

A CSILLAGÁSZAT A POSITIV PHILOSOPHIA RENDSZERÉBEN.

A csillagászat az egyedüli tudomány, mindeddig, melyben az emberi szellem minden direct vagy indirect theologiai és metaphysikai befolyástól teljesen fölszabadult, s ép ez teszi könnyűvé philosophiai jellemének szigorú megalapítását. E czélból azonban meg kell jelölnünk a csillagokról megszerezhető positiv ismeretek mezejét.

Az égi testeket a látás érzéke hozza tudomásunkra. Látással nem bíró lényekre nézve csillagászat nem létezik; sőt a sötét égi testek sem jutnak a mi tudomásunkra, bár inductio útján olyanoknak létezését sejtethjük. Minden nem pusztán látási megfigyelésre visszavezethető kutatás, mely a csillagokra vonatkozik, ki van zárva a csillagászatból; positiv astronomiai ismeretünk a csillagok geometriai és mechanikai tüneményeire szorítkozik.

Mindenek előtt arra a kérdésre akarunk megfelelni: Mi a csillagászati tudomány megismerésének határa?

Minden kérdés, mely a csillagoknak többé-kevésbé direct látással való megfigyeléséből foly, előbb-utóbb megoldhatóvá lehet az astronomiában.* Ha azonban egy kérdés más-fajta kutatást igényel, úgy ez a csillagászati tudománynak megközelíthetetlen.

E határ-kijelölés azonban az égi testek közép-melegének meghatározását tekintetbe véve, úgy látszik, tulságos szigorú. Erre vonatkozólag azonban csak annyit jegyezzünk meg, hogy Fourier mennyiség-tani hőelmélete daczára is a csillagok melegségére vonatkozó positiv megismeréshez mégsem fogunk sohasem eljuthatni. Az astronomia tárgyát tehát az égi testek geometriai és mechanikai tüneményeinek és — hozzátehető — chemiai összetételének vizsgálata teszi.

Philosophiai törvény az, hogy minél összetettebb egy tünemény,

* Így Bunsen és Kirchhoff újabb kutatásai napunk és más napok elemeinek ismeretére vezetett a spectral analysis alapján. Comte erről még semmit sem tud.

annál tágabb és változatosabb kutató eszközöknek vethető alá. — E tekintetben azonban nincs arány a növekedő nehézségek és a kutató segédforrások gyarapodása között, minek az a következménye, hogy a tünemény complicáltságával, az azokra vonatkozó tudomány tökéletessége is fogy. A csillagászati tünemények azonban a lehető legegyszerűbbek, s így a kutató eszközök is igen korlátoltak.

A megfigyelésnek általában három módja van 1) a tulajdonképpeni megfigyelés, vagyis a tüneménynek olyatén vizsgálata, mint amilyennek az mutatkozik, 2) a kísérlet vagyis a mesterségesen többé-kevésbé megváltoztatott tünemény vizsgálata, itt mesterséges viszonyok behatóbb kutatás céljából hozatnak létre. 3) az összehasonlítás, vagyis fokozatos figyelembe vétele analog esetek egész sorának, melyekben a tünemény fokozatosan egyszerűsül. A csillagászatban a kísérletezés lehetetlen, az összehasonlítás csak több naprendszer megfigyelhetése esetén volna lehetséges. Ilyenformán csak a megfigyelés marad hátra, melyet látó érzékünk eszközöl. Az égi tünemények törvényeinek fölfedezésére a szögek mérése és az idő különbségek meghatározása az egyedüli eszközök; de jól megjegyzendő, hogy a csillagászatban azért a megfigyelésnek aránylag kis, az okoskodásnak pedig igen nagy szerep jut.

A csillagászat minden tudománytól független, egyedül a mennyiségtanra szorul. A physikai, chemiai, biológiai tünemények befolyást nem gyakorolnak az astronomiai tüneményekre,* ezeknek azonban amazok alávetvék. Sőt nem is fogható fel tudományosan egy földi tünemény sem, ha a földnek s ezzel kapcsolatban az embernek a világegyetemben való helyzetét, szerepét nem ismerjük. Hogy egyebet ne emlitsünk, mily sok, a fogyatkozások és üstökösök törvényeinek nem ismerése által okozott, előítéletet és babonát szüntetett meg a csillagászat!

A föld mozgásának ismerete megszüntette azt a helytelen fölfogást, is, hogy a mindenség a földnek és következőkép az embernek alá van vetve; naprendszerünk vizsgálata minden föltétlen csodálatnak véget vett, midőn a tudománynak sikerült az addig főnállónál jobb elrendezést megalapítani.

A csillagászat lehet geometriai, melyet még égi mértannak is neveznek, ez a tulajdonképpeni csillagászat; egy másik faja a csillagászatnak a mechanikai csillagászat, vagy égi mechanika, melyet Newton alkotott. Az égi geometria egyszerűbb az égi mechanikánál, ez utóbbitól

* Ez állítás nem áll meg egészen, mint ezt az előbbi jegyzet vagy a fénytörés tüneménye mutatja.

független, s rég megtette a legfontosb lépéseket, mielőtt az égi mechanika létezett volna, míg az égi mechanika az elsőre rászorul s nélküle biztos alapja nem volna.

A csillagászat megfigyelő módszereiről.

A csillagászatban minden megfigyelés idők és szögek mérésére vonatkozik, s feladatunk annak kifejtése lesz, miként jutott e két fajta mérés oly tökéletességre. E tökéletességre egyrészt a műszerek folytonos javítása vezetett, de másrészt bizonyos, az elmélet által megalapított correctiók is közreműködnek.

Mindenekelőtt a gnomont kell megemlítenünk, mely a görögök csillagászati ismereteinek egyedüli megalapító eszköze volt.

A nap és hold által előidézett árnyék irányával az időnek, hosszával pedig bizonyos szögeknek meghatározására szolgált. Mihelyt a napi mozgás egyformasága ismeretessé lett, azóta egy pálcza, mely az égtengely irányában haladt, egy síklapra vetett árnyékának különböző helyzetével megjelölhette az időt, bár nem pontosan, mert az ilyen idő megjelölés föltételezi hogy a nap mindig ugyanazon párhuzamos körben mozogjon.

Másrészt egy merőlegesen föllállított pálczának — gnomon — pontosan meghatározott és állandó hosszúsága, összehasonlítva árnyékának változó hosszával, a nap zenittől való távolságának meghatározására vezet; e két hossz aránya u. i. a zenith távolság trigonometrikus cotangensét adja. A gnomonnal való mérések tökéletlensége, azonban, hogy a gnomon árnyéka nincs szigorún határolva, s ép ezért az árnyék hossza nem biztos. E hibát nagy gnomonokkal kisebbithetni, de megsemmisíteni nem lehet. Az idő és szögek egyszerre való ismeretét De rose üres félgömbje nyújtotta.

Cassini Domokos volt az utolsó, ki nagy méretű gnomonokat használt a nap helyzetének meghatározására. — Ez eszköz még most is használatos a délvonal kitűzésénél. Nem kell u. i. mást tenni, mint az ugyanazon hosszúságu, megfelelő árnyékok által képezett, szöget felezni, e felező vonal megadja a délvonal irányát. Az árnyék lemérésénél délelőtt elkövetett hibát ellensúlyozza a délutáni mérés hibája. A nap ferde járásának befolyását pedig az által kerülhetni ki, hogy a nyári napfordulásnál teszszük megfigyelésünket.

