vagyunk vele, mint Szent Ágoston ismert bájos legendájában az óceánt a homokgödröcskébe meríteni akaró kicsiny gyermek. Hol vagyunk ma az *Arisztotelész* vagy *Ptolemáiosz*-féle elgondolástól, mely szerint a Föld mozdulatlanul áll a „világ” középpontjában, az állócsillagok pedig mind egyforma távolságban vannak tőle és egy közös gömbön forognak körülötte. De hol vagyunk ma már attól a képtől is, melyet még a jelen század elején alakított magának a tudomány az univerzumról. *Copernicus* eszméje tényleg szárnyat öltött. A Föld tengelye körül forog és egyúttal kering a Nap körül. A Nap is forog tengelye körül és közben feltartóztatlanul rohan tovább a térben másodpercenként húsz kilométeres sebességgel. Az állónak hitt csillagok is száguldanak a térben mindenféle irányban, mindenféle nagy sebességgel. A csillagok számlálhatatlan millióit óriási távolságok választják el egymástól. Ezek mind pontos mérések, gondos, fáradságos megfigyelések eredményei. S ez *Copernicus* gondolatának magva: a látszat helyébe a valóság, a pusztá spekuláció helyébe a kritikával felfegyverzett tapasztalat, a reális alapot nélkülöző feltevések vagy állítások helyébe az exakt mérések eredményei lépnek.

A naprendszer méreteinek és a csillagok távolságának meghatározásánál a régi *Eukleidész*-féle geometriát vettük alapul. Ha ezt kiterjesztjük az egész világtérre, akkor ez a tér végelen és határtalan, mindenütt homogén és izotrop, azaz geometriai tulajdonságai mindenütt és minden irányban ugyanazok: ez a *Copernicus* tere. De ha hívek akarunk lenni *Copernicus* ideáljához, akkor megfigyeléssel kell eldöntenünk, hogy a világtér geometriája tényleg *Eukleidész*-féle geometria-e. Az égi tűnemények időbeli lefolyása sem különbözhetik sehol a naprendszerben észlelttől: ez a *Newton*-féle idő. A csillagok megfigyelése ezeket a föltevéseket mintegy kényszerű valósággá változtatja.

Copernicus idejében csak az *Eukleidész*-féle geo-

metria volt ismeretes. Azóta geometriai ismereteink lényegesen kibővültek. *Eukleidész* szerint a háromszög szögeinek összege 180° , és egy ponton át csak egyetlen párhuzamost lehet vonni egy egyeneshez, a tér pedig végtelen. *Bolyai János*, *Gauss* és *Lobacszevszkij* azonban kimutatták, hogy van olyan geometria is, melyben a háromszög szögeinek összege 180° -nál kisebb, és egy ponton át számtalan párhuzamost lehet fektetni egy egyeneshez. A tér ebben a geometriában is végtelen. A matematikai kutatásnak ezzel egészen új, óriási kutatástér nyílt meg, mely a múlt században *Riemann* újabb geometriai felfedezéseiben kulminált. A *Riemann*-féle geometriában a háromszög szögeinek összege nagyobb mint 180° , és párhuzamos egyenesek nincsenek, a tér pedig véges. Könnyen belátható, hogy kozmológiai probléma annak eldöntése, melyik geometria a három közül van megvalósítva a világtérben, a kozmoszban. *H. Poincaré* a híres francia matematikus a jelen század elején még azon a nézeten volt, hogy ez a kérdés megfigyeléssel nem dönthető el.

A matematikai igazságok és a fizikai elméletek között az a lényeges különbség, hogy a matematikai igazságot semmiféle fizikai észlelet meg nem döntheti, ellenben a legfényesebbnek látszó fizikai elmélet egyetlen ellenmondó tényen szenvedhet hajótörést. A megfigyelés mindig hozhat új, meglepő tényeket, melyekre azelőtt gondolni sem lehetett. Ilyenek voltak pl. a fizikában a *Hertz*-hullámok, vagy a *Röntgen*-sugarak. A csillagászatban az új megismerések a távcső, a fotográfia, a spektroszkópia és a fotometria fejlődéséhez fűződnek. Ezt látjuk különösen az égitestek távolságának bennünket itt közelről érdeklő problémájában. Erről egyik előbbi fejezetben részletebben szoltunk. Most a kozmoszra vonatkozó újabb megfigyelések eredményeivel kell nagy vonalakban megismerkednünk.

Az égbolt egyik legnagyobb jelensége a Tejút vagy galaxis, mely a szabad szemnek halvány fényfelhőnek tűnik, távcsőben azonban számtalan csillagra bomlik szét. A Tejút struktúráját az okozza, hogy a csillagok miriádjai hatalmas csoportokba, csillagfelhőkbe verődtek, melyek egymás mellé és mögé sorakoznak és csak óriási távolságuk miatt látszanak egybeolvadó fényfelhőnek. Már *Kant* analógia útján

igyekezett magának képet alkotni a Tejútrendszer felépítéséről, melyet ő már az univerzumnak gondolt. Szerinte amint a bolygók a Nap körül keringenek, úgy a Nap maga s a többi csillagok is egy középonti Nap körül keringenek, mindannyian közel a Tejút középső síkjához. Ezért látszik a Tejút mint keskeny fénysáv végigvonulni az égen. Nagy fényessége miatt a Sziroszt gondolta középponti Napnak *Kant*. Ő még nem tudhatta, hogy a Sziros mily közel van hozzánk, mindössze 9 fényévnyi távolságban, és hogy a galaxis méretei ehhez képest mekkorák.

