

50.

SZÁM

SZENT ISTVÁN KÖNYVEK

50.

SZÁM



DR. WODETZKY JÓZSEF

A

VILÁGEGYETEM
SZERKEZETE



BUDAPEST
SZENT ISTVÁN
TÁRSULAT
KIADÁSA



A
VILÁGEGYETEM
SZERKEZETE

*Mens agitat molem.
Vergilius, Aeneis VI, 727.*

IRTA

Dr WODETZKY JÓZSEF

EGYETEMI NYILVÁNOS RENDES TANÁR.



SZENT ISTVÁN-TÁRSULAT
AZ APOSTOLI SZENTSZÉK KÖNYVKIADÓJA

BUDAPEST, 1927.

Nihil obstat.

Dr. Nicolaus Töttössy
censor dioecesanus.

Nr. 2647.

Imprimatur.

Strigonii, die 9. Septembris 1926.

Dr. Julius Machovich
vic. generalis.

Kiadja a Szent István-Társulat.
Stephaneum nyomda és könyvkiadó r. t. Budapest.
Nyomdaigazgató : Kohl Ferenc.

ELŐSZÓ.



AZ ÉG TUDOMÁNYA folytonosan halad és következőleg folytonosan átalakul. A mi tegnap még ismeretlen volt, holnap valamely kedvező körülmény folytán ismeretessé válhatik. A multat nem érheti szemrehányás azért, amit mi tudunk, de amit ő még nem tudhatott. De viszont mi sem léphetünk fel olyan színben, mintha a mai tudásunk befejezett tökéletesség volna, melyhez többé semmit sem lehet hozzáadni s mely többé nem fog változni.

Amit a világegyetem szerkezetéről e néhány lapon elmondunk, csak nagy vonásokban akar beszámolni arról, amit ma felőle tudunk. A tudománynak sok oly vívmánya van, mi a legtávolabbi jövőben is mindig igaz fog maradni. De akad még több olyan, ami bizonytalan vagy ingatag és még kifürkészetlen, és bizonyosan még sokszorta több az, amit nem tudunk vagy amit nem is tudhatunk meg soha. A világegyetem, a kozmosz ismeretével úgy vagyunk, mint szent Ágoston látomásában az ócéánnal a kis gyermek. Ezért a következő lapok nem támasztanak semmiféle olyan igényt, mintha kimerítenék tárgyukat vagy mintha mindenben befejezett, változhatatlan ismereteket tárnának az olvasó elé. Csak röviden beszámolnak arról, amit a tudomány legnagyobb és leghatalmasabb problémájáról megtudnunk sikerült, sohasem tévesztve szem előtt, hogy új felfedezések mai tudásunkat halomra dönthetik és új távlatokat nyithatnak.

I. A NAPRENDSZER.

1. *Régi rendszerek.* Az ég tűneményei gyakorolták minden időkben a leghatalmasabb benyomást nemcsak a gondolkodó elmére, hanem a naiv szemléltre is. Az ég tűneményei tanították meg az embereket legelőször arra, hogy vannak változhatatlan, örök, nagyszerű törvényszerűségek a természet történéseiben, melyek mellett eltörpül minden földi akarás és erő. A Nap felkeltének és lenyugvásának fönséges színjátéka, az évszakok szabályos ismétlődése, a Hold csodálatos fényváltozásai, a helyüket látszólag sohasem változtató állócsillagok számlálhatatlan milliói, a köztük sajátosan bonyolult utakat követő bolygók, a hirtelen feltűnő üstökösök, a Nap és a Hold fogyatkozásai már a legrégebb időkben beható megfigyelésnek tárgyai voltak. Az ég tűneményeihez fűződő számos babonát a tárgyilagosság és a kritika hiánya szülte. Ezért ezeket teljesen mellőzzük. A tudományos megismerés a tárgyilagosságon és a tűnemények kritikai megfigyelésén épül fel. Ehhez elsősorban szükséges, hogy a szubjektív, egyéni érzéseket külön tudjuk választani magától a megfigyelt tűneménytől. A régiek ennek a követelménynek csak csekély mértékben tettek eleget és különösen a görögök voltak hajlamosak arra, hogy közvetlen benyomásokra egész gondolatrendszereket építsenek, melyeket azután világrendszereknek neveztek el, abban a hiszemben, hogy a kozmosz ezekhez fog alkalmazkodni. Ez annyiban már nem meglepő, mert a leg-

újabb időben is hasonló szellemi áramlat merült fel a fizika terén.

Ha derült égen a Napot, a Holdat, a csillagokat szemléljük, úgy pusztá szemlélet révén nem tudjuk megítélni, hogy közülük melyik van közelebb hozzánk, melyik távolabb tőlünk, amit pedig földi tárgyaknál elég könnyen vagyunk képesek megtenni. Ma már tudjuk, hogy ez azért van, mert az égitestek valamennyien olyan óriási nagy távolságban vannak tőlünk, hogy szemünknek a földi távolságoknál oly jól beváló sztéreoszkópszerű elrendezése itt teljesen felmondja a szolgálatot. Ezért a régiek hamar készen is voltak a «mindenség» szerkezetéről való nézetüknek megalkotásával: a látzólag egyforma távolságban levő csillagokat nagy kristálygömbre képzelték erősítve, mely gömbnek középpontjában foglal helyet a mozdulatlan Föld. Ez volt a «világrendszer», mely előbb készült el, semmint a Föld nagyságáról és alakjáról szereztek pontosabb ismereteket.

A naiv benyomáson kívül más, nemtudományos elem is vegyül itt a világról alkotott képbe: a kristálygömb, mely tisztára a képzelet szüleménye.

A megfigyelés, a kísérlettel együtt a tudományos megismerésnek a legfontosabb tényezője, azt mutatta a régi észlelőknek, hogy az égitestek mégsem lehetnek mind egyforma távolságban tőlünk. Ugy gondolták, hogy minél gyorsabban látszik mozogni valamely égitest az állócsillagok között, annál közelebb kell hogy legyen hozzánk. Így kerültek már *Pythagorásznál* (580—500 Kr. e.) sorjában a Hold, Merkur, Vénusz, Nap, Marsz, Jupiter és Szaturnusz mindegyik egy külön gömbre, melyek közös középpontja a Föld s valamennyit körülfogta egy nyolcadik gömb, melyen valamennyi állócsillag foglalt helyet, mely egy nap alatt fordult meg a Föld körül s ebben a mozgásában a többi hét gömb is résztvett. De idővel kiderült, hogy a Hold

és a bolygók, valamint a Nap útjában a szabályos, egyenletes mozgástól való eltérések mutatkoznak, melyeknek magyarázatára *Arisztotelész* már (384—322 Kr. e.) több szférát volt kénytelen felvenni.

*Hipparchosz*nál (190—125 Kr. e.), az ókor e legjelentősebb csillagászájánál, csorbát szenvedett *Arisztotelésznek* az a tana, hogy a Föld áll az említett égitestek mozgásának középpontjában. Ő ugyanis észrevette, hogy a megfigyeléseket jobban lehet az elmélettel összhangba hozni, ha a bolygók oly körön haladnak, melynek középpontja nem esik össze a Földdel, hanem rajta kívül van. Ezen a körön, az úgynevezett deferensen, egyenletesen halad egy másik, kisebb körnek, az epiciklusnak, a középpontja s a bolygó maga ezen az epicikluson mozog egyenletesen. A különböző mozgásegyenlőtlenségeket most úgy lehetett magyarázni, hogy szükség szerint mindig több epiciklust vettek föl. A Holdnál azonkívül még azt is föl kellett tételezni, hogy az apsziszvonal (a Földön és a deferens középpontján átmenő egyenes) nyugatról kelet felé és a csomóvonal (a deferens és epiciklus síkjának metszésvonala) keletről nyugat felé forgó mozgást végez.

Hipparchosz rendszerét *Ptolemáiosz* (140 körül Kr. u.) egészítette ki számos megfigyeléssel és több geometriai meggondolással tökéletesítette. Nagy munkája, az almagest, a régiek csillagászati ismereteit egységes keretbe foglalta össze. Ő róla nevezék el ezt a rendszert *Ptolemáiosz-féle világrendszernek*. Ez nyilvánvalóan tisztára geometriai kép az égitestek látszólagos mozgásáról, amint azt a Földről a látszó éggömbre vetítve látjuk. A csillagászati megfigyelések közvetlenül csak szögek méreteit szolgáltatják. Egyik lényeges adatot, a valódi távolságot, nem tudjuk oly közvetlenül észlelni s ennek meghatározása égitesteknél, mint látni fogjuk, nagyon kényes és nem egyszerű feladat. A régiek

egyszerű megfigyelőeszközei ennek a feladatnak a megoldásához elégtelenek voltak. De ha a valódi távolságoktól eltekintünk, úgy *Ptolemáiosz* az akkor ismert öt bolygó, valamint a Nap és a Hold látszó mozgását következetes, egységes eljárással mutatja be. (Az eljárás lényegében ugyanaz, amit a modern matematika a trigonometriai vagy *Fourier*-féle sorokkal való közelítés alatt ért.)

2. *Égi távolságok*. Nyilvánvaló, hogy a világegyetemről csak úgy alkothatunk magunknak helyes képet vagy fogalmat, ha az őt alkotó égitestek egymástól való tényleges távolságait minél pontosabban ismerjük. A régiek az említett okoknál fogva inkább csak sejtésekre támaszkodtak, vagy pedig dialektikával és szofizmákkal pótolták a tárgyi ismeretek hiányát. Hogy a Holdnak közelebb kell hozzánk lennie, mint a Napnak, az abból tűnt ki, hogy napfogyatkozás alkalmával a Hold mindig a Föld és Nap közé kerül. De ha *Plinius* azt gondolja, hogy a Nap tizenkétszer oly messze van tőlünk, mint a Hold, mert a Föld körül való útját tizenkétszer hosszabb idő alatt teszi meg, úgy ez oly feltevés, melyet semmiféle bizonyítóerejű mérés vagy tapasztalat nem támaszt alá. Szellemes és tudományosan kifogástalan számolási *Arisztarchosz* (280 Kr. e.) gondolata, mellyel a Hold és a Nap távolságainak viszonyát akarta meghatározni. A dichotomia pillanatában, mikor a Hold korongja pontosan félig van megvilágítva, Hold, Nap és Föld derékszögű háromszög csúcsait foglalják el, a derékszög csúcsa pedig a Hold középpontjába esik. Ha sikerül ebben a pillanatban a Hold és Nap szögtávolságát a Földről pontosan észlelni, akkor kiszámíthatjuk a Hold-távolság viszonyát a Nap-távolsághoz (de nem a valóságos távolságokat.)¹ *Arisztarchosz* úgy

¹ Mai matematikai nyelven úgy mondjuk, hogy megkapjuk az említett szög *cosinus*-át.

találta, hogy a Nap 19-szer oly messze van tőlünk, mint a Hold (valóban átlag 390-szer oly távol van). A nagy eltérés a valóságtól onnét származik, hogy a régiek szögmérőeszközei nagyon gyarlóak voltak s hogy a dichotomia pillanatát nem lehet pontosan megfigyelni, úgyhogy még modern műszerekkel sem érhetnénk el kielégítő eredményt, egyéb észlelési nehézségekről nem is szólva.

Hipparchosz igen jól felismerte az *Arisztarchosz*-féle eljárás bizonytalanságát. Azért új eljárást vezetett be, mely teljesen kifogástalan alapokon nyugszik s nagyobb biztonsággal hajtható végre. Mindenki előtt ismeretes a geometria első elemeiből, hogy ha valamely derékszögű háromszögből az egyik befogót és a vele szemben fekvő szöget ismerjük, akkor az átfogót könnyen kiszámíthatjuk. Helyezzük a derékszögű háromszög egyik csúcsába (melynél a derékszög van) az észlelőt, másik csúcsába a Föld középpontját (úgyhogy az említett egyik befogó nem más, mint a Föld sugara), harmadik csúcsába pedig azt az égitestet, melynek távolságát meg akarjuk határozni. Ha meg tudjuk mérni azt a szöget, mely a Föld sugarával szemben fekszik s melynek csúcsában az égitest foglal helyet, akkor megkapjuk az égitest valódi távolságát, föltéve, hogy a Föld sugarát ismerjük; ha pedig ezt nem ismerjük, úgy megkapjuk az égitest távolságát a Föld sugarához viszonyítva. Ezt a szöget *Hipparchosz* horizontális parallaxisnak nevezte. (Ha nem derékszögű, hanem tetszőleges háromszögről van szó, akkor egyszerűen parallaxisnak nevezzük az alapul választott oldallal szemközt fekvő szöget. Mondhatjuk azt is, hogy ez az a szög, mely alatt a Földsugár az égitestről látszik. A Földsugár helyett más távolságot is lehet alapul választani).

Hogy a Föld gömbalakú, azt már *Arisztotelész* tudta.

Eratoszthanész (276—194 Kr. e.) pedig helyes meggondolásokból kiindulva meg is kísérelte a Földsugár nagyságának megmérését. Hogy eredménye nem lehetett pontos, az akkori műszerek gyarlóságán múlott. *Hipparchosz* a Hold parallaxisát kísérelte megmérni. A Nap parallaxisa oly kicsiny, hogy az akkori műszerekkel megméréséről szó sem lehetett. *Hipparchosz* a Hold parallaxisát $52\frac{1}{4}'$ (ívpercnek) találta. Három évszázaddal később *Ptolemaiosz* egy tőle feltalált műszerrel, a triquetrummal, mely három falécből állott és jobb módszerrel $58' 42''$ -nek találta a Hold parallaxisát. Mai ismereteink szerint a Hold közepes távolságánál a parallaxis $57' 2.27''$ (*Hansen* szerint) és így *Ptolemaiosz* eredménye kiváló észlelőtehetségről tesz tanúságot, tekintve a megfigyelésre szolgáló műszer kezdetlegességét.

Két dolog kell hogy megragadja figyelmünket. Az egyik *Eratoszthanész* kísérlete a Föld nagyságának megmérésére, a másik *Arisztarchosz*, illetve *Hipparchosz* hatalmas és merész gondolata a nekünk hozzáférhetetlen égitestek távolságának megállapítására. Ezek ismerete nélkül a világegyetemről vagy világtérrel szemben objektív fogalmat nem alkothatunk magunknak. Az említett két gondolatot, mely a tudományosan kritikai csillagászatnak alapja és kiinduláspontja, az tette lehetővé, hogy a görögöknek a Krisztus előtti harmadik században nagyszerűen kiépített, tökéletes geometriai rendszerük volt, melyet *Euklidész*nek köszönünk s mely ma is matematikai tudásunknak legjelentősebb vívmányai közé tartozik. Az említett jeles csillagászok *Euklidész* geometriáját kiterjesztették a bennünket körülvevő térre s így föltették, hogy ez a geometria a világtérben mindenütt érvényes. Ez szintén nagyon fontos körülmény, mert, amint később látni fogjuk, történtek kísérletek arra is, hogy a világtérrel más-

féle, az euklideszitől eltérő geometriák alapján alkossunk képet magunknak.

A bolygók valódi távolságairól és égi útjuk valódi alakjáról még *Ptolemáiosz* sem tudott sokat mondani. Arra kellett szorítkoznia, hogy az epiciklusok nagyságának és hajlásának kellő megválasztásával minél inkább megközelítse a bolygók látszó pályáját. De ez is nagy érdemül tudandó be *Ptolemáiosz*nak, mert, amint említettük, az epiciklusok szaporításával ezt a látszó mozgást tetszésszerű pontossággal megközelíthetjük. Hogy a lassabban keringő bolygók tőlünk messzebb vannak, mint a gyorsabban haladók, ez pusztá föltevés volt: tényleges mérésekkel nem tudta igazolni vagy bizonyítani. Az állócsillagokról is sejtette, hogy tőlünk igen messze vannak, mert parallaxisukat nem tudta sehogy sem megmérni s így arra a következtetésre jutott, hogy a Föld ebben az esetben pontszerűnek tekinthető.

3. *Az égitestek fizikai alkata.* A világegyetemről alkotott képhez nem elégséges az égitestek távolságának helyes ismerete. Azt is akarjuk tudni, hogy mik is valójában ezek a távoli csillagok, milyen anyagból állanak, milyen nagyok, milyen az alakjuk, szóval mik a fizikai tulajdonságaik. Az egyetlen hírnök, amely a távoli égitestekről hozzánk érkezik, a fény. A régieknek nem volt még semmiféle olyan műszerük, mely megengedte volna, hogy a fény megfigyeléséből az égitestek fizikai alkatát megítéljék. Hiszen a távcsövet sem ismerték. Nem ismerték a kísérlet értékét sem s inkább voltak hajlamosak, hogy a világ képét kényelmes és felelőtlen dialektikai úton, mint fáradságos és ellenőrizhető észlelések segítségével alkossák meg. Így *Arisztotelész*, a görögök e nagy filozofusa szerint, az égitestek mind gömbalakúak kell hogy legyenek és köralakban kell hogy mozogjanak, mert a gömb illetve a kör a legtökéletesebb és égitest

csak tökéletes lehet. Ezért például az üstökösök szerinte, nem is lehetnek égitestek. Hirtelen jönnek, hamar eltűnnek, nem térnek vissza oly örök szabályszerűséggel, mint a bolygók, útjuk nincs az ég egy bizonyos tájékához kötve, mint ezeké, nem is gömbalakúak: így hát csak földi eredetűek, szublunáriusok lehetnek, a Föld kigőzölgései, melyek a levegőben meggyulladtak. *Lucius Annaeus Seneca* (Kr. e. 4—Kr. u. 65) római filozofus azon igyekszik, hogy *Arisztotelész* nézetének tarthatatlanságát kimutassa. Minthogy olyféle utakon haladnak, mint az égitestek, az üstökösök is közéjük sorolandók s nem lehetnek csak muló tűz, hanem a természet maradandó alkotásai. «Az üstökösök nem haladnak egy ekliptika mentén, mint a többi bolygók? Hát ki szabott határokat a csillagok mozgásának?» — kérdi *Seneca*. — «Ha visszatérésüket még nem lehetett megfigyelni, ha pályájukat még nem sikerült kiszámítani, az onnan van, hogy az üstökösök csak akkor láthatók, mikor az ég távolabbi rétegeiből leszállanak pályájuk alsóbb, a Földhöz közelebb eső részeibe. Az utókor csodálkozni fog, hogy ily nyilvánvaló dolgokat nem ismertünk.» Mai szemmel ítélve a dolgot, könnyű lett volna eldönteni, hogy a két ellentétes nézet közül melyik igaz; csak meg kellett volna mérni az üstökösök távolságát a Földtől. De *Arisztotelész* idejében ilyen mérésre még gondolni sem lehetett, *Arisztarchosz* módszere csak a Holdra volt alkalmazható, a *Hipparchosz*-féle parallaxis mérése pedig *Seneca* korában sem volt elvégezhető. Így mind a két nézet merő spekulációnál nem egyéb.

Mint jellemzőt fel kell itt említenünk a pythagoreus iskolához tartozó *Philolaosz* (Kr. e. ötödik század) nézeteit. Szerinte a legnemesebb dolognak a legelőkelőbb hely jár. Ezért a tűz helye a középpontban van, mert a tűz nemesebb, mint a Föld. Ezen középponti tűz körül tiz isteni test kering: az állócsillagok gömbje, az öt

bolygó mindig kissebbedő pályákon, azután a Nap, a Hold, a Föld és az Ellen-Föld. A nap üvegszerű korong, mely fényét és melegét a középponti tüztől kapja és a Földre visszasugározza. Az állócsillagok gömbjén túl tűzzel telt tér van, mely az egész világot körülfogja. A jelentősebb azonban nem ez, hanem a középponti tűz, mert ez zszerinte a világ gyújtópontja, a természet kapcsa és mértéke. Az Ellen-Földet *Philoláosz* a Földdel szemben a középponti tűz ellentelt oldalára helyezi, úgy-hogy a Földről sohasem látható. Tulajdonképen csak azért volt szüksége az Ellen-Földre, hogy az égitestek számát tíznek vehesse, mert a pythagoréusok szerint ez a szám minden tökéletességet magába foglal.

Bármilyen naivnak találjuk jelen ismereteinkhez mérten az ilyenféle állításokat, nincs okunk lekicsinylésükre, épugy, amint *Seneca* egyes helyes nézeteit sem szabad túlbecsülnünk. A tudomány haladása ellentétes nézetek harcából származik s a végső kialakulást nem lehet előre megszabnunk. Annyi azonban bizonyos, hogy a természettudományban az ilyen önkényes spekulációk uralma ma már lejárt. A tudomány építőköveiként csak oly tételek szolgálhatnak, melyeket a közönséges tapasztaláson messze túlmenő gondos megfigyelések és pontos mérések állandóan igazolnak. A tudomány igazi feladata abban áll, hogy ezen mérésadatokat és megfigyelések közt fennálló összefüggést kimutassa, mert enélkül értéktelen adathalmazsal állunk szemben. A régiek szemében a theória, az elmélet volt a fontosabb, a megfigyeléseket nem értékelték kellően. Azért maradt reánk sok értéktelen elmélet és veszett el sok értékes megfigyelés. Azért volt lehetséges, hogy *Arisztotelész* tanítása győzött s majdnem két évezreden át béklyóba verte az emberi szellemet s lehetetlenné tette a csillagászat, a fizika s minden exakt természettudomány haladását.

Amit még *Ptolemáiosz* is világ vagy világegyetem alatt érthetett, az nagyon kicsiny tér volt a Föld környezetében. A Föld méreteiről volt némi ismeretük a régieknek, bár *Eratoszthenész* adatait nem tudjuk kellően értékelni, mert a stádion hosszát nem ismerjük biztosan. Szerinte a Föld kerülete 250.000 stádion, ami 46.250 kilométernek felel meg, ha a stádiont 185 méternek vesszük. Ez több, mint 6000 kilométerrel haladja túl a ma ismert pontosabb értéket.¹ Minthogy *Ptolemáiosz* a Hold parallaxisát kelleténél nagyobbbnak találja, azért a Hold távolsága kisebbnek adódik a valóságnál.² A Holdon túl azután minden további pontos mérés lehetősége megszűnik náluk. *Hipparchosz*, támaszkodva *Arisztarchosz*-ra, a Nap távolságát 19-szer akkorának veszi, mint a Holdét, tehát parallaxisát mintegy 3'-nek (mert a Hold parallaxisát $52\frac{1}{4}'$ -nek találta). Ez az érték egészen a távcső feltalálásáig volt érvényben. Még *Kepler* is azt hitte, hogy a Nap parallaxisa 1', mert ívmásodperceket még az ő korában sem tudtak mérni.

A világegyetem megismerésében nagyon fontos tényező az idő mérése is. Bár kisebb időközöket a régiek pontosan nem tudtak mérni, mégis nagyobb időközök viszonylagos nagyságát már meglepő pontossággal tudták megállapítani. Így a Hold, a Nap, a bolygók keringésidejét, a hold- és napfogyatkozások megismétlődésének sorrendjét jól ismerték. Tudományosan helyes és kifogástalan időmérés csak az ingaóra feltalálásával vált lehetővé (*Huyghens* 1673). Minden égi tűnemény lefolyásánál fontos tényező az időtartam, a kezdet és a vég pillanatának ismerete. Az idő szabályos lefolyásának ismeretét pedig

¹ *Bessel* szerint a Föld ekvatori kerülete kerek számmal 40.070, egy meridiáné pedig 40.003 km. A Föld közepes sugara a valóságban 6371 km; az *Eratoszthenész*-féle adat alapján 7364 km lenne.

² 373.500 km a valódi 384.400 közepes távolság helyett.

az égi jelenségek némelyikének változhatatlan törvényszerűség szerint való pontos ismétlődéseiből merítette az ember.

4. *A Copernicusi gondolat.* *Ptolemáiosz* után a világegyetem megismerésében majdnem másfél évezredes szünet állott be. A *Ptolemáiosz*-féle világrendszer már eleve arra volt ítélve, hogy ne fejlődhessék és ne haladhasson. Szerinte a Föld mozdulatlanul áll a «világ» közép-pontjában, az állócsillagok mind egyforma távolságban vannak a Földtől és egy közös gömbön forognak a Föld körül. A kettő között pedig a Hold, Nap és bolygók keringenek különböző távolságokban. Minthogy ezek tisztán a látszatra támaszkodó, mérés és pontosabb észlelés által nem igazolt, pusztán spekulatív állítások, nem is lehetett remény megváltoztatásukra, míg a szellem meg nem változott, mely őket létrehozta. *Arisztotelész* hangoztatta ugyan a tapasztalat jelentőségét. Azt mondogta, hogy «érzékeink tapasztalásai előbbrevalók minden emberi spekulációnál». Valójában azonban a spekuláció korlátlan hatalmának hódolt és az ő nézeteinek hódolt majdnem két évezreden át az egész művelt emberiség. Tanai szoros bilincsbe verték az emberi szellemet. Az arabok, kik a görögök után átvették a tudományok művelésének és tiszteletének hivatását, a filozófiában *Arisztotelész* hívei maradtak, a csillagászatban pedig *Ptolemáiosz* híveinek vallották magukat. A kutató ész nem tudta elhagyni a Föld közelebbi környezetét s vele együtt mozdulatlanságra volt kárhoztatva. Láttuk, hogy az ókor próbálkozásai a Holdon túli távolságok meghatározásában nem vezettek sikerre s így a Föld csakugyan az ő kicsiny világuk közepében foglalt helyet.

Copernicus Miklós (1473—1543) frauenburgi kanonoké az érdem, hogy nagyszerű és hatalmas gondolattal véget vetett az *Arisztotelészi* tan bénító hatásának és az emberi megismerés előtt feltárta a korlátlan fejlődés

lehetőségét. *Copernicust* 36 évi folytonos megfigyelései, számtásai és összehasonlításai arra a meggyőződésre vezették, hogy nem a Föld a kozmosz középpontja, hanem a Nap; a Föld nem mozdulatlan, hanem a Nap körül kering s vele együtt a többi bolygó is a Nap körül, mint középpont körül teszi meg útját örök törvények szerint. Csak a Hold az egyetlen, melynek pályája a Földhöz, mint mozgásának középpontjához, van kötve. De a Föld nemcsak a Nap körül kering egy év alatt, hanem azonkívül huszonnégy óra alatt a saját tengelye körül is végez forgást. Az állócsillagok oly nagy messzeségben vannak tőlünk, hogy távolságukat nem lehet megállapítani, nem mutatnak parallaxist, vagy más szóval: a Föld oly kicsiny, hogy ezekhez a távolságokhoz képest elenyészik.

Sok tünemény ezzel egyszerre megtalálta magyarázatát. Hogy a mérhetetlen távolságban levő sokezernyi csillag egyszerre forog a Föld körül, az látszat, mely onnét származik, hogy a kicsiny Föld forog ellenkező irányban a saját tengelye körül. Hiszen a *Ptolemáiosz* világrendszere saját magával jut ellenmondásba, mikor azokat a bolygókat helyezi messzebb a Földtől, melyek lassabban keringenek körülötte, a Hold egy hónap alatt, a Nap egy év alatt s így tovább, a sokkal távolabb levő állócsillagok pedig mind egy nap alatt teszik meg útjukat. A *Ptolemáioszi* világrendszer lehetetlensége ebből tűnik ki a legszembeeszköbben: a néhány bolygó kényelmes lassúsággal, de nagyon különböző időtartam alatt teszi meg útját a Föld körül, a sokezernyi állócsillag pedig mind egyszerre, egy nap alatt kénytelen megfutni pályáját. És hátha ezek az úgynevezett állócsillagok nincsenek tőlünk egyenlő távolságban? Hátha van köztük, amelyik közelebb van hozzánk s van, amelyik távolabb áll tőlünk? Akkor a bolygók mozgására támaszkodó spekuláció sem lehet helytálló s a *Ptolemáiosz*-féle világrendszernek

Arisztotelészre támaszkodó törvényszerűsége tulajdonkép nincs is meg. S itt van a *Copernicus* gondolatának magva : a látszat helyébe a valóság, a spekuláció helyébe a kritikával felfegyverzett tapasztalat, a minden alapot nélkülöző állítások helyébe az exakt mérések lépnek. Ennek a gondolatnak a hatása alatt vált lehetővé, hogy nemcsak a csillagászat, hanem a fizika s a többi természettudományok is hirtelen oly fejlődésnek indultak, melynek határa s lehetőségei beláthatatlanok. A ma összes exakt kutatásait ez a gondolat hatja át, ez a mozgatója minden megismerésnek és a kozmoszról, az univerzumról, a világegyetemről vagy mindenségről csak az ő segítségével alkothatunk magunknak helyes képet. Semmiről sem szabad előre állítanunk, hogy valami így van vagy csak így lehet ; a látszat csalóka játéka helyébe a természeti tünetmények összefüggésének tapasztalaton és mérésen alapuló kritikai vizsgálatának kell lépnie ; csak a tények a mértékadók.

Igaz, hogy már az ókorban egyes görög gondolkodók-nál fölmerült az az eszme, hogy nem a Föld áll az égitestek mozgásának középpontjában, hanem a Nap, vagy amint mondani szoktuk, nem a geocentrikus, hanem a heliocentrikus világrendszer a helyes. *Copernicus* az ő nagy művében híven felsorolja őket. De a görögök ilyen heliocentrikus nézetei épolyan merő spekulációk voltak, mint a Föld mozdulatlanságára vonatkozó ellenkező állítás s *Copernicus* gondolatától áthidalhatatlan ür választja el őket.

A régiek a Nap látszó égi pályáját ekliptikának nevezték. *Copernicus*-nál az ekliptikából határtalan sík lesz, mely magában foglalja a Földnek a Nap körüli pályáját. A Földről szemlélve a Napot mindig ebben a síkban látjuk, perspektivikusan az «ég»-re vetítve. Ez az ég számunkra látszólag gömb, mert a mi szemünk az égitestek távolságát nem tudja megkülönböztetni s így valamennyi

egyforma távolságban látszik lenni tőlünk. A kicsiny Föld tehát a világtérben messze a Naptól nagyjából köralakú pályában kering a Nap körül egy év alatt s közben állandóan forgó mozgást is végez, mint a gömb, mely gurulva tovább szalad, vagy a kocsi kereke, mely nem egy helyben forog a tengelye körül, hanem a kocsi-val együtt halad. A Földnek forgástengelye az ekliptika síkjára nem merőlegesen áll, hanem vele szöget zár be. Ennek a hajlásnak a következménye az évszakok. A Föld középpontján át a forgástengelyre merőlegesen képzelt sík az égi egyenlítő síkja, mely az ég gömbjét két egyenlő részre osztja, épúgy mint az ekliptika vagy mint minden a gömb középpontján át menő sík. A régiek fogalmai szerint az égi egyenlítő vagy ekvátor az állócsillagok kristálygömbjének volt az egyenlítője, vagy más szavakkal az a legnagyobb kör, mely a kristálygömb sarkaitól mindenütt egyenlő szögtávolságnyra (90° -nyira) van. Hogy ez a kristálygömb más égi tengely körül forog, mint a Nap kristálygömbje, ez tulajdonképp az égnek Arisztotelészi tökéletességével szintén nem egyezik. *Coppernicus*nál az égi egyenlítő a Föld tengelykörüli forgásának szükségszerű következménye. Későbbi tapasztalat mutatta, hogy más égitestek is végeznek tengelykörüli forgó mozgást s így minden égitestnek megvan a maga saját égi ekvátora. Az állócsillagok kristálygömbjéről így menten nyilvánvalóvá válik, hogy puszta képzelődés műve.

Coppernicus szerint a bolygók mind a Nap körül keringenek s így a Föld is nem más, mint ilyen bolygó égitest, mely a világtérben szabadon lebegve futja be évi pályáját a Nap körül. A Naphoz legközelebb van Merkúr, azután sorjában következik Vénusz, a Föld, Mars, Jupiter és végül Saturnus, mely abban a korban a legszélsőbb ismert bolygó volt. *Coppernicus* maga még excentrikus köralakú pályákat tulajdonított a bolygóknak, az ettől való

eltéréseket pedig szintén epiciklusokkal volt kénytelen magyarázni. De nála a Föld mozgásának a bolygók látszó pályájában kifejezésre kellett jutnia akként, hogy a Naphoz közelebb levő úgynevezett belső bolygóknál a deferens, a távolabbi külső bolygóknál az epiciklus a Földpálya képe. Ez lehetővé tette számára, hogy a bolygóknak a Naptól való távolságát a Földnek a Naptól való távolságával megmérje, más szóval, hogy megtudja, hányszorosa messzebb vagy közelebb van valamely bolygó a Naptól, mint a Föld. A *Copernicus*-féle és a ma ismert helyes (közepes) értékeket a következő összeállítás mutatja :

	Copernicus szerint	Helyes érték
Merkur	0.375	0.387
Venus... ..	0.720	0.723
Mars	1.520	1.524
Jupiter	5.21	5.203
Saturnus... ..	9.17	9.539

Látjuk, hogy *Copernicus* heliocentrikus világregszerében az akkor ismert bolygók térbeli elhelyezkedéséről majdnem teljesen hű képet tudott adni. A távolságok alapmértékét, a Föld—Naptávolságot valamely ismert kisebb földi mértékegységben ő sem tudta megadni. Az ő korában sem volt még ismeretes a távcső, észleléseit ő is még egyszerű triquetrummal végezte. Ezzel pedig nem lehetett mérni olyan kicsiny szöget, minő a Nap parallaxisa. *Copernicus* eredménye a bolygók viszonylagos távolságáról messze túlhaladja az ó- és középkor legélesebbeszű gondolkodóinak vívmányait. Az ő örök érdeme marad, hogy a világegyetem helyes megismeréséhez az egyetlen igaz utat megmu-

tatta. *Copernicus* mélyen meg volt győződve, hogy az ő heliocentrikus rendszere tény és valóság, nem pedig feltevés, mint ahogy *Osiander* a *Copernicus* nagy művébe becsempészett és hamisított előszavában feltűrtette. *Ptolemáiosz* geocentrikus és *Copernicus* heliocentrikus világrendszere egymást kizárják, közülük csak az egyik lehet igaz s mellettük nem létezhetik még valamely harmadik lehetőség, mely a kettőt átidalhatná vagy összhangba hozhatná, amint azt nem-sokára *Copernicus* után *Tycho Brahe* és legújabban a relativitástan kísérelte meg.

Tycho Brahe (1546—1601) igen jeles észlelő volt, kinek nagy és elmúlhatatlan érdemei vannak az észlelőművészet tökéletesítése körül. Ő még vonakodott a Föld térbeli mozgásának elismerésétől, de *Copernicus* tanának helyességét nagyjában mégis átérezte. Azért a régi és az új világrendszert akként akarta összhangba hozni, hogy a *Ptolemáiosz*éből megtartotta a Föld mozdulatlanságát és az állócsillagok gömbjének forgását, az újból pedig az öt régi bolygónak a Nap körül való keringését, míg a Nap maga is a Hold a Föld körül mint középpont körül keringenek. *Tycho* mint elméleti kutató nem mondható súlyosnak. *Copernicus* rendszerét főleg azért nem fogadta el a maga teljes egészében, mert ha ez a rendszer igaz, akkor szerinte az állócsillagoknak mérhetetlenül nagy távolságokban kell lenniök. Tényleg, említettük, hogy a bolygók epiciklikus mozgásában a Föld mozgásának kell visszatükröződnie s hasonló jelenségnek kellett volna mutatkoznia az állócsillagoknál is. De *Tycho* legszorgosabb észlelései sem árulták el semmi jelét ilyen látszó elmozdulásnak. Az «álló»csillagok csakugyan mozdulatlanul az ég gömbjéhez látszottak erősítve lenni. *Copernicus* hívei erre helyesen azt felelték, hogy ez azért van, mert a csillagok oly távolságban vannak, hogy ehhez képest még a Föld—

Naptávolság is elenyészően kicsiny. *Tycho* 3'-nyi látszó elmozdulást még igen jól meg tudott mérni. Állócsillagnak ekkora elmozdulása azt jelentené, hogy legalább ezerszer oly messze van tőlünk, mint a Nap, százszor oly messze, mint Saturnus a Naptól. *Arisztotelész* szerint a természet irtózik az űrtől s ezen axióma alapján *Tycho* elképzelhetetlennek tartott oly nagy ürességet a Saturnus pályája és az állócsillagok gömbje között. *Coppernicus* igen jól ismerte az ebből az ellenvetésből származó nehézséget. De elméjének nagyságára vall, hogy a csillagok távolságának kérdését nem vette végleg eldöntöttnek és főleg, hogy nem ragaszkodott eleve olyan axiómákhoz, melyek a világtérrel való megismerésünket lehetetlenné tették volna.

5. *A távcső és a Naprendszer mechanizmusa.* A heliocentrikus világrendszer végleges győzelmét a távcső feltalálása biztosította, mely olyan új ismeretekkel gazdagította tudásunkat, milyenekről a legmerészebb spekuláció sem álmodhatott soha. Egyidejűleg a tünemények fizikai kutatása is kezdetét vette a kísérlet módszerével, melyet azelőtt nem ismertek. Ehez hozzájárult a matematika fejlődése, mely a tények összefüggésének exakt feltüntetését vonta maga után, illetve tette lehetővé. A világegyetem szerkezetének megismerése innét kezdve óriási lépésekkel halad előre. A *coppernicusi* gondolat újabb és újabb diadalokat arat, soha nem sejtett nagyszerű felfedezésekhez juttat, a térbeli végtelen nagy és határtalanul kicsiny birodalmában egyaránt.