A következőkben a pontosb időmérést fogjuk ismertetni. A legjobb idő mérő eszköz az égbolt. Ha ismeretes a megfigyelő hely északi

szélessége, s a csillag zenithtávola és declinációja: ugy egy gömbháromszög, melynek csúcsai a zenithpont, a polus és a csillag, a polus mellett fekvő óraszög ismeretéhez s ezzel kapcsolatban az időmeghatározáshoz vezet. E módszerhez azonban csak minden más segítő eszköz hiányában fordulnak, pl. néha a tengerészetnél. — A megfigyelői állomásokon az órák járását az éggömbbel való összehasonlítással szabályozzák; s itt arra szorítkozik az ember, hogy a chronometer bármely csillagnak egy szilárdan felállított távol-néző csőben észlelt, két egymásután következő átmenete közt, huszonnégy csillagóra teljék el.

Vannak azonban mesterséges időmeghatározó módszerek is. Ezek mindenike azon elven nyugszik, hogy minden fokozatos változásnak alávetett tünetény megengedi az azok keletkezésére szükséges időnek némi-nemű hozzávető becslését. Megcsappan, azonban, a választható tünetények száma, ha szigorú időmeghatározást akarunk; itt főleg a physikai tünetényekre s ezek közül is különösen az esésiekre kell tekintettel lenni.

Régente a lefolyt folyadékok mennyiségére, a középkorban pedig súlyoknak függélyes lefelé mozgására alapíták az időmeghatározást. De mert a függélyes mozgást nehéz egyenletessé tenni, a kérdés: mikép mérjük az időt, Galilei-ig megoldatlan maradt, mely megoldást, ugyan, sokan nem Galileinek tulajdonítják. Annyi azonban mégis áll, hogy az ő mechanikai vizsgálatainak szükségszerű folyománya volt. Ő kimutatta u. i. azt, hogy egy eső tömeg sebessége attól függ, mily nagy az esésgörbe egyenes pályá elemei és a vízszintes sík által képezett hajlásszögnek sinusa. Így a görbe olyan választásánál, hogy a föllépő lassúdásnak megfelelőleg a leírandó iv megrövidülne, egyidejű (isochron) mozgásokat lehetne elérni. — E feladat azonban a geometriának, Galilei idejében nem elégséges előhaladottsága miatt, nem volt megoldható, s Huyghensnek volt fentartva. Galilei megfigyelésre támaszkodva, az ingalengéseket egyidejűeknek tekinté, s nem ismerte e tekintetben az igen kis amplitude szükségszerű föltételét.

Huyghens cyclois-alakú ingát tervezett; s bár erről a practikus kivétel nehézsége miatt lemondott, mégis kutatása nagy fontosságú, mert ez uton vezetett az igen kis amplituddal mozgó circularis inga használatához, és ez kapcsolatban az óra szabályozóval, (échappement) pontos járású órák készítésére vezetett. Huyghens az összetett ingát egyszerű ingahosszra, az eleven erő segítségével vezette vissza, ez pedig eszközt szolgáltatott a lengések megváltoztatására, a készülék méreteinek megváltoztatása nélkül. Ez óta az astronomiai órák tökéletesítése a fölfüg-

gesztési helyen származó dörzsölődés kisebbitésére és a hőkötta rendtelenségek megszüntetésére vonatkozott, mire a tapasztalás vezetett.

Miként mérjük a szöget, ez lesz most kérdésünk. E feladat nem oly könnyű, mint a milyennek első pillanatban látszik; mert egy szögnek perczekre pontos meghatározása csaknem 7 méter átmérőjű kört tesz szükségessé, hogy egy percznek egy milliméternyi iv feleljen meg. A másodperczek meghatározásánál az átmérő meghaladná a 40 métert. — Tapasztalás szerint azonban az eszközök nagysága bizonyos határt meg nem haladhat, mert különben a pontosság szenved, súlyuk és a hőmérséklet stb által okozott alakváltozás miatt. A mostani szögmérő eszközök átmérője — eltérőleg a középkori arabok óriási készülékeitől — leggyakrabban két, ritkábban négy méter. Ilyenformán a kérdés az, hogyan határozható meg a szögek ily eszközökkel másodpercznyi pontossággal, holott percznyi pontosság sem volna tőlük kívánható? Ezt három eszköz létesíti: 1) távolmérő alkalmazása. 3) vernier (nonius) használata és 3) a szögek többszörös lemérése.

Morin a régiek alhidadeját és a középkor pinulle-jét (dioptr) az 50 évvel előbb feltalált távolnézővel helyettesíté, Auzout pedig a hálózatot hozta szokásba. Ezután Dollond a színtelen tárgylencsék feltalálásával a megfigyelés tisztaságát emelte.

A Veruier által 1631. évben feltalált eljárás: a legkisebb közvetlenül lemérhető hossz bizonyos részének meghatározása, második fontos oka, a szögmérések jelenlegi nagy pontosságának.

A távolnéző és vernier daczára sem lehetett volna azonban a szögeket másodpercznyi pontossággal meghatározni, ha föl nem használjuk a Mayer által megemlített és Borda által használt többszörös szög meghatározást. A többszörös helymeghatározásnak akadály a csillag folytonos helyzetváltozása. Borda azonban ezen nehézséget az által kerülte ki, hogy a csillag zenith-távolát a meridianon való átvonuláskor mérte le, mert akkor elég hosszú ideig van a csillagnak u. a. zenithtávola, s így e zenithtávol ép ezért többször lemérhető. Megemlítendő még e helyen Römer déli távolnézője, melylyel egy csillagnak a délvonalon való átmeneti pillanata alapítható meg. Vannak ezen kívül számos mikrometrikus eszközök, melyekkel a csillagok látszólagos átmérője és különböző kis szögek méretnek.

A mérőeszközök ezen tökéletesítésen kívül azonban még szellemi segédeszközök szükségesek, melyeket a mérések javítására használunk fel, hogy a mértéket különböző tényezőknek, de különösen a fénytö-

résnek (refraction) és parallaxisnak befolyásától megszabadítsuk.

A most megemlített kétfajta tökéletesítés között a legszebb összehangzás van: pontos eszköz kell, hogy a fénytörés és parallaxis befolyása érzhetővé legyen; másrészt azonban hiábavaló volna a pontos eszköz, ha a megfigyelésnél az említett két ok tágabb bizonytalanságot okoz, mint amelyet az eszköz javítása által kikerülhetni.

A javítások (correction) két fajtát kell megkülönböztetnünk: az egyik faj a megfigyelő helyzetére vonatkozik s nem igényli a csillagászati tünemények mély ismeretét, ide a törés és a napi parallaxis (parallaxe ordinaire) tartozik; a másik fajta tünemény u. a. eredetű, mert a föld mozgása okozza de mélyebb csillagászati elméleten alapul, s ide az évi parallaxis, a praecessio, az abernatio és mutató soroztatik.