W. *Herschel* csillagszámlálás útján igyekezett magának képet alkotni a Tejút szerkezetéről. Abból a feltevésből indult ki, hogy a csillagok nagyjából egyenletesen vannak elosztva a térben, és hogy az univerzum — a Tejút-rendszer — abban az irányban a legkiterjedtebb, amerre az ő teleszkópjával a legtöbb csillag látszott. Ilyen úton arra az eredményre jutott hogy a Tejútrendszer kerek, lapos korongalakú halmaz a csillagoknak, amelyek átmérője öt és fél-szerte akkora mint a vastagsága, a Nap pedig e korong középpontjától oldalt foglal helyet. Kutatásait fia, *J. Herschel* folytatta. Újabb időben *Seeliger* és *Kapteyn* foglalkoztak behatóan a Tejútrendszer csillagjai elrendezésének problémájával. Utóbbi 1922-ben azt találta, hogy a Nap körül elhelyezkedő csillagok nagyjából lapult ellipszoid alakú teret töltenek be, melynek átmérője mintegy 54.000 fényév, vastagsága 10.800 fényév. Ezen a távolságon túl a csillagok száma kevesebb, mint egy századrésze a Nap közelében levő csillagok számának. A Tejútrendszer csillagjainak összes számát *Kapteyn* 1450 millióra becsüli.

Ezek a vizsgálatok valószínűvé tették, hogy az észleléseinknek hozzáférhető csillagok véges tért foglalnak el. De nyílt kérdés maradt, hogy az égen észlelhető egyéb égitestek, a gömbalakú csillaghalmazok, a különböző ködfoltok is ebbe a szűkebb rendszerbe tartoznak-e. Erre a kérdésre főleg *Shapley*, *Hubble* és *Humason* amerikai csillagászok nagyszabású munkálatai adtak feleletet. A jövő világképének alapjait, az univerzum, a kozmosz első kibontakozó körvonalait ők rakták le. Mindjárt leszögezzük, hogy a megfigyelés adatai messze túlszárnyalták a legmerészebb fantázia elképzeléseit, s a kép, mely lelki szemeink előtt kibontakozik, nagyszerűsége

gében olyan megdöbbenő, mint amennyire fölemelő. Csak néhány legfontosabb adat elsorolására szorítkozhatunk. *Shapley* a nyílt és a gömbalakú csillaghalmazokban fölfedezett δ (Delta) Cephei-típusú csillagokból e halmazok távolságát tudta meghatározni. (A Cepheidákkal való távolságmeghatározásról egyik előző fejezetben volt szó). Nyílt csillaghalmazok például a Plejádok (Fiastyúk), a Coma Berenices (Berenice Haja) az Arcturus és az Oroszlán (Leo) csillagkép között, a Praesepe (Jászol) a Cancer (Rák) csillagképben, a Perseus csillagképben látszó két csillaghalmaz; ismert gömbalakú csillaghalmaz a Herkules csillagképben levő. Nagyobb gömbalakú halmazokban egy milliónyi csillag is foglaltatik, nyílt halmazokban legfőljebb néhány ezer. A nyílt csillaghalmazok a Tejút középső síkjának mentén vannak szétszórva, mintegy 20.000 fényévnyi átmérőjű, 3300 fényévnyi vastagságú korong formájában, melynek közepe felé van jelenleg a naprendszer.

A gömbhalmazok sokkal nagyobb teret foglalnak el. A gömbhalmazok középpontja a Sagittarius (Nyilas) csillagkép irányában fekszik, tőlünk mintegy 45.000 fényévnyi távolságban. Egyes gömbalakú csillaghalmazok a középtől 160.000 fényévnyire vannak a középső Tejút-sík mentén. 65.000 fényévnyire a reá merőleges irányban. A nyílt halmazok és az összes látható csillagok alkotják az ú. n. lokális redszert mintegy 1000 millió csillaggal. A gömbhalmazokból álló ú. n. Sagittarius-rendszerrel együtt összesen vagy 300.000 millió csillag alkotja a galaxist, a mi Tejút-rendszerünket. Óriási halmaza ez az égitesteknek, 235.000 fényévnyi átmérőjű, 47.000 fényévnyi vastagságú korongalakú térben szétszórva, melynek közepétől a naprendszer 45.000 fényévnyire van, a peremtől pedig 72.000 fényévnyire.

De ez még nem a világegyetem, nem a kozmosz.

Ismeretes, hogy az Andromeda csillagképben szabad szemmel is látható halványfényű ködfolt van, melyet a nagy távcsövek számtalan csillagból állónak mutatnak, a fotografiai felvételek pedig spirális szerkezetét tüntetik fel szembeötlően. Ebben a ködfoltban *Shapley* Cepheidákat és novákat, új csillagokat fedezett föl, melyek segítségével e ködfolt távolságát tudta meghatározni, melyet 870.000 fényévnyinek talált. Az Andromeda spirális ködfolt szintén több mil-

liárd csillagból álló külön rendszer, mely a Tejútrendszeren messze kívül esik. Átmérője 45.000 fényév. Ha az Andromeda-köd valamelyik csilagáról tudnók szemlélni a mi Tejútrendszerünket úgy ezt is halvány spirális ködfoltnak látnók az égen, de terjedelme majdnem négyszerese annak, amilyennek mi látjuk az Andromeda ködfoltot.