Galilei (1564—1642) volt az első halandó, ki 1610-ben magakészítette távcsövét az égnak szegezte s elsőnek láthatott olyan dolgokat, amelyek a felfegyverzetlen szem előtt örökre rejtve maradtak volna. Ő fedezte fel, hogy a Holdon kiemelkedések, hegyek vannak s rögtön módszert adott, melynek segítségével a holdhegyek

magasságát meg lehetett határozni. A Jupiter négy nagyobb holdját ő látta legelőször. *Copernicus* rendszerének ez döntő bizonyítéka volt, mert kitűnt, hogy nemcsak a Föld, hanem más bolygó is lehet mozgás közép-pontja. Azóta, a távcső folytonos tökéletesedésével, még további öt holdját fedezték fel Jupiternek. Ő fedezte fel távcsövével a Venus fázisait, a Holdéhoz hasonló fényváltozásait, valamint a Nap foltjait. A Venus fényváltozásai igazolják, hogy a fényét a Naptól kapja s így ez a körülmény is *Copernicus* igazát bizonyítja. A Nap foltjai pedig azt mutatták, hogy a Nap is forog tengelye körül. Ezek mind oly megállapítások, amelyek a távcső feltalálása előtt nem voltak lehetségesek s melyek egyszerre nem remélt mértékben növelték az égitestekről való ismereteket. *Galileinek* két másik jelentős felfedezése a szabad esés és az inga törvényei, melyekhez kísérlet révén jutott.

A bolygók pályájának valódi alakja még *Tycho* idejében sem volt ismeretes. Az ő tanítványának, *Kepler*-nek, adatott meg a dicsőség, hogy mestere gondos megfigyeléseiből a bolygók mozgásának valóságos törvényeit kihámozza. *Kepler* mutatta ki, hogy a Föld és a többi bolygók nem excentrikus körökben keringenek a Nap körül, hanem ellipszisekben, melyeknek egyik gyújtópontjában foglal helyet a Nap. Azt is kimutatta, hogy a bolygók mozgása gyorsabb, ha közelebb vannak a Naphoz, lassúbb, ha távolabb vannak tőle, de mindig akként, hogy a Naptól a bolygóhoz képzelt vonal egyenlő idők alatt egyenlő területeket ír le a bolygómozgás síkjában. Harmadik törvénye pedig pontos összefüggést tár fel a keringésidő és a Naptól való távolság szerint. Eszerint két bolygónál a keringésidők négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint közepes távolságaik körei.

Kepler törvényeinek felfedezéseivel ismét óriásit haladt a naprendszerrel való ismeretünk, Az ep ciklusok

végleg eltűntek és a sejtések és feltevések helyébe végre határozott, biztos törvényszerűségek, tudományos tények léptek, melyeknek értéke abban rejlik, hogy megfigyelésekből matematikai úton vezettettek le. De ezek a tények egyelőre mint egymástól független megállapítások szerepelnek. Az őket kifejező első törvény tisztán geometriai, a másik kettő pedig a bolygómozgás mechanizmusára vet világot, amennyiben összefüggést létesít idő, távolság és sebesség között.

Tycho mérési pontosságának alsó határa körülbelül egy ívmásodperc volt. Ennél kisebb szögeket még nem tudott mérni. Így *Kepler* is még azon a nézeten volt, hogy a Nap parallaxisa $1'$. Ez az érték majdnem hétszerre kisebb távolságot szolgáltat a valóságosnál. Azonban *Kepler* a csillagászati távcső helyes elméletének megalkotásával megvetette az alapját annak, hogy a távcső s vele együtt a mérés pontossága is folyton tökéletesedjék. A naprendszer méreteinek és így a bennünket közvetlenül környező világtér helyes ismerete két adat exakt ismeretén fordul meg: az egyik a Föld nagysága, a másik a Nap parallaxisa. Nem lehet föladatunk, hogy részletesen elmondjuk, mennyi fáradozásba s több évszázados munkába került, míg ezeknek helyes ismeretéhez jutottunk. Csak megjegyezzük, hogy mai ismereteink szerint a Nap parallaxisa $8.80''$, a Föld ekvatori sugara pedig kerekesszámmal 6378 km. E két adatból a közepes Nap—Föld-távolság kerekén 146,000.000 km.

6. *Newton törvénye s a naprendszer dynamikája.* Azok a szép törvények, melyek *Kepler* nevét halhatatlanná tették, bár nagy lépést jelentettek, mégis annyiban nem elégitették ki a vizsgálódó emberi szellemet, mert három egymástól látszólag teljesen különálló tényt fejeztek ki. *Newton* (1643—1727) örök érdeme, hogy felfedezte azt a közös forrást, melyből ez a három tör-

vény fakad, hogy feltárta összefüggésük egyszerű alapját s megtalálta azt a törvényt, melynek egyaránt hódol a Nap körül keringő bolygó vagy üstökös, a Föld mellett elsurranó hullócsillag vagy a kezünkben leejtett kődarab. *Newton* szerint minden testnek van tömege. A tömeg mozgását, vagy jobban mondva mozgása változását erő hozza létre. Az erő nagysága függ a mozgatott tömeg nagyságától és a mozgásváltozástól vagy gyorsulástól. Ha tömegre folytonosan hat valamely erő, akkor ez a tömeg sebességének vagy irányát, vagy nagyságát, vagy mindkettőt egyszerre folyton kell hogy változtassa. Ha pedig valahol ilyen folytonos mozgásváltozást észlelünk, ott folyton működő erőt kell keresnünk.

Galilei kimutatta, hogy a Föld felé szabadon eső test egyenletesen gyorsulva mozog s hogy ez a gyorsulás minden szabadon eső testre nézve ugyanaz. Ez a rendkívül nagyfontosságú felfedezés azt bizonyítja, hogy az összes földi anyagoknak van egy közös tulajdonságuk

Minthogy a bolygók a Nap körül való keringésük közben folyton változtatják mozgásuk vagy sebességük irányát és nagyságát, azért rájuk is valamely erőnek kell hatnia. Milyen ez az erő? *Newton* kimutatta, hogy *Kepler* második törvényéből az következik, hogy ez az erő mindig a Nap középpontja felé van fordítva; az első törvényből az következik, hogy ez az erő a Naptól való távolság négyzetével fordítva arányosan változik s végül a harmadik törvény folyománya, hogy ez az erő egyenesen arányos a bolygó tömegének és a Nap tömegének szorzatával. Ennélfogva a két égitest között ható erő egyenlő tömegeik szorzatával elosztva ezt távolságuk négyzetével. De mivel szabadon mozgó tömegnél az erő egyenlő a tömeg és gyorsulás szorzatával, ennek az égitestek között működő *Newton*-féle erőnek is ezzel a szorzattal kell egyenlőnek lennie.

Ha a szabadon eső követ kicsiny égitestnek tekintetjük, akkor közte és Föld között is hatnia kell a *Newton-féle* erőnek. Csakugyan, *Galilei* felfedezése a *Newton* törvényéből rögtön érthetővé válik. De a Hold is kering a Föld körül, kettejük között is ugyanennek az erőnek kell érvényesülnie. Egyszerű számítással ki lehet mutatni, hogy a Hold gyorsulása 3600-szor kisebb a Föld felszíni gyorsulásnál. A Hold közepes távolsága a Földtől 60 földugár. A *Newton-féle* törvény szerint ilyen távolságban a gyorsulás tényleg $60 \times 60 = 3600$ -szor kisebb, mint egy földugárnyi távolságban a Föld középpontjától, vagyis a Föld felszínén.

Ezzel be volt bizonyítva a földi ú. n. nehézkedés és az égitestek gravitációjának azonossága: *Kepler* törvényeinek és *Galilei* felfedezésének közös forrása föl volt tárva. De meg kell jegyeznünk, hogy míg *Kepler* törvényeiben csak a távolságok viszonysszámai szerepelnek, addig *Newton* törvényében a valódi távolság a mértékadó. Most be lehetett bizonyítani, hogy az üstökösök, az ég kósza vándorainak tartott eme különös tűnemények is engedelmeskednek ennek a törvénynek, tehát ezek is égitestek, melyeknek van tömegük, mint a többi bolygónak meg a Napnak.

Newton még tovább ment és az ő csodálatosan egyszerű törvényéből még számos más kozmikus jelenséget magyarázott meg, melyeknek összefüggését vagy okát addig helyesen sejteni sem lehetett. Így megmutatta, hogy törvényéből következik, miszerint a Föld alakjának lapult forgás-ellipszoidalakúnak kell lennie, ha igaz az, hogy tengelye körül forog, amint azt *Copernicus* állította. Pontos geodéziai mérések mindenben igazolták *Newton*nak ezt a következtetését. A tenger árapály-tűneményét a Hold erőhatására tudta visszavezetni. Minthogy minden bolygónak magának is van tömege, úgy a bolygónak egymásra is kell hatniok, természetesen

annyival kisebb mértékben, minél kisebb a tömegük a Nap tömegéhez viszonyítva. Ezen hatás által a bolygók mozgása a *Kepler*-féle ellipszistől kisebb-nagyobb mértékben el kell hogy térjen. Ezeket az eltéréseket, háborgatásokat vagy perturbációkat pontosan ki lehet számítani és megfigyeléssel ellenőrizni.

Már *Hipparchosz* észrevette, hogy az ú. n. tavaszpont az ekliptikának és az ekvátornak az a metszéspontja, melyben a Nap március 21-én lenni látszik, az égen minden évben mintegy 50''-et keletről nyugat felé halad. A geocentrikus világrendszerben ennek a nagyszerű kozmikus jelenségnek, az ú. n. precesszióknak semmi magyarázata sincsen. *Newton* kimutatta, hogy a jelenség oka az, hogy a Föld nem pontosan gömbalakú, hanem lapult ellipszoid. Ezért különösen a Hold nagy közelségénél, a Nap pedig nagy tömegénél fogva akként befolyásolják a Föld forgását, hogy az ekvátor síkja a térben lassan körülfordul, miközben az ekliptikához való hajlása nagyjából változatlan marad. Az ekliptika síkjának, vagyis a földpálya síkjának helyzete a térben alig észrevehetően változik. Ezért a precessziót másként úgyis jellemezhetjük, hogy a Föld forgástengelye az ekliptika tengelye (az ekliptika síkjára merőleges egyenes vonal) körül mintegy 26.000 év alatt egyszer körülfordul és így a Föld tengelyének iránya a térben lassan ugyan, de folytonosan változik.

Láttuk, hogy *Newton* egyszerű törvényével a legkülönbözőbb földi és kozmikus mozgásokat lehetett megmagyarázni. De nem szabad elfelejtenünk, hogy e magyarázat lehetősége a tudományos kutatásnak egyik fontos eszközhöz, a matematikához van kötve. Maga *Newton* és jeles kortársa, *Leibniz*, járultak hozzá ahhoz, hogy ez az eszköz nagyszerű módon tökéletesedjék, mikor felfedezték a végtelen kicsiny mennyiségekkel való bánást, az ú. n. differenciál- és integrálszámítást. Ez az eszköz tette lehetővé, hogy a *Newton*-féle törvény legvégső

következményeit a legapróbb részletekig felkutassuk. Így fel lehetett vetni azt a kérdést, hogy a naprendszerben végbemenő mozgások állandóak-e, más szóval, hogy a Nap körül keringő bolygók és a bolygók körül keringő holdak örök időig tartják-e meg útjaikat, vagy pedig fennáll-e annak lehetősége, hogy vagy belezuhannak a Napba, vagy eltávolodnak tőle a végtelen térbe. Ezt úgy is szokás mondani, hogy a naprendszer stabilis-e. A kérdés a *Newton-féle* törvényben találja jogosultságát. Ha az összes bolygók is hatnak egymásra tömegük következtében és háborgatásokat idéznek elő egymás mozgásában, nem-e lehetnek ezek a háborgatások oly nagyok, hogy az említett szélső esetek vagy katasztrófák bekövetkeznek? *Laplace* és több más kutató kimutatta, hogy a háborgatások következtében a Napba való zuhanás nem állhat elő, mert a bolygóknak a Naptól való közepes távolságai változatlanul megmaradnak. Ez az eredmény azért is figyelemreméltó, mert ez tulajdonkép a naprendszer fizikai története nemcsak a multra, hanem a jövőre vonatkozólag is. Az exakt tudomány törvényeinek olyanoknak kell lenniök, hogy segítségükkel ilyen biztos pillantásokat vethessünk a multba és a jövőbe egyaránt. A *Newton-féle* törvény a legmagasabb fokban dicsekedhetik ezzel a tulajdonsággal. Segítségével a kutató ész követheti az égitestek útját sok évezredes multba, kiszámíthatja a világtérben valamely messze jövőben elfoglalandó helyüket, vagy elkíséri őket ott is, hol semmiféle emberi szem még a leghatalmasabb távcsővel sem láthatja őket, vagy felfedezi létezésüket, még mielőtt emberi szem megpillantotta volna.

Igy számította ki *Adams* (1845) és *Leverrier* (1846) a *Newton-féle* törvény segítségével, hogy az 1781-ben *Herscheltől* távcsővel fölfedezett *Uranus* bolygón túl még egy másik bolygónak kell léteznie, melynek megadták a Naptól való távolságát és kijelölték a helyet,

melyen az égen körülbelül láthatónak kell lennie. A bolygót tényleg az előre kiszámított hely közelében találták meg; ez Neptun, a naprendszernek jelenlegi ismereteink szerint legszélsőbb bolygója.

7. *Kettős csillagok.* *Newton törvénye a világtérben is érvényes-e?* Most felvetődik az a kérdés, hogy a *Newton*-féle törvény csak a naprendszeren belül érvényes-e, vagy pedig kiterjeszkedik a távoli csillagokra is, melyekről idővel meg lehetett állapítani, hogy saját fényben tűnődöklő, nagy égitestek, mint a Nap, amelyek csak azért látszanak kicsiny fénylő pontoknak, mert óriási távolságban vannak tőlünk. Ezen csillagok között van számos olyan, mely megfelelő erős távcsőben kettősnek látszik. Két nagy, fénylő égitest van ott egymástól oly távolságban, hogy a fölfegyverzetlen szem számára egyetlen fénylő ponttá olvad össze. Ezeket a kettős csillagokat először *Herschel* kezdte behatóan észlelni. Már ő is, de azóta számos más megfigyelő észrevette, hogy a kettős csillagok egymás körül keringenek. Ha a pálya alakja *Kepler*-féle ellipszis, akkor *Newton* törvényének e távoli világokon is érvényesnek kell lennie. A kettős csillagok észlelése nagyon nehéz és kényes feladat, a keringő mozgás hosszú éveket vesz igénybe. A *Burnham*-féle nagy kettőscsillag-katalógus 13.665 kettőscsillagot sorol fel, de ezek között csak körülbelül 300 van olyan, amelyeknél keringő mozgást biztosan lehetett megállapítani. Ezek között mintegy 50 van olyan, melyeknél teljes körülfordulást észleltek és melyeknél az észlelés a *Newton*-féle törvény alapján eszközölt számítással megegyezik. *Tisserand* azt is kimutatta, hogy a kettőscsillagoknak egymás körül való mozgását csakis a *Newton*-féle törvénnyel lehet megmagyarázni. Így tehát nagy a valószínűsége annak, hogy e távoli világokon is érvényes ez a törvény, más szóval, hogy a *Newton*-féle törvény a világ-egyetem legáltalánosabb törvénye.

A régiek állócsillagoknak nevezték el azokat az égitesteket, melyek az éggömbön látszólag nem változtatták viszonylagos helyzetüket. Az ő kezdetleges megfigyelési eszközeikkel csak nagyobb elmozdulásokat tudtak megállapítani. A távcső előtt azonban a legkisebb mozgások sem maradhattak elrejtve. Már *Halley* (1656—1742), *Newton* jeles kortársa, észrevette, hogy vannak csillagok, melyeknek helye az ő korában a *Ptolemáiosz* Almagesztjében közölt helyektől eltérnek, amiből következik, hogy ezek a csillagok nem állanak mozdulatlanul az ég gömbjén, hanem a térben mozognak. A copernicusi gondolatnak újabb diadala ez a felismerés, mely nem sejtett perspektívát nyitott a kutató emberi elme előtt. További mindig tökéletesedő és finomodó észlelések — különösen *Bradley* (1692—1762) óta, kinek megfigyelőművészete az ívmásodperc mérését tette lehetővé — az ég valamennyi csillagánál mutattak ilyen mozgást. Ha már az 1572-ben *Tychotól* észlelt új csillag megingatta *Arisztotelésznek* az ég változhatatlanságáról szóló tanát, úgy a csillagoknak ez a saját mozgása nemcsak végleg megdőntötte az előre kigondolt, tapasztalatra nem támaszkodó mindenféle rendszert, hanem hirtelen kitágította a világtérről táplált eddigi fogalmakat és reámutatott a kozmoszban végbemenő hatalmas arányú történésekre is.

Számos csillagról sikerült az évek során kimutatni, hogy mozgásuk az égen, a mi nagy távolságunkból látszólag kicsiny szöget mutat, egyenes és egyenletes. A nagynevű *Bessel* (1784—1846) azonban két csillagnál, *Sirius* és *Procyonnál*, észrevette, hogy mozgásuk az egyenes, egyenletes mozgástól eltéréseket mutat, melyek nagyobbak, mint a lehetséges megfigyelési hibák. *Bessel* 1844-ben rámutatott arra, hogy ezeket az eltéréseket legegyszerűbben a *Newton*-féle törvény alapján lehet megmagyarázni, ha feltesszük, hogy ezek kettőscsillagok. A látható főcsillaghoz aránylag közel sötét, nagytömegű

kísérőnek kell lennie ; a két tömeg egymás körül kering és úgy jönnek létre az említett eltérések. Ez az állítás kezdetben sok ellenzéssel találkozott, mert az akkori távcsövek egyikében sem lehetett kettős voltát megállapítani sem Siriusnak, sem Procyonnak, bár *Bessel* hangsúlyozta, hogy a fény kilövellése, a világítás nem lényeges tulajdonsága az anyagnak. *Bessel* halála után *Peters* kiszámította a Sirius kísérőjének pályáját. *Clark* pedig 1862-ben fel is fedezte ezt a kísérőt, mely azért látható olyan nehezen, mert csak kilencedrendű csillagocskas, melyet a közellevő főcsillag erős ragyogása elhomályosít. Procyon kísérőjét 1896-ban sikerült fölfedezni.

Szigorúan véve nem lehet mondani, hogy ez a két eset a *Newton*-féle törvény közvetlen bizonyítéka, mert hiszen nem lehetetlen föltevés, hogy valami más törvényszerűség uralkodik a világtér más és más részeiben. De a megfigyelések állandóan igazolják, hogy e kísérők is ellipszisben keringenek a főcsillagjuk körül és így csakis a *Newton*-féle törvény érvényessége jöhet szóba. Nyomós érv emellett például a ξ Ursae maioris kettőscsillag. Ennél *Nörlund* azt találta, hogy a kísérő pályája az ellipszistől eltér s hogy az eltérések 1·8 évnyi időközben szabályosan ismétlődnek. Később kiderítették, hogy a főcsillag maga is úgynevezett spektroszkopikus kettőscsillag, melynek kettős voltát csak a színekélelemzőkészülék árulja el ; a kísérő eltérései tehát háborgatások, melyeket a főcsillag körül keringő harmadik csillag okoz.

Ismét más kérdés az, hogy a *Newton*-féle törvény milyen távolságokig érvényes. Így *Laplace* a hajcsövesség tűneményeinek magyarázatára fölteszi, hogy a tömegrészecskék vonzása gyorsabban változik, mint ahogyan azt a *Newton*-féle törvény követelné. Tehát igen kicsiny távolságoknál, atomok vagy molekulák között a törvény érvényét veszíti, így hát lehetséges, hogy igen nagy távolságoknál sem érvényes szigorúan, nagy távolságok alatt

értve olyanokat, minők az állócsillagokat választják el egymástól. A mai atomelmélet felteszi, hogy az atommag a körülötte keringő elektronokat a *Newton*-féle törvénynek megfelelően tartja állandó pályáikon. Ez a felfogás tehát eltér a *Laplace*-félétől. Végeredményben ismét csak a tapasztalás fog erre a kérdésre is feleletet adhatni. A távoli csillagok mozgásáról ma még aránylag oly keveset tudunk, hogy véglegesen nem is szabad még döntenünk. A megoldás útja itt is az, ami minden csillagászati vagy fizikai problémánál: fölteszük, hogy a *Newton*-féle törvény érvényes ezeknél a nagy távolságoknál is; megvizsgáljuk, hogy mi következik ebből a föltevésből; összehasonlítjuk a megfigyelt adatokat ezekkel az elméleti következtetésekkel és csak ha nagy eltérés mutatkozik a kettő között, folyamodunk új magyarázathoz.

Igy járt el *Laplace*, mikor a *Newton*-féle erőnek, a gravitációnak, terjedésebbességét vizsgálta. *Römer* 1675-ben a Jupiter-holdak fogyatkozásaiból meghatározta a fény terjedésebbességét. Ez 300.000 kilométer másodpercenként. Régebben azt hitték, hogy a fény pillanatnyilag terjed; a *Newton*-féle erő, a gravitáció, pedig úgynevezett távolba ható erő, melynek nincs szüksége időre, hogy a tér egy pontjáról valamely más, akármilyen távol levő pontba érjen. De *Laplace* joggal felveti a kérdést, hogy a gravitáció nem-e szintén véges sebességgel terjed, úgy, mint a fényről is kiderült. Ezzel a föltevessel kiszámítja, hogy milyennek kellene lennie akkor valamely bolygó mozgásának a Nap körül. Azt találja, hogy ha a gravitáció a fény sebességével terjedne a térben, akkor a bolygók mozgásában olyan nagy eltéréseknek kellene mutatkoznia, minőket a megfigyelés könnyen kideríthetne. Ebből következteti, hogy a gravitációnak többmilliószor gyorsabban terjed, mint a fény. Erre vonatkozó megfigyeléseink nincsenek. A fény terjedés-

sebességét kísérleti úton is meg lehetett határozni; az eredmény megegyezik a csillagászati megfigyelések adta fénysebességgel. Ha a gravitáció terjedésebbességét is kísérleti úton lehetne megállapítani, akkor minden további kétségünk megszűnnék. Ujabban a relativitáselmélet vonta meggondolásai körébe a gravitáció terjedésebbességét. Ezen elmélet szerint a fénysebességnél nagyobb sebesség nem lehetséges s így a gravitáció is ezzel a sebességgel terjed. Az úgynevezett általános relativitáselmélet megenged ugyan nagyobb sebességeket is, de a gravitáció sebessége megmarad fénysebességnek. Megfigyelések erre vonatkozólag nincsenek s így a gravitáció terjedésebbességének kérdése a jövő feladatai között marad.

A *Newton*-féle törvény eddig, egyetlen eset kivételével, mindig győztesen került ki minden nehézségből. Ez a kivétel a Naphoz legközelebbi bolygónak, Merkurnak. mozgásában mutatkozik. A többi bolygók hatása következtében minden bolygó pályája háborgatásokat szenved, amint azt már említettük. Egyik ilyen háborgatás abban áll, hogy a pályának a Naphoz legközelebbi pontja, az úgynevezett perihélium, a pálya síkjában lassan elmozdul. Merkurnál ez a perihéliummozgás a megfigyelés szerint sokkal nagyobb, mintsem a *Newton*-féle törvényből következne. Ha azonban *Seeliger*rel (1849—1924) a Nap közelében nagy mennyiségben levő porszerű tömegeket vesszük számításba, melyek a zodiakális fény okozói, akkor segítségükkel a Merkúr rendkívüli perihéliumelmozdulását kielégítően meg lehet magyarázni. A relativitáselmélet itt is más megoldást keres, a mint azt később még kifejtjük. *Seeliger* arra is rámutatott, hogy a *Newton*-féle törvény határozatlanná válik, ha a világtér euklideszi értelemben végtelennek vesszük és a térben mindenütt vannak tömegek. A relativitáselmélet ezt a nehézséget akként akarja elkerülni, hogy az euklideszi

geometriától különböző geometriai tulajdonságokkal ruházta fel a tért. De ezek a meggondolások eddig mind tisztára spekulatívok és tapasztalással vagy megfigyeléssel nem ellenőrizhetők.

8. *Összefoglaló kép a naprendszerről.* Mielőtt a világtér távolabbi részeibe merészkednénk, vessünk még egy rövid pillantást a naprendszert alkotó égitestekre. A Nap körül, mint középponti tömeg körül, nyolc nagyobb és 1000-nél több kis bolygó és ezeken kívül több üstökös kering. A Nap átmérője 1,391.000 km (109-szer akkora, mint a Földé), tömege pedig 333.430-szor akkora, mint a Föld tömege. Legnagyobb bolygó a Jupiter, melynek átmérője 11-szer, tömege 318-szor akkora, mint a Földé. Nagyság szerint sorakoznak azután Saturnus, Neptunus, Uranus, Föld, Venus, Mars és végül a legkisebb, Merkúr, melynek átmérője a Föld átmérőjének egyharmada, tömege pedig csak hat századrésze. A Naptól való távolság szerint a sorrend a következő: A Naphoz legközelebb kering Merkúr, közepes távolsága 58 millió km, keringésideje 88 nap; Venus 108 millió km, keringésideje 225 nap; Föld 149 millió km, keringésideje 365·256 nap; Mars 228 millió km, keringésideje 1 év 322 nap; Jupiter 778 millió km, keringésideje 11 év 315 nap; Saturnus 1428 millió km, keringésideje 29 év 167 nap; Uranus 2873 millió km, keringésideje 84 év hét nap; Neptunus 4501 millió km, keringésideje 164 év 280 nap. A naprendszer eddig ismert legszélsőbb bolygója mindössze 30-szor oly messze van a Naptól, mint a Föld. A kis bolygók a Mars és a Jupiter között keringenek.

Több bolygót holdak kísérik. A Földnek és Neptunusnak 1—1, Marsnak 2, Uranusnak 4, Jupiternek 9, Saturnusnak 10 holdját ismerjük. Saturnust azonkívül sajátos gyűrű veszi körül, mely porszerű tömegekből vagy meteórokból áll.

Huszonöt üstökösről biztosan tudjuk, hogy a naprend-

szer állandó tagjai. Közülük a *Halley*-féle üstökösnek van a legnagyobb keringésideje, 75 év és legnagyobb távolában 35-ször oly messze kerül a Naptól mint, a Föld. Sok üstökös a láthatóság rövid ideje után nem tért többé vissza, vagy mert pályája olyan nagy, hogy visszatérőket még nem érhattük meg, vagy mert elhagyta a naprendszert s a világtérben más csillagok felé vették útjukat; vagy az is lehetséges, hogy meteorókká foszlottak széjjel s megszűntek mint üstökösök létezni. Több üstökössel ez a meteorrajja való szertefoszlás a naprendszeren belül megtörtént; így például az 1862. III. üstökössel, melyből az augusztusi meteorraj, az úgynevezett Leonidák raja származik.

A meteorok, ezek a legparányibb égitestek, nagy számban keringenek a naprendszerben. A Földnek is sokszor közelébe jönnek s némelyek rá is esnek felületére, a kisebbek pedig a légkörben a nagy surlódás következtében elégnék. Különösen nagy számmal a Nap felületét kell hogy ériék a meteorok. *Mayer Róbert* velük akarta megmagyarázni a Nap energiakészletének kifogyhatatlanságát: a lehulló meteor mozgásenergiája hővé alakul át. Minthogy ismerjük azt az energia-mennyiséget, melyet a Nap kisugároz, kiszámíthatjuk azt a meteor mennyiséget is, melynek mozgásenergiája a kisugárzott energiát pótolni képes. Ma már tudjuk, hogy a pótlásnak ez a forrása nem elégséges. Ilyen meteorszerű vagy porformájú tömegek a világtérben is, úgy látszik, nevezetes szerepet játszanak s benne nagy mennyiségben vannak elszórva, amiről későbbben még lesz szó.

A Föld a naprendszer többi tagjai között nem tűnik ki sem tömegével, sem nagyságával. Jupiter tömege, amint említettük, 318-szor akkora, a Napé pedig még ennél is több mint ezerszer nagyobb. Jupiter térfogata 1380-szor, a Napé kerekén 1,300.000-szer foglalja magában a Föld térfogatát. Az egyetlen feltűnőbb tulajdonság

a Föld viszonylagosan nagy sűrűsége ; csak a Merkúr sűrűsége valamivel nagyobb, Venusé valamivel kisebb. A Mars sűrűsége a Földének kétharmada, a Saturnusé egynyolcada, a Napé és a többi bolygóké átlag egy-negyede. Úgy látszik, hogy a Föld távolsága a Naptól igen nagy, ha ezt a távolságot kilométerben fejezzük ki. De ha meggondoljuk, hogy a fény ezt az utat nyolc perc és húsz másodperc alatt futja be, míg a Neptunhoz négy óra és tíz perc alatt érkezik, akkor ez a távolság nem fog oly nagynak tűnni. S ha még hozzávesszük, hogy a legközelebbi állócsillagig a fény útja több mint négy évig tart, akkor még az egész naprendszer méretei is összezsugorodnak és megdöbbenően kezd kibontakozni lelki szemünk előtt a világtér nagyságáról való első sejtelmünk a saját parányi voltunkról való belátással együtt.

II. A NAP FIZIKAI ALKATA.

1. *A színeképelemzés.* Teljesen elsötétített szobába bocsássuk be a Nap fényét kicsiny, köralakú nyíláson át. Ha kellő távolságban fehér lapot tartunk a fénysugarak útjába, a papíron fényes kis korong fog látszani, mely nem egyéb, mint a Nap képe. Helyezzünk most a nyílás és a papírlap közé a fénysugarak útjába háromoldalú üveghasábót, prizmat, úgyhogy egyik éle fölül, egyik lapja alul legyen. Az előbbi fehér kis korong helyett a papírlapon elnyúlt, színes sávot fogunk látni, melyen fölül vörös, aztán sorjában narancssárga-, sárga-, zöld-, kék-, és ibolyaszínű részeket különböztethetünk meg. Ha az üveghasábót élével lefelé fordítjuk, a színek sorrendje fel fog cserélődni. Ez a színes sáv a Nap színeképe vagy spektruma. A fény elmélete szerint a színekép azáltal keletkezik, hogy az üveghasáb a Nap fényét szétszórta, felbontotta elemi részeire. Ez a szétszóródás vagy diszperzió onnét van, hogy a különböző színű fénysugarak csak a légüres térben, a vákuumban, például a csillagok közti világtérben terjednek tova egyenlő sebességgel, egyéb anyagokban azonban különböző sebességgel haladnak. A vákuumban a fénysugarak közös sebessége, amint már említettük, 300.000 km másodpercenként. A fény a sugarak mentén továbbterjedő rendkívül szapora rezgések következménye. A régebbi rugalmassági fényelmélet szerint az egész világtér betöltő éter rugalmas rezgései keltik a fényt, az újabb elektromágneses elmélet szerint a fény gyorsan váltakozó elektromos és mágneses

erők tovaterjedése. Az éter feltevésére az utóbbi elméletben is szükség van. A relativitástan azon fáradozott, hogy az éter fogalmát a fizika tudományából kiküszöbölje. De kitünt, hogy ez a fogalom nem nélkülözhető.

A rezgések külön-külön a fény terjedésirányára merőleges síkban, de ebben mindenféle irányban történnek. Az ilyenféle rezgéseket kereszt- vagy transzverzális rezgéseknek szokás nevezni. A fénysugárban minden másodperc alatt rendkívül nagyszámú rezgés megy végbe, a rezgésszám igen nagy. Ha fényterjedés sebességét elosztjuk a rezgésszámmal, megkapjuk a fény hullámhosszát ; vagy ha ismerjük a hullámhosszt, akkor ki tudjuk számítani a rezgésszámot. Rendkívül pontos mérésekkel a fizika meg tudta határozni a fény terjedésssebességét, megmérni az egyes színeknek megfelelő hullámhosszt és kiszámítani a rezgésszámot. Ezekből a mérésekből kitünt, hogy a vörös fény hullámhossza és rezgésszáma más, mint a zöld fényé, ezé ismét más, mint a sárga fényé és így tovább.

A hang is rezgéstünemény ; de ennél maguk az anyagrészecskék rezegnek, pl. a levegő részecskéi és terjedésssebessége sokszorta kisebb, mint a fényé, csak egyharmad km másodpercenként. Azonkívül a rezgések iránya itt összeesik a terjedésiránnyal s ezért a hanghullámokról azt mondjuk, hogy hossz- vagy longitudinális rezgések. A fül egyszerre több hangot meg tud különböztetni egymástól. A szemnek nincsen meg az a képessége ; hiszen a fehérnek látszó napfényben tulajdonképen sokféle szín van, melyeket az üveghasábbal választottunk el egymástól. Ez végzi el szemünk számára azt, amit a fül magától is el tud végezni : szétbontja a fényt elemi sugaraira. Mikor a fehér fény az üveghasábhöz ér, akadállyal találkozik, a fényhullámok megrövidülnek és pedig annál jobban, mennél nagyobb a rezgésszámuk. A rezgésszám maga válto-

zatlan marad, ellenben megváltozik a különböző fényhullámok sebessége s ez okozza a sugarak szétválását. A vörös fény rezgésszáma mintegy 450 billió, az ibolyaszínű fényé 730 billió másodpercenként. Az ibolyaszínű fény hullámai aránylag nagyobb mértékben rövidülnek meg az üvegben, mint a vörös fényé s így sebességük is kisebb lesz, mert a terjedésssebesség a rezgésszám és hullámhossz szorzata.

De nemcsak a napfény ad színeképet. Minden fényforrás, ha üvegprizmán át vizsgáljuk, spektrumot, színeképet szolgáltat. Ahogy eddig ezt az összefüggést vizsgáltuk, mely színekép és prizma között áll fenn, épúgy vizsgálhatjuk azt is, hogy miféle kapcsolat van a fényforrás és a színekép között. Ennek a kapcsolatnak fölfedezése *Kirchhoff* és *Bunsen* érdeme (1859). A mult századnak legjelentősebb tudományos ténye volt ez a fölfedezés, az ú. n. színeképelemzés vagy spektrálanalízis, mert segítségével betekintést nyertünk a világegyetem fizikai műhelyébe s lehetségessé vált, amit előbb a legmerészebb fantázia sem tudott volna elképzelni: távoli égitestek anyagi összetételének fölismerése, a rajtuk uralkodó hőmérséklet mérése, térbeli sebességüknek a látásvonal irányába eső részének egyszerű meghatározása s több más körülmény, mely nem remélt módon gazdagította az égitestekről s ezzel együtt a mindenség fölépítéséről való ismereteinket. Még a mult század negyvenes éveiben *Auguste Comte* az ő pozitívista filozófiájában azt a kijelentést tette, hogy a csillagokról, ezekről a távoli égitestekről, sohasem fogunk egyebet tudhatni, mint hogy fénylő tömegek, melyeknek az éggömbön elfoglalt látszó helyét nagy fáradsággal állapítja meg a csillagászat. De íme az exakt természettudomány mily hamar rácáfolt erre a pesszimista állításra. Hasonló eset ez ahhoz, mely egy másik filozófusnak, *Hegel*nek, ama kijelentésével történt, mely

szerint a naprendszerben az ő idejében ismert hét bolygónál több nem létezhetik; még kijelentése évében fedezték fel az első kisbolygót, melyet azóta több mint ezer követett, Neptunust nem is említve.

A világegyetem szerkezetének megismerését még két másik tudományos segédeszköz mozdította elő hatalmas módon. Az egyik a fényképezés felfedezése; a másik pedig a fotométria, a csillagról jövő fény erősségének pontos megmérhetése. A fényképezés vagy fotográfia megbecsülhetetlen szolgálatokat tesz az ég tudományának nemcsak azért, mert könnyen megrögzíti az ég egyes tájainak vagy tárgyainak képét, hanem különösen nélkülözhetetlen ott, hol az emberi szem megtagadja a szolgálatot. Például a Nap fénye oly erős, hogy az emberi szem számára elviselhetetlen. A fényképezőlemez azonban a másodpercnek kicsiny törtrésze alatt hű képet tud formálni ennek a hatalmas égitestnek izzó felületéről, mely képet azután kényelmesen megvizsgálhatunk. Viszont vannak oly objektumok az égen, pl. a ködfoltok, melyeknek fénye nagyon gyöngye és az emberi szem hiába törekszik ezeknek az égi képződményeknek finomabb részleteibe behatolni: elfárad s a kép elmosódik. A fényképlemezt azonban, alkalmas módon távcsőre erősítve, órákon át szegezhetem valamely ködfoltra. A lemez a fénybenyomásokat elfáradás nélkül mintegy összegyűjti, fölhalmozza s oly részleteket tár föl kutató szemünk előtt, melyek másképp örökre rejtve maradtak volna. Igaz, hogy ezek a fényképek híjával vannak a természetes színeknek. De a tudomány azon az úton van, hogy ezt a hiányt is kiküszöbölje, sok csillagászati fényképnél pedig a színeség nem is játszik szerepet.

Messze vezetne, ha a színeképelemzés részleteibe akaránk behatolni. Csak megemlítjük, hogy a spektrumot megfelelő műszerrel, a színeképelemzőkészülékkel vagy

spektroszkóppal állítjuk elő. A fényforrásból érkező fény az ú. n. kollimátorcsőbe finoman szabályozható résen át érkezik. A kollimátorból a prizmán át megy a fény s alkalmas módon elhelyezett kis távcsőben a színek jelenik meg a szemlélő előtt. A kollimátorba egyszerre két különböző fényforrásból lehet fényt bocsátani s így a keletkezett színeképeket egymással össze lehet hasonlítani. Egy harmadik cső végén finom mérőskála van, melynek képe a színekkel egyszerre jelenik meg a látómezőben. Csillagok színeképeinek megfigyelésére a készüléket a csillagászati távcsőre kell alkalmazni. Fontos az, hogy a színeképet le is lehet fényképezni. Az erre alkalmas készüléket spektrográfnak nevezzük.