A fénytörés abban áll, hogy bizonyos csillagról jövő fény eltér eredeti irányától s mi a csillagot u. a. függőleges síkban látjuk, de közelebb a zenith-ponthoz, mint az tényleg van. A fénytörés a zenithben levő csillagra nézve zérus, és nő a csillag magasságának kisebbedtével. A csillagászati fénytörés világos jele az, hogy a sarkmagasság, mint egy sarkörüli csillag két délköri helyzetének számtani közép-értéke, melynek bármely csillagra nézve is u. annak kellene lennie, annál nagyobb, mennél mélyebbre száll a csillag a látóhatárhoz. A fénytörés, az azimuthot kivéve, a csillagra vonatkozó minden mérést megváltoztat; mert az által, hogy a csillag vertikális síkjában fölemelkedik, megváltozik a polustávól, a délkörön való átvonulás ideje, kelési és nyugvási ideje stb. Mindez könnyen volna kiszámítható, ha ismernők a törvényt, mely szerint a törés megváltoztatja a zenith-távolt. E törvény megalapításában összpontosul a csillagászati fénytörés nagy problémája, melyet vagy elméletileg vagy gyakorlatilag megoldhatni; a csillagászok azonban egyesítették e két megoldási módszert.

Ha a légkör homogén volna, úgy a fény egyszer törnék meg, t. i. a légkörbe való belépésnél. Mivel azonban a légkör az emelkedés magasságával fogyó sűrűségű rétegekből áll s ilyen formán az egyenlőtlen és növekedő törések végtelen láncolata áll elő, azon mértékben, a melyben a fény növekedő sűrűségű (itt az optikai és anyag-sűrűsödés közösen lép fel) rétegekre belép: ennek az a következménye, hogy a fény, egyenes út helyett, görbét ír le, melynek természetét kellene ismerni, mert ekkor végső és kezdetleges érintőjének elhajlási különbsége megadná

a teljes fényeltérést (déviation). E feladat könnyű volna, ha ismernök a légrétegek sűrűségváltozására vonatkozó törvényt. — Ideális föltételeket szabva e sűrűségváltozást kiszámíthatni, pl. a légkör egyensúlyát a légrétegeknek egymásra gyakorolt nyomása által gondoljuk keletkezettnek. Ha azonban meggondoljuk, hogy a légkör soha sincs egyensúlyban, s hogy ezenkívül a horizontális és vertikális irányban egyaránt f-lepő, hő fok-változás is változtat egyes légrétegek sűrűségén, úgy Laplace munkálatai, csak mennyiségtani gyakorlatoknak tekinthetők, melyeknek a törési táblákra gyakorolt befolyása nagyon kétes becsei.

Ha ugyanazon magasságra nézve a törés állandó volna, akkor lehetne szigorúan pontos törési táblázatot készíteni a különböző zenith-távokra nézve. A sarkmagasság lemérhető, a törés ismerete nélkül is, egy a polushoz igen közel álló csillag, két délköri magassága segítségével; ez különösen akkor sikerül, ha a megfigyelő hely szélessége több 45°-nál. Ez esetben a délkörön átvonuló és a zenithponthoz igen közel elhaladó csillagot választunk, melynek zenithtávola adja közvetlenül a polustávolt is. Ezek után egy gömb háromszögből, melynek csücsai a polus, a zenithpont és a csillag, előre kiszámítható bármely időpontra a csillag zenithtávola; s mert csillagok parallaxisa elenyésző, azért a megfigyelési és kiszámított érték különbsége a refractiót illetheti csak. Különböző északi szélességgel bíró megfigyelő helyeken tett fáradságos észleletek összehasonlítása a mondottak sokszoros igazolásául szolgál. — A törés nagyság kiszámítására használnak sokszor elméleti képleteket is, melyek a csillag magasságán kívül a hőfok és légnyomás függvényei; ez eljárás azonban csak kiigazítások és kikerülhetetlen hézagok betöltésére történik. A különböző helyen végzett, sőt az u. a. helyen de különböző időben történő mérések eredményei sem egyezők ugyan; de nagy megközelítéssel állíthatni, hogy a törés középértékben, 45° zenithtávolságnál, 1 percz, 80°-nál 5–6 percz, a horizonton 34 perczet tesz.

A parallaxis elmélete kielégítőbb és egyszerűbb a törésénél. A különböző helyeken tett különféle méréseket át kell számítani egy a föld középpontjában képzelt megfigyelő helyre, különben nem volnának összehasonlíthatók. A csillag látszólagos (lemérhető) zenith-távolaról tehát a valódi (a föld központjára vonatkoztatott) zenith-távóra kell átmenni, mihez nélkülözhetetlen az a szög, mely alatt a vizsgált csillagról a megfigyelőnek, a föld központjával összekötő sugár látszik. E szög a parallaxis, melyet le kell vonni a látszólagos zenith-távorból, hogy a valódi zenith-távolt nyerjük. A parallaxis csak a zenithtávolt változtatja, a csillag

megmarad azért a maga vertikális síkjában; s míg a törés emeli, addig a parallaxis leszállítja a csillagot. A parallaxis kiszámítható abból a háromszögből, melyet a megfigyelőhely, a föld központja és a csillag képeznek. A parallaxis — eltérőleg a törés tüneténységétől — nincs befolyással minden csillagra: A naprendszerünkbe nem tartozó csillagoknál roppant távolságuk miatt nem is érezhető, naprendszerünkben pedig Uranusnál nincs egy félmásodperc, míg a holdnál meghaladhat egy fokot is. — A parallaxis meghatározása a csillagok földtől való távolának ismeretén alapul s így értelemben az elméleti csillagászat egy részét képezi.

A megfigyelési eszközök kiegészítéseként még főlemlítendő a csillag-catalogusok alkotási módja. Hipparchos kezdte és ezóta a csillag helyét két gömbi koordinátával határozzák meg. Az egyik analog a földrajzi szélességgel: ez a csillag declinatioja, melyet az éggömb polusain és a csillagon áthuzott legnagyobb körnek, a csillagtól az égi aequatorig terjedő íve mér. A másik a *recta ascensia* (egyenes emelkedés), megfelel a geographiai hosszúságnak, és az aequatoron azon ív által méretik, mely a tavaszi napéjegyenponttól egész a declinatio-körnek az aequatorral való metszéseig tart. Meg kell egyszer s mindenkorra még a koordináták előjelét is állapítani, amennyiben egyrészt északi és déli declinatio, másrészt keleti és nyugoti *recta ascensio* lehetséges. E koordináták meghatározására legczélszerűbb a csillagot délkörön való átmeneténél megfigyelni. A *recta ascensio*-t megadja a csillagnak és a napéjegyenlőségi pontnak a délköri passage-eszközön való átvonulása közt eltelt csillagidő, ha fokokban kifejezzük. A *declinatio* pedig a polus zenith-távolának és a csillag magasságának összege. E koordináták azonban kijavítandók a *refractio* és esetleg a *parallaxis* tekintetbe vételével. A csillag-catalogusokban eddigelé mintegy 120,000 csillag van fölvéve. Hogy egy csillagot megtaláljon az ember, nem nevét, hanem koordinátáinak értékét szokás megadni. Az álló csillagok nem nagyságuk szerint, — mert hisz a napot kivéve mind kicsiny pontoknak látszanak — hanem fényük ereje szerint 17 osztályba szoktak soroztatni.