Az Andromeda-ködfolt azonban nem az egyedüli a maga nemében. *Shapley* 1933-ig mintegy 100.000 ködfoltot észlelt, melyek valamennyien a Tejúton kívül levő spirális alakú csillagrendszerek. Ezeket anagalaktikus, a galaxisunkhoz nem tartozó ködöknek nevezzük. Számuk azóta több millióra emelkedett. Felfedezésük természetesen fotografikus úton történik. A spirális ködökön kívül vannak ú. n. elliptikus ködök is, melyek óriási kiterjedésű halmazok. A Tejútrendszeren messze kívül eső eme ködök alkotják az ú. n. metagalaxist. A spirális ködfoltok sok helyütt valószínű ködfolthalmazokat alkotnak. *Wolf* a Tejút pólusa környékén 1500 ködfoltból álló halmazt talált, a Perseus csillagképben egy 500-ból állót. A Virgo (Szűz) csillagképben levő vagy 100 ködfoltból álló halmaz tőlünk való távolságát *Shapley* és *Hubble* egymástól függetlenül 10,000.000 fényévnek találta. *Lundmark* és *Bernheimer* szerint a belső metagalaxis ködfoltjai vagy 200 ilyen nagy halmazba vannak csoportosulva. Így a Perseus és a Pegasus között 15 halmaz alkot ilyen magasabb rendszert, super-galaxist, mely 10 milliónyi fényévtől 40 milliónyi fényévig terjedő mélységben terjed. *Shapley* a Tejúttól mintegy 150 millió fényévnyi távolságban tudott még spirális ködöket megállapítani.

Az extragalaktikus ködfoltok egymástól való kölcsönös távolsága aránylag csekély, átmérőjük 30—40-szerese, míg a Nap és a hozzá legközelebbi állócsillag távolsága a Nap átmérőjének több mint 20 milliószorosa. Ez más szóval annyit jelent, hogy a csillagban — hiszen a Nap is csak egyike a kisebb csillagoknak — az anyag erősebben van összesűrítve, mint a csillagrendszerekben. Ezért hasonlíthatta *H. Poincaré* a Tejútrendszer csillagjait fölötté ritkított állapotban levő gáz molekuláihoz. A Nap tömege kereken 2×10^{33} gramm (2 és utána 33 zérus = 2000 kvintillió); ha egy ködfoltban átlag 1000 millió ilyen — aránylag kicsiny — csillag van, akkor a köd össztömege =

$= 2 \times 10^{42}$ gramm. A ködfolt térfogata átlag 2×10^{72} cm^3 s ennél fogva átlagos sűrűsége 10^{-30} = egy kvintilliomodrész gramm per köbcentiméter, míg a Nap közvetlen környezetében a sűrűség 10^{-22} gramm per köbcentiméter, ami az előbbinek 10^8 = százmilliószorosa. Ezzel szemben a technikailag elérhető legmagasabb vákuumban még jelenlévő levegő sűrűsége 2×10^{-12} , tehát az utóbb említett sűrűségnek 20.000 milliószorosa. *Eddington* elgondolása szerint a kozmosz véges, *Riemann*-féle gömbalakú tért foglal el, melynek sugara ezermillió fényév, átlagos sűrűsége $4'66 \times 10^{-27}$, a benne foglalt anyag össztömege $1'66 \times 10^{55}$ gramm, ami közel 10^{22} = 10.000 trillió Nap-tömegnek felel meg. Ebből adódik, hogy az *Eddington*-féle univerzumban a protonok, ill. elektronok összes száma — szerinte — 10^{79} (egyes és utána 79 zérus).

A külső metagalaxisban, 10 millió fényéven túl, a Cepheida-módszer jelenleg nem alkalmazható, mert távcsöveink nem elég erősek arra, hogy az ezen távolságon túl levő spirális ködöket csillagokra föloldják. E helyett eléggé megbízható alapot nyújt az egyes ködök fényességére és látszó átmérőjükre támaszkodó fotométriái módszer. A világ jelenleg leghatalmasabb távcsöve, a Mount Wilson 254 centiméteres reflektora mintegy 200 millió fényévnnyire hatol a világtérbe. A felállítandó új 500 centiméteres reflektor 400 millió fényévnnyire fog hatolni a világtérbe és vagy tízszer annyi égitestet enged majd látni, mint a 254 centiméteres. Hogy a műszerek tökéletesítésével az észlelhető távolság és a látható égitestek száma tényleg növekszik-e, és nem-e tart valamely véges határ felé, azt a tapasztalat fogja majd megmutatni. Ehhez az alapvető, fundamentális jelentőségű kozmológiai problémához majd csak ezután foglalhat empirikusan állást a csillagászat.

Mathematikailag abban a helyzetben vagyunk, hogy elméletileg minden lehetséges kozmikus elrendezésről tudunk magunknak modellszerű képet alkotni. A tér véges vagy végtelen volta geometriailag egyaránt lehetséges. Amint fentebb említettük, az *Eukleidész*-féle, valamint a *Bolyai*—*Lobacsevszkij*-féle tér végtelen, a *Riemann*-féle tér pedig véges. Mind a három geometria önmagában ellenmondásmentes, logikailag kifogástalan és egyformán lehetséges. De nem szabad elfelejtenünk, hogy tisztán absztrakciókon fölépült

logikai alkotások; ezeket fizikai mérésekkel, megfigyelésekkel, vagy kísérletekkel sohasem lehet sem megcáfolni, sem bizonyítani. Azonkívül semmi sem bizonyítja, hogy a mi logikai alkotásainknak a valóságban valami konkrétumnak kell megfelelnie. E szerint szigorúan véve a kozmikus tér véges vagy végtelen voltának problémája csak a számunkra megfigyelhető térre vonatkozik.