A tapasztalat azt igazolja, hogy minden kémiai elemnek, ha alkalmas módon izzásba hozzuk, más és más a színeképe. A megvizsgálandó anyagokat világítótá tehetjük azáltal, hogy pl. gázlángban elégetjük (Bunsen-égő) vagy elektromos úton kényszerítjük arra, hogy fényt bocsásson ki. Így a gázokat (pl. oxigén, hidrogén stb.) ú. n. Geissler-féle csőbe zárjuk és elektromos kisülésekkel tesszük világítótá. De a színekép nemcsak az anyag minőségétől függ, hanem attól is, hogy milyen halmazállapotban van. Ha spektroszkópon át megfigyeljük izzó szilárd vagy folyékony test színeképet, azt fogjuk tapasztalni, hogy színeképében a vöröstől az ibolyáig ugyanazok a színek vannak jelen, melyeket első egyszerű kísérletünknel a Nap színeképében nyertünk. Azt is láthatjuk, hogy a színek minden hézag nélkül sorakoznak egymás mellé, hogy a színekép, amint mondani szoktuk, folytonos. Bárminő kémiai összetételű, izzó állapotban levő, szilárd vagy folyékony test színeképe folytonos és csak az egyes színek erősségében különbözik. Ebből következik a színeképelemzés első elve, mely szerint valamely saját fénnel világító test,

mely a spektroszkópban folytonos színeképet mutat, okvetlenül szilárd vagy folyékony halmazállapotban van ; hogy milyen kémiai elemek alkotják ezt a testet, azt nem lehet felismerni.

Azonban teljesen másképen viselkednek az izzó állapotban levő gőzök és gázok. Ezeknek színeképe nem folytonos, hanem színes sávokból vagy vonalakból áll, melyeket sötét közök választanak el egymástól. Ezek a sávok és vonalak minden anyagnál mások, de egy és ugyanazon anyagnál mindig ugyanazok, úgyhogy a színeképből teljes biztossággal föl lehet ismerni az anyagot, melytől a színekép származik. Ezekből a tapasztalatokból viszont következik a színeképelemzés második elve : ha valamely világítótest színeképe sávokból vagy vonalakból áll, akkor ez a test gázállapotban van ; a gáz kémiai minémiségét kétséget kizáró módon lehet megállapítani a sávok vagy vonalak számából és elhelyezkedéséből. Ez az elhelyezkedés ugyanazon anyagnál mindig ugyanaz, ennek megmérésére szolgál az előbb említett mérőskála. Azokat a színeképeket, melyek egyenesen az izzó szilárd testtől vagy gáztól származnak, kibocsátási vagy emissziós színeképeknek nevezzük.

De lehetséges az is, hogy valamely izzó szilárd testet bizonyos gáznak vagy gázoknak rétege veszi körül, úgyhogy a fénynek előbb ezen a burkolaton kell áthaladnia, mielőtt a spektroszkópba juthatna. *Kirchhoff* azt a nagyhorderejű tényt állapította meg, hogyha ennek a gáznak hőmérséklete alacsonyabb, mint az izzó szilárd testé, akkor a gáz elnyeli éppen azokat a sugarakat, amelyeket kibocsát, ha maga világít és ennél fogva a színeképben a gázt jellemző színes vonalak helyén fekete vonalak lépnek föl, melyek természetesen az elnyelő gázra éppolyan jellemzőek. Ha ellenben a gáz hőmérséklete magasabb, mint az általa beburkolt szilárd testé, akkor a színekép folytonos ugyan, de a gázt jellemző

különálló vonalak fényesebben tűnnek elő. Ebből következik, hogyha valamely test folytonos színeképet mutat sötét vonalakkal — úgynevezett elnyelési vagy abszorpciós színeképet, — akkor a test izzó, szilárd vagy folyékony magból áll, mely nálánál alacsonyabb hőmérsékletű gázburkolattal van körülvéve. A gázburkolat kémiai természetét a sötét vonalakból kétséget kizáró módon lehet megállapítani. Ha a folytonos színeképben egyes különálló, fényes vonalak lépnek fel, akkor az izzó, szilárd magot magasabb hőmérsékletű gáz veszi körül, melynek természetét a fényes vonalak számából és helyzetéből lehet megállapítani. Az összetett gázoknak is megvan a maguk jellemző színeképük, ha annál a hőmérsékletnél, amelynél világítanak, nem bomlottak szét elemi alkotrészeikre, ha nincsenek disszociálva. Ha ellenben a gáz disszociált állapotban van, akkor minden alkotórész a maga külön színeképét mutatja. Ha világító test színeképében a fényes vagy sötét vonalak szélesek és elmosódottak, akkor a gázréteg vagy rendkívül magas hőmérsékletű vagy igen magas nyomás alatt áll, vagy pedig a gázréteg igen vastag s az is lehetséges, hogy ezen okok közül kettő vagy valamennyi egyszerre működik közre.

2. *A Nap fizikája.* Kirchhoff ezeket az elveket vagy törvényeket úgy kísérleti, mint elméleti úton szigorúan igazolta s azonnal a Nap színeképére alkalmazta. A Nap színeképében, ha eléggé keskeny réssel állítjuk elő, látszanak ilyen fekete vonalak, minőket az imént említettünk. Ezeket már Wollaston vette észre (1802), ki először alkalmazta a kerek nyílás helyett a finom rést a Nap spektrumának előállításánál. Ő azonban nem méltatta behatóbb figyelemre ezeket a vonalakat. Ezt Fraunhofer tette, ki néhány fényesebb csillag színeképét is előállította, s észrevette, hogy a fellépő fekete vonalak ugyanannál a csillagnál mindig ugyanazt a helyzetet

foglalják el. Ezért nevezik ezeket az égitestek színképében jelentkező fekete vonalakat *Fraunhofer*-féle vonalaknak; ő tőle származik egyes feltűnőbb vonalaknak betűkkel való jelzése. *Kirchhoff* a Nap színképéből következtette, hogy a Nap folyékony vagy szilárd, igen magas hőmérsékletű magból áll, melyet valamivel alacsonyabb hőmérsékletű gázréteg, atmoszféra vesz körül. A Nap magját alkotó izzó, folyékony vagy szilárd test felülete az ú. n. fotoszféra az, mely felénk és a világűrbe szórja sugarait. Ha ennek színképét az őt körülvevő abszorbeáló gázréteg, az ú. n. kromoszféra nélkül tudnók előállítani, akkor folytonos színképet kapnánk. Azonban a kromoszféra elnyeli a fotoszféra némely sugarait, még pedig a *Kirchhoff*-féle törvény alapján ép azokat, melyeket megfelelő hőmérsékleten maga is kibocsát. Az ekként előálló *Fraunhofer*-féle vonalak összehasonlítása különböző kémiai elemeknek a laboratóriumban előállított színképével kiderítette, hogy a Napon számos földi elem van jelen izzó gázállapotban, így pl. a vas, kalcium, kálium, nátrium, hidrogén, oxigén, aluminium stb. Sőt van olyan elem is, melynek létezését a Napon a színkép segítségével előbb lehetett kimutatni, a Földön pedig csak utóbb találták meg; ilyen pl. a hélium és a scandium.

Viszont van több olyan földi elem, melynek előfordulása a Napon a színképből eddig még nem volt megállapítható; ilyen pl. az arany, foszfór, kén és mások. Ez nem azt jelenti, hogy ezek az anyagok egyáltalán nincsenek jelen a Napban; mert lehet, hogy megfelelő vonalaik a színképben nagyon gyöngék vagy elmosódottak.

Ha igaz *Kirchhoff* törvénye, akkor a Nap színképében a *Fraunhofer*-féle sötét vonalak helyett fényes, színes vonalakat kellene látnunk abban az esetben, ha a kromoszférát magában tudnók észlelni. Ez csakugyan

lehetséges teljes napfogyatkozások alkalmával, mikor a köztünk és a Nap között elvonuló Hold a Napot eltakarja. Közvetlenül a teljes fogyatkozás előtt a Nap peremének kis része marad rövid ideig látható, mely közvetlenül a fotoszféra fölött helyezkedik el. Mikor 1870-ben *Young* először irányította készülékét a Holdtól eltakart Nap e részére, a színeknek fekete vonalai hirtelen erős fényben felvillantak. *Kirchhoff* törvényének ez a legszebb igazolása. Rövid tartama miatt ezt a színeképet az angolok flash-spektrumnak (villámszínkép) nevezték el. Ezt a színeképet újabban sikerült le is fényképezni. A flash-spektrum a kromoszféra alsóbb, a fotoszférával határos részéből származik, melyet ezért megfordító rétegnek neveznek. Ennek vastagsága mintegy 1000 km.

A kromoszféra behatóbb vizsgálata azt mutatta, hogy vannak anyagok, melyek az egész kromoszférában minden magasságban léteznek, így pl. a kalcium, a hidrogén és hélium. Mások jelenléte csak a kromoszféra legalsóbb, megfordító rétegéhez van kötve, mint pl. a karbónium és a mangáné.

Napfogyatkozások alkalmával két tünetemény ragadja meg az észlelő figyelmét. Az egyik a Napból kilövellő, rózsaszínű lángok, az ú. n. protuberanciák és az egész Napot körülvevő, gyöngye ezüstösfényű sugárkoszorú, az ú. n. korona. A protuberanciákról először 1868-ban *Janssen* mutatta ki, hogy színeképük az izzó hidrogén egyszerű, fényes vonalaiból áll. A protuberanciák tehát óriási nagyságú, izzó hidrogén erupciók, melyek nagy sebességgel óriási magasságra emelkednek a kromoszféra fölé. Átlagos magasságuk 30.000—40.000 km, de észleltek olyat is, melynek magassága 450.000 km-t is túlhaladott. A kromoszféra vastagsága 7000 és 11.000 km között ingadozik. A protuberenciákat a spektroszkóp segítségével bármikor láthatóvá is lehet tenni, úgyhogy

alakjuk tanulmányozása nincsen most már az aránylag ritka napfogyatkozásokhoz kötve.

A korona külső részei a közönséges Nap-színkép *Fraunhofer*-féle vonalait mutatják, ami amellett szól, hogy ez a Nap visszavert fénye. A korona belső, a Naphoz közelebb eső részében folytonos színkép lép fel, aminő szilárd, izzó testtől származik. Azonkívül még jellemző emissziós színkép is látható, zöld színképvonallal, melynek eredetét még nem ismerjük, mert semmiféle földi anyag színképében nem fordul elő. A korona színképvonalaiából arra is lehetett következtetni, hogy az őt alkotó gázok erős mozgásban vannak, melynek sebessége helyenként a 200 km-t is elérte. A koronát eddig csak napfogyatkozás alkalmával sikerült észlelni. Ellenben a kromoszféra jelenségeit a *Hale* és *Deslandrestől* szerkesztett spektrohéliográf segítségével bármikor lehet egyszínű, monokromatikus fényben lefotografálni. A Nap képét távcső vetíti színképelemzőkészülék részére. Ott, ahol a színkép a fényképezőlemez éri, második rést alkalmazunk, mely a színképnek csak kicsiny, egyszínű részét engedi a lemezre. A spektrohéliográf elrendezése most abban áll, hogy a Nap képét elvonultatja az első rés előtt és egyidejűleg a második rést a lemez előtt. Ilyen felvételre különösen alkalmasak a *Fraunhofer*-féle *H* és *K* vonalak, melyek a kalciumtól származnak. Minél erősebben világít valahol a kromoszférában a kalciumgőz, annál fényesebbek ezek a vonalak és annál világosabb a képük a spektrohéliogrammban. Ilymódon tanulmányozni tudjuk a kalciumgőz eloszlását a Nap felületén. Más vonalak is alkalmasak spektrohéliogrammok előállítására. Így különösen a hidrogéntől származó szép vörös *H α* vonal.

Távcsőben szemlélve, vagy jó fényképen a Nap felülete nem mutatkozik egyenletesen fényesnek, hanem olyan, mintha számtalan pehellyel, szemcsével volna borítva. Ebben a szemcsés felületben egyes különösen fényes,

nagyobb helyek, ú. n. fáklyák láthatók. Azonkívül időnként sötét, kisebb-nagyobb foltok lépnek fel, az ú. n. napfoltok, melyeket már *Galilei* s vele egyidejűleg *Scheiner* jezsuita s mások észleltek. Nem célunk, hogy felsoroljuk azt a sokféle s sokszor egymásnak ellenmondó nézetet a napfoltok mivoltáról. Csak az újabb eredményeket említjük meg röviden, melyeket a spektrohéliográffal és a színképelemzőkészülékkel sikerült elérni.

Hale nek a hidrogén *H α* vonalával készített spektrohéliogramjai a Nap felületének sok helyén, különösen a napfoltokban örvényszerű mozgást árulnak el. A forgás iránya az örvényekben nem tüntet fel határozott törvényszerűséget, mert sokszor két közvetlenül egymás mellett lévő örvényben a forgás vagy áramlás iránya ellenkező. Számos esetben ezek az örvények nagy erővel hatnak a körülöttük lévő gáztömegekre. *Hale* 1908-ban pl. nagy hidrogénpehelyt észlelt, melyet a közelében lévő folt örvénye rövid idő alatt teljesen elnyelt, miközben egyes részek 140 km-es sebességet is mutattak.

1896-ban *Zeeman* kísérleti úton megmutatta, hogy erős mágneses tér hatása alatt világító láng szín képeinek egyes vonalai két vagy három vonalra oszlanak, aszerint, amint a mágneses erővonalak irányában, vagy azokra merőlegesen észlelünk. Ezekben a széthasadt színképvonalakban a fény sarkítva vagy polározva van. A poláros fénynek a közönséges fénytől némileg eltérő tulajdonságai vannak. A közönséges fény pl. tükrörről visszaverődik, bármely irányban is éri, a poláros fény ellenben némely irányban egyáltalában nem verődik vissza. Ezt úgy lehet magyarázni, hogy a közönséges fényben a transzverzális rezgések a terjedés irányára merőlegesen ugyan, de mindenféle irányban mennek végbe, míg a poláros félynél csak egy rezgésirány maradt meg, a fény úgyszólván meg van szitálva. Van olyan poláros fény, melynél csak bizonyos irányú egyenesvonalú rezgések maradtak meg,

de van olyan is, melynél csupa köralakú rezgés létezik. Az előbbi lineárisan, a másikat cirkulárisan vagy körösen polározott fénynek szokás nevezni. *Zeeman* kimutatta, hogy a kettéhasadt színeképvonalban a két vonal cirkulárisan és ellentétten van polározva. A háromra hasadt vonalban mind a három vonal lineárisan polározott. De míg a középső vonalnál a polározás síkja a mágneses erővonalakra merőleges, addig a két külső vonalnál velük párhuzamos.

Több körülmény arra enged következtetni, hogy a Nap felületén lévő gázok elektromos jelenségek színtere. Ilyféle elektromos gázok örvénye azonban egyértelmű az örvényben keringő elektromos árammal. Ilyen áram pedig szükségszerűen mágneses tért létesít maga körül, melynek erővonalai nagyjából párhuzamosak az örvény tengelyével.

Ebből kiindulva *Hale* megkísérelte, hogy a napfoltok színeképeiben az említett *Zeeman*-effektust s ezzel a Napon a mágnesség létezését kimutassa. Számos nehézség leküzdése után a vastól és titániumtól származó néhány vonalon csakugyan észlelhette ezt a jelenséget. Ha a napfolt a Nap korongjának közepén tartózkodott, úgy hogy a távcső iránya az örvény tengelyének irányába esett, akkor kettéhasadt színeképvonalak látszottak, ellenben háromra szakadt vonalak mutatkoztak, mikor a folt a Nap forgása következtében a Nap szélére került, amikor a látás iránya merőleges az örvény tengelyére. Ellentétes forgású örvényeknél a polárosság megfordítását is lehetett megállapítani. Ezekből a vizsgálatokból kiderült, hogy a Nap, hasonlóan a Földhöz, úgy viselkedik, mint valamely mágneses gömb. Azt is meg lehetett állapítani, hogy a mágneses tengely a Nap forgástengelyével nem esik össze, hanem vele mintegy hat foknyi szöget alkot és $35\frac{1}{2}$ nap alatt egyszer megfordul körülötte.

3. A Nap tengelykörüli forgása. *Doppler-Fizeau* elve.

Már az első észlelők észrevették, hogy a napfoltok szabályos időközben jelennek meg a Nap egyik peremén és tűnnek el a másikon. Ennek oka az, hogy a Nap tengelye körül forog. A rotáció ideje kerekén $25\frac{1}{2}$ nap és a Nap forgástengelye $7\frac{1}{2}$ foknyi szöggel hajlik az ekliptika tengelyéhez. A rotáció időtartama azonban nem egységes. A Nap ekvátorában lévő foltokból 25, a 35° -nyi szélességben lévő foltokból pedig 27 napos forgásidő adódik. Eszerint a Nap nem úgy forog, mint más, szilárd anyagból álló bolygó, pl. a Föld. A napfoltok leginkább az ekvátor közelében lépnek fel és 40° -nál nagyobb távolságban tőle csak a legritkább esetben mutatkoznak. De van mód, mely lehetővé teszi, hogy a Nap rotációját bármely szélesség alatt megmérhessük. Ezt a lehetőséget ismét a színeképelemzés nyújtja. Ennek segítségével megmérhetjük, hogy valamely fényforrás mekkora sebességgel közeledik felénk vagy távolodik tőlünk a látásvonal irányában.

Tegyük fel, hogy változatlanul egy helyben maradva, tőlünk bizonyos távolságban szilárdan megerősített fényforrást, pl. elektromos lámpát szemlélünk. Egy másodperc alatt a lámpából bizonyos számú fényhullám indul ki. Bizonyos idő múlva az első s ezután egy másodperccel az utolsó hullám éri szemünket. Tegyük most fel, hogy mialatt mi továbbra is egy helyben maradunk, a fényforrás gyorsan távolodik tőlünk. Az első fényhullám útja ekkor rövidebb lesz, mint az utolsóé. Ez a hullám ennél fogva nem érkezik szemünkbe egy másodperc múlva, mint előzőleg a nyugvó fényforrásnál. Ezért most kevesebb hullám ér bennünket, bár a fényforrás egy másodperc alatt most is ugyanannyi hullámot bocsát útnak, mint az előző esetben. A fényforrás távolodása tehát a rezgésszám csökkenését vonja maga után. De ha a rezgésszám kisebbedik, akkor a hullámhossz okvetlenül nagyobbodik, amint már kifejtettük. Ha egyszínű fényforrással

volna dolgunk, a nyugvó állapotban ibolyaszínűnek látszó fényforrás, ha elég nagy sebességgel távolodik tőlünk, kékesszínűnek látszanék, a zöld fényforrás sárgásnak és így tovább. De ez az eltolódás nemcsak a látható sugarakkal történik.

A látható fényhullámokon kívül ugyanis a fényforrásból más hullámok is indulnak ki, melyeket szemünk nem érez meg, de melyeknek létezését a színekben ki lehet mutatni. Ha a színeképet lefényképezzük, a fotográfia még az ibolyán túl is folytatódik. Szemünk a színeképek ezt a részét nem látja, de annál erősebben megérzi a fényképező lemez. Ezeket a kémiailag erősen ható sugarakat nevezzük ibolyántúli sugaraknak. Hullámhosszuk az ibolyától kezdve fokozatosan kisebbedik. Ha a színeképen érzékeny hőmérőműszert, pl. bolométert vezetünk végig, akkor a műszer az ibolyától kezdve a vörös szín felé folytonos hőemelkedést mutat. A látható színeképek a vörös résszel végeszakad. A bolométer azonban a vöröson túl is mutat még hőemelkedést, sőt a hőemelkedés a vöröson túl éri el legnagyobb magasságát. Az ekként kimutatott láthatatlan sugarak az ultravörös vagy vörösöntúli sugarak ; hullámhosszuk nagyobb, mint a vöröse.

Mikor fehér fényforrás gyorsan távolodik tőlünk, valamennyi fényhullám megnyúlik, láthatók és láthatatlanok egyaránt. Ezért a vörös fény hullámai láthatatlan ultravörös, a láthatatlan ultraviola sugarak pedig a látható ibolyaszínű fény hullámaivá változnak. A látható fény tehát összességében változatlanul megmarad, a fényérzet nem változik. De mi történik, ha a spektroszkópban egyszerre állítom elő valamely tölem gyorsan távolodó fényforrásnak, pl. égitestnek és nyugvó fényforrásnak, pl. *Bunsen*-lángban eléggő nátriumnak a színeképet? Tegyük fel, hogy a csillag színeképeben is fellép a nátrium jellemző sárga vonala vagy a megfelelő *Fraunhofer*-féle vonal. Ha a csillag a spektroszkóphoz képest nem mozog, azaz

nem távolodik tőle, sem nem közeledik feléje, akkor az ő nátriumvonalának össze kellene esnie a *Bunsen-égő*vel előállított nátriumvonallal. De ha a csillag távolodik tőlünk, nátriumvonala kissé eltolódik a színekép vörös vége felé s ha az égitest közeledik felénk, akkor az a vonal a színekép ibolyaszínű része felé húzódik. Minél nagyobb sebességgel távolodik vagy közeledik az égitest, annál nagyobb ez az eltolódás, úgyhogy az eltolódás nagyságából ezt a sebességet ki lehet számítani. A színeképtolódásnak ezt a törvényszerűségét mondja ki az ú. n. *Doppler — Fizeau-féle* elv, melyet az imént kifejtettünk.

Mikor a Nap tengelye körül forog, egyik pereme felénk közeledő, másik pereme pedig tőlünk távolodó mozgást végez. Az előbbi elv alapján ennek a mozgásnak a színeképben a színeképvonalak eltolódásával kell kifejezésre jutnia. A felénk forduló (keleti) perem színeképében a Fraunhofer-féle vonalak a laboratóriumi színeképhez képest az ibolya felé kell hogy eltolódjanak, az ellenkező peremen pedig a vörös felé. Számos ilyen mérést eszközöltek a színeképnek sokféle vonalával. A megfordító rétegen végzett megfigyelések az ekvátoron 25·2 napnyi forgásidőt adtak, mely a sarkok felé folyton növekszik és 80°-nyi szélességben már 33·7 napot tesz ki. A kalciumvonalak szintén adtak valamelyes növekedést a nagyobb szélességek alatt, de kisebbet, mint a napfoltok. A hidrogén $H\alpha$ vonala ellenben nem mutatott növekedést a forgásidő tartamában. Ennek magyarázatára feltételezzük, hogy ezek a vonalak különböző magasságokban keletkeznek s hogy a hozzájuk tartozó kalcium-, hidrogénstb. rétegeknek különböző a forgássebességük.

4. *A Nap fényessége, hőmérséklete és energiakészlete.* A csillagos ég felületes szemlélete is már meggyőző arról, hogy vannak fényesebb, feltűnőbb csillagok és vannak olyanok, melyek szabad szemmel alig észrevehetőek. Már

az ókorban osztályozták a csillagokat látszó fényességük szerint és nagyságrendekbe sorozták ; a legfényesebbeket első nagyságrendűnek nevezték, a valamivel kevésbé fényeseket másodrendűnek és így tovább, míg a szabad szemmel épen még láthatókat hatodrendűnek mondták. Szabad szemmel látható csillag mintegy 6000 van szét-szórva az egész éggömbön.

A távcső főtálálása nagyban növelte a látható csillagok számát és természetesen szaporította a szükséges nagyságrendszámokat is, mert mennél tökéletesebb lett a távcső, annál fénygyöngébb csillagokat lehetett meg-láttni, úgy hogy ma már elértük a huszadik nagyság-rendet. A távcső feltalálása előtt pusztá szemmel becsül-ték a nagyságrendet s ez a legrégibb és legprimitívabb kísérlet a csillagok fizikai megismerésében. Pontosabb adatokat megfelelő műszerrel, a fotométerrel, lehet elérni. A fényképezés is fontos segédeszköz a csillagok fotográfiai nagyságrendjének megállapításánál. Minthogy a foto-gráflemez különösen a kék és ibolyántúli sugarak iránt érzékeny, az emberi szem pedig a sárga és vörös sugarak iránt, azért a vizuális fotométeriai és fotográfiai, foto-méteriai nagyságrend között különbség van, melyet szín-indexnek neveznek.

A fotométeria maga után vonta a nagyságrendek pon-tosabb és szigorúbb meghatározását. Mint minden skála, úgy ez a nagyságskála is alapjában önkényes. A régi nagyságrendszer szerint Sirius, Vega, Altair és Deneb különbség nélkül mint elsőrendű csillagok szerepeltek. A modern skála úgy van alkotva, hogy a régi első nagyságrend közepes értékét vesszük első nagyság-rendnek. Akkor a régi elsőrendű csillagok között van-nak elsőrendűnél fényesebb csillagok is, melyeket 0 (zérus) vagy negatív számokkal kell következetesen jelezni. Így a Sirius nagyságrendje -1.6 , Vegáé 0.1 , Altairé 0.9 , Denebé 1.3 s. í. t. Ilymódon a Nap fényes-

ségének nagyságrendjét is meg lehetett állapítani, amely —26.72-nek adódott. Ez annyit jelent, hogy a Földről, tehát nagy közelségből szemlélve látszik a Nap ilyen fényességűnek. De természetes, ha el tudnók hagyni a Földet és eltávolzni a világtér távolabb részeibe, akkor mennél messzebbre távolodnánk a Naptól, annál kisebbnek látnók. Viszont más csillagok fényesebbnek és nagyobbak tűnnének, mennél közelebb jutnánk hozzájuk. Hogy a különböző távolságban levő csillagok fényét is összehasonlíthassuk és így fogalmat alkothassunk magunknak fényességük valódi viszonylagos nagyságáról, elképzeljük, hogy a csillagokat mind ugyanabba a távolságba helyezzük tőlünk és így mérjük meg fényességüket. Ez a távolság megfelel körülbelül a Capella-csillag (α Aurigae) távolságának. Nagy számok elkerülése végett a csillagok távolságát fényévekben, vagy a parallaxis nagyságával, vagy parszekkel szokás kifejezni. Fényév a fénytől egy év alatt befutott út hossza, a fény sebességét 300.000 km-nek véve másodpercenként. Egy fényév tehát annyiszor 300.000 km, ahány másodperc egy évben van; ez kitesz 9,467.000.000.000 (9 billió 467 ezermillió) km-t. Csillag parallaxisa az a szög, mely alatt a Nap—Föld-távolság az illető csillagról látszik; ez rendesen igen kicsiny, 1'' ívmásodpercnél kisebb. Egy parszek az a távolság, melyből a Nap—Föld-távolság éppen 1''-nek látszanék: ez a a Nap—Föld-távolság 206.265-szerese és megfelel 3.26 fényévnek.

Képzeljünk valamely csillagot 10 parszeknyi (0.1'' parallaxis vagy 32.6 fényév) távolságban elhelyezve tőlünk. (Ez a Capella távolsága.) Az így látott fényessége az ú. n. abszolút fényesség. Ha tekintetbe vesszük, hogy a fényesség a távolság négyzetével fordítva arányos, akkor kiszámíthatjuk a Nap abszolút fényességét is. Az eredmény azt mutatja, hogy a Nap csak 4.85

nagyságrendű csillagnak látszik a Capella távolságából szemlélve, míg a Capella nagyságrendje 0.25; ez más szóval annyit is jelent, hogy ha a Napot a Capella mellé helyeznők, a Nap majdnem 70-szer gyöngébb fényűnek látszanék, mint a Capella. A mi mindent életető Napunk, melyet valamikor a világ középpontjának képzeltek, eszerint nagyon szerény helyet foglal el a csillagok rendjében. A Capella színe képe hasonlít a Napéhoz és így fizikai alkatuk valószínűleg hasonló és így felületük fényessége egyformának vehető. Ebből következik, hogy a Capella átmérője 8.3-szor nagyobb, mint a Napé, térfogata pedig 572-szer akkora. De vannak csillagok, melyek még ennél is sokszorta nagyobbak, amint még látni fogjuk.

Önkénytelenül is az a kérdés merül fel, hogy mekkora hőmérséklet uralkodhatik a Napon. Erre is tudunk többféle módot, hogy meghatározhassuk. De meg kell jegyeznünk, hogy természetesen csak annak a rétegnek hőmérsékletéről lehet szó, melyből felénk sugároz fény és hő. Ebben a rétegben, amint láttuk, sokféle anyag van jelen. Minden anyag sugárzóképesége azonban más és más s még a hőmérséklettel is változik. Amíg tehát nem tudjuk egész határozottsággal, hogy a fotoszféra milyen arányban van összetéve a különböző anyagokból, nem lehet szó a hőmérséklet exakt meghatározásáról. De a Nap sugárzásából meg lehet állapítani azt a hőmérsékletet, melynek ott uralkodnia kellene, ha a sugárzó felület ú. n. abszolút fekete test felülete volna. Abszolút fekete test mindenféle sugárzást teljesen elnyel. A korom pl. nagyon megközelíti ezt a testet, bár a valóságban illet nem ismerünk. Az abszolút fekete test sugárzására *Kirchhoff*, *Stefan*, *Boltzmann*, *Planck* és *Wien* állítottak fel törvényeket, melyek összefüggést létesítenek a kisugárzott energia és a fekete test hőmérséklete között. A Nap kisugárzott energiáját

meg tudjuk mérni s ennél fogva az említett törvények alapján meg tudjuk mondani a hőmérsékletet is, mely a Napon uralkodnék, ha fekete test volna. Ezt a hőmérsékletet effektív hőmérsékletnek nevezzük.

A Nap kisugárzott összenergiáját grammkalóriában szokás mérni. Grammkalória az a hőmennyiség, mely szükséges ahhoz, hogy egy gramm víz hőmérsékletét $14\frac{1}{2}$ Celsius fokról $15\frac{1}{2}$ fokra emelje. Ezt a hőmennyiséget munkává lehet átalakítani, vagy más szóval, a grammkalória bizonyos energiamennyiséget képvisel, melyet pontosan ismerünk. Egy grammkalória munkaértéke 0.427 méterkilogramm (vagy 4.186 joule), a Napösszsugárzását aktinométerrel vagy pyrhéliométerrel, egyes sugarak intenzitását spektroszkóppal és nagyon érzékeny hőmérőeszközzel, bolométerrel lehet mérni. Ezek a mérések azt mutatják, hogy a Nap sugárzása 2 grammkalóriát tesz ki percenként egy négyszögcentiméterre. Ez az ú. n. szoláris állandó. Ennél tekintetbe van véve a földi légkör hatása, mely abban nyilvánul, hogy a sugárzás egy részét elnyeli. A szoláris állandónak említett értékéből következik, hogy a Nap sugárzó rétegének effektív hőmérséklete 6000 fok Celsius. Ha tekintetbe vesszük, hogy a sugárzás a Napon is előbb áthatol az őt körülvevő atmoszférán, amely belőle egy részt elnyel, akkor a szoláris állandót valamivel nagyobb-nak kell vennünk, körülbelül 3.3 grammkalóriának. Az ennek megfelelő hőmérséklet 6500 fok, melyet nagy valószínűséggel tekinthetünk a fotoszféra közepes hőmérsékletének. A spektroszkópikus mérési módszerek azonos eredményre vezettek. Ezzel egyszerre vége szakadt a régebbi többé-kevésbé fantasztikus becsléseknek, melyek 1600 és $10,000,000$ fok Celsius között ingadoztak. Meg kell jegyeznünk, hogy az effektív hőmérséklet alsó határt jelent, amelynél alacsonyabb nem lehet a Nap sugárzó rétegének hőmérséklete. Másrészt

azt is tudjuk, hogy 10.000 foknál nagyobb sem lehet. A Nap effektív hőmérséklete magas ugyan, tekintve, hogy még nemrég 3700—4000 fok volt a legnagyobb hőmérséklet, melyet földi hőforrásnál ismertünk (ívlámpa). Ujabban *Lummer*nek sikerült nagy nyomás alatt álló levegőben égő ívlámpával 6000 foknál magasabb hőmérsékletet is előállítani. A Nap effektív hőmérséklete nem vonatkozik a Nap belsejében uralkodó hőfokra, melyekre csak közvetve tudunk következtetni.

A Nap folyton sugároz energiát a világtér minden irányába. Ezt az energiát az előbbiek alapján kiszámíthatjuk. Azt találjuk, hogy a Nap évenként 2900 kvintillió (29 és utána 32 zérus) grammkalória energiát sugároz ki (= 1238 kvintillió méterkilogramm). Ha a Nap egész tömegében vízből állana, akkor ezen sugárzás következtében hőmérsékletének évenként $1\frac{1}{2}$ fokkal kellene csökkennie. Ez már történelmi idők folyamán is oly nagy különbséget vonna maga után, mely nem kerülhetne volna el a megfigyelést. Ennélfogva bizonyos, hogy vannak energiaforrások, melyek a Nap energiaszükségét részben vagy legnagyobb részben pótolják. Vagy kívülről kerül valami módon energia a Napba, mely megakadályozza úgy az energiakészletnek, mint a hőmérsékletnek csökkenését, vagy pedig olyan belső folyamatok léteznek a Napon, melyek a hőmérsékletet nagyjából fenntartják, anélkül, hogy a kisugárzott energiát ismét pótolnák, ami azt jelenti, hogy a kiegyenlítés folyamata csak korlátolt ideig tarthat s egyszer mindenesetre megszűnik.

Külső energiapótlásnál gondolni lehetne pl. a többi csillagokra, amelyek épen úgy, mint a Nap, állandóan energiát sugároznak ki magukból. Ennek a sugárzásnak a Föld is ki van téve, s minthogy itt teljesen észrevehetetlen a hatása, a Napon sem jöhet számba, mint

energiaforrás. Másik külső energiaforrásként szóba jöhetnek a Napba zuhanó meteorok. Ezek nagy sebességük következtében számbavehető mozgási energiát képviselnek, dacára kicsiny tömegüknek. Könnyen ki lehet számítani, hogy a föntebb említett évi energiavesztés helyreállana, ha évenként 60 trillió tonna tömegű meteor hullana a Napba 600 km-es sebességgel. Ezáltal a Nap jelenlegi tömegének egymilliomod részével növekednék meg évente, aminek az lenne a következménye, hogy a Föld keringésideje, az év hossza egy másodperccel rövidülne minden évben, ami a megfigyelések alapján teljesen ki van zárva. Ha rövidülés történik, úgy az nem lehet egy fél másodpercet egy évszázadban.

Ebből következik, hogy a Nap energiavesztésének pótlása kívülről nem történhetik észrevehető mértékben. De az is bizonyos, hogy az elmúlt közeli évezredek folyamán a Nap hőmérséklete nem változott észrevehető módon. Azért már *Helmholtz* belső energiapótló folyamatokra gondolt. Ilyen folyamat szerinte a Nap összehúzódása a lehülés következtében. Valamely gázalakú test, miközben hőt sugároz kifelé, összehúzódik. Ez a térfogatcsökkenés hőemelkedést von maga után, mert tömegeknek a középpont felé való lassú esésnek vehető. Ha *Laplace*-szal föltesszük, hogy a naprendszer izzó ködből alakult, akkor ennek a ködnek az összehúzódása a naprendszer szélső határaitól a Nap mai térfogatáig 22 millió esztendőre pótolja a sugárzás folytán előálló veszteséget. Ez a látszólag nagy időköz azonban még a földi geológiai kialakulások időtartamához mérten is nagyon kicsiny, nem is szólva arról, hogy az összehúzódás folyamata még a geológiainál is sok milliószorta nagyobb időt igényel.

A rádiumon észlelt jelenségek révén némelyek a Nap energiaforrását ebben az elemben vélték fellelni. *Curie* és *Laborde* mutatták ki először, hogy a rádium állandóan

hőt termel. Legújabb mérések alapján 1 gramm rádium óránként 138 grammkalóriányi hőmennyiséget sugároz ki magából. Ennek az energiának forrása valószínűleg a rádium atomjainak bomlásában keresendő. Egyik ilyen bomlástermék a hélium, melynek a Napon való előfordulását már említettük. Így tehát föltehetjük, hogy ez a hélium a Nap belsejében levő rádiumtól ered. Ha a Nap minden köbméterében 3·6 gramm rádium foglaltatnék, akkor a Nap egész energiavesztése hosszú időre fedezve volna. De nem tudunk semmit sem arról, hogy a Napon uralkodó nagy hőmérsékletnél a rádium hogyan viselkedik s azt is föl kellene tennünk, hogy a Nap közepéből a rádium sugárzása époly akadálytalanul történik, mint a felületén, vagy pedig, hogy a rádium túlnyomóan a Nap felső rétegeiben van elhelyezve. Így még durva becsléseket sem engedhetünk meg magunknak a rádióaktivitásnak szerepére vonatkozóan. A legújabb időben az égitestek sugárzási egyensúlyáról kialakult nézetek nemcsak az égitestek energiakészletére engednek némi következtetést, hanem arra is, hogy ez az energiakészlet miképen alakul az idők folyamán. Erről később lesz szó. De annyit megjegyezhetünk, hogy a Nap feltartóztatlanul halad a teljes kihülés felé, mikor minden hő- és fénysugárzás megszűnik. Az izzás nem jellemző tulajdonsága az anyagnak, hanem csak átmeneti állapot. Bizonyos, hogy a világtérben számtalan oly égitest van, mely fényt nem bocsát ki magából, hanem teljesen sötét. Hiszen maga a Föld is ilyen s vele együtt több bolygótársa is.