A megfigyelés pontosságában tett előhaladás, röviden, abban foglalható össze, hogy a régiek legfőlebb egy foknyi pontossággal mértek, Tycho-Brahé első mért percnyi pontossággal, a modern mérésekben pedig már egy másodperc hiba sincs.

Az égi testek geometriai tüneményeiről.

Az égi testek mértani tüneményei két osztályt képeznek. Az első osztály minden csillagra vonatkozik és a távolság, alak, nagyság, az őt környező légkör stb. megállapítását foglalja magában; itt a csillagot mozdatatlannak tekintjük. A második osztály a csillag mozgására, és periodikus mozgása különböző időszakaiban elfoglalt különféle helyzeteinek mennyiség-tani összehasonlítására vezethető vissza. Az első osztály független a másodiktól, bár nem egyszer kell ezeket azok szigorúbb megalapítása kedvéért felhasználni. A második osztály azonban függ az elsőtől, tanulmányozása is nehezebb és célja az égi testek helyzetének bármely időszakra való pontos kiszámítása. Lehetne tán az első tüneménycsoportot statikainak, a másikat mechanikainak nevezni, de csak geometriai értelmet fűzve e szavakhoz.

Minden további vizsgálat alapja az égitestek földtől és egymástól való távolának meghatározása. Miképpen történik e meghatározás?

Nincs más módszer, mint amely az elemi mértanban is, e tudomány keletkezése óta használatos megközelíthetetlen helyek távolság — meghatározásánál. Világos, hogy két megfigyelő hely és a csillag által képezett háromszögben, ismerve a megfigyelő helyek távolát és az emellett fekvő két szöget, ez a keresett távolság meghatározására vezet. E módszer azonban igen korlátolt, ha a távolság túlságos nagysága, vagy az alapvonal kicsisége miatt a háromszögnek a csillagnál keletkezett szöge igen kicsiny s pontatlanul határoztatik meg; ez esetben a csillag távolság is igen pontatlan lesz. A csillag melletti szög u. i. a másik kettő összegének kiegészítő szöge, s így pontossága két másodpercnyire bizonytalan. Ha a szög kisebb két másodpercnel, ez esetben értéke teljesen határozatlan.

A múlt század közepe táján meg akarván határozni a hold paralaxisát, Lacaille a Jó-remény fokához ment, Lalande Berlinben maradt, mely városok mindkettejének keleti hossza $31^{\circ} 3'$, és u. a. pillanatban t. i. egy előre kiszámított napfogyatkozás egy pillanatában megfigyelték a hold megfelelő zenith-távolait, melyeket

Jóreménység fokánál $46^{\circ} 47' 16''$

Berlinben $41^{\circ} 0' 16.8''$

találtak. Mivel a geographiai szélességek

Jó reményfokánál $33^{\circ} 55' 3''$

Berlinre $52^{\circ} 30' 16''$

és a föld sugara is ismeretes, úgy adva vannak a parallaxis és a hold távol kiszámítására szükséges alkotó részek. E kísérletnél a holdnál képződött szög csak 2° volt, és ennek megfelelőleg a holdtávol körülbelül 60 földugárnak jött ki.

Ez eljárást követhetni Venusnál és Marsnál, de a napra és naprendszerünk többi bolygóira e módszer igen bizonytalanná válik. — Hogy győzik le ezen nehézséget a csillagászok? Ők a földi kis mértékegységeket magasabbak megalapítására használják fel azon kapcsolat alapján, melyet bizonyos észre nem vett, vagy jelentékteleneknek látszó tűnemények alkotnak meg. Vizsgáljuk ezen eljárást.

Már Aristarchos össze mérte a hold távolságával a napét. E végből a földnél előálló szöget (ez az egyedüli lemérhető adat) és a holdnál levő szöget kell ismerni. És van is a holdnak egy havi futásában — az első vagy harmadik negyedben — helyzet, melyben a holdnál képződött szög 90° . Ez esetben a nap- és holdtávol aránya az általuk képezett és lemérhető szög secansával egyenlő. Ezen módszer azonban nem elég pontos. Aristarchos 19—20 akkorának találta a naptávolt, mint milyen a holdtávol, pedig ez eredmény 20-szor kisebb a valóságnál. Mi Aristarchos módszerét csak ezen indirect eljárás szellemének feltüntetésére akartuk előhozni.

Halley, Mercurnak és Venusnak a napon való átvonulását használta fel, a mult század közepe táján, e csillagok és a nap parallaxisának és földtől való távoluknak meghatározására az által, hogy két különböző hosszúság alatt egymástól igen távol fekvő helyen észlelik Venusnak a nap korongjába való belépése időkülönbségét. — Ha tudjuk, mily messze van a nap a földtől, úgy a föld mozgásának ismerete megengedi, hogy a naptávolt válaszszuk egységül más még jelentékenyebb hosszúságok mérésénél. — A mértékegység a föld pályájának átmérője lesz s a vizsgálendő csillagnak a naptól való szögeltérését hat hónapos időközben, vagyis a földpálya átmérőjének két végpontjában kell lemérni. A csillag távolságának kiszámítására egy háromszögünk van ez esetben, melynek alapja az ecliptika átmérője, csucsa a vizsgálendő csillag. Ez eljárás azonban csak azon bolygókra (Uranus és Neptunus) alkalmazható, melyeknek keringési ideje igen nagy s így egy félévnyi ideig mozdulatlanoknak is tekinthetők első megközelítésre, és alkalmazható bizonyos találó eljárással még néhány álló csillag távolának meghatározására is. Mivel pedig egy megfigyelt álló csillagnak sincs $1''$ -nyi parallaxisa, melynek mintegy 200,000 földátmérő felelne meg mint távolság, a 200,000 földátmérő, mely

1" parallaxisnak felelne meg, oly alsó határ, melyet a megfigyelt álló csillagok mind túlhaladnak.

Ha ismeretes a csillagoknak naptól való távolsága, úgy kiszámítható viszonyos távoluk is bármely pillanatra, mert a feladat megoldásánál egy háromszög egyik oldalát kell keresni, ha adva van a másik kettő és az ezek által bezárt szög. A földre nézve csak a nap és hold távolsága és úgy a többi bolygónál is csak naptól távoluk és a holdaknak a maguk bolygójától való távolsága kell, hogy ismert legyen.

Ha egy csillag távolsága ismeretes, úgy alakja és nagysága csak pontos megfigyelést igényel. A lehető legpontosabb mikrometrikus eszközökkel elég a látszólagos átmérőt különböző irányokban meghatározni, tekintetbe véve a refractiót és parallaxist, hogy valódi alakjukra következtessünk. A megfigyelések alapján mondhatjuk, hogy a csillagok csaknem teljes gömbalakuak, kissé meglaposodva forgási tengelyük irányában és megduzzadva egyenlítőjük körül. A lapultságot pontosan meg is határozták mikrometerekkel és az eredmény az, hogy mennél nagyobb forgási sebességű, annál laposabb a csillag.

A valódi átmérő meghatározására tudnunk kell, hogy a fél látszólagos átmérő tangense adja az égi test sugarának arányát földtől (középpont értendő) való távolához. Ez egyenlőségből a sugár, az átmérő, a felszín és köbtartalom meghatározható. Naprendszerünkön kívül álló csillagok méreteivel a csillagászat lemérhetetlen kis látszólagos átmérőjük miatt nem foglalkozhatik.