A spirális ködökön eszközölt modern megfigyelések azonban egészen új probléma elé állították a tudományt. Már 1922-ben *Slipher* észlelte, hogy a spirális ködök szinképében a kalcium *K* és *H* vonalai a vörös felé vannak eltolódva, hogy ennél fogva a *Doppler—Fizeau*-féle elv alapján a ködök tőlünk távolodnak. Az ő műszerének hozzáférhető közelebbi ködökön 800—1800 kilométer másodpercenkénti sebességet mért. Már ezek a sebességek is igen nagyok, ha meggondoljuk, hogy a Nap sebessége a környező csillagokhoz képest 20 km mpercenként. *Hubble* és *Humason* 1929-ben a Mount Wilson hatalmas műszerével végzett megfigyelései alapján azt a meglepő tényt állapították meg, hogy a spirális ködök mind távolodnak tőlünk, mégpedig annál nagyobb sebességgel, mennél távolabb vannak. A sebesség 560 km-rel mpercenként növekszik, ha a távolság 3'26 millió fényévvel nagyobbodik. Így minden 1300 millió évben minden spirális köd távolsága megkétszereződik. A *Hubble*-tól a vöröseltolódásból talált sebességek egészen rendkívüliek. Olyan köd is találkozott, mely mpercenként 42.000 km-es sebességgel távolodik tőlünk. Ez már a fény sebességével összemérhető sebesség, melynél nagyobb a relativitástan szerint nem lehetséges. De ha a *Hubble*-féle törvényszerűség csakugyan fennáll, akkor a spirális ködök a fény sebességét el is érhetnék, sőt túl is haladhatnák. A spirális ködökön észlelt eme jelenségekből arra következtek, hogy a *Riemann*-féle világtér állandóan nagyobbodik, a világegyetem tágul.

Ez a következtetés bizonyos modellszerű matematikai egyenletekből adódott, melyek a *Riemann*-féle teret a priori föltételezték. Azonban *Heckmann* asztrofizikus ezekről az egyenletekről kimutatta, hogy bármelyik geometriáival kompatibilisek, és így nem lehet belőlük kényszerítő módon következtetni, hogy a tér véges, *Riemann*-féle. Az *Eukleidész*-féle, vala-

mint a *Bolyai—Lobacsevszkij*-féle tér végtelen lévén, ezekben a világtér tágulásának nincsen semmi értelme. „Quod infinitum est, pertransiri nequit, nec ulla ratione moveri” — mondja már *Copernicus* (— a végtelenen nem lehet áthatolni, sem nem lehet azt semmiféle módon megmozgatni —). *McCrea* ködfolt-számlálásokból arra az eredményre jutott, hogy a kozmoszban a *Bolyai—Lobacsevszkij*-féle geometria van megvalósítva, *Eddington* pedig ugyancsak ködfolt-számlálásokból a *Riemann*-féle geometriát találja megvalósítottnak. *Einstein* és *De Sitter* 1932-ben közös nyilatkozatban kijelentették, hogy jelenlegi eszközeinkkel és észleléseinkkel a *Riemann*-féle gömbszerű véges tér sugarát még nem tudjuk megállapítani, s így az *Eukleidész*-féle geometriát lehet a kozmológiában alkalmazni.

Hubble újabban arra a következtetésre jutott, hogy ha a vörös-eltolódás a spirális ködöknél tényleg a *Doppler—Fizeau* elve szerinti sebesség, akkor a kozmosz igen kicsiny és véges; ha pedig a nagymérvű vörös-eltolódás nem sebesség következménye, akkor a tér végtelen és egyszersmind valamely eddig nem ismert új természeti törvénnyel állunk szemben. Legújabbán az a nézet nyert valószínűségben, mely a vörös-eltolódást nem a világegyetem tágulásának tulajdonítja, hanem inkább valamely ismeretlen ok vagy új természeti törvény hatásának gondolja. A megoldást talán a jövő fogja megadhatni. De emlékezzünk a *Prédikátor Könyvének* (III. 11.) szavaira, melyek szerint Isten azért adta az embereknek a világot, hogy vitatkozzanak fölötte és hogy az ember föl ne ismerje Isten művét.

XI.

A világ vége.

Quis caelum possit nisi caeli munere nosse,
Et reperire deum nisi qui pars ipse deorum
est?

Manilius, Astronomica, II. 115—116.

(Ki ismerhetné meg az eget, hacsak nem az
ég jóvoltából,
És találhatna rá istenre, hacsak nem maga is
része az isteneknek?)

A legősibb idők óta az embernek majdnem ösztönszerű vágya a jövőbelátás, előre megtudni a reá váró sors áthatolhatatlan ködbe burkolt útjait, föllebbenteni a száiszi képről a jövő titkait eltakaró fátylat. És amint a beteg az orvoshoz siet, kitől gyógyulást vár, úgy a jövőt megismerni sóvárgó ember olyanokhoz fordul, kik állítólag rendelkeznek a jóslás képességeivel. A görög Dodonában és Delphoiban szinte hatóságilag szankcionált személyek szolgáltak jóslatokkal a kíváncsi hadvezéreknek és államférfiaknak is, a római Sibylla, az augurok és haruspexek ténykedései mindenki előtt ismereteseek. Az asztrológusok azt állították, hogy a csillagokból tudják kiolvasni államok, népek vagy egyes emberek jövőendő sorsát. *Ptolemaiosz* nem találta inkongruensnek az ő nagy tudományával, hogy megírja a *Tetrabiblion*-t, az asztrológia vagy csillagjóslás ókori kátéját. *Tycho Brahe* és *Kepler* is számítottak horoszkópokat, melyek között a három dán királyfiról és a *Wallenstein*ről szóló tett szert bizonyos hírességre. *Goethe* pedig olyan nagyon kedvesen emlékszik meg a *Dichtung und Wahrheit* elején az ő saját horoszkópjáról, mely szerint születésnapján a Nap a Szűz jegyében kulminált, melyre a *Jupiter* és a *Vénus* barátságosan tekintett, a *Merkur*

pedig nem ellenszenvesen. Harmincötéves korában pedig a Brocken-hegy látogatói könyvébe beleírja a *Maniliustól*, az asztrológia jeles költőjétől vett citátumot, mely a jelen fejezet homlokát díszíti. *Nostradamus* híres jóslatairól mindenki hallott. A felvilágosodottság semmit sem ártott a kártyavető nőknek; a párisiak éppenúgy tódultak mme Thèbeshez, mint tódultak azelőtt mlle Lenormandhoz. Sarlatánok és szekta-alapító vallásos rajongók nem elégedtek meg azzal, hogy egyes emberek sorsát, élete folyását, halálát mondják meg előre, mint azok, akiket eddig felsoroltunk, hanem sokkal magasabbra törtek és törnek: pontosan megjelölik a napot, amelyen vége lesz a világnak.