III. A CSILLAGOK FIZIKÁJA.

1. *A csillagok színeképe.* Mikor csillagokról beszélünk, tulajdonképen ide kellene sorolnunk a Napot is. A Nap csak egy a számtalan csillag között, nem is tűnik ki köztük semmi különös tulajdonsággal, csupán azzal, hogy a Föld őhozzá van kötve s hogy nagyon közel van hozzánk. Ezért fizikai sajátosságainak kutatása részletesebben lehetséges számunkra. Amit rajta észleltünk, azt bizonyosan minden saját fényben világító, izzó felületű csillagon is észlelhetnők, talán csak a jelenségek méreteiben mutatkoznának különbségek. Ha most a Napot és a naprendszert elhagyjuk és a csillagok felé fordítjuk figyelmünket, akkor súlyos feltevéssel kell kezdenünk merész utunkat, s ez az, hogy eme távoli világokon ugyanazok a fizikai törvények uralkodnak, mint itt a naprendszerben és a Napon. Már említettük, hogy a kettős csillagoknál tapasztalt jelenségek erre engednek következtetni. Megerősíti ezt a feltevésünket az is, hogy a fény, e távoli világok egyetlen hozzánk érkező hírnöke, semmiben sem mutat eltérést a Nap vagy valamely földi fényforrás fényétől.

A *Copernicusi* eszme szárnyakat ölt. A Föld tengelye körül forog és egyúttal kering a Nap körül. A Nap is forog tengelye körül s közben bizonyosan tova rohan a térben, ismeretlen pályán, feltartóztathatatlanul. Az eddig állónak nevezett csillagok is mozognak a térben, mindenféle irányban, mindenféle sebességgel. Csillagok számlálhatatlan millióit óriási távolságok választják el

egymástól. A naprendszerben a régi euklideszi geometriát vettük érvényesnek. Ha ezt kiterjesztjük az egész világtérre, akkor ez a tér végtelen és határtalan s geometriai tulajdonságai mindenütt ugyanazok: ez a *Copernicus* tere. A tünemények időbeli lefolyása sem különbözhetik sehol a naprendszerben észlelttől: ez a *Newton*-féle idő. A csillagok megfigyelése ezeket a feltevéseket mintegy kényszerű valósággá változtatja.

Épenúgy, mint a Napnak, bármely más csillagnak színképét is elő lehet állítani. Ez tulajdonképpen bizonyos korlátozást kényszerít reánk, mert a vizsgálatból a sötét, nemvilágító égitestek kiesnek, melyeknek létezését és tulajdonságait más utakon kell kutatni.

A csillagok színképei között sokféle különbség és hasonlóság mutatkozik, melyek az észlelőket arra vezették, hogy azokat osztályokba sorolják. Legrégibb a *Secchi*-féle osztályozás, melyet még ma is alkalmaznak, ha csak a színkép karakterének durva megjelöléséről van szó. *Secchi* a csillagok színéből indult ki s osztályozásánál az a gondolat vezette, hogy a különböző színképek a csillagok különböző fejlődésfokait mutatják a gázalakú ködtől a kialudt, sötét égitestig. A csillagok színképe, hasonlóan mint a Napnál, folytonos emissziós színkép, melyen abszorpciós vagy emissziós vonalak és sávok mutatkoznak. A felosztás ezen a nem folytonos vonalas vagy sávos spektrumon alapszik.

Secchi négy színképtípust különböztet meg:

- I. típus: fehér csillagok, melyeknél csak a hidrogénvonalak erősen mutatkoznak, a többi vonal gyöngye vagy teljesen hiányzik. (Sirius, Vega.)
- II. típus: sárga csillagok, melyeknek színképe a Napéhoz hasonlóan számos finom vonalat mutat. (Nap, Arcturus, Capella.)
- III. típus: vöröses-sárga és vörös csillagok, a színkép-

- ben sötét sávokkal, melyek a vörös felé elmosódottak, a kék felé élesen határoltak. (α Orionis, α Herculis.)
- IV. típus: gyöngé, többnyire sötétvörös csillagok, a színekben széles, sötét sávok vannak, melyek a vörös felé élesen határoltak, a kék felé elmosódottak. (19 Piscium.)

A színeképi tapasztalatok gazdagodásával a *Secchi*-féle osztályozás nem bizonyult elégségesnek. A ma legáltalánosabban elfogadott a Harvard-obszervatóriumé, mely *Miss Cannon*-tól származik. A színeképtípusok nagy latin betűkkel vannak jelölve, az alosztályokat kis betűk vagy számok jelzik. A típusok vagy osztályok a kék csillagoktól a vörösek felé haladnak és a következők:

P, Q, O, B, A, F, G, K, M, N, R.

- P.* Gáznemű és planetáris ködfoltok. A folytonos színekép hiányzik vagy gyöngé. Feltűnő emissziós vonalak, melyek az ismeretlen nebuliumtól erednek. Hidrogén és hélium-vonalak jól észrevehetők. Ide tartozik a *Q* osztály is, melybe az új csillagok (nova) és az abnormis színeképek soroltatnak. (η Carinae.)
- O.* Folytonos alapszínekép nagyon fényes sávokkal, sötét vonalak rendszeren hiányzanak. Ilyen csillagot nagyon keveset ismerünk s rendszeren tizedrendűnél kisebbek. *Wolf* és *Rayet* fedezték fel őket először 1867. Kétségkívül a legnagyobb hőmérsékletű csillagok, melyeket eddig ismerünk. (γ Velorum, λ Puppis.) *Wolf*—*Rayet*-csillagoknak is nevezik.
- B.* Orion- vagy hélium-csillagok; fehérek, majdnem kékék, magas hőmérsékletűek. Héliumvonalak erősen előtérbe nyomulnak, hidrogénvonalak gyöngébbek, fémek vonalai alig észrevehetők. (β Orionis vagy Rigel.) A nyolcadrendűnél fényesebb csillagok 12,3%-a ide tartozik,

- A. Sirius- vagy fehér hidrogéncsillagok. (21.7%) A hidrogénvonalak szélesek és erősek. A héliumvonalak eltűntek. Gyöngye kalciumvonalak. (Sirius, Vega.)
- F. Legfeltűnőbbek a kalcium vonalai; más fémvonalak is mutatkoznak. A hidrogénvonalak nem oly intenzívek. (Procyon, Sarkcsillag.) (20%) B, A, F együtt adják a *Secchi*-féle I. osztályt.
- G. Sárga vagy Nap-típusú csillagok. (16.1%) A hidrogénvonalak elvesztik túlsúlyukat, a kalcium H és K vonalai a legerősebbek, fémvonalak mind erősebben lépnek fel. (Nap. Capella.)
- K. Sötétsárga csillagok. (26.6%) A hidrogénvonalak kezdenek eltűnni, fémvonalak túlsúlyban. (Arcturus, Aldebaran.)
- G. és K együtt adják a *Secchi*-féle II. osztályt.
- M. Vöröses csillagok. (3.3%) *Secchi* III. típusa. Az abszorpciós sávok az ibolya oldalon a legerősebbek és a vörös felé veszítenek intenzitásukból. A kalciumvonalak még erősebbek, mint az előzőknél. A titán-oxid abszorpciós sávjai mutatják, hogy kémiai vegyületek léteznek rajtuk, ami alacsonyabb hőmérsékletre enged következtetni. (Betelgeuze, Antares, Mira Ceti.)
- N. Rubinvörös, karbóniumos csillagok. (1%) A karbónium és cyansávok túlnyomók. *Secchi* IV. típusa. (19 Piscium.)
- R. Átmenetet alkotnak a Nap-típusú csillagoktól az N osztályhoz. Ide csak nagyon kevés csillag tartozik, eddig vagy ötven. Sötétsárgák, de nem vörösek. A G osztálynál mintegy kétfelé-ágazás történik; az egyik ág a K-n át M-hez, a másik R-en át N-hez vezet.

Bár a csillagszínképek osztályozása tisztán tapasztalati úton történt, azért mégis nem csupán a spektrumok kényelmes leírására és katalógizálására szolgál, hanem mélyebb értelme is van: természetes rendszer. Erre

utal az, hogy majdnem az összes csillagok könnyen sorolhatók az egyes osztályokba s azonkívül nagyon érdekes összefüggések mutatkoznak színképtípus, szín-index, a csillagok saját- és radiális mozgása, valamint a hőmérsékletek között.

A színképtípusok sorrendjében mutatkozó törvényszerűségek nem függenek össze a csillag világító felületének kémiai összetételével. A Földön ismeretes kémiai alapanyagok száma kerekén 90, s így sokkal többféle színképtípust kellene lehetségesnek tartanunk. Azonkívül egy és ugyanaz az elem különböző színképtípusokban nem mindig ugyanazokat a vonalakat mutatja, amint a laboratóriumban is valamely elem színképe változik, aszerint amint elégés által, Geissler-csőben vagy elektromos szikrával állítjuk elő. Ebből azt kell következtetnünk, hogy a különböző színképosztályokban az elemek különböző körülmények között bocsátják ki a színképvonalakat; ha a csillagon nincsenek meg a kellő feltételek, akkor az elem vonalai nem jelentkezhettek, az elem nem árulja el jelenlétét, még ha nagy mennyiség is van belőle a csillagon. Így például van egy héliumvonal, mely a planétáris ködök, az *O*-csillagok, a nóvák és a Nap kromoszférájának külső rétegének színképében látható, de a héliumban leggazdagabb, a *B*-csillagok színképéből hiányzik. Újabban *Fowler*nek sikerült kísérlettel kimutatni, hogy ez a vonal csak akkor mutatkozik, ha erősen ritkított héliumra nagy energiamennyiséget engedünk hatni, amit vákuumcsőben erősen sűrített elektromos szikra segítségével eszközölhetünk.

2. *Következtetések a színképből.* Abból, hogy a kémiai elemek sokfélesége dacára viszonylag kevés színképtípus létezik, azt kell következtetnünk, hogy ezek az elemek a csillagokon közel ugyanabban az arányban fordulnak elő, hogy a világegyetemben mindenütt majdnem egyenletesen vannak eloszolva, vagyis hogy az univerzum

anyagi szerkezete mindenütt ugyanaz, homogén. Ebből viszont azt a nevezetes következtetést kell vonnunk, hogy akkor az ebből az anyagból alkotott tömegek egyéb tulajdonságai is az egész világtérben azonosak, különösen hogy a gravitáció törvénye mindenütt ugyanaz, mint a naprendszerben. Az anyagi szerkezet egyformasága mellett kitűnő bizonyíték a héliumnak és a scandiumnak a Földön való előfordulása. Említettük, hogy a héliumot a színképe a Napon rég elárulta, mielőtt a Földön ismerték volna. Ma az amerikai olajforrásokból nagy mennyiségben állítják elő különféle műszaki célokra. A scandiumról is régebben azt hitték, hogy egyike a legritkább elemeknek a Földön, mert a kémikusok laboratóriumaiban alig néhány gramm volt meg belőle, a Napnak és a legtöbb csillagnak színképében pedig erős és számos vonalakkal szerepelt. Ma már tudjuk, földi ásványoknak és kőzeteknek spektroszkópikus vizsgálatából, hogy a scandium nagyon elterjedt elem, csak hogy igen erősen van szétosztva, nincs egyes helyeken koncentrálva.

Az égitestek kémiai összetételének egyformasága arra utal, hogy a világítás, a fénykibocsátás föltételeinek különfélesége idézi elő a különböző színképeket. Szabad szemmel is észre lehet venni, hogy a csillagok színe különbözik. A spektrumban a színbeli különbözőség abban nyilvánul, hogy a folytonos színképben az intenzitás eloszlása más és más. A színképtípusokat tehát nemcsak a vonalak eloszlása jellemzi, hanem az intenzitás is.

Az intenzitásnál azt fontos ismernünk, hogy melyik hullámhosszúságú fény vesz legnagyobb mértékben részt a csillag színének előidézésében. Ezt úgy határozhatjuk meg, hogy a távcső tárgylencséje elé finom, párhuzamos drótokból készült rácsot helyezünk. A rács résein a fény elhajlítást szenved, azaz nemcsak egyenes vonalban halad a résen keresztül, hanem a résen túl minden irányban szétterjed, mintha minden egyes rés

maga bocsátana ki újból fényt. Ennek az lesz a következménye, hogy a távcső gyújtósíkjában a csillag képe mellett több ú. n. elhajlítási színeképet kapunk. Említettük már, hogy a különböző színű fény hullámhosszai is különbözők, a vöröse például hosszabb, mint a violaszínűé. Ha tehát valamely csillag főleg vörös fényt bocsát ki, akkor a nagyobb hullámhosszúság miatt az első elhajlítási színekép messzebb esik a csillag középső képétől, mint olyan csillagnál, mely például főképen ibolyaszínű fényt bocsát ki. Viszont meg az elhajlítási színekép távolságából és a rács méreteiből ki lehet számítani az előidéző fény hullámhosszát, mert az elhajlítási vagy diffrakciós színekép helyzete, amint láttuk, attól függ, hogy melyik a csillag színeképében a leghatékonyabb hullámhossz vagy szín, az ú. n. effektív hullámhossz. A csillagok színeképében minden lehetséges hullámhossz vagy szín fordul elő, csak hogy némelyik túlsúlyban van és épen ezt határozza meg az effektív hullámhossz.

Számos mérés igazolta, hogy a színeképtípus, a színindex és az effektív hullámhossz szabályszerű összefüggésben áll egymással. A fehér *B*-csillagoktól a vörös *M*- és *N*-csillagokig a színek egymásutáni sorrendje pontosan ugyanaz, mint amit izzó testnél láthatunk, mikor a fehérizzás után lassanként lehül, miközben mindinkább vörös lesz és végül megszűnik világítani. Tudjuk, hogy a színindex a különbség a vizuális és fotográfiai nagyságrend között. Fehér izzásnál több kék- és ibolyaszínű hullámot bocsát ki a fényforrás s ezért ez a különbség negatív lehet, mert a fényképező lemez ezen sugarak iránt érzékenyebb. Mikor a vörös sugarak vannak túlsúlyban, akkor a színindex pozitív és annál nagyobb, mennél több vörös hullám érkezik a fényforrásból; mert az emberi szem a vörös iránt érzékenyebb, mely a fényképező lemezre csak gyöngén hat.

A fényhullámok hosszúsága nagyon kicsiny, a milli-

méter ezredrészénél is kisebb. Ezért a fény hullámhosszát a milliméter milliomodrészével, vagy még ennél is kisebb mértékegységgel szoktuk kifejezni. A milliméter ezredrészét mikronnak (jele: μ), az ezredrész ezredrészét, vagyis a milliomodmillimétert millimikronnak (jele: $\mu\mu$) nevezzük. A látható fény legnagyobb hullámhossza $800 \mu\mu$ (vagy 0.8μ), a legrövidebb $300 \mu\mu$ (vagy 0.3μ). Az előbbi a színek legszélsőbb vörös, az utóbbi a legszélsőbb ibolya hullámának felel meg. A következő összeállítás szembevetően mutatja, hogy a színindex növekedésével az effektív hullámhossz csökken.

Szin-kép	Szin-index	Eff. hull. h. $\mu\mu$	Szin-kép	Szin-index	Eff. hull. h. $\mu\mu$	Szin-kép	Szin-index	Eff. hull. h. $\mu\mu$
B_0	—0.24	416.8	A_0	0.00	421.6	F_8	+0.50	431.6
B_1	—0.22	417.2	A_2	+0.06	422.8	G_0	+0.56	432.8
B_2	—0.19	417.8	A_3	+0.08	423.2	G_5	+0.78	437.2
B_3	—0.17	418.2	A_5	+0.14	424.4	K_0	+1.00	441.6
B_5	—0.12	419.2	F_0	+0.28	427.2	K_2	+1.07	443.0
B_8	—0.05	420.6	F_2	+0.34	428.4	K_5	+1.18	445.2
B_9	—0.02	421.2	F_5	+0.42	430.6	M	+1.35	448.6

3. *A csillagok hőmérséklete.* Már említettük, hogy többféle törvényszerűség ismeretes, mely a sugárzás és a sugárzó test hőmérséklete között létesít összefüggést. Ezek közül pl. a *Wien*-féle törvény azt mondja, hogy az abszolút fekete test sugárzásánál a legnagyobb intenzitás hullámhosszának és a hőmérsékletnek szorzata állandó mennyiség. Ha tehát a csillagok sugárzó felületének a fekete test sajátságait tulajdonítjuk, akkor kiszámíthatjuk a csillagok effektív hőmérsékletét épúgy, ahogyan azt a Napnál tettük. Meg kell jegyeznünk, hogy az így kapott hőmérséklet minimális érték, melynél bizonyosan nem alacsonyabb a csillag sugárzó felületén tényleg uralkodó

hőmérséklet. Az égitest belsejében uralkodó hőmérsékletre vonatkozólag ebből nem tudunk meg semmit. De az egyes színképtípusok hőmérsékleti viszonyáról feltétlenül helyes képet nyújtanak az ekként kapott eredmények. A színképosztályozás a fehér *B*-csillagokkal kezdődik és a vörös csillagokkal végződik. Már ez az egyszerű megfigyelési tény a *Wien*-féle törvény alapján arra enged következtetni, hogy a hőmérséklet a *B*-csillagoknál a legmagasabb kell, hogy legyen és az *M*-csillagok felé csökken.

A *Planck*-féle törvény tetszőleges hullámhosszúságot hoz összefüggésbe a sugárzási energiával és a hőmérséklettel. Ha tehát csillag spektrumában az egyes hullámhosszakhoz tartozó intenzitásokat színképfotométer segítségével megmérjük, akkor eme törvény segítségével a csillag effektív hőmérsékletét kiszámíthatjuk. Az egyes színképtípusoknak megfelelő átlagos hőmérsékletet a következő összeállítás mutatja, mely a jelenleg ismert legmegbízhatóbb értékeket tartalmazza. (Mint előzőleg, úgy itt is ú. n. abszolút skálán számított hőmérsékletet kell érteni, melynek zérusa 273 fokkal fekszik a közönséges Celsius-skála zérusa alatt.) A számításnál a Nap effektív hőmérséklete 5900 foknak, színképtípusa 6° -nak, a *Planck* törvényében szereplő állandó szám 14.350-nek van véve.

Színképtípus	Effektív hőmérséklet	Színképtípus	Effektív hőmérséklet
B_0	18.300°	G_0	5900°
B_5	13.700	G_5	5200
A_0	11.000	K_0	4600
A_5	9.100	K_5	4200
F_0	7.700	Ma	3800
F_5	6.700	Mb	3400

A tényleg mért hőmérsékletek valamivel alacsonyabbak; ha azonban úgy mint a Napnál számításba vesszük, hogy a sugárzás a csillagok felületén is előbb bizonyosan áthatol valamely abszorbeáló rétegen, akkor a főntebbi értékeket kapjuk. Szembeszökő, hogy az effektív hőmérséklet egy irányban halad a színképtípussal. Ez amellet bizonyít, hogy a színképtípusok különféleségének az oka a hőmérsékletkülönbségekben van, más szóval a csillagot hőmérséklete jellemzi és nem kémiai összetétele. Ez ismét fontos adat ahhoz, hogy a világegyetemben mindenütt ugyanaz a törvényszerűség uralkodik.

A *B*- és *A*-típusú csillagok magas hőmérséklete mellett csak a könnyű hidrogén- és héliumgáz jöhet szóba mint elnyelő, abszorbeáló közeg, fémvonalak, még az érzékeny kalcium is, nem érvényesülnek erőbben. Az *F*-, *G*- és *K*-csillagoknál körülbelül olyan hőmérsékleti viszonyokkal találkozunk, minők a Napon uralkodnak, illetve voltak a multban vagy lesznek a jövőben. Az *M*- és még inkább az *N*- és *R*-csillagoknál a hőmérséklet már oly alacsony, hogy kémiai vegyületek tudnak létrejönni, mint például titánoxid, cýán stb.

A következő összeállításban néhány csillag effektív hőmérsékletét és színképtípusát közöljük *Wilsing* mérései alapján.

Csillag neve	Szín-kép	Eff. hőmérs.	Csillag neve	Szín-kép	Eff. hőmérs.
α Draconis ...	<i>B</i> _{5p}	22500	β Persei ...	<i>B</i> ₈	10500
π^4 Orionis ...	<i>B</i> ₃	19700	α Leonis ...	<i>B</i> ₈	10100
ζ Draconis ...	<i>B</i> ₆	19300	α Lyrae (Vega)	<i>A</i> ₀	9400
γ Orionis ...	<i>B</i> ₂	15200	α Cygni ...	<i>A</i> ₂	9400
λ Orionis ...	<i>O</i> ₆	14900	α Andromedae	<i>F</i> ₂	9400
β Cephei ...	<i>B</i> ₁	13500	α Ophiuchi ...	<i>A</i> ₅	8100
α Coronae boreal.	<i>A</i>	11900	α Aquilae ...	<i>A</i> ₅	8100

Csillag neve	Szín- kép	Eff. hőmérs.	Csillag neve	Szín- kép	Eff. hőmérs.
α Canis min....	F_3	7200	α Serpentis ...	K_1	3900
α Aurigae ...	G	7100	α Arietis....	K_2	3900
γ Cassiopeiae...	B_p	6800	α Bootis ...	K_3	3700
γ Cygni ...	F_9	6300	β Ursae min....	K_4	3700
ζ Herkulis....	G_1	6100	α Tauri ...	K_5	3500
α Persei ...	F_5	5700	α Ceti ...	M_{0c}	3400
α Ursae min....	F_8	5600	β Andromedae	M_{0c}	3200
β Geminorum	G_9	4900	α Orionis ...	M_{0c}	3000
η Draconis ...	G_6	4800	α Herculis ...	M	3009
δ Bootis ...	G_5	4500	$\times$ Serpentis ...	K_7	2900
ϵ Geminorum	G_8	4000	β Pegasi....	M_b	2800

4. *A csillagok távolsága ; kettős csillagok.* Emlékezzünk, hogy *Copernicus* tana ellen egyik főellenvetés az volt, hogy ha a Föld a Nap körül kering, akkor a csillagoknak évi, parallaktikus elmozdulást kell mutatniuk olyan formán, mint a közelebbi tárgynak például a falhoz képest, aszerint, amint jobb vagy balszemmel nézzük. *Copernicus* abból, hogy az ő korában ilyen látszó elmozdulást nem lehetett kimutatni, igen helyesen azt következtette, hogy a csillagok mérhetetlenül nagy távolságban vannak tőlünk. Távolságuk csakugyan mérhetetlen volt az akkori műszerek számára, mikor még a távcsövet nem ismerték. A csillagászok fáradozása azonban nem lankadt. Végre a nagynevű *Bessel*-nek 1838-ban sikerült az első biztos csillagtávolságot megmérni a 61 Cygni csillagon. A csillagász nem a távolságot magát méri meg közvetlenül km-ben, hanem, amint említettük, azt a szöget, mely alatt az illető csillagról a Föld-pálya sugara látszik ; ez nyilvánvalóan a látszó elmozdulás szöge, melyet a csillagnak a Föld keringése

következtében kell mutatnia, az α n. parallaxis. Ha ezt ismerjük, akkor a távolság kiszámítása km-ben vagy fényévben vagy parszekben nagyon könnyű. *Bessel* a 61 Cygni csillag parallaxisát 0.3-nek találta s ez a nagyon kicsiny szög érthetővé teszi, hogy miért szenvedett hajótörést a csillagászok minden fáradozása oly sok időn át, mert ilyen parányi szög mérése rendkívül nehéz. Azóta a *Bessel*-féle közvetlen, geometriai módszerrel több csillag távolságát határozták meg.

A csillagok távolságának megmérése sokkal könnyebbé és kényelmesebbé vált a fotográfia tökéletesedésével. Ahelyett, hogy a csillag helyzetét közvetlenül az égen mérnék meg, lefényképezzük a csillagot a környezetével együtt és a csillag helyzetét a szobában, mikroszkóp segítségével mérjük a lemezen. Az amerikai *Rutherford* volt az első, ki 1870-től parallaxis mérés céljaira készített fényképfelvételeket az égről. Ilyen fotográfiai mérések több nagy csillagdának állandó munkaprogramjába tartoznak s már több százra rúg a ma ismert fotográfiai parallaxis.

Kettős csillagoknál a *Doppler—Fizeau* elvét lehet a parallaxis meghatározására felhasználni. Ezen elv alapján, amint már kifejtettük, a csillag színképének *Fraunhofer*-féle vonalaiból, illetve ezeknek eltolódásából meg lehet határozni, hogy a csillag mily sebességgel közeledik felénk vagy távolodik tőlünk a látásvonal irányában. Ezt a sebességet a kettőscsillag mindkét komponensénél megmérhetjük. Azonkívül megfigyelés alapján ismerjük a kísérő pályáját a főcsillag közül s ezekből az adatokból együttvéve kiszámíthatjuk a parallaxist.

A következő összeállítás mutatja a pontosabban ismert parallaxisokat, a távolságokat fényévekben és a csillag nagyság rendjét is. Ebből kitűnik, hogy nem a legfényesebbnek látszó csillagok vannak hozzánk a legközelebb. Az eddig ismert, hozzánk legközelebb levő csillag, amely-

nek tehát az eddig ismert legnagyobb parallaxisa van, az α Centauri a déli égen. Ennek parallaxisa $0.76''$, aminek 4.3 fényév felel meg. Az elnevezésekre meg kell jegyeznünk, hogy a görög betűvel való jelzés csak a fényesebb csillagoknál lehetséges; a számos kicsiny csillagot a csillagkatalogus számával szokás jelölni. Kettős csillagoknál mind a két komponens nagyság rendje van megadva. (L. 70, oldal.)

A *Doppler-Fizeau* elv lehetségessé teszi, hogy oly csillagokról is megállapítsuk kettős voltukat, melyeket a legerősebb távcsőben sem lehet kettősnek látni. Ezeknél a *Fraunhofer*-féle vonalak eltolódása szabályos időközben szabályosan változik. A változás időköze a kísérő keringésideje a főcsillag körül. Ezeknek az ú. n. spektroszkópikus kettős csillagoknak egymástól való távolsága nagyon kicsiny, s ezért nem tudja őket a szem a távcsővel különválasztani. A spektroszkóp, a színeképelemző-készülék azonban itt is segítségünkre jön és betekintést enged a máskülönben láthatatlanba. Kapcsolatban a fotometriai fényerősségméréssel az ilyen kettős csillagok pályáját, nagyságukat, sőt tömegüket is kiszámíthatjuk. Hogy parallaxisukat és ennél fogva távolságukat is meg lehet határozni, azt az imént említettük. Ilyképen újabb betekintést nyerünk a világegyetem szerkezetébe.

Kettős csillagoknak egymáskörül való keringése közben előfordulhat, hogy az egyik csillag éppen a másik elé kerül a mi látásvonalunk irányában és úgy azt egy ideig részben vagy egészben eltakarja. További útjában a másik csillag mellé kerül, utóbb meg mögötte eltűnik s így tovább. Nyilvánvalóan ha pl. az egyik csillag sötétebb, mint a másik, akkor, ha a sötétebb csillag takarja el a fényesebbet, a csillag gyöngébb fényűnek látszik. A csillag keringése tehát szabályos változást idéz elő a csillag fényességében. Az ilyen csillagokat, melyeknek fényerőssége ilyen időszakasos, szabályos ingadozást mutat, vál-

Csillag neve	Nagyság- rend	Paral- laxis	Távols. fény- évben	Csillag neve	Nagyság- rend	Paral- laxis	Távols. fény- évben
α Centauri	0·3; 1·7	0·76"	4·3	σ Draconis	4·8	0·20"	16
Barnard nyílcsofaj	9·7	0·54	6·0	Arg.-Oeltz 11677 ...	9·0	0·20	16
Lalande 21185	7·3	0·40	8·1	Lalande 46650	9·1	0·19	17
α Canis maioris ...	—1·6	0·38	9	Lalande 27173	5·8; 8·7	0·19	17
α Canis unioris... ..	0·5	0·32	10	Lacaille 7194	5·7	0·19	17
Cordoba 5 ^h 243	8·3	0·32	10	B. D. 20° 2465	9·0	0·19	17
ϵ Eridani... ..	3·8	0·31	10·5	B. D. 33° 2777... ..	8·4	0·19	17
τ Ceti	3·6	0·31	10·5	σ^2 Eridani... ..	4·5	0·19	17
61 Cygni... ..	5·6; 6·3	0·30	11	Lalande 25372	8·7	0·19	17
Lacaille 9352	7·4	0·29	11·2	Groombridge 1618	6·8	0·18	18
ϵ Jndi	4·7	0·28	11·2	70 Ophiuchi... ..	4·3; 6·0	0·18	18
Groombridge 34	8·1	0·28	11·2	η Cassiopeiae	3·6	0·18	18
Krüger 60	9·3; 10·8	26	13	Weisse 5 ^h 592	8·7	0·17	19
Lacaille 8760	6·7	0·25	13	Piazzi oh 189	5·8; 7·2	0·17	19
Arg.-Oeltz 17415	9·5	0·23	14	ξ Ursae maioris... ..	4·4; 4·9	0·17	19
α Aquilae	0·9	0·22	15	Piazzi 14 ^h 212... ..	5·8; 7·3	0·17	19
Cordoba G C 32416... ..	8·3	0·22	15	Burnham 416	5·9	0·17	19
Lalande 21258... ..	8·5	0·20	16	ξ Bootis	4·6	0·17	19

tozó csillagoknak nevezzük. A fényváltozásnak azonban más okai is lehetnek, pl. sötét foltok a csillag felületén és a csillag tengely körüli forgása; vagy a csillag változó összehúzódása és nagyobbodása, az ú. n. pulzáció s így tovább.

Egyik régóta ismert változócsillag az Algol vagy β Persei. A színképelemzés erről kiderítette, hogy kettős csillag s az említett eljárások segítségével azt is meg lehetett állapítani, hogy parallaxisa $0.05''$, távolsága tehát 65.2 fényév (tizenötször oly messze van, mint a hozzánk legközelebb levő α Centauri); a főcsillag tömege a Nap tömegének fele, a kísérőé a Nap tömegének negyed-része; egymástól való távolságuk ötmillió km (a Merkúr 58 millió km-nyire van a Naptól s tömege a Nap tömegének csak hat milliomodrészre); a kísérő pályabeli sebessége 45 km (a Földé 30 km). A főcsillag sugara $1,150.000$ km, a kísérőé 900.000 km (a Napé 700.000 km). Az Algol mindkét csillaga egyenként terjedelemre nagyobb, mint a Nap, de igen közel vannak egymáshoz. Ezzel szemben a bolygók igen kicsinyek a Naphoz képest és távolságuk tetemes. Ez a különbség kettős csillagok és bolygórendszerek között, amihez még az is járul, hogy kettős csillagoknál mindegyik komponens saját fényben világít.

A spektroszkópikus kettős csillagok vizsgálatánál sokáig úgy látszott, hogy a színképelemzőkészülék az egyetlen, mellyel őket észlelni lehet. De a legújabb időben, számos fáradságos kísérletezés után, az interferencia módszerét is sikerült az egymáshoz nagyon közel levő csillagpárok megfigyelésére alkalmazni. A távcső tárgylencséje elé helyezett rácsot már említettük az effektív hullámhossz meghatározásánál. Ha e rács helyett csak két szűk rést használunk, akkor itt is diffrakciós kép keletkezik, melyben hullámtalálkozás vagy interferencia folytán sötét sávok mutatkoznak. Ezek a sávok kettős csillagoknál szabályosan erősödnek és gyöngülnek. Így

meg lehet határozni a keringés idejét és a csillagpár látszó szögtávolságát. Ebből a valóságos kölcsönös távolságot ki lehet számítani, ha ismerjük a csillag parallaxisát. A műszer, amellyel a mérés történik, a *Michelson*-féle interferométer. Az interferométerrel nemcsak kettős csillagok szögtávolságát lehet megmérni, hanem egyes csillagok látszó átmérőjét is. Ez újabb rendkívül nagyfontosságú segéd-eszköz a világtérben levő égitestek nagyságának megismeréséhez, mely eddig csak közvetett úton volt lehetséges.

5. *Óriás és törpe csillagok.* Már tudjuk, hogy mit kell valamely csillag abszolút fényessége alatt érteni. Ezt a látszó nagyságrendből számíthatjuk ki, mihelyt a csillag távolságát, vagyis parallaxisát ismerjük. Ennélfogva az abszolút fényességről csak úgy tudhatunk meg valami szabályszerűséget vagy törvényszerűséget, ha minél számosabb parallaxist ismerünk. Ha ilyen ismert parallaxisú csillagok abszolút fényességét kiszámítjuk, akkor leg-többjénél a -2 és 8 nagyságrend adódik, ami megfelel a szabadszemmel vagy gyöngé távcsővel látható csillagok közönséges nagyságrendjének. Csak a Nap az, melynek látszólagos nagyságrendje igen nagy, -26.7 ; de viszont láttuk, hogy abszolút fényessége csak 4.9 , tehát igen szerény.

De van néhány fényes *B*-csillag, mint pl. Rigel, Regulus, Spica és *M*-csillagok, mint Beteigeuze, Antares, γ Crucis, amelyeknek parallaxisa nagyon kicsiny, $0.01''$ és kisebb, amelyek tehát igen nagy messzeségben vannak tőlünk. Ezek középértékben -4 rendű abszolút fényességűek; a Naphoz viszonyítva tehát majdnem 10 nagyságrenddel fényesebbek. Ez annyit tesz, hogy 400 -szor több fényt bocsátanak ki, mint a Nap. De másrészt bizonyos az, hogy a csillagok tömege átlag nem sokat tér el a Nap tömegétől; a kettős csillagoknál talált legnagyobb tömeg nem haladja túl a Nap tömegének 40 -szeresét. Ebből azt kell

következtetnünk, hogy ezen absolute nagyon fényes csillagok világító felülete igen nagy, a tömeg nagy térben van elosztva, sűrűsége kicsiny, vagyis gáznemű, óriási térfogatú csillagokkal van dolgunk. Viszont vannak csillagok, melyeknek nagy parallaxisuk van, amelyek tehát közel vannak hozzánk, azonban látszó fényességük kicsiny, abszolút fényességük pedig a Napénál (4·9) is kisebb, 6-od vagy 7-ed rendű. Ezek térfogatának, nagyobb sűrűség mellett, igen kicsinynek kell lenni; az előbbi óriásokhoz képest ezek valóságos törpék. A mi Napunk is közéjük tartozik. A következő összeállításban felsoroljuk az ismertebb óriás csillagokat. Fényességük nem nagyságrendben van kifejezve, hanem mint a Nap abszolút fényességének többszöröse. Némelyeknél az átmérő is fel van tüntetve, szintén mint a Nap-átmérő többszöröse. A sorrend a színtípus szerint következik.

Csillag	Nagys.	Színk.	Absz. fény.	Átm.
ζ Puppis... ..	2·3	<i>O_d</i>	300	—
ι Orionis	2·9	<i>O_{es}</i>	4300	10
ε Orionis	1·7	<i>B</i>	12000	17
ζ Orionis	2·0	<i>B</i>	7400	—
ε Canis mai... ..	1·6	<i>B₁</i>	11300	—
β Centauri	0·9	<i>B₁</i>	5700	—
β Orionis	0·3	<i>B₈</i>	24300	19
α Androm... ..	2·1	<i>A</i>	170	—
α ₂ Geminorum	1·3	<i>A</i>	420	—
α Porsei	1·9	<i>F₆</i>	70	10
α Urs. min... ..	2·1	<i>F₈</i>	60	10
α Aurigae	0·2	<i>G₀</i>	70	8
γ Cygni	2·3	<i>G₅</i>	2400	—
α Urs. mai.	2·0	<i>G₃</i>	130	—
ρ Gemin.	1·2	<i>G₉</i>	40	14

Csillag	Nagys.	Szink.	Absz. fény.	Átm.
α Cassiop.	2'5	K_0	230	—
α Bootis	0'2	K_0	40	50
α Arietis	2'2	K_2	80	13
α Tauri	1'1	K_5	40	48
α Hydrae	2'2	K_5	140	—
α Orionis	0'9	M_a	5000	310
α Scorpii	1'2	M_a	1600	170
β Andromedae	2'4	M_a	20	35
α Hercul.	M_e	M_b	190	150

A Nap—Föld-távolság a Nap átmérőjének mintegy 108-szorosa. Látjuk az előbbi összeállításból, hogy vannak óriás csillagok, melyek átmérője jóval nagyobb, mint a Napnak a Földtől való távolsága. Már az előbb rámutattunk arra, hogy a csillagok átmérőjét, tehát térbeli nagyságát közvetett módon ki lehet számítani. Ehhez ismernünk kell az effektív hőmérsékletet, a parallaxist és az abszolút fényességet. A *Michelson*-féle interferométerrel azonban közvetlenül mérhetjük meg a csillag látszó átmérőjét, amelyből a valóságot megkapjuk, ha a parallaxist ismerjük. Az interferométerrel való mérések nagyon kényesek és ezért nehezek. Eddig a Beteigeuze (α Orionis), Antares (α Scorpii) és Arcturus (α Bootis) átmérőjét sikerült ily módon megmérni, amely mérés nagyon jól egyezik az előbbi módon számított értékkel.

A következő összeállítás néhány törpe csillagot tartalmaz.