A bolygók méreteinél még az a kérdés is fölléphet, mily nagyok az azok felületén levő egyenlőtleniségek, melyek a mi hegyeinknek felelnek meg. — Naprendszerünk egyes bolygójának egyik fele a naptól be van világítva, egy másik fele pedig a föld felé van fordulva s mi csak e két félgömb közös részét látjuk. Ha azonban a bolygónak föld felé fordult, de be nem világított felében pl. első vagy utolsó negyedkor igen közel a bevilágított részhez egy elég magas hegy van, úgy annak csúcsa a be nem világított bolygó-részben mint elkülönített fényes pont fog feltűnni, melynek a megvilágítás határától mikrometerekkel mért távolságban a látszólagos átmérővel Pythagoras tételének alkalmazása által megadja a hegy magasságát. A precisiótás itt a megvilágított határ világosságától függ. A hold hegyeit ily formán 1780-ban Herschel mérte le. Schroeter mérései szerint pedig a holdhegyek főbbjeinek magasságát pontosabban ismerjük nem egy földi hegységénél.

Igen érdekes az a kutatás, mely a bolygók légköre terjedtségének

és intenzitásának kipuhatólására vonatkozik. Alapja a deviatio (fénytérés), melyet a bolygó légköre egy naprendszerünkön kívül fekvő csillag fényére gyakorol, ha az álló csillag, a szóban forgó bolygó mögé kerül s ez által az eclipsisnek egy különös faja származik. Ha a megfigyelőnek és a kérdéses bolygónak mozgására vonatkozó adatokat, valamint ez utóbbinak látszólagos átmérőjét ismerjük, ezekből kiszámítható az álló csillag elrejtőzésének ideje. A légi fénytörés azonban e matematikai értéket csökkenti, mert késlelteti az elrejtőzés kezdetét és sietteti végét. A matematikai és kísérleti elrejtődés időkülönbségéből Schroeter, a holdra nézve, a horizontalis fénytörést egy másodpercznyinek sem találta s következésképp — mint ezt utóbb Arago is megerősítette — a holdon nincs semmiféle megbecsülhető légkör.

Még a föld alakjáról és nagyságáról kell szólnunk. — Közvetlen szemlélet nem ad fölvilágosítást földünkre nézve, mert annyira nem távozzunk tőle, hogy teljes egészében átláthatnók. A matematikai csillagászat keletkezésekor azonban már az is geometriailag igazolta a föld gömbalakját, hogy a polus magassága arányosan nő az ugyan azon délkörön észak felé tett ut nagyságával, mi kizárólagosan a gömb tulajdona. Ez összehasonlítás két ezer évi tökéletesítése vezetett a föld alakjának és nagyságának jelenlegi ismeretéhez. Egyszerűbb azonban a tárgyalás, ha első megközelítéssel a földet gömbnek tekintjük és nagyságát meghatározzuk.

Alexandriai Eratosthenes tárgyalta már, hogy lemérve a délkör egy részét és az e közbeni polusemelkedést, e kettő az egész délkör ismeretéhez, tehát a sugár nagyságához is vezet. Picard volt azonban a 16. század közepe táján az, ki Páris és Amiens közti fok hosszát lemérte. Ez volt az újabb geodetikus mérések alapja, melyek azonban a Picard által nyert földsugár középértékét nagyon keveset változtatták csak meg.

A föld nagyságának pontosb ismerete végett nagyobb méréseket később Cassini Jakab és La Hire tettek. Ők már azt tapasztalták, hogy egyenletes észak felé haladásnak nem felel meg az északi csillag egyenletes emelkedése; hibás méréseik alapján azonban a földet hosszukásnak mondták. Ez mutatja, mily szükséges volt, hogy Newton nyilatkozzék végre e kérdésben, ki a másodpercz ingának Cayenne-beni megrövidüléséből a gravitatio alapján bátran kimondta, hogy földünk a polusoknál lapult, az egyenlítőnél kidudorodó 229-nek 230-hoz való arányában. E nyilatkozat félszázados vitát keltett, melynek a francia academia az által vetett véget, hogy egy expeditiót az aequatorhoz, másikat a polus közelébe

fokmérni kiküldött; e mérések s később különösen a Delambre és Méchain által Barcelona és Dünkirchen közt kiváló pontossággal végzett fokmérések is Newton állítását erősítették meg. Ha két fok meghatározott északi szélesség alatti hossza ismeretes, már ez elég a föld mint forgási ellipsoid két tengelyének meghatározására. A föld lapultsága e pontos mérések szerint $1/300$, mi alatt azt értjük, hogy a polushoz huzott sugár $1/300$ -al rövidebb az aequator valamely pontjához huzott sugárnál.

Áttérünk geometriai tárgyalására a csillagok mozgásának, mely translatióból és rotatióból áll. Ez utóbbi mozgás később lett ugyan ismeretessé; de mert tanulmányozásuk egyszerűbb, ezzel kezdjük meg tárgyalásunkat.

Galilaei fedezte föl a nap forgását, s módszere mely különben a dolog lényében rejlik, a többi összes esetekre alkalmazható. Ha fölismerhető pontokat, melyek a csillag fölületén tovamozognak, bizonyos irányban és bizonyos idő mulva előbbi helyükre visszatérni látunk, úgy bizonyos a csillag forgása, sőt forgási ideje is ismeretes; de biztosaknak kell lennünk az újra megfigyelt jelek azonosságában és tekintettel kell lenni hosszabb ideig tartó forgásnál a megfigyelő helyzetváltozására, — mi a legkövetesebb megfigyelő eszközöket igényli. Ez azonban csak a napnál és holdnál történik. A forgások tartama semmiféle közös törvényeknek nem hódol; a nap forgása hosszabb ideig tart a többi bolygókénál. — Minden bolygó forgása nyugatról keletnek történik és forgási síkjuk az égi aequatortól kevéssé tér el.

A translatio sokkal összetettebb és fontosb az astronomiai kutatások végső célja tekintetéből.

Mivel egy sikot három pont meghatároz, elég a csillag három különböző helyét megfigyelni, hogy mozgási síkját ismerjük. E munkálatnál a csillagászok a szélességet és hosszúságot tekintik coordinátáknak, melyek a földpályájára vagy a nap látszólagos pályájára az égen analogok az aequatorra vonatkozó declinációval, illetőleg recta ascensió-val. Ha az említett három pontnak ismerjük hosszát és szélességét, ezek segítségével a bolygó csomópontjainak (noend) helyzetét, vagyis azon vonal irányát határozzuk meg, melyben a bolygó pálya-síkja az ekliptikát metszi és megalapítjuk a bolygó pályának az ekliptikához való hajlását (inclinaison). Tapasztalat mutatja, hogy minden bolygó mozgási síkja a napon átmegy; a bolygók holdjaira azonban ez már nem érvényes. A bolygók mozgási síkja az ekliptikával kis szöveget képez, kivéve a planetoidákat.

A keringés ideje közvetlenül megfigyelhető a csillagnak u. a. helyzetbe való visszatérésén. A keringési idők és a naptól való távolságok közt azon összefüggés van, hogy az egyiknek nöttével a másik is nő; a kvantitatív kapcsolatot Kepler találta fel.