Néhány évvel ezelőtt egyik napilapunkban olvashattuk egy magyar asztrológus jóslatát, mely azt mondja, hogy a Föld életében az 1985. év lesz az utolsó; ekkor ugyanis a Föld találkozni fog a *Halley*-üstökös csóvájával, és az abban levő ciángáz egyetlen pillanat alatt megtelíti a Föld levegőrétegét és a Föld megszűnt élni. 1985 november 8, csütörtökön lesz „a nagy végítélet” — a mi csillagjósunk szerint. Az asztronómia erre csak azt mondhatja: „qui vivra, verra”, — aki megéri, majd meglátja. Érzelmi momentumok ellen céltalan az exakt tudomány fegyvereivel küzdeni. Különben a *Halley*-üstökös csóvájával már találkoztunk, még pedig 1910 május 19-én. Amint látjuk, ezen a találkozáson minden baj nélkül túljutottunk, és valószínűleg nem is árthat sem mechanikailag, sem kémiaiilag az 1985-ös megjelenésekor sem. A csóva anyagában ciánmolekulák lehetnek jelen, de annyira ritkított állapotban, mely a laboratóriumban előállítható vákuumon is túltesz. Még az üstökös fejével való találkozás sem lehet túlságosan veszedelmes. A *Halley*-üstökös 1910-i megjelenése alkalmával elvonult a Nap korongja előtt ugyan, de a legszorgosabb észlelés sem volt képes valami nyomát találni a Nap korongján, ami annyit jelent, hogy rendkívül ritkított anyagból áll. Az 1985-ben élőknek legfőbb néhány estén át ragyogó meteorhullás látványában lesz részük.

Az asztronómia is másodpercnyi pontossággal előre bemond évek vagy évtizedek múlva bekövetkezendő csillagászati tüneményeket vagy eseményeket, például nap- vagy holdfogyatkozásokat, a bolygók helyzetét,

vagy láthatatlan égitestek létezését előre kiszámítja, mint például a Neptunus, vagy a Sirius és Prokyon kísérőjének esetében, s í. t. Nem szükséges fejtegetnünk ezek között és a főntebb említett jóslások között mi a különbség. De meghökkenthet bennünket, ha valaki a világ vagy akárcsak a Föld végéről beszél.

Mi az „a világ vége?” Nyilvánvalóan szubejektív intelligencia és kulturáltság szerint mást és mást jelent.

Vagy egy évtizeddel ezelőtt óriási hóesés kísérte a telet. Magas hóhegyek minden jármű közlekedését lehetetlenné tették, állandó sűrű köd folytán nappal is sötétség borult a fővárosra. A házak előtt tornyosuló havat csak nehezen lehetett némiképen eltakarítani. A városba menet hallottam, amint egyik hótakarítással elfoglalt ember odaszól társának: ez biztosan a világ vége”. Elgondoltam, hogy ennek az embernek a szemében milyen kicsinyke dolgot jelenthet a „világ”, mikor néhány kilométerrel távolabb talán gyönyörű napsütésnek örvendenek az emberek és távolról sem gondolnak a világ végére. Herculanum és Pompei lakosai a Vezuv kitörésekor több joggal gondolhattak arra, hogy elérkezett a világ vége. A Krakatoa vagy a Mont Pelé hatalmas kitörését legföljebb érzékeny szeizmográfok jelezhatték volna; nem is nagyon távoli országok is csak hírlapok útján értesültek e katasztrófákról, melyek távolról sem jelentették még a kicsiny Föld végét.

Lehet-e egyáltalán beszélni a Föld, vagy a Nap, a naprendszer, a csillagok, a Tejútrendszer, a spirális ködök millióinak vagy az egész világnak végéről? Meg fogjuk látni, hogy igen, és hogy biztosabb feleletet tudunk adni erre a kérdésre, mint az ellenkezőre, mely pl. a naprendszer kezdeti alakulását kutatja. A kozmoteleutia biztosabb utakon jár, mint a kozmogonia. Talán kissé anthropomorfisztikus színezetű elgondolás, ha élőlényeken tapasztalt folyamatokat analógiászerűen átviszünk élettelen égitestekre. Embernek akkor van vége, mikor meghal. De a Földnek, a Napnak stb.? A filozófus *Schopenhauer* igen egyszerűen intézte el a problémát: szerinte a világnak akkor van vége, mikor az utolsó ember meghalt. Ez a felelet természetesen nem elégíthet ki bennünket.

Bizonyos az, hogy az idő az égitestek fölött is el-

röppen: *fugit irreparabile tempus*. A Nap és a csillagok folyton sugároznak ki energiát hő és fény alakjában, és láttuk, hogy a fénnel fotonok hagyják el a világító égitesteket, ez pedig anyagvesztést jelent. Ennélfogva a Napnak vagy bármely csillagnak régebben nagyobb tömeggel és következésképp nagyobb hőmérséklettel kellett bírnia mint jelenleg, jövőben pedig mindkettőnek folyton fogynia kell. De meddig csökkenhet valamely égitest tömege, fénye, hőmérséklete? Ime a vég kérdése a maga konkrét formájában.