Csillag	Színk.	Parall.	Absz. fény.
Nap	G_0	—	1'0
Sirius (főcsillag)	A_0	0'38"	30'3
Sirius (kísérő)	A	0'38	0'003
Procyon (főcsillag)	F_2	0'30	6'95
Procyon (kísérő)	—	0'30	0'00006
Altair... ..	A_5	0'22	8'63
α Cents. (A komponens)	G_0	0'76	1'28
α Cent. (B komp.) ...	K_5	0'76	0'36
α Cent. (C komp.)	—	0'76	0'00006
$\circ$ (40) Erid. (A komp.)	K_1	0'20	0'40
$\circ$ (40) Erid. (B komp.)	A	0'20	0'006
$\circ$ (40) Erid. (C komp.)	A	0'20	0'001
ξ Bootis (A komp.)... ..	G_6	0'23	0'26
ξ Bootis (B komp.) ...	K_2	0'23	0'045
61 Cygni (A komp.) ...	K_7	0'30	0'064
61 Cygni (B komp.) ...	K_3	0'30	0'034
Lalande 21.258	M_a	0'20	0'009
Lalande 21.185... ..	M_a	0'41	0'005
Krüger 60 (A komp.)...	M_b	0'26	0'004
Krüger 60 (B komp.)...	—	0'26	0'001
Nyílcsillag, Ophiuchiusban... ..	M_b	0'53	0'0005
η Cassiop. (A komp.)...	F_2	0'19	0'99
η Cassiop. (B komp.) ...	—	0'19	0'026
σ Draconis	G_7	0'19	0'35

Az óriás és törpe csillagok közti megkülönböztetést különösen *Russel* és *Hertzsprung* tanulmányozta behatóan. Több törvényszerűséget állapítottak meg; a mi szempontunkból a legfontosabbak a következők: A fehér csillagok kivétel nélkül óriások; ez áll különösen a B -csillagokra. Az A - és F -csillagoknál az óriásokat nem lehet

élesen elkülöníteni a törpéktől. A törpe csillagoknál az abszolút fényesség minden következő színképtípusnál 2 nagyságrenddel csökken. A K_5 -típustól az M -típusig a csillagok két élesen különböző osztályba sorakoznak; ezek a színes, vörös csillagok vagy óriások vagy törpék; átmeneti közepes fényű csillagok nincsenek köztük.

Nagyon feltűnő az előbbi két táblázatban, hogy pl. az óriás α Orionisnak és *Barnard* parányi Nyílcsillagának az Ophiuchusban egyforma színképük van. Ez azért meglepő, mert sűrűségük között nagy különbségnek kell fennállania. Így nem lehetett kétség aziránt, hogy a fizikai alkat különbségének valahogyan kifejezésre kell jutnia a színképben is. *Kohlschütter* és *Adams* derítette ki, hogy különösen az F_5 — K_5 - típusú óriás csillagok színképében egy kalciumvonal, a törpéknél pedig egy stronciumvonal lép fel nagyon erősen. Ismeretes parallaxisú csillagokkal való összehasonlítás arra a nevezetes eredményre vezette őket, hogy e vonalak erőssége az abszolút fényességgel áll szoros összefüggésben. Ebből azután az következik, hogy ezeknél a típusú csillagoknál a színképből a parallaxist lehet viszont megállapítani. Itt az a rendkívül fontos körülmény áll elő, hogy ezek az ú. n. spektroszkópikus parallaxisok annál pontosabban felelnek meg a valóságnak, mennél messzebb van a csillag. Ha meggondoljuk, hogy milyen fáradságos a geometriai megállapítása a parallaxisnak és hogy ez annál kevésbé pontos, minél kisebb, úgy rögtön szembetűnik ennek az új módszernek a fontossága. A világtér kimérésére ekként váratlanul hatalmas segítőeszköz jutott birtokunkba, mellyel a legtávolabbi égitestekig is tudunk előhatolni, feltéve, hogy a csillag eléggé erős színképet szolgáltat.

6. *A csillagok fejlődésmenete és a színkép.* Láttuk, hogy a színképtípus és a hőmérséklet között igen szoros összefüggés van, mely abban nyilvánul, hogy a hőmérséklet

a *B*-tipustól az *M*-felé állandóan csökken. Már régebben gondoltak arra, hogy a csillagok idővel keletkeztek, hogy előbb fehér izzó állapotban voltak, aztán lassanként lehültek, miközben színük mindinkább a vörösbe ment át, míg végre teljesen elsötétedtek. A lehülés csakugyan folytonos fizikai folyamat és a színeképosztályok eszerint csökkenő hőmérséklet skáláját mutatnák. De épenúgy lehetne emelkedő hőmérséklet skálája is. Mielőtt valamely test a fehér izzást eléri, előbb a vörös izzáson kell átmennie. A vörös csillagok eszerint lehetnek a fejlődésnek épenúgy első, mint utolsó stádiumában. De ha igaz az a föltevés, hogy gázalakú ködökből fejlődnek a csillagok, akkor e kétféle állapot, a fejlődés felmenő és lemenő ága között különbségeknek kell lenniök, melyek a színekben jutnak kifejezésre. Már régebben *Lockyer* igyekezett a színeképtípusokat ilyen fejlődési sorrendbe állítani. Azonban ő neki még nem állott elég adat rendelkezésére ahhoz, hogy biztosan eldöntse, miszerint a csillag az emelkedő vagy pedig a csökkenő hőmérséklet típusorozatába tartozik-e. Ma már tudjuk, hogy az abszolút fényesség erre pontos feleletet ad. A már említett *Hertzsprung* és *Russel* állította fel azt az elméletet a csillagok színeképtípusának a fejlődésmenettel való összefüggéséről, mely ma általánosan el van fogadva.

A csillag fejlődése nagyon alacsony hőmérsékletű és csekély sűrűségű gázgömbből indul ki. A kisugárzás folytán a gázgömb térfogata kisebbedik. A kisebbedés vagy összehúzódás a *Ritter—Lane*-féle törvény szerint megy végbe, mely szerint ha gáz energiát sugároz ki, akkor térfogata csökken ugyan, de hőmérséklete folyton emelkedik mindaddig, míg az ideális gázállapot fennáll; de ha ez az ideális gázállapot megszűnik, akkor véget ér a hőmérsékletemelkedés is és további összehúzódásnál vagy sűrűség-növekedésnél lehülés áll be. A gázgömb sűrűsége csekély és ezért nagyobb tért foglal el és sokkal

nagyobb a felülete, mint mikor lehülés közben inkább kisebbedik a térfogata. Az egész folyamat közben a gáz mennyisége vagy tömege változatlanul megmarad. A fejlődés tehát alacsony hőmérséklettel indul, elér valamely legmagasabb hőmérsékletet és azután ismét alacsony hőmérsékletre süllyed. A csillag tehát kétszer megy át ugyanazon a hőmérsékleten. De gázalakban sokkal nagyobb a világítófelülete és ezért abszolút fényessége is nagyobb kell hogy legyen. A vörös csillagok tehát, melyeknek abszolút fényessége nagy, ebben a kezdő stádiumban vannak. A további fejlődés folyamán a csillag sűrűsége és hőmérséklete növekszik, de abszolút fényessége nagyjából változatlan marad, mert a hőmérsékletemelkedés kiegyenlíti a felületkisebbedést.

A csillag tehát az *M*-tipusból kiindulva sorjában átmegy a *K*-, *G*-, *F*-, *A* típuson állandó, nagy abszolút fényességgel, mígnem eléri a *B*-tipust és vele a hőmérséklet maximumát. Innét kezdve a hőmérséklete állandóan csökken. A csillag ismét átmegy az összes színképtípusokon, de most ellenkező sorrendben *B*-től az *M* felé. De most nemcsak a felület kisebbedik, hanem a hőmérséklet is, és ennek következtében az abszolút fényességnak is fogynia kell a *B*-tipustól az *M* felé. A fölfelé menő ágba az óriások, a lefelé menőben a törpék foglalnak helyet. Hogy ezt szemléletesebbé tegyük, az egész menetet tipikus csillagokkal tüntetjük fel a következő összeállításban :

Óriás csill. állandó absz. fényességgel	α Orionis	<i>M</i>	növekvő hőmérséklet ↓	{ legkisebb sűrűség legalacsonyabb hő- mérs.
	α Bootis	<i>K</i>		
	α Aurigae... ..	<i>G</i>		
	α Carinae	<i>F</i>		
	α Cygni	<i>A</i>		
	β Orionis... ..	<i>B</i>		legmagasabb hőmérs.

törpe csillagok csökkenő abszolút fényességgel	α Can. mai.	<i>A</i>	csökkenő hőmérséklet ↓	{ legnagyobb sűrűség legalacsonyabb hő- mérs.
	α Can. min.	<i>F</i>		
	Nap	<i>G</i>		
	70 Ophuichi... ..	<i>K</i>		
	Krüger 60... ..	<i>M</i>		

A *Ritter—Lane*-féle törvényből következik, hogy minél nagyobb valamely gázgömb tömege, annál magasabb hőmérsékletet érhet el. Ha valamennyi csillag tömege egyforma nagyságú volna, akkor mindegyik a vázolt fejlődéssorozaton egyenlően menne végig, minden színképtípusban közel egyenlő számú csillagot találnánk. A tapasztalat azonban az eddig megvizsgált csillagoknál nem ezt mutatja, mert *B*-csillag csak nagyon kevés van, ellenben sok *G*- és *K*-csillagot ismerünk, amiből azt kell következtetnünk, hogy a csillagok tömege különböző nagyságú. A kettőscsillagok csakugyan ezt mutatják, mert náluk a tömeg a Nap tömegének egytizedrésze és ötvenszerese között váltakozik. Kisebb tömegű csillag szintén mint óriás és *M*-csillag kezdi fejlődését, de a kis tömegben létező energia nem elégséges ahhoz, hogy a teljes sorozaton végighaladjon. A legmagasabb hőmérsékletet nem mint *B*-csillag éri el, hanem már korábban, például mint *F*-vagy *G*-csillag és innét kezdve növekvő sűrűséggel és süllyedő hőmérséklettel hamarabb éri el az *M* törpe csillag állapotot. Ezt a következtetést az észlelés megerősíti. Spektroszkópikus kettőscsillagokról *Ludendorff* statisztikai vizsgálatai megmutatják, hogy minél előrehaladottabb osztályba tartozik a csillag, annál kisebb az össztömege, a legnagyobb pedig a *B*-csillagok tömege. A tömeg azonban csak a csillag hőmérsékletének maximumára és fejlődésének időtartamára van befolyással, de nem az abszolút fényességre. A csil-

lagok óriás és törpe volta csak a világítófelület nagyságára vonatkozik, de nem a tömegre. Ezt bizonyítják pl. az olyan változó csillagok is, melyeknél a fényesség ingadozásait nem lehet kettőscsillagrendszerrel magyarázni, mint például a Mira Cetinél, hol az ingadozás 8—9 nagyságrendet is kitehet, természetesen változatlan tömeg mellett.

A csillagok a térben nem egy helyen állanak, hanem mindenféle irányban, mindenféle sebességgel mozognak. A Nap sem áll egy helyen, hanem a többi csillagok között szintén mozog. A csillag tömege és sebessége között olyanféle összefüggés áll fenn, hogy a nagyobb tömeg kisebb sebességgel mozog. Legnagyobb tömegük és ennél fogva legkisebb sebességük a *B*-csillagoknak van. Az *A*-tipushoz leginkább oly csillagok tartoznak, melyeknek tömegük nagy és sebességük kicsiny. De előfordulnak ebben az osztályban olyan csillagok is, melyeknek tömegük kicsiny és sebességük megfelelően nagyobb. Ezek olyan csillagok, melyek hőmérsékletük legmagasabb fokát már ebben az osztályban érik el és sohasem válnak *B*-csillaggá. Az *A*-csillagok átlagos sebessége tehát nagyobb, mint a *B*-csillagoké. Hasonlóan az *F*-csillagoknál lesznek olyan kistömegű csillagok, melyek már itt érik el a hőmérséklet maximumát és nem emelkednek az *A*-osztályba sem. Ezért az *F*-csillagok átlagos sebessége nagyobb kell hogy legyen, mint akár a *B*-, akár az *A*-csillagoké.

Az átlagos sebesség növekedése egyik színképtípustól a másikig csak akkor lesz elég tetemes, ha minden új típusnál számosabb olyan csillag csatlakozik, melyek közel vannak a hőmérsékletmaximumhoz, amelyek tehát a növekvő hőmérsékletű óriások és a csökkenő hőmérsékletű törpék között foglalnak helyet. Ha ellenben az ilyen közepszerű csillagok száma csekély, vagyis óriások és törpék élesebben vannak különválva, akkor az átlagos

tömeg és sebesség a megelőző típusétól nem különbözhetik erősen s azonkívül óriásokra és törpékre közel ugyanaz lesz. *B*-tól az *A* felé a sebesség 4 km-rel növekszik, *A*-tól az *F* felé a sebesség növekedése szintén 4 km; ezekben az osztályokban óriások és törpék vegyest fordulnak elő. A *G*-osztályban a kétféle csillag közti különbség már szembetűnőbbé válik, az átlagos sebesség növekedése csak másfél km. A *K*-osztályban a különbség óriások és törpék között még nagyobb, a sebesség növekedés 0.9 km, az *M*-típusnál pedig, hol a különbség a legnagyobb, a sebességnövekedés már csak 0.3 km. A következő kis összeállítás szembetűnően mutatja az abszolút fényességeknek ezt a viselkedését; *F*-csillagoknál például óriások és törpék között az átlagos különbség csak három nagyságrend, ellenben az *M*-csillagoknál teljes kilenc nagyságrend, amiből kitűnik, hogy az előbbi osztályban a kétféle csillag nincsen oly élesen szétválasztva, mint az utóbbiban.

Színkép	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>K₀—K₃</i>	<i>K₄—K₉</i>	<i>M</i>
Óriások... ..	1.1	0.6	1.3	1.4	1.6
Törpék ...	4.1	5.3	6.3	7.8	10.8

A sűrűsége vonatkozóan *Russel*, ennek a fejlődéselméletnek a megalkotója és *Shapley* azt találták, hogy a Nap sűrűségét egységnek véve, változó fényű *B*-csillagok átlagos sűrűsége 0.12, *A*-csillagoké 0.21, *F*-csillagoké 0.41. Legnagyobb sűrűséget (2) a *W Ursae maioris*-nál találtak, a legkisebbet a *Auri-aenél* (0.000003). Az előbbi a Nap sűrűségének kétszerese, utóbbi pedig az 1 mm nyomású vákuumnak felelne meg. A sűrűségek biztos meghatározása nagyon nehéz s közvetlenül alig is lehetséges, mert ehhez ismerni kell a csillag tömegét és

térfogatát. A tömeget csak kettőscsillagoknál tudjuk pontosabban meghatározni, a térfogathoz pedig a csillag valóságos méreteit kell tudnunk s láttuk az interferométerről mondottaknál, hogy ez milyen nehézségekbe ütközik. Így csak közvetve a sugárzási törvényekből, változócsillagoknál a fénygöréből következtethetünk a sűrűségre. Kettőscsillagok sűrűségét, abszolút fényességét, színképtípusát és a felhasznált csillagok számát a következő összeállítás mutatja:

Abszolút fényesség	Színkép	Sűrűség	Csill. száma
0.8	A_0-F_8	0.08	4
1.5	A_0-F_2	0.14	4
2.6	A_0-G_0	0.23	9
3.5	A_2-K_2	0.24	9
4.6	F_1-G_8	0.45	11
5.6	F_8-K_0	0.40	11
6.2	F_2-K_8	0.50	8
7.9	K_2-K_8	0.47	5
10.8	M_b	2.81	2

Találtak olyan sűrűségeket is, melyek teljesen valószínűtlenek, így például Procyon kísérőjénél 2000, Sirius kísérőjénél pedig 90.000-et. Itt bizonyosan a számítás alapjául szolgáló föltevések közül egyik vagy másik nem volt helytálló. A csillagok tömegének sűrűségéről tehát még nagyon keveset tudunk és a legelső kezdet kezdeténél tartunk, holott a világegyetem szerkezetének ismeretéhez ez is fontos és érdekes adat.

7. *Atomok és csillagok.* Már az ókorban Demokritosz (Kr. e. ötödik század) arra gondolt, hogy az anyag kicsiny részekből áll, melyeket atomoknak nevezett,

ami annyi jelent, hogy oszthatatlan. Szerinte pl. az arany legkisebb része, melyet már kisebbre osztani nem lehet, az arany-atom. Az atom fogalma a kémiában *Dalton* (1766—1844) felfedezéseivel nyert létjogosultságot. A kémia a vegyületeknél különbséget tesz molekula és atom között. Molekula valamely vegyület legkisebb része, mely még a vegyület összes sajátságaival rendelkezik; a molekula atomokból van összetéve, melyek lényegükben azonosak a régiek atomjával.

Az újabb fizikai kutatások az atomok világára is új fényt derítettek. Ezek a kutatások különösen a *Lenard*-vizsgálta katódsugárzásból indultak ki. *Lenard* kimutatta, hogy a katódsugarak mozgó negatív elektromosságú részecskék, ú. n. elektronok. *Bohr* elmélete szerint minden atom pozitív töltésű magból és körülötte bolygók módjára keringő elektronokból áll. Az atommag átmérője a millimikronnak körülbelül a milliommód-része, az elektron átmérője ennél háromszorta nagyobb. Az elektron tömege a hidrogénatom tömegének 1835-öd-része. Ez az új atomelmélet nagyon fontos szerepet játszik az elemek színeképeinek magyarázatánál, amire itt nem terjeszkedhetünk ki. De nagyon fontos sok más fizikai folyamatnál is és nyilvánvalóan a mindenség nagy tényeinek törvényszerűségénél is. Akármilyen parányi is az atom, a csillag ilyen atomok nagy sokaságából épül fel és a csillagok nagy sokasága alkotja a világegyetemet. Hogy miképpen gondolhatjuk a csillag belső felépítését, szerkezetét, azt főleg *Eddington*, *Jeans* és *Saha* vizsgálataiból tudjuk.

Mit mondhatunk a csillag belsejének szerkezetéről, mikor magának a Földnek belsejéről oly keveset tudunk? Hogy a Föld belsejének szerkezetéről oly keveset tudunk, annak egyik oka az, hogy a Föld belseje számunkra technikailag hozzáférhetetlen. Még a legmélyebb fúrások is elenyésző kicsinyek a Föld méreteihez képest.

A másik oka az, hogy szilárd égitestre, milyen a Föld is, nem alkalmazhatjuk az exakt tudománynak egyik fontos módszerét, az extrapolálást, mikor jól ismert, elméletileg jól megalapozott, kísérletekkel jól igazolt törvényeket kiterjesztünk oly területre, melyen való érvényességükről közvetetlen tapasztalatot ugyan nem szerezhethünk, de kellő óvatossággal igen valószínű eredményekhez jutunk. Ha pl. tökéletes vagy ideális gázzal van szó, akkor az extrapolálás, a kiterjesztett következtetés módszerét bátran alkalmazhatjuk. Ezeknek viselkedését a hőelmélet szorosan nyomon tudja követni. Ha tehát vannak olyan csillagok, melyek gázból állanak, akkor reményünk van, hogy ezek belsejéről a fizikai törvények alapján többet is megtudhatunk. Hogy gáznemű ködfoltok vannak, azt már nemsokára a sznképelemzés felfedezése után tudtuk. De az előbbieken láttuk, hogy vannak gáznemű csillagok is, sőt a szabad szemmel látható csillagok háromnegyede ilyen.

Russel szerint a csillag fejlődésmenete gáznemű halmazállapotból indul és nagyobb sűrűségű, szilárd halmazállapotban végződik. Ez a kétféle állapot időben természetesen nagyon messze esik egymástól. Gáznemű csillag nagy térfogatú és sűrűsége igen csekély és mindenestre van valami energiakészlete. Az előttünk ismeretes testekben a hő a legkisebb anyagi részecskék mozgás-energiájában nyilvánul; gázokban ezek a részecskék, a gázmolekulák, nagy sebességgel röpködnek ide-oda. A csillagokban is a hőkészlet nagy része ilyen alakban van meg. De másik alak is mutatkozik: a hő nagy része, néha felénél is több, belső sugárzó energiától származik, mely éterhullámok alakjában igyekszik az anyagon áthatolni. A csillag olyan, mint valami szita, mely csak ideig-óráig képes ezeket a kis hullámokat vagy rezgéseket visszatartani. Évszázadokig is eltarthat, míg né-

mely energiaelem a külső világtérbe jut, de azért a szita nyílásain át az áramlás folyton tart s így pótlódik a fény és hő, melyet a csillag kifelé lövel. Minden meleg testben ilyen kétféle hő van jelen, nevezzük őket pl. éteri és anyagi hőnek. A gáznemű vagy óriás csillagoknál feltűnő, hogy az éterhő oly nagy fokban jelenik meg, mely rendes tapasztalásainknál nem észlelhető s így új probléma előtt állunk. Vörösen izzó vasdarabban az éterenergia talán alig a billiomodrésze az egész energiának. De amint a hőmérséklet emelkedik, az éterenergia mind nagyobb tért foglal el az anyagi hővel szemben. A kettő közötti viszony változása nagyon gyors, mert az éterenergia a hőfok negyedik hatványával emelkedik, az anyagenergia pedig csupán az első hatvánnyal marad arányos. De csillag belsejében még akkor is nagy különbség maradna a kettő között, ha a csillag hőmérséklete néhány millió fokkal emelkednék. Azonban a csekély sűrűség tetemesen lejjebb szállítja a térfogategységnyi energiát. Így lehetséges azután, hogy az eddig ismeretes összes óriás csillagokban a kétféle energia körülbelül egyenlő mértékben van jelen. Elméletileg lehetséges volna, hogy az éterenergia többszörös túlsúlyba jusson az anyagenergia fölött, de a csillagok között eddig ilyen eset még nem találkozott. Olyanformán fest a dolog, mintha a csillagok méretei meg lennének szabva, mintha akként volnának méretezve, hogy ez a kétféle energia egyensúlyt tartson. Bizonyos, hogy ennek a körülménynek fontos szerepe van a kozmikus anyagnak különálló csillagokba való elrendeződésénél.

Hogyan kerül a csillag belsejéből a csillag felszínére a térbe sugárzott hő? A már említett *Lane* és *Ritter*, valamint mások úgy képzelték, hogy forró tömegek vándorolnak a belsőtől a felszín felé, hogy olyan konvekciós áramlásféle megy végbe, mint amelyet a mi légkörünkben is tapasztalunk. Valójában pedig nem is az a kérdés,

hogy hogyan kerül a hő a felszínre, hanem az, hogy miképen tartatik vissza kellően a csillag belsejében, hogyan záródik el és az áramlás hogyan lehet olyan csekély, amilyen a csillagok sugárzásából következik.

Az éterenergiával a konvekciós áramok elesnek. A csillagok energiaegyensúlya nem konvektív, hanem sugárzó egyensúly. Azonkívül az éterenergiának kifelé tóduló árama elég erős ahhoz, hogy közvetetlen mechanikai hatást gyakoroljon a csillag belső egyensúlyára. Azt lehetne mondani, hogy az éterenergia olyanformán hat, mint valami szél; mert bár az éterhullámokat rendesen nem tekintik anyagnak, de azért mégis megvan bennük az anyagnak két fő mechanikai tulajdonsága, a tömeg és a nyomaték vagy momentum. Ez az éterszél meynagyobbítja a csillag térfogatát és csökkenti a belső nyomást. A gázra kívülről ható nyomás nem teljesen egyenlő a fölötte levő gázoszlop egész súlyával, mert az éterhullámok ellenkező irányban hatva súlyát részben csökkentik. Ez az ú. n. sugárzó nyomás lényegesen módosítja az égitest belső egyensúlyának föltételeit.

Maxwell mondotta ki először (1873), hogy a fényhullámok, mint minden elektromos hullám, igen csekély, de meghatározható nyomást gyakorolnak arra a felületre, melyet érnek; *Bartoli* kimutatta (1876), hogy ez mindennemű sugárzásra, tehát a hősugárzásra nézve is érvényes. *Maxwell* és *Bartoli* ezt a nyomást elméleti úton kiszámították, *Lebedew*, *Hull* és *Nichols* pedig minden kétséget kizáró módon kísérletileg is bebizonyították (1900). Ezek alapján a csillagok tömegéről, össz-sugárzásáról, sűrűségéről stb. való ismereteinket összefüggésbe hozhatjuk az égitest belső anyagának fizikai sajátásaival, mintegy belepillanthatunk a csillag belsejébe, mintha fúrást végeztünk volna rajta.

Föltéve, hogy az égitest anyaga elég ritka, úgyhogy

tökéletes gáznak lehessen tekinteni, akkor mostani ismereteink alapján kétféle fizikai sajátosság jön itt tekintetbe: az átlagos molekulasúly és a csillag anyagának áthatósága, permeabilitása vagy átlátszósága a sugárzó energiával szemben. Ha ezt a két ismeretlent összefüggésbe hozzuk a csillagászati megfigyelés közvetlen adataival, akkor két jól megalapozott és beigazolt elvre kell támaszkodnunk, az egyik az energia megmaradása, a másik a hőtan ú. n. második főelve. Az energia megmaradásának elve lényegében azt mondja, hogy meglevő energia sohasem vesz el, legfőljebb átalakulhat más energiává; ilyen pl. a hő és a munka egymásba való átalakíthatósága. A hőtan második főtétele azt mondja, hogy míg a munka minden körülmény között teljes egészében átalakítható hővé, addig a hőnek átalakítása munkává bizonyos korlátok közé van szorítva.

Az égitestek anyagának áthatósága a sugárzó energiával szemben különösen érdekes, mert itt a csillagászat érintkezésbe jön modern fizikai laboratóriumi kísérletekkel, melyeket a Földön meg nem valósítható vagy elő nem állítható föltételekre terjeszt ki. Magas hőfokon az éterhullámok nagyon rövidek s a csillagokban keletkező sugárzás hullámhossza $0.3-3 \mu$ között váltakozik. Ezek lágy *Röntgen*-sugaraknak tekinthetők. Érdekes ezeket összehasonlítani a fizikusok vizsgálta keményebb ilyenféle sugarak elnyelésével vagy abszorpciójával. Hogy az elnyelés mértékéről az égitestekben pontos fogalmat alkothassunk magunknak, a molekulasúlyról kell valamilyen föltevessel élnünk. Itt az a szerencsés körülmény játszik közre, hogy a molekulasúly szélső lehetséges értékei az elnyelés számára igen szűk határok közé esnek. A gázalakú csillagban a szabad elemi részecskék átlagos súlyának igen kicsinynek kell lennie, mert az ott uralkodó körülmények következtében az atomrendszer külső elektronjaiból sok leválik, vagy, amint

mondani szokás, a gáz erősen ionizálódik. A jelen esetben minden szabad elektron külön molekulának számít s következésképp az átlagos súlynak csökkennie kell.

[Abban a szélső esetben, mely az égitestekben aligha valósul meg, mikor az atom magja körül lévő összes elektronok leválnak, az átlag súlya körülbelül 2, bármicsoda anyagok is vannak ott jelen. Ez azért van, mert a hidrogént kivéve, valamennyi elemnél az elektronok száma körülbelül egyenlő a fél atómsúllyal. Ennél fogva 2 biztosan szerepelhet mint szélső alsó határ. Felső határnak 200-at lehetne venni, de a biztonság kedvéért föltesszük, hogy a molekulasúly nem végtelen nagy. Ha a molekulasúlyt 2-nek vesszük, az elnyelés együtthatója 10, ha pedig a molekulasúlyt végtelen nagynak vesszük, az elnyelés együtthatója 130. A valódi értéknek e kettő között kell lennie. Hőelméleti megfontolásokból és csillagászati megfigyelésekkel való összehasonlításból legvalószínűbb értéknek az elnyelés együtthatójára 35 adódik, aminek 3.5 molekulasúly/felel meg. Ez az utóbb említett elnyelési együttható ugyanolyan nagyságrendű, mint a *Röntgen*-sugaraknak a laboratóriumban mért elnyelési együtthatója. Érdekes, hogy annyira különböző vizsgálati módszerek hasonló eredményre vezetnek az anyagnak a sugárzással szemben tanúsított áthatóságára vonatkozólag.

Ha a sugárzás átható ereje az égitestekben hasonló a *Röntgen*-sugarakéhoz, akkor pl. a földi légkör sűrűségénél 20 cm-nyi úton felénél több sugárzás elnyelődik. Az anyagnak ez az erős áthatatlansága vagy opacitása a sugárzással szemben, megmagyarázza, hogy miképen lehetséges az égitestekben a hőnek oly nagyfokú felhalmozódása s az aránylag csekély kisugárzás. Amit eddig találtunk, nagyjából megegyezik azzal, amit az elmélettől előre várhattunk. De van más eredmény is, mit a fizika talán nem tudott volna előre megmondani,

A gáznemű óriás csillagok sorozatába tartozó égitestek sűrűségei és hőmérsékletei között nagy különbségek mutatkoznak, úgyhogy a sorozat egyik végén levők hőmérséklete vagy tízszerre nagyobb, mint a másik végén lévőké.

Előző vizsgálatunk alapján a legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletű égitestek áthatatlanságát közvetlenül összehasonlíthatjuk. Meglepő az az eredmény, hogy az áthatatlanság valamennyinél ugyanaz vagy legalább is csak észrevehetetlen különbségek vannak. Ebből az látszik következni, hogy ilyen magas hőmérsékleten az elnyelés együtthatója valami határértékféle, mely tág határok között gyakorlatilag állandónak tekinthető. A hőmérséklet meghatározza az elnyelést szenvedő sugárzás minéműségét és hullámhosszát, épenúgy, mint az abszorbeáló anyag fizikai állapotát. A *Röntgen*-sugarakkal szerzett kísérleti tapasztalatok alapján azt várhattuk volna, hogy az elnyelés igen gyorsan változik a hullámhosszal és következőleg a hőmérséklettel; ezért meglepő az állandóság, amelyet találtunk. Az elnyelés tudniillik nem valami folytonos folyamat. Mikor az atom elnyelt bizonyos mennyiségű sugárzást, mintegy föl van függesztve ezirányú tevékenysége mindaddig, míg eredeti állapotába visszatért. Úgy látszik, hogy az atom adott időben csak határozott mennyiségű sugárzást képes átváltoztatni, ú. n. energiakvantumokat. Ha ez a határ el van érve, még intenzívebb sugárzás sem bírja növelni az elnyelést. Úgy mondjuk ilyenkor, hogy az atom telítve, szaturálva van. A laboratóriumi kísérleteknél használt sugárzás rendkívül gyönges és ezért itt az elnyelés még arányos a sugárzással. De égitesteknél a sugárzás rendkívül erős és beáll a telítettség. Ha ezt el is fogadjuk, azért még sem látható be könnyen, hogy az égitesteknél miért állandó az elnyelés együtthatója, függetlenül a hőmérséklettől és a hullámhossztól.

Barkla azt a gondolatot vetette fel, hogy a csillagok áthatatlansága vagy opacitása inkább szórásnak tudandó be és nem elnyelésnek. A szórás együttható ugyanis rövid hullámhosszúságú sugárzásnál az anyagtól függetlenül állandó érték felé közeledik. Azonfelül folytonos folyamat s így telítettség nem áll elő. Ennélfogva a szórás intenzív sugárzó folyamatoknál állandó jellegű, ellentétben az elnyeléssel, mely aránylag csekély fokra sülyedhet. Azonban az ismert elméleti szórás és a csillagokon valóban megfigyelt érték között oly nagy az eltérés, hogy a föltevés nehézségekre ütközik. Az elméleti együttható 0,2, míg az észlelt érték 10 és 130 között fekszik. A nehézség elhárítására *Barkla* felteszi, hogy az itt fellépő hullámok nem elég rövidek ahhoz, hogy az elméleti együttható kiadódjék. Ebben az esetben a szórás sokkal nagyobb lenne, mert hatásuk következtében valamennyi atom elektronjainak rezgése egyforma fázist mutatna, nem pedig számtalan különbözött. De a nehézséget ez sem szünteti meg. Ugyanis, mint említettük, számos elektron elszakadt atómjától és így nem vesz részt a szórás növelésében. Például a nem-ionizált vas elméleti szórása 5,2, csillagászati értéke 120. Ha 16 elektron elszakad az atómból, az elméleti együttható 0,9, a csillagászati érték 35. Ha tekintetbe vesszük az adatok bizonytalanságát, azért mégis kitűnik, hogy a csillagászati úton észlelt áthatatlanság sokkal nagyobb, mint az elméleti szórás. Újabban mégis valami lehetőség mutatkozik az ellentét kiegyenlítésére, amiről utóbb még lesz szó.

A rövid hullámokra vonatkozó laboratóriumi kísérletek és az ionizálás körülményeinek tanulmányozása elméleti és kísérleti fizikai alapon a csillagászat szempontjából is igen nagyfontosságú, mint minden a sugárzásra vonatkozó kérdés. A mindenség szerkezetéről, fölépítéséről csak ezeknek bevonásával alkothatunk magunknak kielégítő képet.

A gáznemű óriáscsillag összsugárzásának, állandó áthatatlanság mellett, csupán a tömegtől kellene függnie, a hőmérséklettől és sűrűségtől függetlennek kell lennie. Addig, amíg valamely csillag gáznemű óriás, összsugárzása, melyet nagyjából fényességével mérhetünk, állandó marad. Ez összhangban van azzal az alapjelentőségű ténnyel, hogy valamennyi óriáscsillagnak egyforma a fényessége, bármilyen színképosztályba tartozik is. Ezeknél a csillagoknál a fényességből nem lehet következtetni a tömegre; a tömeg igen közel egyformarendű a túlnyomó többségnél 3 és 1 között ingadozik, a Nap tömegét egységnek véve.

Ha számításba vesszük a sűrűbb gáz eltéréseit a tökéletes gáztól és a Napot használjuk a föllépő ismeretlen állandók meghatározására, akkor némi következtetést kockáztathatunk meg a törpecsillagokra vonatkozóan is. Kiszámíthatjuk adott tömegű csillag legmagasabb hőmérsékletét. Például, hogy valamely égitest a legalsóbbrendű M -színképtípust elérje, ahhoz a Nap tömegének legalább hetedrészével kell egyenlőnek lennie; hogy a legmagasabb B -típust elérje, a Napnak $2\frac{1}{2}$ -szeres tömege szükséges. Az elméletre kedvező, hogy eddig még nem akadtak csillagra, melynek tömege a Nap tömegének hetedrészénél kisebb, a B -típusú csillagok tömege pedig tudvalevően nagy a többi típusok csillagaihoz viszonyítva. Azt is ki tudjuk számítani, mennyi a különbség az M -típusú óriás- és törpecsillagok fényessége között, más szóval fejlődésük kezdetén és végén. A számítás eredménye teljesen egyezik az észlelt értékkel.

Vannak változófényű csillagok, amelyeknél ez a változás minden valószínűség szerint az égitestnek valamilyen mechanikai lökzetésszerű folyamatával, pulzációjával áll összefüggésben. A belső szerkezetről szerzett ismereteink alapján elég pontossággal tudjuk kiszámítani a lökzetés periódusát, vagyis szabályos ismétlődésének időtartamát,

Például a legjobban ismert ilyen csillagnál, a δ Cepheinek, az elméleti periódus 4 és 10 nap közé esik, a ténylegesen megfigyelt periódus $5\frac{1}{2}$ nap. Hasonló egyezést találunk minden más esetben.

A megfigyelés ezekről a dolgokról még nem ad teljesen határozott képet s így közte és az elmélet között a meg egyezés is csak általános, nagy vonásokban lehetséges. Mikor az elmélet azt mondja, hogy akkora tömegű csillag, mint a Nap, 9000 Celsius fok maximális effektív hőmérsékletet érhet el (a Napé jelenleg már csak 6000), akkor az állítás ellenőrzésére nem tehetünk valami sokat. De hibás elmélet talán 30.000 fokot adott volna, ami minden ismert csillag hőmérsékleténél nagyobb s ebben az esetben hibás volna menten kiderül. Ha egyes csillagok tetemesen el is térnének a számított értéktől, úgy ebben nincsen semmi meglepő, mert figyelmen kívül hagytuk a csillag rotációját, mely pedig lényegesen módosíthatja az eredményt, ha elég gyorsan megy végbe.

Maxwell és *Bartoli* szerint minden sugárzás terjedése irányában oly nyomást gyakorol, mely minden helyen ép akkora, mint az ott a térfogategységben foglalt sugárzásbeli energia. Ezen az alapon ki lehet számítani, hogy gáznemű égitestben ezen az úton mily arányban tartatik egyensúlyban a súlyos anyag. Ez az arány nem függ a sűrűségtől, hanem a csillag össztömegétől és a molekulásúlytól. Tegyük föl például, hogy a molekulásúly 3, a tömeg pedig a Nap tömegének fele; akkor a sugárzó nyomástól ellensúlyozott anyag súlyhányada 0.044. Ha a Nap ötszörös tömegét vesszük alapul, akkor a megfelelő súlyhányad 0.457. Ha a molekulásúly 5, akkor a megfelelő hányadok 0.182 és 0.645.

A molekulásúly alig mehet ezen a nagyságrenden túl. Az óriáscsillagok túlnyomó részénél a tömeg a Nap tömegének fele és ötszöröse közé esik s amint láttuk, a sugárzó nyomás épen ilyen tömegeknél kezd jelentős

szerepet játszani. Nagyobb tömegű gázgömb, melyben sugárzó nyomás és gravitáció közel ellensúlyozzák egymást, bizonyosan instabilis, nem állandó alakulat. Ha magábanvéve teljes nyugalmi helyzetben talán nem is az, de a legcsekélyebb mozgás, rotáció vagy egyéb háborgatás azzá teheti. Ezért valószínűnek kell tartanunk, hogyha valamely ködfolt anyaga a Nap ötszörös tömegénél nagyobb tömeggé kezd összesűrűsödni, akkor szétesik kisebb részekre mindaddig, míg stabilis, állandó alakulatok létesülnek. A felső határon felül kevés a megmaradás valószínűsége. Ha az alsó határ el van érve, a veszély megszűnt és a további szétesés nem valószínű többé. Az állócsillagok tömege ezért majdnem kivétel nélkül mind az említett határok közé esik. Azt is mondhatjuk más szóval, hogy a világegyetemben szétszórtan levő anyag 1000 kvintillió ($= 10^{28}$) és 10.000 kvintillió ($= 10^{31}$) gramm között levő tömegekké verődik össze. A megfigyelésből is ez következik.