A föld mozgásáról.

Földünk két fajta mozgása közül először a forgással fogunk foglalkozni.

Mivel e mozgás nem egyforma mérvű, a föld felület minden pontjára nézve, ezért létezése bizonyos nyomának kell meglennie a tünetek között. A napi mozgás létezését földi és égi bizonyítékok erősítik meg.

Az emberi ész gyermekkorában az égnak a mozdulatlan föld körüli forgása természetes és észszerű volt, mert összehangzott a csillagok távoláról és nagyságáról alkotott téves képzetrel. Mikor azonban bebizonyult, hogy a föld csak egy pont összehasonlítva más égi távolságokkal és a nappal, sőt bolygótársai némelyikéhez képest is igen kicsiny: tarthatatlanná lett a földnek mint a világegyetem középpontjának gondolata, s ezt még inkább megerősíté az ég naponkinti roppant körülforgásának lehetetlensége.

Egy másik bizonyítéka földünk mozgásának a csillagok saját mozgásában van, mert mozgásukban egymás elé kerülnek, ami egyenlőtlen távolságukra vall. Másrészt a különböző bolygók mozgása azt is mutatta, hogy a csillagok nem mozognak együtt és egyformán; s mozgásuk törvényének megismerése s méginkább elfogadása igen nagy nehézségekbe ütközött, míg végre Galilei Copernicusnak elméletével viszonylagos (relatív) mozgásukat megállapította.

A mechanikai ismeretek eltávolítottak lassan minden nehézséget, mely a föld forgásával ellenkezett, sőt e század elején végzett direct esési kísérletek is az esőtestnek kívánt irányban előálló eltérését jelölték.

Más kétségbevonhatatlan bizonyítékai is vannak földünk forgásának, pl. a földön való gyorsulás irány- és nagyságváltozása a föld forgásából eredő centrifugális erő következtében. Richer volt első, ki ezt Cayenneben észre vette 1672-ben; a föld forgásának és a gravitációnak megdöntetlen megállapítása e megfigyelésnek következménye, s Newtont a föld lapultságának meghatározásához vezette. — Nincs talán egy különös tény

sem, mely az emberi szellem történetében fontosabb következményekkel járó volna.

A föld keringését csak csillagászati uton alapíthatni meg. Három kísérleti bizonyítéka van földünk keringésének: 1. a napéjgyenlőségi pontok praecessiója, módosítva a földtengely nutatiójától, 2. a bolygók látszólagos hátrafelé haladása és megállása, 3. a fény aberratiója.

Két különböző epocha-ra vonatkozó csillagcatalogusban bármely csillag helyzetét más-más adatok határozzák meg; s e változások semmiféle törvénynek sem látszanak alávetve, ha csak a declinatitot és recta ascensiot vizsgáljuk. Ha azonban a hosszúságra és szélességre térünk át, ugy ezt változatlanak, azt pedig évenként egyenletesen mintegy 50''-el növekedőnek találjuk. Már Hipparchus felismerte 150 évvel előtte Aristillus és Timocharis méréseinek az övétől 2'-val való különbözőése alapján, hogy a napéjgyenlőségi pontok az ekliptika jeleivel ellentetten és mily sebességgel nyomulnak előre.

E tünemény csak úgy történhetik, hogy vagy a mindenség fordul az ecliptika tengelye körül, 24920. év alatt, miközben naponként az aequator körül ellentett értelemben forog; vagy a föld tengelye változtatja szinte észrevétlenül u. oly hosszú időperiodusban irányát az ekliptika tengelyével állandóan u. a. szöget képezve. E második gondolatot egyszerűsége jellemzi, s e vonás még érezhetőbbé válik, ha a nutatiót is tekintetbe vesszük. A nutatiót a régiek nem ismerték, Bradley fedezte fel és periodusa körülbelül 18 évre terjed; magyarázata Copernicus hypothesiséből egyszerűen folyik, csak a föld tengelyének kupalaku mozgását, mely a praecessiót okozza, kell igen kevésbé módosítva gondolni olyan formán, hogy a tengely a helyett, hogy a kup generatrixét elfoglalná, e körül forog 18 évi időközökben egy igen kis kup felülete mentén, mely kis kup alapja egy 9'' nagy tengelylyel és 6'' kis tengelylyel bíró ellipsis.

A bolygók hátrafelé menése (rétrogradation) és megállása (station) Copernicus rendszerének fölényét méginkább feltüntetik. A modern astronomia azonban teljesen beérheti a föld keringésének azon matematikai bizonyításával, mely az aberrationnak pontos analysiséből áll s mely nem volna lehetséges földünk nyugalmas helyzetében. Az aberrationnak meghatározásánál a fény terjedési sebességére van szükségünk, s így a fénysebesség meghatározási módjának megismertetése lesz egy közbevetett feladatunk, mely halhatatlan tölfedezés Römertől származik és föl-

dünk és Jupiter oppositiojaker Jupiter holdjainak fogyatkozásán alapul. — Jupiter első holdja u. i. minden $42\frac{1}{2}$ órai időközben bolygója mögé bujik. Tegyük fel, hogy a bolygó fogyatkozása a földnek Jupitertől való középtávolára — midőn a csillag a naptól 90° -ra eláll -- van meghatározva. Ha az oppositóban és conjunctióban előálló fogyatkozás beállításának idejét megalapítjuk, és a kísérlettel összehasonlítjuk: ugy első esetben a kiszámítottnál előbb, az utóbbiban később fog a fogyatkozás beállni, a fény által megteendő ut rövidebb illetőlegesen hosszabb volta miatt. A két szélső eset összehasonlítása megadja azt a tekintélyes időt, mely alatt a fény a földpálya átmérőjén egyenletes sebességgel tovaterjed.

Könnyü ezek után megérteni, miért okozza a föld mozgása a csillagokról jövő fény aberratióját. Mozgásunk u. i. szükségkép megváltoztatja egy kissé az irányt, melyben a csillagot észre veszszük, mert a fényirányt oly sebességi parallelogramma átlója képezi, melynek két szomszédos oldalát a fény és a megfigyelő mozgási sebessége alkotja. S mert az első sebesség 10,000-szer nagyobb a másiknál, ezért ezen fényeltérés maximuma $20''$ egyik vagy másik irányban, de ez csak akkor áll be, ha a két sebesség egymásra merőleges.

A bolygókat is illeti az aberratio hibája, de ezeknél e hiba kiszámítása complicáltabb, mert a sebességek parallelogrammájának átlója helyett, egy parallelepipedon átlójának irányát kell keresnünk. E munkálatot Bradleynek köszönjük, melyet Kepleréi után a csillagászati génie legmagasb nyilvánulásának tekinthetni. Ez elmélet eredménye a direct) megfigyelésekével teljesen összevág, feltétlenül bebizonyítván a föld keringését.

Az aberratio a csillag coordinátáinak új correctiójára kényszerít ép úgy, mint a törés és a parallaxis, a precessio és a nutatio. E három utóbbi javítást trigonometrikus képletek nyújtják, melyek analog alakúak, csak coefficientseik különbözök. Látható egyuttal, hogy a correctio a legjobb eszközzel végzett egyetlen egy megfigyelésnél is nem kis fáradtsággal jár.