A Földön az élet megszűnhetik, anélkül, hogy maga a Föld megszűnnék. Láttuk könyvünk első fejezetében, hogy pl. a Jupiteren vagy a Saturnuson organikus élet nem lehetséges, de azért mint égitestek mégis léteznek. A Nap folyton veszít hőkészletéből, és így el fog jönni az idő, mikor az általa sugárzott hő már nem lesz elégséges arra, hogy a Földön emberi vagy bármilyen organikus élet lehetséges legyen. De azért a Föld mint égitest még mindig fennáll. A tenger árapályainak hatása következtében a Föld tengely körüli forgása állandóan lassul, aminek következtében a Hold mozgásának gyorsulnia kell, ami csak úgy lehetséges, hogy mindinkább közelebb kerül a Földhöz és végül reázuhanhat. Ez már nagyobb szerű katasztrófaszámba megy, de még nem jelenti a Föld végét. Megtörténhetik, hogy a naprendszer a világtérben való 20 km-es mpercenkénti mozgásában egy kozmikus porfelhővel találkozik, amilyenek a Tejútrendszerben kétségtelenül nagy számban és terjedelemben léteznek. Ekkor a surlódás következtében felszíne izzóvá válhatik, mint a meteorkő a levegőben, ami a Föld felszíni életének tűzhalálát jelentené. De megtörténhetik az is, hogy a surlódás következtében mindig közelebb kerül a Naphoz, míg végül abba belezuhan. Ezúttal a Föld mint égitest megszűnik létezni, és most mondhatjuk csak, hogy vége van. Távoli égitestekről ezt a kozmikus katasztrófát talán úgy fogják észrevenni, mint mi a novákat, ha vannak ott értelmes lények, melyek az égen történőket figyelemmel kísérik. A Föld oly kicsiny égitest, hogy még a legközelebbi állócsillagról sem vehető észre. A Nap maga is törpe csillagnak számít; néhány napon át valamivel fényesebbnek fog látszani s ez minden, ami a katasztrófára vall. A Sírison azonban csak

9 évvel később fogják a történést észrevenni, mert ennyi fényévre van tőlünk, és természetesen a távolabbi csillagokon is a fényévnyi távolságok arányában lesz a Nap rövid kis fényváltozása látható.

Mekkora lehet a kozmikus történések időtartama? Mennyi ideig sugározhat valamely csillag? Mi lehet a Föld vagy a Nap kora? Az égitestek is elfáradnak, öregszenek idővel? Ezek mind természetszerűen felvetődő kérdések, amelyekre az asztrofizika az igazságot lehetőleg megközelítő feleletet keres. A kozmikus folyamatok időskálájában a többmillió vagy billiónyi időközökön nem szabad meglepődnünk; ezek abban éppen olyan természetesen és szükségszerűen adódnak mint a kozmikus távolságok mérésénél a fényéveket kellett hossz mérték egységnek bevezetnünk, hogy szemléletesebb számokhoz juthassunk. Az Ezeregyéjszaka bájos meséinek kis madárkája kell hogy eszünkbe jusson, mely minden ezredik vagy százezredik évben leszállt a messze tengerből kimagasló nagy gyémánthegyre, megfente kis csőrét és egy dalt csicszergett Allah dicsőségére. Amikor a nagy gyémánthegy lekopott, akkor mult e! az örökkévalóságnak egy másodperce.

Csakugyan. Az előbbi fejezetben említettük, hogy *Hubble* és *Humason* megfigyelései szerint a spirális ködöknek tőlünk való távolsága minden 1300 millió évben megkétszereződik. Az emberi történelem időskálájával mérve ez az időtartam óriásinak látszhatik, tényleg azonban kisebb, mint néhány földi ásványnak bizonyossággal megállapított kora. Ismeretes, hogy az urántartalmú ásványokban az urán nevű kémiai elem idővel uránólmá és héliummá alakul át. Ez a bomlás minden külső körülménytől függetlenül megy végbe; egy gramm uránból egy év alatt mindig csak ugyanaz a mennyiségű uránólm keletkezik. Ekként biztos időmértékkel rendelkezünk annak megállapítására, hogy hány év kellett ahhoz, míg a bomlás a jelen stádiumba jutott. Az urán valamely adott mennyiségének egy százaléka vagy 80 millió év alatt alakul át uránólmá. Eme módszerrel megejtett vizsgálatokkal az uránásványok némelyikénél 1850 millió éves kort állapítottak meg. Ebből arra kell következtetnünk, hogy a Föld kora kereken legalább 2000 millió évre teendő, természetesen azóta, hogy urán mint ilyen a Földön formálódhatott. Valóban a Föld kora

nagyobb kell hogy legyen. Különböző asztronómiai módszerek megegyezően a Nap korát jóval magasabbra, 5—10 billió (5×10^{12} — 10^{13}) évre teszik. A csillagok korát is billió években kell számítanunk.

Ha igaz, hogy a csillagok energiakisugárzása tömegvesztéssel jár, akkor átlag valamely csillag annál idősebb, mennél kisebb a tömege. Azonban ezt nehéz összhangba hozni a világegyetem kitágulásáról az előző fejezetben mondottakkal. Ha tényleg az extragalaktikus ködök távolsága minden 1300 millió évben megkétszereződik, akkor ez a távolság visszafelé számítva, ennyi idő előtt feleakkora volt, és 200.000 millió évvel ezelőtt a mostan ismert 400 millió fényévnyi fényévnyi átmérőjű világegyetem gombostű fejében fért volna el. Ez nehezen egyeztethető össze azzal, hogy például a Nap ezelőtt nagyobb tömeggel kezdte fejlődését és jelenleg a 200.000 millió évnél ötszörte idősebb. De ellenemond *Eddingtonnak* 10^{79} számú protonja és elektronja is, melyek szerinte véges kozmoszban léteznek, mert, ha ezek a térben minden hézag nélkül tömörülnének össze, akkora gömböt töltenének be, melynek átmérője a Napénak hatodrésze. Az eltérés oka talán inkább a kozmikus tágulásnak valamint a sugárzás és tömeg egymásba való közvetlen átváltozásának hipotézisében keresendő, melyekre nézve még nem rendelkezünk elégséges tapasztalatokkal, illetve megfigyelésekkel.