Ha föltesszük, hogy a molekulatömeg pl. 3.5 és hogy a sugárzó nyomás a gravitáció harmadrészét ellensúlyozza (hasonlóan, mint a forgó szferoid alakú égitesteknél, hol a centrifugális erő idézi elő a gravitációval szemben az instabilitást), akkor a kritikus tömeg a Nap kétszeres tömege, s a csillagok tömege közel ezen értékhez fog leginkább tömörülni.

A sugárzó nyomás és az égitestek belső alkatának tanulmányozása visszavezet bennünket arra a már fönnebb megbeszélt kérdésre, hogy mi a Nap és a többi csillagok hőjének, sugárzó energiájának forrása. Láttuk, hogy *Helmholtz* a gravitációs energiában vélte megtalálni ezt a forrást, mely az égitest összehúzódása közben változik át hővé. *Lord Kelvin* kimutatta, hogy e föltevés alapján a Nap kora legföljebb 20 millió évre tehető s a geológusokat és biológusokat igyekezett rávenni, hogy ehhez a mértékhez szabják elméleteiket,

melyek sokszorta nagyobb időszakokat tettek szükségessé. Ez nem talált visszhangra. Sőt épen a csillagászatban fölmerült más problémák sokkal és sokszorta nagyobb időközöket követelnek, mint pl. a *Darwin*-féle árapályelmélet a Hold-Föld-rendszerre alkalmazva, vagy a csillagrendszerek statikai egyensúlyáról való modern vizsgálatok. *Lord Rayleigh* is nagyobb számokhoz jutott, mikor a földi kőzetek korát héliumtartalmukból állapította meg.

Az összehúzódás föltevésének következményei különösen szembeötlők az óriáscsillagoknál, mert ezek pazarul, a Napnál mintegy százszorta gyorsabban sugározzák ki hőjüket. Óriáscsillag 100.000 évnél rövidebb idő alatt sugározná ki azt az energiát, mely a Nap hősugárzását 10,000.000 éven át tudná pótolni. Az óriáscsillag fejlődése tehát aránylag rendkívül gyorsan megy végbe abban az időszakban, mikor még tökéletes gázalakban van. Tipikus csillagnak 18.000 év alatt kellene a kezdeti *M*-állapotból a *G*-osztályba jutnia. További 80.000 év alatt elérné az *A*-típust a skála tetőpontján s azontúl lefelé fordul útja. Ezek a számok valószínűleg még túl nagyok, mert kiszámításuknál a gázok kétféle fajhőjének (állandó nyomásnál és állandó térfogat mellett) viszony-számát $\frac{5}{3}$ -nak vettük, ami a lehető legnagyobb érték és így kizártuk azt az energiát, mely az ionizáláshoz és a belső atómrezgéshez szükséges.

A szabad szemmel látható csillagok legtöbbje óriás, amiből az következik az összehúzódás föltevése alapján, hogy ezek mind a közelmúlt 80.000 év folyamán keletkeztek. Ám a távcső nemcsak térben, de időben is távol eső égitesteket mutat nekünk. Ha a különböző csillaghalmazokat vesszük szemügyre, 20.000, 50.000, 200.000 év előtti történéseknek vagyunk a szemtanúi. Amint *Shapley* mondja, az ítélet úgy szól: «mincsen változás». Ez talán nem egészen érvényes ilyen szigorú értelemben.

mert nem következik belőle, hogy egyes csillagok időközben sem változtak. De nehéz elzárkóznunk ama benyomás elől, hogy a csillagvilág fejlődése fõnségesen lassú lépésben történik, amihez képest az említett idõközök számításba sem jönnek, elenyészõ kicsinyek a szükséges évmiriádok mellett.

Más csillagászati tény is nyomatékosabban azt látszik bizonyítani, hogy a csillagok fejlõdése sokkal lassabban megy végbe, mint ahogyan az összehúzódás *Helmholtz*-féle feltevésébõl következik. Ezen az úton talán lehetséges lesz a fejlõdés valódi idõtartamát vagy gyorsaságát meg is mérnünk. Már fõnnebb említettük a δ Cephei-féle változócsillagokat. Ezeknek fénye szabályos, jellemzõ változásokat mutat néhánynapos periódussal. Bizonyos, hogy ezek a csillagok nem kettõscsillagok és úgy a fényváltozás nem származhatik fogyatkozásból. A csillag színe is változik két szélsõ érték között, ami nyilvánvalóan a csillag fizikai alakjában végbemenõ idõszakos változásokra enged következtetni. Amint már említettük, a legvalószínûbb az, hogy mechanikai lûktetés, pulzáció idézi elõ ezeken a csillagokon a leírt jelenségeket. A lûktetést feltéve, kiszámíthatjuk a lûktetés periódusát s a számítást a megfigyeléssel ellenõrizhetjük. De akár lûktetés az ok, akár rotáció, akár más valami, hacsak nem kívülrõl ható körülmény, hanem magával a csillaggal bensõn összefügg, akkor a periódus legfõképen a csillag sűrûségétõl függ. Mikor a csillag sugárzás folytán összehúzódik, sűrûsége számbavehetően változik és így a lûktetés periódusa nem maradhat állandó. Ha a legjobban ismert ilyen csillagot, a δ Cepheit vesszük alapul, akkor az összehúzódás föltevése azt adja eredményül, hogy a sűrûség 40 év alatt egy százalékkal változik. Ennek következtében a δ Cephei periódusának évenként 40 másodperccel kellene változnia, amit nagyon könnyû volna észlelni.

A δ Cepheit már 1785 óta figyelik nagy gonddal s ha periódusa egyáltalán változott, úgy a változás csak fölötte csekély lehet. *Chandler* évi $1/20$ másodperc periódus-rövidülést, talált. *Hertzsprung* pedig $1/10$ másodpercet. A csökkenés kétségtelen bebizonyítására az 1800. év előtti észlelésekre is kell támaszkodnunk. Ebből kitűnik, hogy a változás semmiesetre sem több, mint $1/400$ része annak, amit az összehúzódás föltevése követel. Kell tehát, hogy a csillag fejlődésének ezen a fokán valami más energiaforrás négyszázszorosan meghosszabbítsa a csillag fejlődésmenetét. Az ily módon megnagyobbított időskála minden ésszerű követelménynek eleget tenne.

A kérdés világos. Vagy meg kell engednünk azt, hogy miközben a csillag sűrűsége egyszázalékkal változik, addig egy vele szorosan összefüggő periódus nem változhatik csupán egyszázaléknak nyolcszázadrészával, vagy pedig el kell ejtenünk az összehúzódáselméletet. Ha ez az elmélet a mi napjainkban került volna nyilvánosságra, nem találkozott volna olyan általános helyesléssel. Biológia, geológia, fizika, csillagászat egybehangzóan azt vetette volna föl ellene, hogy az elmélet alapjául szolgáló energiaforrás teljességgel elégtelen a szükséges hő pótlására a fejlődésnél tekintetbe jövő időtartamban. A megfigyelés adatainak magyarázata is hozzájárult volna az összehúzódásielmélet elvetéséhez.

A csillag valami hatalmas energiakészletből merít előttünk még ismeretlen módon és eszközökkel. Ez a készlet nem lehet más, mint az atomok belső energiája, mely, amint ismeretes, minden anyagban bőven megvan. Ez a készlet úgyszólván kimeríthetetlen. Az atomkutatás minden ténye valószínűvé teszi, hogy az égitestekben valóban ilyen felszabadult interatómos vagy szubatatómos energiával van dolgunk. Messze vezetne és nem

is lehet itt a feladatunk, hogy a modern atómelméletet és a vele szorosan összefüggő kvantumelméletet itt vázoljuk. Csak azt jegyezzük meg, hogy ezen elmélet szerint energiasugárzás jön létre, valahányszor valamely pozitív mag körül keringő elektron külső pályáról nagyobb vagy kisebb ugrásokkal belső pályára szorul. Ez a sugárzás addig tarthat, mígnem az elektron elfoglalja a legbelső pályát, a végső helyet, mikor az atóm energiája lehetőleg kicsiny; ez az atóm normálállapota. Ha tehát az égitesteket kezdeti állapotukban alkotó gázok olyanok, hogy atómjaikban az elektronok nagyobbra külső pályáikon mozognak, akkor a csillag belső energiájának ez volna a legfőbb forrása, mely más energiaforrásokat fölöslegessé tesz.

Igy kétségtelennek látszik, hogy a radioaktív anyagok sugárzásánál elemek átváltozása megy végbe, elemek atómjainak robbanása, héliumatómok és elektronok kilövellése és új elemek atómjainak képződése, miközben a belső atómenergia sugárzó energiává alakul, melyet meg lehet mérni és ki is számítani. Ami a laboratóriumban lehetséges, az a természetben sem lesz lehetetlen és így a csillagokban bizonyosan végbemennek olyan folyamatok, melyeknél ilyen belső atómenergia felszabadul. Az ily módon keletkezett energiakészletet azelőtt nem vették és nem is vehették számításba.

De azért, szigorúan véve, még mindig kérdéses marad, hogy csakugyan ez-e az az energiaforrás, melyből az égitestek kisugárzott hője kikerül. A lényeges itt az, hogy az összehúzódáson és az égitestekre hulló meteóresőn kívül újabb, hatalmasabb energiaforrásra bukkanunk és most az a feladat, hogy újabb csillagászati tények után kutassunk, melyek mivoltát kétségtelenné teszik. Ilyen tény például a csillagok magas belső hőmérséklete, amely meghatározza a felszabaduló energiát, amint ezt *Russel* kimutatta. Ha ez így van, akkor lehet-

séges, hogy az energiapótlás főleg a csillag legmelegebb, középponti részéből származik. Fönnebb nem vettük szemügyre azt a lehetőséget, hogy az energiapótlás teljes egészében a középpont körüli határolt részből történik. De láttuk, hogy az észlelt áthatatlanság nem áll összhangban a számított elméleti értékkel. Kellően koncentrált energiaforrással ezt a megegyezést megkaphatjuk s egyelőre nem is látszik más út, melyen ezt el lehetne érni. Ugy is mondhatjuk ezt, hogy az együtthatók között mutatkozó különbség azt jelzi, miszerint az energiapótlás nem az összehúzóálmélet követelte úton megy végbe, hanem olyan forrásból indul ki, mely a csillag középponti, legmelegebb részében foglal helyet.

Hogy az atómelmélet alapján milyeneknek kell képelnünk gáznemű óriáscsillag belsejében a sűrűséget és a hőmérsékletet, arról az atómelmélet alapján *Eddington* a következő összeállítást adja. Alapul van véve oly csillag, melynek tömege a Nap tömegének másfélszerese, közepes sűrűsége a vízre vonatkoztatva 0.002, közepes molekulasúly 2.83, elnyelési együttható 23, a csillag sugara 6.9-nek van véve, azaz a hosszegység olyan, hogy a sugár mértékeül 6.9 adódik.

Távolság a középponttól	Sűrűség	Hőmérséklet Cels. fokokban
0	0.1085	6,590.000
1	0.0678	5,640.000
2	0.0215	3,840.000
3	0.00503	2,360.000
4	0.00100	1,380.000
5	0.000149	730.000
6	0.0000093	285.000
6.9	0.0	

Az atómelméletet a Napra alkalmazva *Eddington* kiszámította, hogy a Nap effektív hőmérséklete sohasem lehetett magasabb 6600 foknál, középponti hőmérséklete pedig 18 millió fokot nem haladhatott túl ; ismerve átlagos sűrűségét, mely 1.378, a középponti sűrűség 7.7-nek adódik, ami a vas sűrűségének felel meg. Ezek az adatok minden olyan csillagra is vonatkoznak, melynek tömege akkora, mint a Napé. A Nap tömegét egyszerűen véve, még egy nagyobb (Sirius) és egy ötszörte kisebbtömegű törpecsillagra vonatkozó adatokat közöljük.

Csillag	Tömeg	Hőmérséklet a középpontban	Effektív maxi- mális hőmérs.	Átlagos molekulasúly
Sirius	2.43	26,000.000	11.000	2.55
Nap	1.0	18,000.000	6.600	3.2
Törpe csill.	0.12	12,000.000	3.500	5.4

IV. A CSILLAGOK MOZGÁSA.

CSILLAGRAJOK ÉS CSILLAGÁRAMOK.

1. *Saját és radiális mozgás.* A felfegyverzetlen szemre a csillagos ég szemléleténél az gyakorolja a legnagyobb benyomást, hogy a számtalan csillag örök nyugalomban látszik lenni. Időtlen-idők óta a Fiastyúk vagy a Göncöl-szekere csillagai mindig ugyanazt a konfigurációt mutatták, viszonylagos helyzetük, már amennyire a szabad szem ezt megítélni tudja, hosszú évszázadok alatt sem látszott megváltozni. De csakis látszott; mert a folytonos megfigyelés és a távcső tökéletesedésével egyre finomodó mérések arra tanítanak, hogy a csillagok nem «álló» csillagok, nem egy helyben maradnak az éggömbön, hanem mozognak. Ez a mozgás látszólag olyan csekély, hogy csak a leggondosabb és legfinomabb mérésekkel vehető észre, a szabad szem számára pedig teljesen elenyészik.

A csillagos eget a csillagászok felmérik úgy, mint a geodeták a Föld felszínét és elkészítik a térképét. A Föld felszínén a városok helyzetét a földrajzi szélességgel és hosszúsággal lehet megadni; az égen minden csillag helyét szintén két ilyen szögadattal, a deklinációval és a rektaszcenzióval adjuk meg. Térképen ezeket az adatokat nem lehet egész pontosan feltüntetni, azért a csillagászok a csillagokra vonatkozó adatokat katalógusba foglalják. Az ókorból reánk maradt legrégebbi ilyen katalógus az, amelyik *Ptolemáiosz* *Almagestjében* foglalta-

tik; előtte *Hipparchosz* és még előbb *Arisztylosz* és *Timachárisz* készítettek ilyen katalógust. Tudjuk, hogy *Hipparchosz* az utóbbiak katalógusára támaszkodva fedezte fel a tavaszpont előnyomulását, a precessziót.

Halley 1718-ban először állapította meg, hogy a saját-korabeli megfigyelések az *Almagest* adataitól annyira eltérnek, hogy ezt csupán a csillagok saját mozgásának lehet tulajdonítani. Azóta a csillagok helyzetének minél pontosabb megfigyelése, a csillagok katalógusba való foglalása és ezen katalógusok gondos összehasonlítása a csillagászat egyik legfontosabb feladata. Egyik fontos ilyen katalógus a *Bradley*-féle, az újabbak közül a *Bessel-Auwers*-, *Argelander*-féle, a legújabbak közül pedig az 1910-ben megjelent *Boss*-féle. A fényképezés is alkalmas eszköz ahhoz, hogy csillagok mozgását könnyen felismerjük; az ég ugyanazon tájáról lehetőleg hosszú időközökben készült két fotográfiát finom, mérésre alkalmas sztéreoszkópban, ú. n. sztéreokomparátorban hasonlítunk össze. Ha valamely csillag elmozdult, úgy ez rögtön szembetűnik.

A közönséges tapasztalatra támaszkodva azt lehetne gondolni, hogy minél fényesebb valamely csillag, annál közelebb van hozzánk és annál nagyobb mozgást lehetne várni. Azonban számos csillag, még a fényesebbek közül is, *Bradley* óta sem mutatott észrevehető mozgást. A mozgás, amit a csillagászati szögmérő műszerekkel megállapítunk, az éggömbön való látszólagos szögmozgás, az ú. n. saját mozgása a csillagoknak. Hogy a valóságban mennyi a csillag térbeli mozgása, azt ebből még nem tudjuk, mert ehhez szükséges ismernünk még a csillagnak tőlünk való távolságát. Mennél nagyobb ez a távolság, annál nagyobb a valóságos mozgás ugyanazon szögelfordítás mellett. De a saját mozgás csak a gömbön való látszó elmozdítást tünteti fel, mintha oldalvást való mozgása közben a csillag mindig ugyanabban a távolságban ma-

radt volna. De a csillag mozgása közben a látás irányában felénk közeledhetik vagy tőlünk távolodhatnak. Ezt a fajta mozgást csak újabb idők óta tudjuk nyomon követni, mióta a spektroszkóp a *Fraunhofer*-féle vonalak révén ezt az ú. n. radiális mozgást elárulja s a *Doppler-Fizeau*-féle elv alapján mérhetővé teszi. A saját mozgást rendesen úgy fejezzük ki, hogy megmondjuk, hány másodperc az elmozdulás egy év alatt. A radiális mozgásnál megadjuk az égitest sebességét kilométerekben másodpercenként. Radiális sebességet először *Huggins* mért 1868-ban. A saját mozgást olyan pontosan lehet megállapítani, hogy a hiba nem tesz ki többet, mint 1"-et egy évszázadban.

Ha számos csillagnak megállapítottuk a mozgását, akkor kutathatjuk, hogy van-e összefüggés a csillagok saját mozgása és fényessége, parallaxisa, színképe s. í. t. között. Számos csillag átlagos saját mozgását kiszámítva, *Mädler* a *Bradley*-féle csillagoknál találta, hogy a fényesebb csillagoké általában nagyobb, mint a gyöngébb fényűeké. Szerinte az évi átlagos saját mozgás

1. és 2.-odrendű csillagoknál	2'22''
3. " "	1'68''
4. " "	1'97''
5. " "	1'11''
6. " "	0'90''
7. " "	0'86''

Az átlagos saját mozgás ezen viselkedéséből azonban nem következik, hogy valamely nagyon fényes csillag saját mozgása nem lehetne kicsiny és gyöngfényű csillagé meg nagy. A következő összeállítás feltünteti az eddig pontosabban ismert saját mozgások közül azokat, melyek évi 3"-nél nagyobbak. Ebből kitűnik, hogy a legnagyobb saját mozgást kicsiny nagyságrendű csillagoknál találjuk, ami azért nem meglepő, mert kicsiny csillagok összehasonlíthatlanul nagyobb számban vannak az

égen. Nagy sajátmozgás igen ritka. *Turner* és *Bellamy* 30.195 többnyire gyöngfényű csillag között csak 161-et talált, melyeknek évi saját mozgása $0.2''$ -nél nagyobb. A *Boss*-katalógus 6188 csillagának csak 23 százaléka mutat $0.1''$ -nél nagyobb sajátmozgást, holott a benne foglalt csillagok csak a szabad szemmel látható fényesebb csillagok hatodrendig és néhány hetedrendű, tehát olyanok, melyek bizonyosan a Nap közelebbi környezetéhez tartoznak. Összeállításunkban néhány csillagnál a saját mozgás sebességét is feltüntetjük, valamint a radiális sebességet kilométerekben másodpercenként.

A radiális sebességnél $+$ távolodást, $-$ közeledést jelent.

Csillag	Nagyság rend	Saját mozgás		Radiális sebesség
		szögben	km-ben	
Nyílcillag Ophiuchusban	9.7	10.30"		—106
Cordoba Z. 5 ^h 243... ..	8.3	8.70	129	+242
Groombridge 1830... ..	6.5	7.07		
Lacaille 9352	7.4	7.02	115	+12
Cordoba G. C. 32416...	8.3	6.07		
61 Cygni (főcsillag)... ..	5.6	5.25	80	—62
Lalande 21185	7.3	4.8	57	
Wolf 359... ..	13.0	4.8		
ϵ Indi	4.7	4.67	79	—39
Lalande 21258	8.5	4.46	106	
α^3 Eridani	4.5	4.08		
Wolf 489... ..	13.0	3.9		
{ Arg.-Oel. 14318	9.6	3.76		
{ Arg.-Oel. 14320	9.2	3.76		
μ Cassiopeiae	5.3	3.75		
α Centauri, főcsil.	0.3	3.66	23	—22
Lacaille 8760	6.7	3.53		
ϵ Eridani... ..	4.3	3.15		
Arg.-Oel. 11677... ..	9.0	3.03	72	
Wolf 28	12.3	3.0		

Valószínű, hogy minél közelebb van hozzánk valamely csillag, annál észrevehetőbbnek kell lennie a sajátmozgásának. Ebből nagyobb valószínűséggel következtethetünk, mint a fényességéből. Ha valamely csillag erős sajátmozgást árul el, akkor valószínűleg nagy parallaxisa is van.

Nagyon érdekes az összefüggés a sajátmozgás és a színképtípusok között. Ez abban nyilvánul, hogy átlagban a sajátmozgás az *O*-, illetve *B*-típustól az *F*-ig nő s onnét ismét csökken az *M*-ig. Legerősebb a növekedés az *A*- és az *F*-típus között. Ennek oka az lehet, hogy a csillagok térbeli sebessége tényleg ilyen értelemben különbözik vagy pedig az, hogy tőlünk való átlagos távolságuk különböző. Az *O*- és *B*-csillagok átlagban háromszor kisebb sajátmozgást mutatnak, mint az *F*-típusú csillagok. Ha tehát háromszor oly messze volnának, mint az utóbbiak, úgy a megfigyelt látszólagos sajátmozgásuk akkor is háromszorta kisebb lenne, ha valóban ugyanazzal a kilométeres sebességgel mozognának, mint az *F*-csillagok. Boss szerint tényleg úgy van, hogy az *F*-csillagok közelebb vannak hozzánk, mint a többi típus csillagai, a *B*-típusúak pedig átlag a legtávolabbiak. A *B*-csillagok mozgása a leglassúbb, az *A*-csillagoké valamivel gyorsabb, az *F*- és *M*-csillagoké a leggyorsabb. Az utóbbi típusoknál sebességnövekedés nem állapítható meg biztosan. Boss szerint a *B*-, *A*-, *F*-, *M*-csillagok sebessége úgy aránylik, mint $3.1 : 5.1 : 8.4$. Ezt a törvényszerűséget a radiális sebességek is igazolják.

A radiális sebességek ismeretét főleg annak köszönhetjük, hogy külön erre a célra szerkesztett spektrográffal a csillagszínképet az összehasonlítószínképpel együtt kisebb részletekben lehetett lefényképezni és kimérni. A radiális sebességek általában nem nagyok s olyanformarendűek, mint a Föld sebessége Nap körüli útjában, vagyis 30 km körül. De vannak olyan csillagok is, melyeknek radiális sebessége igen nagy; ezeknél a saját-

mozgás is rendszeresen tetemes. Ha ismerjük valamely csillag parallaxisát, sajátmozgását és radiális sebességét, akkor térbeli valódi sebességét is könnyen ki tudjuk számítani. A következő összeállítás feltünteteti azokat a 100 km-nél nagyobb radiális sebességű csillagokat, melyeknél ezek az összes adatok ismeretesek.

Csillag	Szín-kép	Radiális sebesség	Saját mozgás	Parallaxis	Valódi sebesség
Lalande 1966 ...	F_5	-325 km	0°638"	0°016"	364 km
Lalande 5761 ...	A_{sp}	-144	0°861	0°039	179
W. B. 3 ^h 617 ...	F_4	+114	0°745	0°028	152
A. G. Berl. 1366	F_0	+339	0°54	0°007	494
Groombr. 864 ...	G_2	+105	0°690	0°055	108
Cordoba 5 ^h 243...	$G-K$	+242	8°75	0°319	257
A. G. Berl. 1866	F_9	-190	0°76	0°021	262
Boss 1511 ...	K_{sp}	+183	0°104	0°012	168
Lalande 15290 ...	F_7	-242	1°962	0°023	467
" 23995 ...	F_3	+144	0°877	0°012	372
" 27274 ...	F_4	+160	0°785	0°013	322
Arg.-Oe. 14318/20	K_0, G_8	+300	3°682	0°044	491
Lalande 28607 ...	A_{sp}	-170	1°178	0°033	221
A. G. Leid. 5734	K_4	-164	0°035	0°002	166
W. B. 17 ^h 514...	F_6	-148	0°623	0°014	245
Nyílcillag Ophiuch. ...	M_b	-106	10°27	0°540	132
Lalande 37120...	F_9	-162	0°517	0°050	152
Arg.-Oe. 20452 ...	F_5	-179	1°182	0°015	391

2. *A Nap mozgása.* Az az idő, amióta a csillagok mozgását észlelni tudjuk, még túlságosan rövid ahhoz, hogy a csillagok térbeli útjának alakjáról is határozott képet formálhassunk magunknak. A bolygóknaál, üstökösöknél ez könnyebben volt lehetséges; de a csillagoknál talán sok évszázadra lesz szükség, hogy a pálya eltérését az

egyenestől észrevehessük. Az eddigi megfigyelések ugyanis azt mutatják, hogy a csillagok sajátmozgása nem tér el az egyenestől, ha pedig ilyen eltérés mutatkozik, akkor rendszeren abban van az oka, hogy kettőscsillaggal van dolgunk, amint ezt már említettük. Még a mult század közepe táján *Mädler* azt igyekezett kimutatni a csillagok sajátmozgásából, hogy a csillagok zárt görbe pályákon mozognak közös középpont körül, melyet a Fias-tyúk csillagképbe helyezett, úgyhogy Alkyone nevű csillaga lett volna a látható csillagsereg középponti csillaga. De már *Peters* kifejtette ennek a nézetnek a tarthatatlanságát, melyet semmiféle újabb megfigyelés sem tett valószínűvé, úgyhogy már régen teljesen elejtették.

Ha az összes csillagok változtatják helyzetüket a térben, akkor a Nap sem lehet kivétel. A *copernicusi* gondolat azt követeli, hogy a látszatot félretéve, megfigyeléssel igyekezzünk a valósághoz hozzáférközni. A Nap térbeli mozgására a csillagok sajátmozgásából kell ráismernünk. Ha a csillagok nyugalomban lennének és csak egyedül a Nap mozogna a térben, akkor mégis úgy látszanék, mintha a mozgás irányában a csillagok széjjelszóródnának, az ellenkező irányban pedig összébb kerülnének, mert a haladás irányában közeledünk az előttünk levőkhöz, az ellenkező irányban távolodunk a mögöttünk levőktől. A perspektívának ez a hatása mindennapos tapasztalat, amely nagyon feltűnő, ha pl. fasorban megyünk egy irányban. De ennek a hatásnak akkor is kell jelentkeznie, ha a többi összes csillagok is mind mozgásban vannak a tér minden irányában. Mozgásuk két részből fog összetevődni: valódi saját mozgásukból és abból a látszó elmozdulásból, melyet a Nap térbeli mozgása von maga után.

W. Herschel volt az első, ki a csillagok saját mozgásából a Napét igyekezett kihámozni, azzal a föltevással élve, hogy a csillagok valódi mozgása a térben válogatás

nélkül minden irányban megy végbe. Amit keresünk, az a Nap mozgásának iránya, amelyet ismerünk, ha tudjuk, hogy az ég mely pontja felé tart. Ez az ú. n. apex; az ellenkező pont az antiapex, amely felé a csillagok látásának mozogni. Azonkívül ismerni akarjuk a mozgás sebességét. Sokan foglalkoztak ezzel a problémával, újabb időben különösen *Newcomb*, *Boss*, *Kobold* és *Kapteyn* és mások. A sokféle vizsgálat azt mutatja, hogy az apex helyzetére többé-kevésbé eltérő adatokat kapunk, ászेरint, amint csak fényesebb vagy csak gyöngébbfényű, vagy különböző színeképtípusú csillagokat használunk fel, vagy pedig a radiális sebességekből kiindulva igyekszünk meghatározni az apexet, ami szintén lehetséges. A Nap térbeli sebességét elég pontosan csakis a radiális mozgásokból tudjuk kiszámítani. Az apex helyzetére néhány eredményt a következő összeállítás tüntet fel:

Miféle csillagok használtak	Anex		Felhasznált csill. száma
	rektasz-cenzió	deklináció	
<i>Boss</i> , katalogusának csillagaiból ...	270° 5	+34° 3	6188
<i>Campbell</i> , radiális sebességekből ...	268° 5	25° 3	1193
<i>Oes—B₅</i> típusú csillagokból	274° 4	34° 9	490
<i>B₈—A₄</i> „ „	270° 0	28° 3	1647
<i>A₅—F₉</i> „ „	265° 9	28° 7	656
<i>G</i> „ „	259° 3	42° 3	444
<i>K</i> „ „	275° 4	40° 3	1227
<i>M</i> „ „	273° 6	38° 8	222
1° 0—4° 9 rendű csillagokból	245° 0	16° 0	200
5° 0—5° 9 „ „	268° 0	27° 0	454
6° 0—6° 9 „ „	278° 0	33° 0	1003
7° 0—7° 9 „ „	280° 0	38° 5	1239
8° 0—8° 9 „ „	272° 0	43° 0	811
<i>B₁ A</i> típusú „ „	269° 0	23° 0	1100
<i>F₁ G₁ K</i> „ „	273° 0	37	866

Az átlagos eredmény az, hogy a Nap mozgása az égnek egy pontja felé irányul, melynek rektaszcenziója kerek-számban 270° , deklinációja 30° ; ez a *b* Herculis tájába esik.

A Nap térbeli sebességénél az eltérések 23 és 18 km között ingadoznak. Itt is a felhasznált csillagok minéműsége szerint adódik különféle eredmény. Így pl. *Gyllenberg* különböző színképtípusokból a következő sebességeket találta :

B-típusból	22'1 km
<i>A</i> *	19'8 *
<i>F</i> *	19'5 *
<i>G</i> *	19'8 *
<i>K</i> *	19'5 *
<i>M</i> *	21'0 *

Átlagban azt mondhatjuk, hogy a Nap a térben 20 km-nyi sebességgel halad másodpercenként, magával ragadva útjában a Földet a többi bolygókkal együtt.

Ha ismerjük a Nap sebességét és apexét, akkor kiszámíthatjuk a csillagok valóságos radiális sebességeit. Színképtípusok szerint rendezve, ezek bizonyos törvényszerűséget mutatnak, amint a következő, *Gyllenberg*től származó eredményekből kitűnik. Az átlagos valódi radiális sebesség

B-típusú csillagoknál	7'0 km	(247 csillagból)
<i>A</i> *	11'8 *	(263 *)
<i>F</i> *	14'5 *	(237 *)
<i>G</i> *	15'8 *	(208 *)
<i>K</i> *	15'9 *	(486 *)
<i>M</i> *	17'2 *	(85 *)

Az *F*-, *G*-, *K*- és *M*-típusú csillagoknál a valódi radiális sebesség az abszolút fényességgel is mutat szabályszerű összefüggést. Így pl. *Strömberg* szerint a *K*-típusú csillagoknál a következő átlagos értékek állanak fenn :

Abszolút nagyság rend	Val. rad. sebess.	Csillagok száma
fényesebb mint 0.9	13.5 km.	124
1.0—1.9	16.5	251
2.0—4.9	21.0	107
gyöngébb mint 5.0	27.6	78

Ha feltesszük, hogy ugyanabban a színeképosztályban az absolute fényesebb csillagoknak nagyobb a tömegük is, akkor az előbbi eredmény azt jelentené, hogy nagyobb tömegű csillagok mozgása átlag lassúbb, mint a kisebb tömegű csillagoké. A csillagvilág mechanikájának megértése szempontjából ez nagyon fontos megállapítás volna.

3. *Csillagrajok.* A saját és radiális mozgások tanulmányozása arra vezetett, hogy vannak csillagcsoportok, melyeknek egyes csillagai mind ugyanabban az irányban és ugyanazzal a sebességgel mozognak a térben. Ezeknek a rajoknak a csillagai nem látszanak feltűnőbben közel egymáshoz az égen és közöttük olyan is akad, mely a közös mozgásban nem vesz részt, tehát nem tartozik a rajhoz. A kettős és többszörös csillagoknál a komponensek közel vannak egymáshoz, fizikailag egymáshoz tartoznak és mindig közel is maradnak egymáshoz, a térben pedig együtt haladnak. Ezt arra vezethetjük vissza, hogy talán eredetük közös, a tér ugyanazon részében, ugyanabból a ködfoltból formálódtak. Ebből a szempontból tekintve nem lehetetlen, hogy vannak olyan csillagpárok vagy egész csillagraj, melyek egymástól nagy távolságban vannak, aminő a csillagok rendes távolsága és mégis egymáshoz tartoznak és a fizikai összetartozást épen ez a közös mozgás árulja el.

Ha valamely raj csillagai egy irányban mozognak, az másképp annyit jelent, hogy útvonalai a térben párhuzamosak, párhuzamos vonalak pedig perspektivikusan a térnek ugyanazon pontja felé látszanak irányulni, mint pl. hosszú, egyenes folyosó élei. *Proctor* és *Boss*

mutattak rá először ilyen mozgású rajok létezésére. A rajban a párhuzamosságnak meglehetősen pontosan kell fennállania, mert másként nem maradhatott volna együtt. Tegyük fel pl., hogy egy csillag csak egy kilométerrel tért volna el másodpercenként a közös iránytól, akkor $4\frac{3}{4}$ év alatt már a Nap-Föld távolságával, tízmillió év alatt pedig 10 parszekkel távolodott volna a raj többi csillagaitól. Tízmillió év felette rövid időköz még az olyan parányi égitest létében is, mint aminő a Föld. Az oly rajoknál pedig, melyekben többnyire későbbi színképtípusokhoz tartozó csillagok szerepelnek, a fejlődés időtartamában ez az időköz szinte elenyészően csekély. Hogy mégis mutatkozik a párhuzamos mozgás és hogy az ismert rajoknál a szélső csillagok vagy 7 parszeknyire esnek a raj közepétől, abból azt kell következtetnünk, hogy a sebességük is nagyon közel egyforma és nem térhet el a kilométer kicsiny törtörésével sem.

A legismertebb raj a Taurus csillagkép raja, melybe a Hyadokból is beletartozik néhány csillag. Boss mutatta ki 41 csillagról, hogy mozgásuk közös célpontja 92° rektaszcenzió és $+7^\circ$ deklináció. Nagyságrendük 3.5 és 7 között váltakozik, látszó saját mozgásuk $6.7''$ és $1.5''$ között. Úgy látszik, mintha ez a raj gömbszerű tért foglalna el, melynek sugara mintegy 5 parszekre tehető. Az egyes csillagok parallaxisa $0.021''$ és $0.031''$ között ingadozik. A rajt alkotó csillagok mind sokkal fényesebbek, mint a Nap; 5 csillag fényessége vagy 10-szerre akkora, 18-é 20-szorta, 11-é vagy 50-szerre és 5-é vagy 100-szor akkora, mint a Napé. A Nap környezetében nincs hasonló nagyszerű gyülekezete az égitesteknek. A raj ismert mozgása lehetségessé teszi, hogy multjába és jövőjébe is vessünk pillantást. 800.000 évvel ezelőtt legközelebb volt a Naphoz; akkori távolsága a jelenleginek fele lehetett. 65.000.000 év múlva olyan nagy távolságban lesz, hogy $20'$ átmérőjű gömbalakú csillaghalmaz-

nak fog látszani, holott jelenleg rektaszcenzióban 2 foknyira, deklinációban 18 foknyira vannak egymástól az éggömbön a szélső csillagok. Hogy tartoznak-e hozzá még más csillagok, arra a jövő vizsgálatai fognak feleletet adhatni. A rajtól elfoglalt nagy térségben vannak csillagok, melyek nem tartoznak hozzá és minthogy nem tehető föl, hogy épen e raj számára maradt szabad út a térben, azt kell gondolnunk, hogy a rajhoz nem tartozó csillagok azelőtt is ott tartózkodtak, ahol jelenleg vannak. Figyelmet érdemel az a körülmény, hogy ezek az idegen csillagok nem zavarják a raj csillagpályáinak párhuzamosságát.

Másik ilyen raj, melyről behatóbb ismereteink vannak, az Ursa maior raja, melyhez e csillagkép β , γ , δ , ϵ , és ζ csillagai tartoznak. Rendkívül érdekes, hogy a Sirius és az α Coronae is ide tartozik. Színképünk mind A- és F-típusú, fényességük a Nap fényességének 7-szerese és 410-szerese (β Aurigae) között váltakozik.

Valószínű, hogy a Plejádok és az Orion konstellációja is ilyen rajokat alkotnak. Mindkettőben finom ködöt fedeztek fel, mely az egész raj terét látszik betölteni és valószínűleg könnyű gázból vagy más anyagból áll, melyet a fejlődésben levő csillagok még nem abszorbeáltak teljesen. Az Orionnál meg lehetett határozni, hogy a köd radiális sebessége a raj csillagainak sebességével megegyezik. Az Orion-raj méretei vagy százszorta múlják felül a Taurus-rajéit. Másik érdekes raj a Perseus-raj, mely csupa B-típusú csillagból áll (számszerint 17).

Nyilvánvaló, hogy a csillagászati kutatás egyik fontos feladata, hogy egymástól nagy távolságban levő égitesteknek összetartozását kiderítse, amihez a sajátmozgások és a radiális sebességek megfigyelése nyújt lehetőséget. A jövő ezen a téren bizonyára még sok érdekes eredményt fog találni. Amit nekünk mint legérdekesebb következtetést kell leszögeznünk, az az, hogy a térben oly megkapó egyformasággal mozgó csillagrajak pályá-

ját a közelükben levő más csillagok nem látszanak befolyásolni, ha valami eltérés mutatkozik, akkor ez csak az egész csillagvilág együttes hatásának tulajdonítható, mely az ilyen rajtól elfoglalt térrészben közel egyenletesnek vehető.