Ily formán jutott az ember a föld kettős mozgásának ismeretére; és nincs szellemi átalakítás, mely az embernek több tiszteletet szerezne és a positiv bizonyítás túlralkodó működését jobban feltüntetné, mert egyiknek sem kellett annyi akadályon diadalmasan fölülemelkednie. Alig kétszáz év alatt néhány elszigetelt, semmi társadalmi felsőséggel nem bíró tudós lerontott egy tant, mely oly régi volt, mint az emberiség, melyet a lát-

szat támogatott, mely a legnagyobb hatalmak érdekével megegyezett s melyet az emberi büszkeség is ösztönszerűen támogatott.

A föld alárendelt bolygó úgy nagyságra, mint korra nézve a többi bolygókhoz képest, s az ottani élőlények ugyanazzal a joggal monopolizálhatnak a kizárólagos és kiváltságos állást, miként ezt félphilosophusok az emberrel tették.

A pos. philosophia soha sem ront le rendszert, ha helyébe közvetlenül új és az emberi szellem szükségletét jobban ki nem elégítő nem tud helyettesíteni. Az embert bizonyára mélyen megalázta a föld mozgásának ismerete, mely őt attól a gyermekes képzelődéstől fosztá meg, hogy ő a mindenségben nagy fontossággal bír. Ugyanakkor azonban az ember saját magas szellemi méltóságát is belátta, midőn egy ily igazság megszerzésébe ütköző roppant nehézségeket leküzdő eszközöket méltatni kezdé. Helyesen jellemezte Laplace ezen philosophiai felfogást, midőn az embert életadó reális conceptióival a világtörvények fölfedezőjének tekinti, melyeket földi sorsa megváltoztatására fordít, tevékenysége sokoldalú felhasználása által, és helyzete akadályainak ellenére. — Ha a mindenség kizárólag az ember rendelkezésére állana, kicsinyes volna neki akkörüli érdemet szerezni, mert feladatául a sorsával való petyhüdt tunyaságu játék maradna. Ebből látható, melyik conceptio méltóbb a kifejlődés bizonyos fokára emelkedett emberhez, melyik összehangzóbb legnemesb vonzalmaival, s melyik buzdít nagyobb erélyvel tevékenységre.

Még egy igen fontos következmény vonható a föld mozgásából: megkülönböztetése a mindenség és világ fogalmának, miket igen sokszor egynek vesznek. Nem történt arról eddig említés, hogy a mindenség megismerése a föld mozdulatlanságára van alapítva. Ezen fajta nézésnél minden csillag egy rendszer, melynek középpontja a föld. Sőt földünk keringése a csillagoknak határtalanul messzebb fekvéséről győz meg, mint a milyen bármely bolygó távolság és reávezet napunk körül igen kis csoportozatot képező rendszer ismeretére. E gondolat megalapítja a világ fogalmát; a világ a legtágabb határ, melyet eredménynyel kutathatunk. A mindenség ismerete már bizonytalan és meg nem érthető, mert nem tudják és valószínűleg nem is fogják tudni, hogy a megszámlálhatatlan napok egy fő, vagy több mellé — vagy alárendelt rendszert képeznek-e.

A föld mozgása még nem gyakorolta szemléleteinkre teljes befolyását, különösen nem az utoljára megemlített megkülönböztetést illetőleg. Oka ennek nevelési rendszerünk nagy tökéletlensége, mely még a leg-

jelesb szellemeknek is csak akkor teszi lehetővé mély philosophiai gondolatok átértését, midőn ezek már a teljesen ellenkező tan mély benyomatát megkapták.

Igy aztán a szellemben kezdetleg kifejtett hibás irányt a positiv ismeretek csak módosítják és föntartják, pedig uralkodniok kellene és vezetniök az ember lelki működését.

Kepler törvényei és alkalmazásuk az égi testek mozgására.

A föld keringése vezetett arra, hogy megfigyeléseink értékét úgy számítjuk át, mintha a nap középpontjában végeznők méréseinket. Ezen átalakításnál — évi parallaxis — éppen oly formán kell eljárni mint a napi parallaxisnál. — Az évi parallaxis a világunkon kívül fekvő csillagokra nézve elenyésző, mi annyit mond: egyre megy, akár a földön, akár a napon, akár valamely bolygón foglal helyet egy észlelő.

Jelenleg a föld és a többi bolygó pálya-alakjával és keringésmódjával fogunk foglalkozni.

A csillagászat gyermekkorában a bolygók mozgását köralakunak és egyenletesnek tartották, és ez előfeltétel mellett oly hypothesis-t kelle találni, melylyel a megfigyelések mindinkább összevágának. Nem sokára az találtatott, hogy bolygó a mozgás középpontjától nincsen állandó távolságban. A görög csillagászok ennek megmagyarázására az excentricus epicyclois hypothesis-t állították föl. E hypothesis két részből állt: 1) a bolygó körpályájának középpontjától bizonyos meghatározott távolban van a centrális csillag, 2) a bolygó nem magán a kör pályán mozog, hanem egy kis segédkör kerületén halad egyenletesen s e segédkör középpontja halad a főkör pályáján szintén egyenletesen. Az epicyclusok kibonyolíthatatlan tömege állott ez által elő, és a 16. század végén az ismert 7 bolygó mozgásának magyarázására 74 epicyclus kellett. Ily viszonyok közt fogott az általános problema megoldásához Kepler, alapul az exact megfigyelést választotta, melynek Tycho-Braché is szentelte életét. Kepler Marst választotta megfigyelése tárgyaul és e választás szerencsés volt, a bolygó jelentékeny excentricitása miatt.

Itt tehát Keplernek Marsra feltalált és általa később a többi bolygóra is kit rjesztett három nagy törvényéről van szó.

I. törvény. Kepler e törvényre a radiusvectornak és a szögsebességnek két szélső esetében, a mennyiségek maximuma és minimuma alkalmával való összehasonlításából jutott. Tapasztalta u. i. hogy Mars pe-

rihelioma és aphelioma alkalmával a szögsebességek vizsás arányban állnak naptóli távoluk négyzetével. Ezen két megfigyelésből vont geniális eredmény Mars minden egyéb helyzetére, sőt minden egyes bolygóra is igaznak bizonyult. Kepler máskép fejezte ki ezen törvényt: egyenlő és rövid időközökben pl. egy nap alatt az u. a. bolygóhoz tartozó radius rector által súrolt terület állandó nagyságú, bár alakja változhatik. Ezen terület igen kis idő esetén két radius rector és egy egyenesnek tekinthető körívcske által képezett háromszög, melynek nagysága a radius négyzetének a szögsebesség felével való szorzata.

II. törvény. A bolygók pályája ellipsis, melynek egyik gyújtópontjában a nap van. A bolygók excentricitása jobbra igen kicsiny, kivéve néhány planetoidot. E törvényt soká nem ismerték; Cassini Domokos maga is egy félszázaddal később az ellipsist egy negyedrendű görbével akarta pótolni, melynél a két forustól való távolság szorzata változatlan.