Egyik előző fejezetben megemlítettük, hogy a színképtípus és a hőmérséklet között szoros összefüggés áll fenn olyformán, hogy *B*-típustól az *M* felé a hőmérséklet állandóan csökken. Az asztronómusok már régebben éltek azzal a feltevessel, hogy a csillagok nem maradnak időtlen időig változatlanul egy és ugyanabban az állapotban, hanem változásokon mennek át. Ezt bizonyítják a novák és a változó csillagok is. Úgy gondolták, hogy a csillagok előbb fehéren izzó állapotban voltak, azután lassanként lehűltek, miközben színük mindinkább a vörösbe ment át, míg végre teljesen elsötétedtek. Az izzótestek lehűlés folyamata tényleg visszatükröződik a színképosztályokban, melyek a csökkenő hőmérséklet skálája szerint rendeződnek. De ez a skála éppenúgy lehet az emelkedő hőmérséklet skálája is, mert mielőtt valamely test elérné a fehér izzást, előbb a vörös izzáson kell átmennie. Eszerint a vörös csillagok

lehetnek a fejlődésnek éppenúgy a kezdetén, mint a végén.

Ha helyes a fejlődés gondolata, akkor a fejlődés felmenő és lemenő ága között különbségeknek kell mutatkoznia, melyek a csillag szinképében jutnak kifejezésre. Már régebben Lockyer sorolta a csillagokat ilyen kozmogóniai fejlődés-sorrendbe. Azonban még nem rendelkezett elég észlelési anyaggal ahhoz, hogy biztosan eldöntse a csillagnak az emelkedő vagy csökkenő ranglétrába való tartozását. Ma már tudjuk, hogy a felelet a csillag abszolút fényessége adja meg.

Hertzsprung és Russel vizsgálatai kiderítették, hogy a csillag fejlődése alacsony hőmérsékletű, csekély sűrűségű és ennél fogva nagy kiterjedésű gázgömb állapotából indul ki. Az ilyen csillagot neveztük az előbbi fejezetben óriás csillagnak. A folytonos kisugárzás következtében a gázgömb térfogata csökken ugyan, közben azonban a Ritter—Lane-féle törvény alapján hőmérséklete mindaddig emelkedik — a sugárzás dacára — míg az ideális gázállapot fönnáll. Csak ennek megszűnte után jár az összehúzódással lehűlés is. Az egész folyamat alatt a gáz mennyisége vagy tömege nem változik. A csillag tehát alacsony hőmérsékleten indul, elér bizonyos maximális hőmérsékletet és azután ismét folytonosan alacsonyabb hőmérsékletre süllyed. A csillag ennél fogva kétszer megy át ugyanazon a hőmérsékleten; először a felmenő, másodszor a lemenő ágon. De amikor a felmenő ágon gázalakban van, világító felülete tetemesen nagyobb és következésképp abszolút fényessége is nagyobb. A nagy abszolút fényességű óriás csillagok tehát a fejlődésnek felmenő, kezdő stádiumában vannak, a törpe csillagok pedig a lemenő ág végén foglalnak helyet.

A csillag fejlődésmenetének története nagyjából a következő: az M-típusból kiindulva egymásután átmegegy a K-, G-, F- és A-típuson, mígnem eléri a B-típust és ezzel a hőmérséklet maximumát. Közben abszolút fényessége állandóan nagy. Azután hőmérséklet, világító felület, térfogat, abszolút fényesség folyton csökken és a csillag ellenkező sorrendben átmegegy a B-től az M-típus felé. A Ritter—Lane-féle törvényből következik, hogy a csillag annál magasabb hőmérsékletet érhet el, mennél nagyobb a tömege. Ha tehát valamennyi csillag tömege egyenlő nagyságú volna,

akkor minden csillag a vázolt fejlődésskálán egyformán menne végig, és minden színeképtípusban közel ugyanannyi csillagot kellene találnunk. Azonban *B*-csillag nagyon kevés van, míg a *G*- és *K*-csillagok száma igen nagy. Ebből az következik, hogy a csillagok tömege, azaz a bennük levő anyag mennyisége nem egyforma. Kisebb tömegű *M*-csillag is mint *M*-típusú óriás kezdi fejlődését. De a kis tömegben jelenlevő energiakészlet nem elégséges ahhoz, hogy az egész skálán végig mehessen. A legmagasabb hőmérsékletet nem mint *B*-csillag éri el, hanem már korábban, például mint *F*-, vagy *G*-csillag, és ismét hamarabb éri el az *M*-állapotot, mikor kisebb térfogattal végül is a törpe csillagok közé sorakozik és ezzel energiasugárzó pályafutását be is fejezi. Fizikai szereplésének végére érkezett. Az észlelések ezeket a következtetéseket teljes mértékben igazolják. *Ludendorff* és mások vizsgálatai mutatják, hogy a csillagnak annál kisebb a tömege, mennél későbbi osztályba tartozik, és hogy legnagyobb tömegük a ritkán előforduló *B*-típusú csillagoknak van. Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy a különféle színeképtípusok nem szükségszerűen felelnek meg az egymásután következő fejlődésstádiumoknak. A különféle színeképtípusok részben abból is eredhetnek, hogy a keletkezés feltételei voltak különbözők.