4. *Csillagáramok.* A saját- és radiálismozgások tanulmányozása a csillagrajokon kívül, amelyek csak kevés csillagból állanak, oly mozgásokat is kiderített, melyek, úgy látszik, még sokkal jelentősebbek, mert sok ezer csillag vesz részt bennük, úgyhogy valóságos csillagáramlással állunk szemben. Az apex kiszámításának egyik főfeltétele az volt, hogy a csillagok saját mozgásának az a része, mely a Napmozgás befolyásának levonása után megmarad, a tér minden irányában szabálytalanul van elosztva. Már 1897-ben *Kobold* rámutatott arra, hogy a valóságban ez nem így van. 1904-ben *Kapteyn* 2400 *Bradley*-csillagról kimutatta, hogy mozgásuk nemcsak az antiapex irányában történik, ahogyan lenni kellene, ha a sajátmozgások szabálytalanul volnának elosztva. Azt találta, hogy két irány van, mely szerint a csillagok mozgása igazodik, tehát két pont létezik az éggömbön, mely ezt a kétféle irányt kijelöli s melyeket látszó vertexeknek nevezett. Már ki is fejtettük, hogyha több csillag mozgása párhuzamos egyeneseken megy végbe, akkor ezek a térnek egy pontjában látszanak összefutni. Ha most nagyon sok csillag ilyen egyenesvonalú pályán halad közösen, de amellett mindegyiknek még valami külön mozgása van, akkor sajátmozgásuk látszólag ilyen vertex felé tart. *Kapteyn*, hogy a sajátmozgásoknak ezt a tőle felfedezett törvényszerűségét megmagyarázza, a térben két ilyen csillagáramot tételez fel, melyeknek mindegyike egyenesvonalú pályát követ, közben pedig minden csillagnak még külön sajátmozgása van, olyanformán, mint a halak, melyeket valamely áram tovább visz, miközben ide-oda úszkálnak.

Kapteyn eredményeit megerősítette *Eddington*, ki 12.100 csillagot dolgozott fel, *Dyson* 2700-at, *Hough* és *Halm* a *Bradley*-csillagokat vizsgálták újból. A tőlük talált vertexek közepes helye az első (I.) áram számára mintegy 92° rektaszcenzió és -12° deklináció, a második (II) vertex számára 276° rektaszcenzió, -59° deklináció. A nevezett kutatóktól talált egyes eredmények ugyan nem pontosan egyeznek, de mégis azt bizonyítják, hogy *Kapteyn* fölfedezése valóság. *Eddington* szerint a *B*- vagy héliumcsillagok s velük együtt még néhány más csillag az áramok egyikében sem vesznek részt. Mozgásuk az antiapex felé irányul, tehát főleg a Nap mozgását tükrözi vissza. *Halm* azt találta, hogy igen számos efajta csillag van és ezeket egy új áramba sorolta, melyet zérus (0) áramnak nevezett. Ennek vertexe természetesen az antiapexszel majdnem ugyanaz. *Halm* szerint a Nap közelében az I. és II. áram a túlnyomó s minél inkább távolodunk a Naptól, annál észrevehetőbbé lesz a 0-áram, a *B*-csillagok távolságában pedig túlsúlyra jut. Lehet, hogy a jövő megfigyelései igazolják ezt a harmadik áramot, jelenleg azonban rendesen csak a két csillagáram feltevését vesszük alapul.

A látszó áramlás nem egyezhetik teljesen a valósággal, mert a naprendszer is mozog a térben. Ha ezt tekintetbe vesszük, akkor megkapjuk az áramok valódi mozgását, mely az égnek egymással ellentett irányú két pontja, a valódi vertexek felé tart. *Kapteyn* szerint az I. áramé 91° rektaszcenzióánál és $+13^\circ$ deklinációánál (ξ Orionis közelében), a II. áramé 271° rektaszcenzióánál és -13° deklinációánál (a Scutum csillagképben) fekszik. Mindkét áram mozgása a Tejút síkjához teljesen párhuzamosan megy végbe; az áramok nincsenek egymástól elkülönítve, hanem kölcsönösen áthatolják egymást. A mi Napunk a II. áramhoz tartozik. Átlag az I. áramhoz tartozó csillagok száma a II. áram csillag-

számához úgy aránylik, mint 3 a 2-höz, a mozgás sebessége pedig mint 7.6 a 4.3-hoz.

Kapteyn magyarázata a csillagok saját mozgásában mutatkozó törvényszerűségről nem az egyedüli lehetséges. *Schwarzschild* a két áram helyett az egész csillagsereget egységesnek tekinti, de van benne egy irány, melynek mentén a legtöbb csillag mozog; ez párhuzamos a Tejút síkjával és összeesik a *Kapteyn*-féle valódi vertexszel. Ezen irányra merőlegesen nagyon kevés csillag mozog, a vertex felé pedig éppen annyi, mint amennyi az ellenkező irányban. Ez nem egyezik teljesen az eddigi megfigyelésekkel, mert, amint az imént említettük, az I. áramban több csillag van, mint a II-ban. Mindazonáltal az egységes feltevés alapján számított vertex jól egyezik a két áram alapján számítottal. Hogy a két feltevés közül melyik egyezik a valósággal, az még nincsen eldöntve.

A csillagok színképtípusa is mutat összefüggést a csillagáramokkal. Azt már tudjuk, hogy a *B*- vagy héliumcsillagok nem vesznek részt az áramló mozgásban és hogy a későbbi típusok saját mozgása nagyobb, mint a korábbi típusoké. Az *A*-csillagoknak az áramokhoz való tartozása a legészrevehetőbb; mozgásuk párhuzamos a Tejút síkjával; az *F*-, *G*-, *K*-, *M*-csillagoknál szintén jelentkezik az áramló mozgásban való részvétel, ha nem is oly kifejezetten.

V. CSILLAGRENDSZEREK ÉS A VILÁG- EGYETEM.

1. *Csillaghalmazok.* Kifejtettük, hogy a Taurus-raj sok millió év múlva oly messzire kerül tőlünk, hogy csillagai a térnek kis részén látszanának sűrűbben összetömörülve lenni. A távcső és különösen a fotográfia az égen több ilyen alakzatot mutatott az emberi szemnek. Ezeket csillaghalmazoknak nevezzük. Vannak olyan alakulatok az égen, melyeket a szabad szem önkéntelenül is egymáshoz tartozó, fizikailag összefüggő csoportba foglal, amilyenek pl. a Plejádok, melyeknél a megfigyelés egyirányú saját mozgást mutatott ki, ami a fizikai összetartozást csakugyan bizonyítja. Az ilyen nagyobb téren szétszórta, fizikailag összetartozó csillagcsoportot nyílt csillaghalmaznak szokás nevezni. Ilyent vagy 160-at ismerünk eddig. Jellemző, hogy mind a Tejút közelében vannak, nem messzebb $+ 20^\circ$ -nál. Nevezetesebbek a Plejádok 91 csillaggal, a Praesepe 90 csillaggal, a Carina halmaza 64, a Coma Berenices 117, a New general catalogue (N. G. C.) 1523. számú halmaza 204, az N. G. C. 6475. számú halmaza 344 csillaggal, továbbá a már említett halmaz a Perseusban s így tovább. A nyílt halmazokban levő csillagok többnyire mindenféle színképtípushoz tartoznak, de vannak, amelyeknél az egyik vagy másik típus túlsúlyban van. Az elsorolt halmazokban például az A-csillagok vannak túlnyomó szám-

ban képviselve. Saját mozgásuk nagyon kicsiny, a Plejádoknál például $0.053''$, a Praesepénél $0.036''$.

Minden jel arra mutat, hogy a nyílt halmazok igen nagy távolságban vannak tőlünk, mert parallaxisukat közvetlen módon eddig nem lehetett megmérni, az egyetlen Hyadol: halmazának kivételével, melynek fotográfiai parallaxisa *Kapteyn* mérései szerint $0.023''$ (142 fényév). Az abszolút fényességek eloszlásából azonban *Kapteyn* szerint következtetni lehet a valószínű parallaxisra s így az ilyen halmazok távolságát legalább nagyság szerint becsülhetjük.

A nyílt halmazok alakja teljesen szabálytalan; de vannak oly halmazok, melyekben a csillagok nagyon sűrűn látszanak egymásmellett és többé-kevésbé szabályos gömbalakban vannak elhelyezve. Ezek is a Tejút közelében találhatók, de nem oly feltűnően, mint a nyílt halmazok. A csillagok száma bennük rendkívül nagy, így például a N. G. C. 6205. számú gömbalakú halmazában legalább 100.000 csillag van, az N. G. C. 5272-ben vagy 40.000 és a többi halmazban is körülbelül ennyi a csillagok száma. De valószínűleg sokkal több csillag van az ilyen halmazokban, mert a csillagok száma a látszó nagyságrenddel erősen emelkedik s a leghatalmasabb távcsővel sem tudtunk még 20-adrendűnél gyöngébb csillagokig előhatolni. A fényképi felvételekből következtetni lehet a csillagok valódi térbeli eloszlására az ilyen gömbalakú halmazokban. Kitűnt, hogy eloszlásuk olyanforma, mint a gázmolekuláké valamely egyensúlyban levő gázgömbben, hol a gáz kétféle fajhőjének viszonya 1:2. Ebből viszont következtetést vonhatnánk a halmaz csillagainak mozgására a halmazon belül; de nagyon kétséges, hogy az említett feltevés megkövülttatható-e.

A gömbalakú halmazok látszó átmérői $0.7'$ és $30'$ között váltakoznak. Saját mozgást vagy a halmaz

belsejében való mozgást eddig még nem lehetett megállapítani. Radiális sebességük a közönséges csillagokéhoz viszonyítva nagy. Így a N. G. C. 6934. számú halmaz 410 km másodpercnyi sebességgel közeledik felénk, a 6333. számú 225 km-rel távolodik. A sűrűn egymás mellett levő csillagok csak a halmaz átlagos színképének meghatározását engedik meg, mely a fényerősebb halmazoknál az *F*- és *G*-típus közé esik, ami nem zárja ki azt, hogy a halmazban más típusú csillagok ne legyenek. Látszó fényességük 5.8 és 10.5 nagyságrend közé esik.

A gömbalakú halmazokra jellemző, hogy bennük aránylag sok változó csillag fordul elő, melyek a változók különös fájához tartoznak. *Bailey* a múlt század végén 23 halmaz 19.000 csillaga között 500 változót talált. Maga a *Messier* 3 nevű halmaz 900 megvizsgált csillaga között 137 volt a változó. Pontosabb megfigyelések és mérések azután kiderítették, hogy ezen változók periódusa majdnem mindig 24 óránál kisebb s csak néhánynál tesz ki hosszabb időt. A fényváltozás tanulmányozása azután azt is megmutatta, hogy mind a már említett δ Cephei-típushoz tartoznak. A Magellanfelhőkben miss *Leavitt* 1800 ilyen változót talált s azt a nevezetes tényt fedezte föl, hogy ezeknél a csillagoknál a periódus és a fényesség között szabályszerű összefüggés áll fenn.

Ezt az összefüggést *Shapley* arra használta fel, hogy segítségével a gömbalakú halmazok parallaxisát meghatározza. Tudjuk, hogy a látszó fényességből a parallaxis segítségével ki lehet számítani az abszolút fényességet. Viszont a látszó és az abszolút fényességből a parallaxis lehet meghatározni. Az egy napnál hosszabb periódusú δ Cephei-féle változóknál a periódusból az abszolút fényesség következik; ebből és a megfigyelt látszó fényességből adódik azután a parallaxis. Vannak

azonban olyan halmazok is, amelyekben nincsenek változócsillagok. Ezeknél tehát más utat kellett keresni a parallaxis meghatározására. Az ilyen halmazok legfényesebb csillagainak nagyságrendje igen közel mindig —1.5, ha kizárjuk azokat a rendkívül fényes csillagokat, melyek valószínűleg nem is tartoznak a halmazhoz. Ha még feltesszük, hogy ez az abszolút nagyságrend megegyezik a más halmazokban előforduló változócsillagokéval, akkor a parallaxist ki lehet számítani. Ezen a módon 30 halmaz távolságát határozták meg, a többiek pedig *Shapley* előbbi módszerével. De *Shapley* még egy harmadik utat is talált. Azt észlelte ugyanis, hogy a halmazok látszólagos átmérője és csillagainak fényessége között törvényszerű összefüggés van: kisebb látszó átmérőjű halmazok legfényesebb csillagai gyöngébbek, mint a nagyobb átmérőjű halmazoké. Ebből azt következtette, hogy a halmazok valóságos átmérői közel egyformák s ennél fogva távolságuk annál nagyobb, minél kisebbnek látjuk az átmérőt. Még egy negyedik eljárás a halmazok látszó és abszolút összfényességére támaszkodik. *Shapley* ily módon 70 gömbalakú csillaghalmaznak számította ki a parallaxisát, melyek a különböző, egymást ellenőrző módszerek szerint igen jó egyezést mutatnak.

A gömbalakú halmazok olyan óriási távolságban vannak tőlünk, hogy parallaxisuk meghatározása sem geometriai, sem fotografiai, de még spektroszkópikus úton sem mutatkozott lehetségesnek. Ezért oly nagyjelentőségűek *Shapley* eljárásai, melyek egészen új fényt vetettek nemcsak a Tejút csillagrendszerének, hanem még más, rajta kívül levő világrendszerek távolságára és méreteire is. A gömbalakú halmazok biztosan kívül esnek a Tejút- vagy galaktikus-rendszeren, melyet a távcsöveinknek hozzáférhető csillagok összessége alkot, messzebb vannak, mint e rendszer akármelyik csillaga. Az eddig ismert legtávolabbi gömbalakú halmaz a N. G. C 7006.

számú halmaza, melynek távolsága 220.000 fényév vagy 67.000 parszek. Legközelebb van az a Centauri és a 47 Tucanae, melyeknek távolsága 23.000 fényév vagy 7000 parszek. Egynegyede a halmazoknak 100.000 fényévnél vagy 30.000 parszeknél messzebb van. Hogy ezek a távolságok mit jelentenek, az kitűnik abból, hogy a Tejút csillagainak összessége lapos korongforma tért foglal el a világtérben, mely korongnak vastagsága mintegy 11.500 fényév (3500 parszek), átmérője pedig mintegy 44.000 fényév (14.000 parszek). A nyílt halmazok természetesen a Tejút-rendszerén belül vannak elhelyezve.

A gömbalakú csillaghalmazok a Tejút-rendszer két oldalán körülbelül szimmetrikusan helyezkednek el s azonkívül nincsenek a térben mindenfelé szétszórva, hanem közel vannak egy síkhoz, mely a Tejút síkjára merőleges. Az óriás távolságoknak megfelelően természetesen a csillaghalmazok méretei is megfelelően nagyok; így például a N. G. C. 5272. számú halmazának átmérője 470 fényév, ami az α Centauri távolságának 109-szerese, a Nap-Föld-távolságának pedig 30 milliószorosa. A halmazokban a csillagok egymástól való távolsága ugyanolyan rendű, mint a mi galaktikus rendszerünkben.

Másik érdekessége a gömbalakú halmazoknak, hogy fényes csillagaik mindig vörösszínűek, gyöngfényű vörös csillagok és fényes kék csillagok pedig hiányzanak. Ez annyit tesz, hogy a gömbalakú halmazokban észrevehető csillagok többnyire óriások, a törpecsillagok pedig sokkal gyöngébb fényűek, semhogy a fényképlemezen még hosszú kinntartás alatt is jelentkeznének. A Tejút-rendszeréhez tartozó csillagoknál az óriások átlagos fényereje nem függ a színképtípustól, sőt azt lehetne mondani, hogy a kék csillagok fényesebbek, mint a vörösök. A gömbalakú halmazok ebben a tekintetben tehát lényegesen különböznek a galaktikus-rendszertől. De azért vannak hasonlatosságok is, amilyen például az,

hogy a fényesebb kék *B*-csillagok és a változók az ellipszoidalakú halmazok ekvátora felé fordulnak elő sűrűbben épúgy, mint a mi galaktikus rendszerünkben, hol a Tejút környékéhez vannak leginkább kötve. Másik hasonlatosság az, hogy az abszolút fényesség rendje nem különbözik a Tejút-rendszerben tapasztalt nagyságrendektől; —5-rendűnél nagyobb abszolút fényességű csillag csak elvétve található, —6-rendűt pedig eddig egyáltalán nem találtak.

2. *Ködfoltok.* Az ég némely helyén élesebb szem távcső nélkül is észrevesz halvány, világító ködforma foltot, minő például az Andromeda-csillagkép ismert ködfoltja, mely már Al-Sufi arabs csillagásznak (903—986) feltűnt. A távcső föltalálása óta ezeknek a ködöknek a száma nagy mértékben megnövekedett. 1610-ben *Cysatus* felfedezte az Orion-ködot; 1770 körül *Messier* és 1779 óta különösen *W. Herschel* szerzett nagy érdemeket a csillaghalmazok és ködfoltok felkutatása körül. *W. Herschel* több mint 2000 ilyen égi alakulatot írt le, fia, *John Herschel*, pedig különösen a déli égen folytatta atyja nagy munkáját. A ködfoltok felfedezésében és tudományos tanulmányozásában új korszak kezdődött a fényképezés csillagászati alkalmazásával. Az eddig csak a leghatalmasabb távcsövekben észlelhető ködfoltokat elég hosszú kinttartással aránylag könnyen lehetett lefényképezni kisebb tükrörteleszkóppal is és ezek a fényképek a részleteknek oly gazdagságát tárták elénk, minőt a vizuális megfigyelés el nem érhetett, számukat pedig közel egy millióra emelte.

A ködfoltokat a csillaghalmazoktól külsőleg az különbözteti meg, hogy még a leghatalmasabb távcsőben sem lehet bennük egyes külön csillagokat megkülönböztetni. Ha a ködfolt nem világító gáztömeg, hanem számos csillagból állana, akkor ez a körülmény már magában azt mutatná, hogy a ködfoltok tőlünk még sokkal messzebb

vannak, mint a halmazok, melyeknél pedig elég tekintélyes távolságokkal találkoztunk. De a spektroszkóp itt is segítségünkre van, mert általa el lehet dönteni, hogy valamely ködfolt világító gáz-e vagy pedig különálló nagyszámú csillag. A gáznemű ködök színekében fényes emissziós vonalak mutatkoznak, míg az olyan ködfolt színe, mely folytonos és csak *Fraunhofer*-féle abszorpciós vonalakkal van megszakítva, arra vall, hogy a ködfolt csillagokból áll, tehát tulajdonképpen óriási csillaghalmaznak volna tekintendő. De minthogy külsőjük, a spirálisforma, teljesen elüt a halmazok alakjától és különben is megvan a hasonlatosságuk a valódi ködfoltokhoz, azért a köd elnevezés rájuk is alkalmazható.

Az eddigi vizsgálatok azt tanúsítják, hogy a folytonos színeképet kisugárzó ködök száma sokkal nagyobb, mint a valóságos gázködöké. A gázködök jellemző alakja kétféle. Vannak szabálytalanalakú, nagykiterjedésű, rendszeres belső szerkezetet nem mutató ködök és vannak az úgynevezett planetáris ködök, melyeket azért neveznek így, mert távcsőben kicsiny kör- vagy ellipsziszalakú korongnak látszanak. Ide számíthatók a gyűrűs ködök és a ködcsillagok is. A planetáris ködök többé-kevésbé mind gyűrűs alakot árulnak el a fényképen; valóságban gázgömbök, melyek a középponti rész fényessége szerint gyűrűnek, korongnak vagy ködbe burkolt csillagnak látszhatnak. A fényképezőlemez számos olyan köd létezését árulta el, melyek a legjobb távcsövekben is csak halvány körvonalakban épen hogy észrevehetőek. Ezek erősen aktinikus, rövid hullámhosszúságú sugarakat kibocsátó gáztömegek. Ilyen például az úgynevezett Amerika-köd. Vannak ezeken kívül sötét, nem világító ködök, melyek újabb időben fedeztetek fel és nagy mértékben magukra vonták a kutatók érdeklődését. Ilyen például a Plejádok halmazában elterülő köd, melyről már

esett szó. Erős távcsövekben már régebben észrevették, hogy a Fiastyúknak különösen Merope és Maia nevű csillagai ködszerű burkolattal látszanak övezve lenni. A fotográfia megmutatta, hogy a halmaznak majdnem összes csillagai körül látszik ilyen köd, mely velük fizikai vonatkozásban is van. Az egész csillagraj azonkívül messze környezetben, sok négyzetfoknyi területen rendkívül bonyolultalakú köddel van körülvéve, mely a legfényerősebb műszerekkel is csak többórai kinntartással fotografálható. A belső Plejádok köde folytonos színképet mutat, mely megegyezik a halmaz *B*-típusú csillagának színképével. Ebből következik, hogy a magában sötét köd csak a benne lévő csillagok fényét veri vissza. Hasonló jelenségeket észlelünk a ζ Ophiuchi, R Monocerotis és a Nova Persei körüli ködöknél.

Ezek a visszavert fényben világító ködökön kívül vannak teljesen sötét gáz- vagy portömegek a világterben, főleg köztünk és a Tejút csillagai között, mely ködök ennél fogva a távolabbi csillagokat eltakarják. Ezeknek távolságát is megkísérelték meghatározni azzal a föltevessel, hogyha az a sötét köd nem volna jelen, akkor a csillagok sűrűsége és a fényerősség eloszlása ugyanolyan volna, mint a környezetben egyebütt. Ilyen módon *Dyson* és *Melotte* a Taurus csillagképben elterülő ilyen sötét felhő távolságát 460, illetve 980 fényévnnyinek találták. Az ilyen sötét ködök a mögöttük levő csillagok fényét elnyelik; az abszorpció erőssége a közepes sötétsgű helyeken mintegy 2 nagyságrendre tehető. Ha ezek az alakulatok gáznemű halmazállapotban vannak, akkor igen nagytömegűnek kell lenniök, hogy ilyen erős abszorpciót létrehozhassanak; de ha por- vagy meteor-szerűek, akkor kisebb tömeg is elegendő az elnyelés magyarázatára.

A spirálisködök és a gázködök között foglalnak helyet azok a ködök, amelyek színképében az emissziós vona-

lak mellett abszorpciós vonalak is jelentkeznek ; *Slipher* fedezte fel őket s csak keveset ismerünk belőlük.

Legnagyobb számúak a spirálisködök, melyek elnevezésüket szembetűnő alakjuktól nyerték. A spirálisködök lapos, lencsealakú korongok s hogy mit látunk belőlük, az attól függ, hogy élükkel, lapjukkal vagy pedig ferdén vannak fordulva felénk. Legtöbbjénél a középponti magból két spirálisalakú nyúlvány indul ki, melyekben úgy mint a magban fényesebb csomók, sűrűsödések láthatók. Az egyik ilyen spirálisködben több mint 2400 ilyen kondenzációt számlált *Ritchey*, ki a ködök fényképezése terén nagy érdemeket szerzett. Számos spirálisködnél, melyek élükkel vannak felénk fordulva, sötét sávot lehet észlelni, mely a vékony alakzat hosszirányában vonul végig. Ezt a ködöt körülvevő abszorbeáló rétegnek kell tekintenünk, mely hasonlít a Tejút sötét felhőihöz vagy ködjéhez. Több más jelenség is arra utal, hogy az ilyen sötét tömegek jelenléte a spirális ködökben úgyszólván általános szabály.

A spirális ködök fényességsrendjét nagyon nehéz megállapítani ; *Holetschek* szerint 7 és 10 nagyságsrend között ingadozik a fényesebb ködöknél. Színük fehéresnek tűnik, de a fény gyöngösege miatt többnyire meg sem határozható. Effektív hullámhosszuk 429 $\mu\mu$, ami a G színképtípusnak felel meg, amire az átlagos színkép is utal, mely a G és K típus közé esik. Ez arra utal, hogy ezekben a ködökben a későbbi típusú (pl. Nap) csillagok vannak túlsúlyban, ami sárgás színt idéz elő. A nagy spirálisok körül sokszor számos apróbb ködképződményt lehet észlelni, melyek minden valószínűség szerint a főködhez tartoznak.

A spirálisködök körül látható csillagok száma semmiben sem tér el a szomszédos és távolabb területek csillagszámától (pl. Andromeda-köd). A gázködöknél ettől eltérően mindig azt tapasztaljuk, hogy a körülöttük levő

területek csillagoktól úgyszólván mentesek (pl. Orion-köd). Minthogy pl. az Orionkód radiális sebességéből nyilvánvaló, hogy az Orion csillagaival fizikailag összefügg, úgy ebből a körülményből azt kell következtetnünk, hogy a spirálisködök sokkal távolabb levő égitestek. Feltűnő, hogy a spirálisködökben sok új csillag jelenik meg, így pl. magában az Andromeda-ködben mintegy huszat észleltek eddig. Ezek mind nagyon fénygyöngék, 14—19 nagyságrendűek, de egyébként a galaktikus új csillagoktól nem mutatnak eltérést. Ha fölteszszük, hogy a spirálisködök irányában feltűnő kicsiny új csillagok tényleg a spirálisködökhöz tartoznak s hogy átlagos abszolút fényességük ugyanaz, mint a galaktikus új csillagoké, akkor következtethetünk eme ködök paralaxisára, mely egyébként mérhetetlenül kicsinynek bizonyult. Már *Curtis* rámutatott arra, hogy a spirálisködök távolságát millió fényévek szerint kell becsülnünk, ha a galaktikus nómák átlagos távolságát 100.000 fényévre tesszük. Legújabban *Lundmark*, minden lehető körülmény tekintetbevételével, az Andromeda-köd távolságát 1,400.000 fényévninek, a köd átmérőjét 60.000 fényévninek találta. Ez az eredmény azt mutatja, hogy az Andromeda-köd messze kívül esik a Tejút rendszerén és hogy óriási halmaza a csillagok milliónak, egy másik csillagrendszer, talán nagyobb, mint a Tejút-rendszer.

*Lundmark*nak ezt az eredményét megerősítette az a legújabb fölfedezés, mely δ Cephei-típusú változócsillagok jelenlétéről számolt be úgy az Andromeda-ködben, mint más spirálisködökben is. Tudjuk már, hogy ezek a változócsillagok fontos támpontot nyújtanak a távoli csillaghalmazoknak más módon megmérhetetlen paralaxisának meghatározásához s erre a célra természetesen a ködfoltoknál is alkalmasak. Az Andromeda-köd távolsága a változócsillagokból 1,500.000 fényévnek adódik. *Oepik* a ködfolt energiasurgázását a tömeg-

egységben használja fel a parallaxis meghatározására, kiindulva a Tejút sugárzásának ismeretéből. Az Andromeda-köd távolságára ezen az úton szintén 1,500.000 fényév.

A N. G. C. 4486 számú. ködének távolsága már 8,000.000 fényév, ellenben átmérője csak 6000 fényév, az Andromeda-köd átmérőjének $\frac{1}{10}$ -edrésze. Ebben a ködben a csillagok valószínűleg sokkal közelebb vannak egymáshoz, de nagy méretei miatt csillaghalmaznak nem tekinthető. A N. G. C. 4594. számú köde 56,000.000 fényévnnyire van tőlünk, átmérője 110.000 fényév, az Andromeda-köd méreteinek majdnem kétszerese, a Tejút-rendszer átmérőjének vagy háromszorosa. *Lundmark* a galaktikus rendszert alkotó csillagok össztömegét a Nap tömegének 8000 milliószorosára teszi; szerinte az utóbb említett köd tömege ennek a négyszerese.

Legfeltűnőbb sajátja a spirális ködöknek rendkívül nagy radiális sebességük, mely átlag a csillagok radiális sebességének harmincszorosa. Az erre vonatkozó rendkívül fáradságos méréseket különösen *Slipher*nek köszönhetjük, ki 1912 óta külön erre a célra szerkesztett spektrográffal 40 óránál is hosszabb kinttartással tudott olyan színeképfotógrafiákat nyerni, melyekből a *Doppler-Fizeau* effektust megállapíthatta. Azóta *Wright*, *Pease*, *M. Wolf* és mások végeztek ilyen megfigyeléseket. Így az Andromeda-köd radiális sebessége — 300 km másodpercenként, vagyis ez a köd és Tejút-rendszer ilyen sebességgel közelednek egymáshoz. Az előbb említett N. G. C. 4594. számú köd radiális sebessége + 1100 km. A N. G. C. 584. számú köde + 1800 km sebességgel távolodik tőlünk. A legtöbb köd távolodik tőlünk, közeledő ködök csak kivételesen találkoznak. Ez a nagy sebesség a spirális ködöket élesen különválasztja az ég minden egyéb objektumától. Fizikai jelentőségét még nem tudjuk bizonyossággal.

Spektrografikus mérésekkel egyes spirálisködök bel-sejében végmenő mozgásokat is ki lehetett mutatni. Ha nagyobb kiterjedésű fényforrás, pl. égitest tengelye körüli forgást végez, akkor a színeképvonalak ferdén helyezkednek el, ha az égitest mint szilárd egész rotál. Ha pedig egyes részei különféle sebességgel forognak, akkor a színeképvonalak meggörbülnek (mint pl. a Saturnus gyűrűinek színeképében). Ilymódon számos ködfoltnál lehetett a rotációt megállapítani. Az Andromeda-ködnél és a N. G. C. 3623. számú ködnél a középtől különböző távolságban levő részek különböző sebességgel keringenek. *Van Maanen* 16 évnyi időközben készült közvetlen fényképek összehasonlításából a N. G. C. 5457'8. számú ködnél 5'-nyi távolságban a ködfolt közepétől évi 0.022" rotációt tudott megállapítani, egy teljes körforgása egy ott levő csillagnak e középpont körül tehát kereken 85.000 esztendeig tartana. *Lundmark* szerint a Napot körülvevő legközelebbi csillagok, melyek együttvéve egy kisebb halmazt alkotnak, 3.000.000.000 év alatt tesznek együttesen egy körforgást a Tejútban Sagittarius-környéke körül, hol a mi galaktikus-rendszerünkben a csillagok a legsűrűbben vannak; *Charlier* más elméleti alapon nyugvó megfontolásokból ennek az időtartamnak a harmadrészét találja, ami ugyanolyan nagyságrendű érték.

Az is jellemző a spirális ködfoltokra, hogy a Tejút síkjában nem találhatók, hanem inkább a Tejút sarkai felé. Magában a Tejútban eddig csak egyetlen egy spirálisködot találtak.

Az említett öt átmeneti alakú ködnek a Napéhoz hasonló színeképében emissziós vonalak is mutatkoznak, melyek hidrogéntől és gázalakú ködökre jellemző hipotetikus nebuliumtól származnak. (A nebulium a Földön eddig ismeretlen elem.) Radiális sebességük olyan, mint a spirálisködöké. A Magellan-felhőket is idc kell sorolnunk;

ezek több száz ködből, csillaghalmazból és egyes csillagokból állanak. Radiális sebességük átlag 280 km.

A nebulium két zöld vonala a gázmű ködök színképére jellemző. Ha a gázköd színképét résnélküli spektrográffal (a tárgylencse elé helyezett prizmán vagy rácson át) fotografáljuk, akkor az egyes színképvonalak helyett egyes képeket kapunk az egész ködről, melyek mindegyike más hullámhossznak felel meg. Ezzel a módszerrel az Orion-ködről ki lehetett mutatni, hogy többféle gázból áll, melyeknek eloszlása vagy fényessége igen különböző. A radiális sebesség kicsiny és megegyezik a közelükben levő csillagok radiális sebességével. A Nap sebességét levonásba hozva, az Orion-köd nem mutat radiális sebességet, η Carinae — 5 km, a Messier 8 köd + 8 km, az Omega-köd + 21 km és a Trifid-köd + 23 km sebességet mutat. A ködök belsejében is lehetett relativ mozgásokat kimutatni. Így az Orion-köd egyes részei + 10, mások 23 km-es sebességgel közelednek a Nap felé. A ködöt alkotó gázok ennélfogva igen élénk mozgásban vannak.

Ugylátszik, hogy a nagyobbkiterjedésű gázködök fokozatosan a körülöttük levő sötét ködökbe mennek át. Erre vall az a feltűnő körülmény, amelyről már említést tettünk, hogy a világító gázködöket rendszeren csillagmentes területek övezik. *Slipher* az Orion-ködről ki tudta mutatni, hogy színképe nagyon gyönges s hijján van minden abszorpciós vonalnak. Északra tőle, egy hozzátartozó ködfolt színképében, már mutatkoznak a hélium abszorpciós vonalai, míg egy még távolabbi, de még mindig idetartozó köd már a *B*-csillagok tipikus színképét mutatja. Ez a köd tehát maga sötét és csupán a benne levő csillagok fényét reflektálja. Míg tehát a köd közepében tiszta gázspektrummal találkozunk, mely a köd saját fényétől ered, addig a távolabbi részekben már csak a csillagok szétszórt vagy visszavert fényének szín-

képe keletkezik ; még tovább teljesen sötét ködtömegek terülnek el, melyek azzal árulják el létezésüket, hogy a mögöttük levő csillagok fényét elnyelik, amiből az üresnek látszó terek keletkeznek.

Planetáris ködöt keveset, mindössze vagy 150-et ismerünk. A kisebbek főleg a Tejút közelében lelhetők, a nagyobbak is többnyire ; de egyébként az ég minden táján vannak szétszórva. Kétségtelen, hogy ezek az alakzatok, épenúgy, mint a nagy gázködök, a Tejút-rendszeréhez tartoznak. Erre mutat nagy parallaxisuk is, mely $0.002''$ és $0.023''$ között fekszik, aminek 1600, illetve 150 fényév felel meg. Színképük a hidrogén, nitrogén, hélium, szén és nebulium jelenlétét mutatja. Radiális sebességük átlag 30 km ; csak hat olyan planetáris köd van, melyeknek radiális sebessége igen nagy — 135 és + 205 km-t is kitesz. Egyeseknél rotációt is lehetett észlelni. Föltevé, hogy ez az észlelt ködrészeknél köralakú pályát jelent, akkor a köd távolságát ismerve, kiszámíthatjuk a tömegét is, természetesen a Newton-féle törvény alapján. Három köd tömegét lehetett ily módon meghatározni, a Nap tömegének 14, 19 és 162-szeresére, a rotáció időtartamát pedig rendre 132.900, 967 és 12.460 évre. A planetáris ködök, az *O*-csillagok és a *B*-csillagok között olyanforma összefüggés van, hogy a planetáris ködök valószínűleg az *O*- és *B*-csillagokat megelőző fejlődés-állapot.

3. *A Tejút és a világegyetem.* A mindenség szerkezetének fölismerésében a csillagtávolságok megmérése volt egyike a legfontosabb lépéseknek. Ezenkívül arra is kell feleletet találnunk, hogy nagyjából hány csillag létezik, milyen alakú az elrendeződésük, mekkora térben vannak elhelyezve, hogyan vannak ebben eloszolva, nagy vonásokban milyen a mozgásuk és milyen a fizikai szerkezetük. Ezen kérdések közül a fizikai szerkezetet és a mozgásokat bővebben megismertük az előzőekben és a

távolságokról is elmondtunk minden érdekesebb tudnivalót. Most még az a feladatunk, hogy a többi kérdésre nagy vonásokban tájékozódást szerezzünk.

Kepler volt az első, kiben az a gondolat támadt, hogy a Nap nem foglal el kiváltságos helyet a világtérben. Azt hitte, hogyha a csillagok egyenletesen lennének eloszolva a térben, úgy mintegy tizenkét állócsillag lehetne legfőljebb a Nap közvetlen környezetében, kétszeres távolságban megfelelően több csillag lenne és így tovább, amelyek mindinkább kisebbnek látszanának, úgyhogy végül oly határhoz érkeznénk, melyen túl csillag már nem volna látható. *Kepler* nézete szerint a Tejút számtalan csillagból álló hatalmas gyűrű, melynek közepetáján foglal helyet a mi Napunk.

Hasonló nézete volt *Kant*nak, a nagy német filozofusnak is. Szerinte is a Tejút számtalan nagyon messze levő csillag fényétől származik. Ezek a csillagok mind együttvéve egy rendszert alkotnak, mely a Tejút irányában sokkal messzebbre terjed, mint a Tejút síkjára merőlegesen, másszóval a csillagok miriádjai aránylag lapos korongforma térben vannak elhelyezve, melynek közepéhez közel áll a Nap. Ezért látunk mi a Tejút irányában oly sok csillagot és minél jobban távolodik szemünk a Tejút síkjától, annál kevesebb csillaggal találkozunk. Ez a korong- vagy lencsealakú elhelyezkedés arra vezette *Kant*ot, hogy párhuzamba állítsa a Naprendszerrel, melyben a bolygók szintén igen közel egy síkban keringenek a Nap körül. Azt is föltette, hogy a Tejút összes csillagai is valamely közös középpont körül végeznek mozgást.

De úgy *Kepler*nek, mint *Kant*nak eme nézetei nem voltak egyebek pusztá föltevésnél, mert a csillagok sajátmozgása még *Kant* idejében is majdnem teljesen ismeretlen volt. *Kant* állítása akkor lett volna jogos, ha ezek az úgynevezett sajátmozgások mind, vagy legalább is legnagyobbbrészt a Tejút síkja mentén mennének végbe. De

mi már láttuk, hogy ez nem így van. *Kant*nak az volt a nézete, hogy a távcsővel látható összes csillagok a Tejút rendszeréhez tartoznak. A ködfoltok szerinte hasonló alakzatok, melyek mérhetetlen távolságban vannak a Tejút rendszerétől.

Kevéssel *Kant* után *Lambert* német matematikus nyilvánított hasonló nézeteket. A legegyszerűbb rendszer szerinte egy bolygó a holdjaival. A legközelebbi magasabb rendszer a Nap a körülötte keringő bolygókkal és holdakkal együtt. Minden álló csillag ilyen Nap és körülöttük is keringenek bolygók meg holdak. Ezek a Napok vagy csillagok a térben nagyobb csoportokban, csillaghalmazokban vannak együtt. Számtalan ilyen csillaghalmaz összessége varázsolja szemünk elé a Tejút fénsszerű tüneményét. Több ilyen Tejút-rendszer ismét magasabb rendszert alkot, úgyhogy lehetségesek olyan rendszerek, melyek számtalan Tejút-rendszerből állanak, de ezek oly nagy messzeségben vannak tőlünk, hogy műszereink számára láthatatlanok maradnak. Mint minden kisebb rendszernek, úgy a nagyobb rendszereknek is van oly sötét középponti tömegük vagy csillaguk, mely körül a többiek a gravitáció törvénye szerint mozognak. Ilyen sötét középponti testeket eddig nem sikerült fölfedezni és *Lambert* rendszerei nem egyebek igen szellemes *spekulációknál*.

William Herschel volt az első, ki céltudatos *megfigyeléseket* eszközölt a csillagok térbeli elrendezésének kikutatására. Magakészítette 46 cm átmérőjű, 160-szorosan nagyító, fényerős tükörteleszkópját használta erre a célra. Eljárása abban állott, hogy megszámlálta a látómezőben feltűnő összes csillagokat. A csillagok számából következtetett viszonylagos távolságukra. Föltételezte ugyanis, hogy a távcső látómezejétől alkotott kúpalakú térrészben a csillagok egyenletesen vannak elosztva. Minthogy a kúpok köbtartalma úgy aránylik egymás-

hoz, mint magasságuk harmadik hatványa, azért ha például az ég valamely részében nyolcszor annyi csillagot számlált, mint egy másik helyen, akkor amott a csillagrendszer kétszer oly messze terjed, mint az utóbbi helyen.

Herschel teleszkópja akkora területet fogott át az égen, mint a Hold korongjának negyedrésze. Emberfölötti és lehetetlen munka lett volna ilymódon végigszámlálni az égbolt összes csillagait. Azért *Herschel* arra szorítkozott, hogy egy sáv mentén végezze kutatásait, mely derékszög alatt szeli a Tejútát és így vonul végig az égen. 3400 helyen végzett megfigyeléseket. Megállapította az egyes helyeken a csillagok átlagos számát és helyzetüket a Tejúthoz viszonyítva. Hasonló számlálást végzett fia, *John*, a déli éggömbön. Eredményük az volt, hogy általánosságban a csillagok száma annál nagyobb, minél inkább közeledünk a Tejút felé. A Tejúttól legtávolabb, a Tejút sarkai körül, átlag 4 csillag volt látható a látómezőben, míg magában a Tejútban 53—59. Ezek persze átlagos számok, mert valójában némelyütt egyetlen csillag sem látszott, másutt meg olyan sok, hogy meg sem lehetett mind számlálni.

Tehát kiindulva abból, hogy a csillagok egyenletesen vannak elosztva a világtérben, *Herschel* arra a következtetésre jutott, hogy a mi csillagrendszerünk a Tejút irányában ötször oly messze terjed, mint a reá merőleges irányban s nagyjából a *Kant*tól föltételezett alakja van, azzal a különbséggel, hogy egyik szélén a korong mintegy ketté hasadt a Tejút kettéhasadásának megfelelően.

Herschel további vizsgálatai során meggyőződött arról, hogy a csillagok egyenletes eloszlásának föltevése nem kellően indokolt. Ezért új és fontos elemet kapcsolt be következtetései és megfigyelései láncsorába, a csillagok fényességét, amellyel már előbb behatóan foglalkoztunk. Ha a csillagok tényleges fényereje egyforma volna, akkor a csillag fényességéből következtetni lehetne a távol-

ságára, mert hiszen annál gyengébbnek látnók, minél távolabb van tőlünk. A valóságban ez nincs így, de *általában* mégis azt mondhatjuk, hogy a gyengébb fényű csillagok távolabb vannak, mint a fényesebbek. *Herschel* ezzel a körülménnyel teljesen tisztában volt és becsléseit csakis így szabad értelmeznünk.

A világtérnek azt a részét, mely a szabad szemmel látható 6000 csillagot tartalmazza, *Herschel* ugyanannyi egyenlő részre osztja. Egy ily részt gömbalakban a Nap körül helyez el. Most képzel egy másik gömböt, melynek sugara háromszor s így térfogata 27-szer akkora; ebben tehát 27 csillag férne el. A Napot leszámítva, marad 26 csillag, mely elsőrendű lenne, mert legközelebb vannak. A következő gömb sugara legyen az egységgömb ötszöröse; ebbe összesen 125 csillag férne. Leszámítva az előbbi 27 csillagot, maradna 98 csillag, mely másodrendűnek látszanék s így tovább. Az első-, másod-, hatodrendű csillagok számát pontosan ismerjük és így összehasonlíthatjuk a valóságot a föltevással. Az eredmény, amelyre *Herschel* jutott, az, hogy egészen negyedrendig a meg egyezés elég jó, de ezentúl igen nagy eltérés mutatkozik. *Herschel* szerint ez azért van, mert míg az ő skálája szerint a távolságok egyszerűen növekszenek, addig a nagyságrendek négyzetesen haladnak. A hatodrendű csillagok tehát a nyolcadik távolságrendnek felelnének meg s így tovább. *Herschel* arra az eredményre jutott, hogy az ő húszlábás teleszkópja nem elég hatalmas a Tejút-rendszerének áthatolására, pedig ez a műszer szerinte a távolság 900-ik rendjéig ér, azaz olyan csillagokig, melyek 900-szor oly messze vannak, mint az elsőrendű csillagok.

A csillagok fényességére támaszkodva, *Wilhelm Struve* végzett *Herschel*éihez hasonló kutatásokat. Azt találta, hogy a csillagok annál sűrűbben vannak a Tejútban, minél nagyobb a tőlünk való távolságuk. Egészen ötödrendig a csillagok a Tejút felé nem sűrűbbek, mint egye-

bütt. De már hatodrendű csillag több van a Tejút közelében, mint egyebütt, hetedrendű még több és így tovább. *Struve* ebből azt következtette, hogy csillagrendszerünk különböző sűrűségű csillagrétegekből áll, melyek a Tejút síkjával párhuzamosan haladnak. Legsűrűbben a középső síkban vannak gyűrűszerűen elhelyezve. E réteg középpontjától nem messze van a mi Napunk. Minél jobban távolodunk ettől a rétegtől, annál kisebb lesz a csillagok száma, anélkül, hogy határozottan megmondhatnók, hogy hol a határ, épenúgy, mint a Földet körülvevő levegőnél. *Struve* kísérleténél is ugyanazt lehet kifogásolnunk, mint *Herschelnél*, hogy tudniillik valamennyi csillag sajátos fényerejét egyenlőnek tételezte föl, ami újabb vizsgálatok alapján meg nem engedhető, amint azt az abszolút fényességek leírásánál bővebben kifejtettük.

Olbers egyik régebbi gondolatára támaszkodva, *Struve* azt a nézetet is fölvetette, hogy a fény a világtérben elnyeletést szenved, vagyis veszít az erősségéből. Mert ha nem lenne ilyen fényelnyelés, akkor, végtelen sok csillagot föl téve, az egész égboltozatnak fényesnek kellene lennie, holott ismeretes, hogy az ég egyes helyein a legerősebb távcsőben sem lehet egyetlen csillagot sem fölfedezni. Szerinte a hatodrendű csillagok átlag tizenegyszer oly távol vannak, mint az elsőrendűek, *Herschel* teleszkópjának térátható ereje pedig ennek 664-szerese. De a csillagok tényleges megszámlálása csak 228-szorosra vezet és ezért hiszi *Struve*, hogy a fény a világtérben a négyzetesnél nagyobb mértékben gyöngül.

A fényelnyelés kérdése a világtérben a legeslegújabb időben a spirálisködökkel kapcsolatban került felszínre, bár a kutatókat ez a kérdés természetesen állandóan érdekli. Ha tudniillik a fény abszorpcióját a világtérben ismerjük, akkor a spirálisködök távolságára vonhatnánk következtetést. Spirálisködök effektív hullámhosszának megmérése, amilyent *Lindblad* és *Lundmark* végeztek,

lehetővé teszi a színeképtípus kiszámítását, támaszkodva hasonló összefüggésre a csillagoknál. A számított színeképtípus teljesen a folytonos színeképben való energiaeloszlástól függ, a megfigyelt típus pedig bizonyos abszorpciós vonalak csoportjaitól. Ha tehát van fényelnyelés a világterben, akkor a számított típus későbbinek adódik, mint a tényleg megfigyelt. A számított közepes színeképtípus $G. 4.5$ a közepes megfigyelt pedig $G. 1.7$. Színindexben a különbség $+ 0.12$ nagyságrend. Ha az abszorpciónak értékét biztosan ismernők, akkor meghatározhatnók a spirális ködök átlagos távolságának maximális értékét. A *Shapley*-féle távolságok mutatják, hogy az abszorpció mindenesetre kisebb, mint 2 milliomodrész nagyságrend egy parszekre. De ha föltesszük, hogy átlagos távolságuk az újabb *Lundmark*-féle vizsgálatok alapján 10 millió fényév, akkor az abszorpció kisebb 2 százmilliomodrész nagyságrendnél fényévenként. Ha ezt az abszorpciót meteorszerű sötét anyagnak, kozmikus pornak tulajdonítjuk, mely a világterben mindenütt szét van szórva, melynek sűrűsége olyan, mint a vasé (7.9) és az egyes részecskék 6 ezredrész grammot nyomnak, akkor egy kocakában, melynek éle olyan hosszú, mint a Föld-Naptávolság, tízezerbillió ilyen részecske lebeg.

A csillagok eloszlásába mélyebb betekintést nyújtanak az újabb időben készült nagyszabású csillagkatalógusok. Ilyen pl. az északi égboltról a már említett bonni katalógus, a délről a capetowni fotográfiai katalógus. Már *Argelander*, a híres bonni katalógus megteremtője, az abban foglalt 324.198 csillag alapján, melyek 9.5-rendig terjednek, kimondhatta, hogy a csillagok a Tejút felé erősen sűrűsödnek, de hogy a csillagban legszegényebb égi tájak a Tejúttól nem épen legmesszebb esnek és hogy a Tejúttól egyforma távolságban is a sűrűség változik. Ez megerősíti *Herschel*nek azt a nézetét, hogy a csillagok törekszenek csoportokba tömörülni.

Érdekesek *Gould* vizsgálatai a fényesebb csillagokról és Naprendszerünk helyzetéről a csillagok között. *Gould* szerint a fényesebb csillagok övszerűen tömörülnek az égen. Ez az öv átmegy a Cassiopeia és a Déli Kereszt csillagképen és mintegy 19° alatt metszi a Tejútát. Míg a kevésbé fényes csillagok rohamosan sűrűsödnek a Tejút felé, addig a fényesebb csillagoknál ily sűrűsödés nincs. Ebből következik, hogy mintegy 400 vagy 500 csillag, elsőtől hetedrendig, kisebb, lapos csillaghalmazba verődött össze. Ebben a csillaghalmazban foglal helyet a Nap és vele a körülötte rajzó bolygók sokasága, köztük a mi Földünk is. A Nap nincs e csillaghalmaz közepén, hanem kissé oldalt, de közel a Tejút síkjához. *Gould*nak ezt a nézetét megerősítik *Shapley*nek részben már említett modern kutatásai.

A csillagok térbeli eloszlásáról nagyon beható vizsgálatokat eszközölt az újabb időkben *Seeliger*, a müncheni csillagda nemrégiben elhunyt kiváló igazgatója. Ő is a bonni katalógust veszi alapul az északi égboltra. Összesen 448.532 csillag eloszlását vizsgálja meg. Főeredménye az, hogy egészen a 9. nagyságrendig a csillagok száma a nagyságrenddel sokkal lassabban növekszik, semmint egyenletes térbeli eloszlásból és egyforma fényerőből következnek; továbbá, hogy a csillagok száma a nagyságrenddel együtt annál jobban növekszik, minél közelebb kerülünk a Tejúthoz. *Seeliger* szerint a csillagok térbeli elrendezkedésének finomabb részleteit majd csak a jövő csillagászai fogják tanulmányozhatni. Jelenleg csak arról lehet szó, hogy valami átlagos, vagy mint ő mondja, tipikus képet alkossunk magunknak erről az elrendezésről. Egészen durván azt lehet mondani, hogy a Tejút csillagait valami forgásfelület határolja, melynek egyenlítője beleesik a Tejútba. Mintegy százmillió csillag alkotja ezt a rendszert, melynek méretei nem is olyan tulságosan nagyok — már a csillagász szemével nézve — mert átlag

mintegy ezer Sirius-távolságról lehet szó (közel 17.000 fényév). A kiterjedés a Tejút irányában a legnagyobb. Így olyanforma képhez jutunk, mint *Herschel*, csakhogy *Herschel* nem tudott állításainak szilárd alapot adni. *Struve*val ellentétben *Seeliger* nem tartja valószínűnek, hogy a fény a világtérben elnyelést, abszorpciót szenved abban az értelemben, hogy ezt az elnyelést a fény feltételezett továbbítója, az éter okozná. De igenis bizonyos, hogy vannak sötét égitestek, kozmikus porból álló sötét, nem fénylő felhők, melyek a fény útját vágják és a mögöttük lévő világító égitesteket szemünk elől elrejtik. Ezzel *Seeliger* szerint elesik egy végtelen kiterjedésű csillagrendszer lehetősége s ennél fogva az összes csillaghalmozatok és ködfoltok szintén a Tejút csillagrendszeréhez tartoznának. Szerinte számos megfigyelés szól emellett, egyetlenegy sem ellene. Látjuk, hogy *Seeliger*nek hosszú évi, óriási megfigyelésanyagon nyugvó kutatásai merőben ellentétjei a *Lambert*- és *Kant*-féle feltevéseknek.

Kapteyn holland csillagász a különböző fényességű csillagok elrendezését kutatta a Nap közelebbi környezetében. Ő tekintettel van nemcsak a csillagok fényességére, hanem sajátmozgásukra is, aminek segítségével azután bizonyos valószínűséggel következtetést von a csillagok közepes távolságára. Amint már többször kiemeltük, épen a távolságok ismerete az a fontos adat, amely nekünk hiányzik, hogy a csillagok elrendezéséről és így a világegyetem szerkezetéről pontosabb képet alkothassunk magunknak. *Kapteyn* szerint a Nap 20 Sirius-távolságból (330 fényév) nézve $10\frac{1}{2}$ -edrendű csillagnak látszanék. Ezen az alapon a Nap körül 33 Sirius-távolságnyi (540 fényév) sugarú gömbben — szerinte ez a kilencedrendű csillagok közepes távolsága — a következő fényességű és számú csillag van jelen :

1 csillag, mely	100.000—10.000-szer
46 „ „	10.000—1000-szer
1300 „ „	1000—100-szor
22.000 „ „	100—10-szer
140.000 „ „	10—1-szer
430.000 „ „	1—0'1-szer
650.000 „ „	0'1—0'01-szor

oly fényes, mint a Nap.

Kapteyn szerint a Tejút-rendszer átmérője mintegy 59.000 fényév a Tejút síkjában, 8000 fényév az erre merőleges irányban.

Seeliger az újabb, 15-ödrendű csillagokig terjedő csillagszámlálásokat is tekintetbe véve, a következő csillagszámokat találja :

Nagyságrend	Csillagok száma ezen rendig
1·5	21
2·5	67
3·75... ..	282
4·75	906
5·75... ..	3.190
6·75	10.210
7·5	24.800
9·2	185.000
11·16... ..	1,670.000
13·9	27,100.000
14·84... ..	48,800.000

Kapteyn vizsgálatait folytatva, *Schwarzschild* is a *Seeliger*éhez hasonló eredményre jut, mely szerint a látható csillagrendszer, amit mi világegyetemnek szoktunk nevezni, meglehetősen élesen határolt, sok millió csillagból álló sokaság alkotja.

Az elébük tornyosuló nehézségek dacára egyes csillagászok mégsem rettentek vissza a finomabb szerkezet vizsgálatától sem. Nagyon érdekesek például az orosz *Stratonoff* eredményei. Ő azt találja, hogy a bonni katalógus csillagai egészen másképp vannak elosztva, mint a

benne nem foglalt 9·5-rendnél gyöngébb csillagok. A Tejút enyhe fényét ezek a gyöngébb csillagok idézik elő. Három nagy sűrűsödést talál a katalógus csillagaiból ; az elsőnek a közepe a Hattyú, a másodiké az Ikrek, a harmadiké a Monocerus csillagképben fekszik. A déli égbolton a csillagok eloszlása valamivel bonyolultabb, de a katalógus-csillagok itt is másképp oszlanak el, mint a gyengébbfényűek. A Tejút csillagfelhőkből van összetéve, melyek széleikkel érintkeznek. A Nap a fönnebb említett első nagy felhőben foglal helyet közel a felhő egyik széléhez.

Easton holland csillagász rámutat arra, hogy a Tejút a Sas csillagképben sokkal fényesebbnek látszik, mint a vele egyenesen szemközt fekvő Monocerusban. Ennélfogva a Nap nem áll a Tejút közepe táján, hanem közelebb ahhoz a részéhez, mely a Cygnus és Aquila (Hattyú és Sas) csillagképeken át vonul. Pontosabb vizsgálat arra vezeti *Eastont*, hogy a Tejút-rendszernek spirális szerkezetet tulajdonítson, vagyis igen nagy távolságból szemlélve, a mi egész csillagrendszerünk spirálisalakú ködfoltoknak látszanék. Ha ez igaz, úgy a ködfoltok távoli világrendszerek, melyek nem tartoznak a miénkhez.

Newcomb nézete az, hogy a tőlünk világegyetemnek nevezett csillagrendszer kiterjedése véges. A nagy távcsővel látható legkisebb csillagok nincsenek sokkal meszebb, mint a valamivel fényesebb csillagok, hanem csupán gyöngébbfényű égitestek, melyek ugyanazokban a terekben vannak. Azért lehetséges, hogy a miénken kívül más csillagrendszerek is léteznek, amelyekről eddig nincsen tudomásunk. A mi csillagrendszerünk határai kissé szabálytalanok és határozatlanok. Mennél jobban közelünk a Tejút-rendszer határához, annál inkább ritkulnak a csillagok. Valószínű, hogy ez a határ sehol sincsen túl a 200 Sirius-távolságon, lehet, hogy jóval kisebb is. A fénynek 3400 évre van szüksége, hogy ezt az utat meg-

tegye. A Tejút irányában a csillagrendszer méretei nagyobbak, mint más irányban. A csillagok összes száma több százmillió. A Nap közel van a rendszer közepéhez, de nagysága szerint nem foglal el különösebb pozíciót többi milliárdnyi társai között.

Eddig csak a csillagok térbeli elrendeződésével foglalkoztunk. A halvány körvonalak, melyek szemünk előtt kibontakoztak, úgyis lesújtó nagyságban mutatják a mindenséget. De nem állhatunk meg e képnél. Tudjuk, hogy valamennyi csillag mozog a térben, mindegyik rohan tovább a maga pályáján kisebb-nagyobb sebességgel, a Nap pl. 20 km-nyi sebességgel másodpercenként. Az a kérdés merül fel, hogy a már említett rajvándorlások és csillagáramokon kívül nincs-e valami rendszeresség a mozgásban, mely a csillagok összességére jellemző. Ezek a mozgások nem-e vezetnek összeütközésekre, óriási kataklizmákra, világok katasztrófáira.

A csillagok mozgásának tanulmányozása még úgyszólván kezdetének kezdetén van, bár a színképelemzésben hasznos segítőtársra talált az asztronómia ezen a téren. De mint a jelenlegi elrendezésről tudtunk magunknak átlagos, közelítő képet formálni, úgy a világegyetemet alkotó sok milliárdnyi csillag mozgásáról is sikerül képet vagy hasonlatot nyernünk. A különbség azonban az, hogy míg az előbbi vizsgálatok a csillagokon végzett megfigyelésekből adódtak, addig itt a laboratóriumban gázokon végzett kísérletekből és észlelésekből vesszük a hasonlatosságot. Összetalálkozik a végtelen kicsiny és a végtelen nagy: a láthatatlan gázmolekula és a Napnál is sokszorta nagyobb égitest mozgásában keresünk mechanikai rokonságot és vonatkozást. És ha a kép nem is egyezik teljesen a valósággal, mégis van szuggesztív ereje, mely gondolkodásra serkent.

A modern fizika azt tanítja, hogy a gázok (pl. a levegőt alkotó oxigén és nitrogén, a hidrogén stb.) számtalan

kicsiny tömegrészecskéből, molekulákból állanak, melyek különböző nagy sebességekkel minden irányban keresztül-kasul száguldoznak a térben. Ezek a molekulák vonzzák egymást, de csak ha a köztük lévő távolság nagyon kicsiny; amint ez a távolság növekszik, a vonzó hatás hamar megszűnik. A Tejút meg a spirális ködök is számtalan mozgó tömegrészből, csillagokból állanak s ezeket a csillagokat óriási nagy távolságok választják el egymástól. Ezek az égitestek is vonzzák egymást *Newton* törvénye szerint s ezekben a nagy távolságokban ez a vonzás elenyésző, úgyhogy nagyjából azt mondhatjuk, miszerint a csillagok egyenesvonalú pályákon haladnak, épen úgy, mint a gázmolekulák a gázokban és hogy úgy, mint a gázmolekulák, csak akkor téríttetnek el ettől az egyenes úttól, ha elég közel érnek egymáshoz.

Eltekintve a méretektől, mondhatjuk tehát, hogy a mi csillagrendszerünk valami gáztömeghez hasonlít. És most az a kérdés, meddig terjed ez a hasonlatosság és mi következik belőle.

Ha valamely szabad gáztömeg hőegyensúlyban van, akkor nyomás és hőmérséklet kívülről befelé növekszenek, úgyszintén a gázmolekulák közepes sebessége is. Ha tehát a Tejút csillagjai összességükben ilyen egyensúlyban levő szabad gáztömeghez hasonlítanak, akkor a rendszer közepe felé levő csillagok saját mozgásának nagyobbak kell lennie, mint a szélső csillagokénak. A csillagok megfigyelt saját mozgásából meg lehet határozni a rendszer méreteit. Nem pontos mérésről van itt szó, hanem nagyságrendről.

Egyszerűség kedvéért feltesszük, hogy a Tejút csillagai gömbalakú, egyenletes halmazt alkotnak. Ilyen egyenletes sűrűségű gömbben a vonzás egyszerűen arányos a középponttól való távolsággal. A megfigyelés azt mutatja, hogy a hozzánk legközelebb levő csillagok átlagos sebessége átlag olyan, mint a Földé a Nap körüli mozgá-

sában, mintegy 30 km. másodpercenként. Ebből az előbbi feltevés alapján az következne, hogy a Tejút sugara mintegy ezer Sirius-távolság (17.000 fényév), a csillagok összes száma pedig ezermillió körül lenne. Láttuk, hogy *Seeliger* egészen más úton hasonló eredményre jutott.

Kérdezhetjük, hogy nincsenek-e nagy számban sötét csillagok. Egyszerű számítást azt a feleletet adja, hogy az előbbi feltevések mellett a saját fényben tündöklő csillagok száma túlnyomó. A gáztömeg egyensúlyállapota, amint már kifejtettük, függ a kétféle fajhő viszony-számától, mely más az egyatómos, más a kétatómos s. i. t. gáznál. Nekünk itt egyatómos gáz viselkedését kellene mintául vennünk, mert például az egész Naprendszer együttesen előbb térne el közös egyenes pályájától, ha valamely más csillag közeledne feléje, mielőtt valamely egyes bolygó Nap-körüli pályája eltérést szenvedne. Szóval, az egész Naprendszer úgy viselkednék, mintha egyetlen gázatom lenne.

Zárjunk üvegcsőbe ú. n. *Crookes*-féle csőbe felette ritkított gázt. A gázmolekulák ritkábbak lévén, több a valószínűség, hogy útjukban nem ütköznek össze. *Crookes* úgy mondja ezt, hogy a molekulák átlagos útja nagyobb a cső hosszánál és hogy a gáz sugárzó állapotban van. Ha a Tejút csillagainak átlagos útja nagyobb a Tejút méreteinél, akkor ezt a mi csillagrendszerünket ilyen *Crookes*-féle sugárzó állapotban levő gázhoz kellene hasonlítanunk. Csakugyan, képzeljünk minden csillag körül Neptun-távolságrendű sugárral gömböt. Ha más csillag nem jut e gömb belsejébe, úgy azt mondhatjuk, hogy az előbbi csillag pályája egyenes maradt és összeütközés nem fog történni: útja szabad marad, mint a gázmolekuláé a *Crookes*-féle csőben. Ha az előbb említett ezermillió csillagot védőgömbjünkkel együtt a Tejutat határoló gömb felületén elhelyezzük, úgy annak

csak hatvanadrészét foglalják el. Ennélfogva a Tejút csillagainak átlagos útja nagyobb, mint a Tejút méretei s így azt kell mondanunk, hogy csillagrendszerünk inkább sugárzó anyaghoz hasonlít, mint közönséges gázhoz.

Eddig gömbalakúnak tételeztük fel csillagrendszerünket. De tudjuk biztosan, hogy ez nem így van, hanem hogy lapos korongalakú. Ha gömbalakú gáztömeg tengelykörüli forgást végez, akkor a tengelyek mentén összenyomul, a forgás egyenlítője mentén pedig elnyúlik, tehát korongalakot vesz fel, mely annál laposabb, minél sebesebb a forgás. A Tejútnak 500 millió esztendőben kellene egy forgást végeznie, hogy a *Herscheltől* és *Seeligertől* kimutatott lapultságot elérje. Ezt a forgást csak akkor lehetne kimutatni, ha a Tejúton kívül más világegyetemek léteznének, melyek ebben a forgásban nem vesznek részt, úgy mint a Föld forgásáról is úgy szerzünk tudomást, hogy az állócsillagokat észleljük.

Ha hasonlatunk teljes lenne, úgy a csillagok sebességének is úgy kellene elosztva lennie, mint a gázmolekuláknál. Ezt pedig az úgynevezett *Maxwell*-féle törvény szabja meg, mely szerint minden pontban mindenféle irányú sebességnek egyformán kellene szerepelnie. *Kapteyn*, amint fönnebb részletesen kifejtettük, úgy találja, hogy a Tejút csillagai két főirányban haladnak, mintha két áram léteznék, melyben a csillagok a világtérben továbbvonulnak. Ennélfogva a Tejút rendszere még nem ért el az egyensúly állapotába, a két ritkított gáz még nem keveredett össze. Az egyensúlyállapot egyatómós gáznál a sugárzás megszűnésével jár saját gravitációs vonzása alapján s ha hasonlatunk talál, akkor világrendszerünk végső egyensúlyállapota is csak ilyen lehet, mint az egyatómós gázé.

Schiaparelli a *Kapteyn*-féle két csillagáramon kívül még egy harmadikat tételez fel, melynek a Nap-rendszer

is tagja. Az üstökösök is tagjai ennek az áramnak és így nem tartoznának közvetlenül a Nap-rendszerhez. Ha valamely csillag nem árul el sajátmozgást, akkor rendesen fölteszik, hogy igen nagy távolságban van (mint például *Halm* a héliumcsillagok o-áramánál). *Schiaparelli* viszont azt hiszi, hogy az ilyen csillagok a Nappal együtt ugyanabban a harmadik áramban haladnak. Hogy a gázok mechanikájának alkalmazása a csillagrendszerekre mennyire jogosult, azt majd a jövő megfigyelései fogják megmutatni s akkor az is ki fog tűnni, hogy a csillagrendszerek számára nem-e kell egészen külön dinamikát fölállítani.

A már említett *Shapley*- és *Lundmark*-féle vizsgálatok és megfigyelések lényegesen megnagyobbították azokat a határokat, melyeket *Seeliger*, *Nerocomb*, *Kapteyn* stb. a látható világegyetem számára megengedhetőnek találtak. Ezek az utóbb említett vizsgálatok úgyszólván csak a Nap szomszédságában levő csillagok rendszerét ölelik fel, melyet a Tejút-rendszer néven foglalhatunk össze. Azonban *Schapley* szerint, amint már említettük, a gömbalakú csillaghalmazok nem tartoznak a Tejúthoz, hanem mindegyike külön csillagrendszert alkot, melyek között a mi Tejút-rendszerünk mint valami kis sziget foglal helyet. A spirális ködök pedig még nagyobb mennyiségben levő óriási világrendszerek, melyek között van a Tejút rendszerénél nagyobb rendszer is. Lehet, hogy ezek körül is csoportosulnak ilyen gömbalakú csillaghalmazok, ezek azonban ilyen nagy távolságokban már nem észlelhetők. *Shapley* és *Lundmark* következtetései már nem pusztá feltevések, hanem számos érdekes mérés és megfigyelés eredménye. Így *Shapley* a Tejút körül elhelyezkedő csillaghalmazrendszeréről azt is kimutathatta, hogy ez nagyban olyanformán helyezkedik el, mint maga a Tejút kisebb méretben, úgyhogy egészben véve ez a nagyobb rendszer is lapult ellipszoidalakú,

de lapultsága kisebb, mint a Tejúté. Ennek a rendszernek átmérője a fősíkbán mintegy 330.000 fényév, az erre merőleges irányban ennek mintegy fele. *Shapley* azt is megállapíthatta, hogy ennek a csillaghalmazrendszernek a középpontját a Sagittarius (Nyilas) csillagkép irányában kell keresnünk, mert a csillaghalmazok arra felé sűrűsödnek leginkább. A Nap ettől a középponttól mintegy 60.000 fényévnnyire van. Ha a világtér valamelyik távoli pontjáról ezt a nagy rendszert egyszerre át tudnók tekinteni, úgy a mi Tejút-rendszerünk ebben kis felhőcskének látszanék mintegy középpütt a nagy rendszer pereme és középpontja között.

Lehet, hogy ezek a csillaghalmazok együttevve spirálisködnék az alakját mutatják s ma már igen valószínűnek kell tartanunk, hogy a spirálisködnök ilyen csillaghalmazrendszerek, melyek a mi rendszerünktől ismét rendkívül nagy távolságban vannak. Ez a kép *Kant* és *Lambert* nézeteihez vezetne vissza.

C. Neumann és *Seeliger* más úton is, mint amelyet már említettünk, arra az eredményre jutottak, hogy a csillagvilágnak határoltnak, végesnek kell lennie. Más szóval ezt úgy is mondhatjuk, hogy a látható és láthatatlan égitestek összességének tömege véges. Ha a tömeg véges, azért a geometriai tér még mindig lehet végtelen; de ha a tér véges, akkor a tömeg csak véges lehet. *Neumann* és *Seeliger* szerint a *Newton*-féle törvény határozatlanná válik, ha a világtérben csillagok formájában szétszórt anyag tömege végtelen nagy. Ez a végtelen nagy tömeg arra is vezetne, hogy egyes csillagok végtelen nagy gyorsulást kaphatnának s a csillagoknak a végtelen térben széjjel kellene szóródniok.

Valójában a *Newton*-féle törvény csak abban az esetben válik határozatlanná, ha feltesszük, hogy a tömeg a végtelen térben mindenütt véges sűrűséggel van elosztva. Azonban *Charlier* kimutatta, hogy a csillagoknak

olyanféle elrendeződésével, mint aminőt *Lambert* gondolt és *Shapley* meg *Lundmark* megfigyelésekkel megállapított, a *Newton*-féle törvény még akkor is megtartja szigorú érvényességét, ha a végtelen *Euklidesz*-féle térben számtalan ilyen rendszer van jelen kellő távolságban egymástól, úgyhogy például az egyes Tejút-rendszerek vagy spirális ködök távolsága többmilliószorosa a rendszerek átmérőjének, úgy mint az egyes csillagok egymástól való távolsága is a csillagátmérő többmilliószorosa. Érdekes az, hogy ezeket a csillagrendszereket kétféleképpen képzelhetjük a világtérben csoportosítva: t. i. vagy egy közös középpont körül csoportosulnak, mint például *Lambert*-nél, vagy pedig ilyen középpont nincs. Figyelemreméltó, hogy a középpontonlküli világrendszerek lehetőségének számossága végtelen nagy, még pedig olyan végtelen, mint a kontinuum. A középponti elrendeződésű világrendszerek számossága ellenben csak megszámlálhatóan végtelen, vagyis olyan, mint az egész számok sokaságáé. Ha tehát valószínűségi okokra akarunk támaszkodni, akkor azt kellene mondanunk, hogy a tér végtelen és a csillagrendszerek középpont nélkül vannak a térben elhelyezve.

A relativitástan, *Seeliger* említett nézeteire és vizsgálataira támaszkodva, szükségszerű következményének mutatta ki a tér és ennél fogva a tömeg végességét. A tér végessége az úgynevezett *Riemann*-féle szférikus téré. Azonban a középpontonlküli elrendezésben található olyan végtelen csillagrendszer is, mely eleget tesz a relativitás követelményének, ami azt mutatja, hogy a tér végessége nem feltétlenül jár együtt a relativitással. Viszont a *Newton*-féle szempontból véges tömegű világ nem okoz nehézséget, hacsak az össztömeg oly nagy, hogy a csillagoknak a világtérben való szétszóródását lehetetlenné tegye. Eszerint a magasabb Tejút-rendszerek lehetségesek ugyan, de nem szükségszerűen léteznek.

Ilyen végestömegű *Newton*-féle világrendszerben mintegy száztrillió Nap-nagyságú csillagnak kellene egyenletesen szétosztva lennie százmillió fényév átmérőjű gömbben. Ez az átmérő 300-szor akkora, mint a *Shapley*-féle csillaghalmazrendszeré, a csillagok száma pedig kétbilliószer oly nagy, mint amennyit *Seeliger* a mi Tejút-rendszerünkben létezőnek gondolt.

A jövő feladata lesz tapasztalati úton, megfigyelések által eldönteni, hogy az említett lehetőségek közül melyik felel meg legjobban a valóságnak.

TARTALOMJEGYZÉK.

	Oldal
I. A Naprendszer... ..	4
II. A Nap fizikai alkata	35
III. A csillagok fizikája... ..	57
IV. A csillagok mozgása. Csillagrajok és csillagáramok	100
V. Csillagrendszerek és a világegyetem	115

A SZENT ISTVÁN KÖNYVEK

sorozatában eddig megjelentek:

1. Zubriczky Aladár dr.: Jézus élete és a vallástörténet. (Elfogyott.)
2. Wolkenberg Alajos dr.: A teozófia és antropozófia ismertetése és bírálata.
- 3—4. Wolkenberg Alajos dr.: Az okkultizmus és spiritizmus multja és jelene. (Elfogyott.)
- 5—6. Balanyi György dr.: A szerzetesség története.
- 7—8. Alszeghy Zsolt dr.: A XIX. század magyar irodalma.
9. Miskolczy István dr.: Magyarország az Anjouk korában.
10. Palau-Timkó Jordán: Krisztus útján. A katolikus tevékenység főelvei.
11. Quadrupani-Babura László dr.: Útmutatás jámbor lelkek számára.
12. Prohászka Ottokár: Elbeszélések és utirajzok. (Elfogyott.)
13. Trikál József dr.: Természetbölcselet.
14. Bognár Cecil dr.: Értékelmélet.
15. Prohászka Ottokár: A bűnbocsánat szentsége.
16. Babura László dr.: Szent Ágoston élete.
17. Lepold Antal dr.: Szalézi szent Ferenc válogatott levelei.
18. Áldásy Antal dr.: A kereszteshadjáratok története.
19. Marosi Arnold dr.: Atöröklés és nemzetvédelem.
20. Zoltvány Irén dr.: Erotika és irodalom.
21. Horváth Sándor dr.: Aquinói szent Tamás világnézete.
22. Balogh Albin dr.: Művelődés Magyarország földjén a magyar honfoglalás előtt.
23. Marczell Mihály dr.: A katolikus nevelés szelleme.
- 24—25. Motz Alanáz dr.: A német irodalom története.
26. Babura László dr.: Szent Ambrus élete.
27. Márki Sándor dr.: II. Rákóczi Ferenc élete.
28. Kiss Albin dr.: A magyar társadalomtan története.
29. Szabó Zoltán dr.: A növények életmódja.
30. Weszelszky Gyula dr.: A rádium és az atomelmélet.
31. Balanyi György: Assisi szent Ferenc élete.
32. Dávid Antal: Babel és Assúr. 1. Történet.
33. Fejér Adorján: Római régiségek.
34. Balogh József: Szent Ágoston, a levélíró.
35. Babura László dr.: Szent Jeromos élete.
36. Karácsonyi János dr.: Szent László király élete.
37. Miskolczy István dr.: A középkori kereskedelem története.
38. Szémán István dr.: Az újabb orosz irodalom.
39. Bán Aladár: A finn nemzeti irodalom története.
40. Trikál József dr.: A gondolkodás művészete.
41. Kühár Flóris dr.: Bevezetés a vallás lélektanába.
42. Babura László dr.: Nagy szent Gergely élete.
- 43—44. Kühár Flóris dr.: A keresztény bölcselet története.
45. Weszely Ödön dr.: Korszerű nevelési problémák.
46. Somogyi Antal dr.: Vallás és modern művészet.
47. Divald Kornél: Magyar művészettörténet.
- 48—49. Birkás Géza dr.: A francia irodalom története.
50. Wodetzky József dr.: A világegyetem szerkezete.
51. Záborszky István dr.: Rabindranath Tagore világnézete.