Az eddigiekben csak az egyes csillagok fejlődésmenetét vázoltuk valószínű kezdeti stádiumuktól biztos végükig. Az egész világegyetem, a Kozmosz fejlődésével, kezdeti stádiumában, az ú. n. kozmogóniával nem foglalkoztunk. Kozmogónia többféle van. Legismertebb a *Laplace*-féle, a *Kant*-féle, a *Faye*-, a *Ligondés*-, a *Chamberlin*—*Moulton*-féle stb. Közös jellemvonásuk, hogy az anyagnak valamilyen többé-kevésbé rendezetlenné föltételezett stádiumából indulnak ki, s abból igyekeznek a naprendszer vagy az egész világegyetem jelenlegi állapotát levezetni. A helyes eljárás az volna, hogy a kozmosz mostani elrendezésére alkalmazva a csillagászat és fizika törvényeit, visszafelé következtessünk valamely, a múltban távolabb eső kezdeti stádiumra. Ily irányú komolyabb kísérlet eddig még nem történt és nem valószínű, hogy valamilyen egységes eredményre jutnánk. Van azonban fizikai folyamat vagy törvény, mely a világegyetem jelen állapotára alkalmazva, kényszerű, ki-

kerülhetetlen módon elvezet a világ, a kozmosz végének biztos megismeréséhez.

Ez a törvény a hőtan második főtétele, melyet az entropia törvényének neveznek. A hőtan első főtétele szerint minden — fizikai értelemben definált — munka teljes értékében hővé alakítható át. A második tétel kimondja, hogy viszont a hő sohasem alakítható át *teljesen* munkává. Másszóval az összes makroszkópikus fizikai folyamatok nem megfordíthatók, irreverzibilisek; minden természeti változásnál valamilyen hőmennyiség sugárzás, vezetés, sűrűlódás stb. által veszendőbe megy, melyet munkává többé semmiféle módon nem lehet átalakítani. Egyszerű és szemléletes példát szolgáltat erre bármely hőgép, mely leg-tökéletesebb alakjában is a fűtőanyagban tényleg meglevő kalóriamennyiséget csak bizonyos hányadig képes tényleges munkává átalakítani. A munkává át nem alakítható hőmennyiség és abszolút hőfoka között *Clausius* (1850) szerint összefüggés áll fenn, melyet exakt formulába lehet foglalni s melyet entropiának neveznek. A hőtan második főtétele most így fejezhető ki: minden természeti folyamatnál az entropia csak növekedhetik. Ez másszóval annyit is jelent, hogy minden fizikai folyamatnál hőkiegyenlítődés megy végbe, a hő magától mindig a melegebb testekről az alacsonyabb hőmérsékletű testekre áramlik és sohasem megfordítva. *Boltzmann* szerint (1866) ezt úgy is lehet kifejezni, hogy minden folyamat magától — tehát külső behatás nélkül — akként megy végbe, hogy a kevésbé valószínű állapotból a valószínűbb állapotba megy át. Ebből viszont következik, hogy a természeti folyamatoknál a kevésbé rendezett konfigurációk a valószínűbbek.

A kozmoszt égitestek egyetlen összefüggő rendszerének kell tekintenünk, amelyekben ezek az égitestek állandóan kölcsönösen hatnak egymásra és amely rendszer ennél fogva föltétlenül alá van vetve az entropia törvényének. A kozmosz a benne foglalt testek köcsönhatása következtében a valószínűbb végállapot felé törekszik, mely abban áll, hogy ekkor minden hőmérsékletkülönbség és minden mozgás mindenütt teljesen eltűnik. Ezt a végső állapotot nevezik a világ hőhalálának. A hőtan második főtétele biztos objektív fizikai irányt szab a kozmikus időrendnek, mely akkor is léteznék, ha nem jutna szubjektív tu-

datunkba, másszóval, ha a fejlődés fogalmát nem ismerünk. E szerint két állapot között az a korábbi, amelyben az entropia kisebb, a későbbi az, amelyben a rendszer entropiája nagyobb. Az idők végtelen során tehát a világegyetem az entropia maximuma felé törekszik, és ha ezt elérte, akkor lesz fizikailag vége. Hogy hány billió vagy kvintillió év múlva fog ez bekövetkezni, azt nem tudjuk. Az kellene ehhez, hogy a csillagok abszolút entropia növekedését meg tudjuk mérni. Ilyen entropiaskálát azonban jelenleg még nem ismerünk. A világ végével a fizikai *Newton*-féle időnek is vége szakad, mert ha nincsen többé entropia-különbség, akkor az előbbiek értelmében időkülönbség sincs.

És itt eszünkbe kell, hogy jusson a lassított vagy gyorsított mozgóképfelvétel, mely valóra váltotta az Ezeregyéjszaka másik bájos meséjét, melyben a bölcs dervis egy szempillantás alatt — miközben a nagy kalifa a vadászatban kihevült arcát friss tál vízbe mártja —, hosszú évek számtalan élményeinek során át vezeti *Harun Al Rashidot*.

TARTALOM

	Oldal
Előszó	3
I. Van-e élet más égitesteken?	5
II. A csillagászati fotografiáról	18
III. A Saturnus-gyűrűk	26
IV. A naptár, az időmérés és a csillagászat	32
V. Relativitás-elmélet és a csillagászat	49
VI. Hogyan mérjük a csillagok távolságát?	63
VII. Megemlékezés <i>Laplace</i> -ről	77
VIII. Kettős csillagok, változó és új csillagok	94
IX. Atomfizika és asztrofizika.. .. .	114
X. A világegyetem fizikája: a kozmologia.. .. .	127
XI. A világ vége	136