III. törvény. Midőn kitűnt, hogy a keringési idők gyorsabban nőnek, mint közép naptávolságuk, Kepler két bolygó fél nagytengelyének különböző hatványait állította arányba, és mivel a keringési idők aránya kisebb volt a megfelelő nagytengelyek négyzetének arányánál, az 1 és 2 hatványkitevők közt fekvő legegyszerűbbiket, a $3\frac{1}{2}$ -t kísérlette meg Kepler és így fölfedezte, hogy a bolygók keringési idejének négyzete úgy aránylik, mint középnap-távolságuk köbe.

E törvények szabályozzák nemcsak a bolygók, hanem a holdak mozgását is bolygójuk körül, amikor is a folus a megfelelő bolygó középpontjával összeesik. E három törvény naprendszerünk egyes tagjainak mozgását geometria föladatra vezette vissza, mely csak néhány adatra szorul. Ez adatok: 1) az első két adat a bolygó pálya síkjára vonatkozik, mely megvan határozva egyik csomópontjának hosszával, és ekliptikához (föld-pálya) való hajlása (inclinaison) által; 2) a napközelség (périhélie) meghatározza a bolygó pályáját a maga síkjában 3) a gyújtópont-távolság (distance focale) vagy is a középpont és gyújtópont közti vonalnak aránya a nagy tengelyhez, ez a pálya alakját adja meg, 4) a középnap-távolság vagyis a nagyobb féltengely, ez a nagyságot alapítja meg 5) egy sidericus keringési idő, mi a bolygó középsebességét is megadja. Ez elemeken kívül elég egy helyzetét ismerni a csillagnak, hogy egész pályája ismeretes legyen. E helyzetet a csillagászok egy epochára vonatkozó hosszúsággal adják meg.

A naprendszer belső mozgása az elvont geometria tárgyát képezi ugyan, de azért e helyütt mégis vizsgálnunk kell e problema sajátos ter-

mészetét a benne foglalt főesetek szerint. — Három lényeges eset különböztethető meg, melyek itt nehézségük sorában jönnek: a bolygók esete, holdjaik kérdése, és az üstökösök tárgyalása. E föladatok mindegyike megint két részből áll: 1) Ha adóttak a pályaelemek (számra nézve 7 kell), meghatározni mindent, mi a csillag mozgására vonatkozik, ez a rendes kutatás a rég ismert csillagokra nézve 2) megalapítani a pályaelemeket a csillag-pálya elégséges hosszúságú részének megfigyeléséből.

A bolygók problémája. A kis excentricitás és kis inclinációjuk megkönnyíti a problema megoldását, mert az analytikai kifejezésekben az inclináció és excentricitás első hatványú tagjaival is beérhetni. Ha a pálya elemek ismeretesek, úgy kiindulva egy adott helyzetből, meghatározhatni Kepler két első törvényével, melyik helyen lesz a bolygó bizony pillanatban, vagy egy bizonyos helyig való eljutására mennyi időre van szüksége. E problémánál u. i. vagy a kezdet- és véghelyzet rádius vectorai által képezett szögből határozunk meg a köztük fekvő sectort vagy megfordítva kell számolnunk. E feladatot („Kepler problémája“) közelítéssel oldhatni csak meg, mert egy végtelen sor integrációjától függ. E czélból geometrikus transformatiókat kell alkalmazni, melyeket már Kepler is ismert.

Ha egy bolygó elliptikus pályájának gyújtópontja ismeretes és még területének 3 pontja pontosan megfigyeltetett, akkor a pályaelemek kiszámíthatók. Tényleg elég ugyan 2 megfigyelt pont; de a számítás eredményeit igazolandók, kényszerül az ember 5 vagy 6 pontot ismerni. E kényszerűség egyes esetekben sok időt igényelvén, a csillagászok első megközelítésre a pályát kezdetben egyenes sebességgel leírt körnek tekintik, melynek az az előnye van meg, hogy két helyzet megfigyelésén alapuló számításokat végezhetni, melyeket egy harmadik helyzettel ellenőrizhetünk. Néha igen rövid időn át a csillag utját egyenesnek is tekinthetjük. Ez szokott történni, ha egy új csillagnál tudni akarjuk, mely helyén az égnek kell azt bizonyos kisebb idő múlva vizsgálnunk.

A holdak problémája. Kepler törvényei a holdaknak mozdulatlanul gondolt bolygójukra vonatkozó mozgását tárgyalják. A problema nehézsége abban áll, hogy tekintettel kell lenni a holdak elliptikus pályája focusának helyzetváltozására. Első megközelítésnél a hold mozgását köralakunak és bolygóját a hold egy keringésénél mozdulatlanak tekintjük.

Az üstökösök problémája. Az üstökösök a bolygóktól nagy

excentricitásukra nézve és inclinációjuk határozatlanságára nézve különböznek. A circularis hypothesis az első megfigyelések megtétele céljából itt is alkalmazható, bár csak igen kis időre szabad érvényességét megszorítani. Tycho-Brahé mutatta meg először ily forma számítás alapján, hogy az üstökösök valódi csillagok. Jelenleg az üstökösök elméletének első körvonalait Newton parabolikus hypothesis képezi; ez ugyan nem oly egyszerű, mint a körmozgás föltételezéséből származó, de sokkal megközelítőbben adja a pályát a periheliumtól számított tekintélyes távolokra is. Ez esetben az üstökösnek két különböző helyen való megfigyelése szükséges, mértani uton a pályaelemek meghatározhatók a keringési idő kivételével, a nagy tengelyt pedig a focusnak a csúcstól való távolsága helyettesíti. Kepler törvénye az üstökös bármely pontjában sebességet adja meg. — Az üstökösök körül mintegy tíznek van pontosan megalapítva elliptikus pályája. Látni itt egyúttal, hogy az üstökösök elmélete sokkal tökéletlenebb a bolygókénál.

Ez azon három eset, melyekre Kepler törvényeit alkalmazzuk, velők határozható meg naprendszerünk bármely csillagának, bármely elmúlt vagy jövő pillanatban helyzete, mint ezt a fogyatkozások előre megalapítása is mutatja, melyek másodpercre pontosan beállanak.

A most fölemlített fogyatkozások némelyike egyúttal a legjobb eszköz a földnek naptól való távolát meghatározni.

Ha a nap előtt egy csillag áll, ez esetben az illető csillag és a nap parallaxisának meghatározása lehetséges azon különbségből, mely a fogyatkozásnak földünk két különböző helyén lemért időtartama közt van. E megfigyelésnél a relatív parallaxisnak nem szabad igen nagyra lennie, hogy a nap parallaxisa el ne enyészszék a csillagához képest, mert ez esetben a csillagnak a földtől mért távolsága nem volna elég, mint alap, a naptávolság meghatározásánál. Másrészt azonban a relatív parallaxist csak rosszul lehetne ismerni, ha jelentékenyen fölül nem mulná a napét. Végre a csillag szögsebességének kicsinynek kell lennie, hogy a tűnemény soká tartson. E követelmények kizárják a naptávolság meghatározásánál a három fogyatkozást előidéző csillagok közül holdunkat és Mercurt, Venus a legalkalmasb. Halley találta e módszert fel és sok csillagász véghezvitte a kísérletet.

A mostanig tárgyalt égi tűnemények egy megjegyzésre kényszerítnek, mely a pozitív és metaphysikus szellem közti különbséget élénk világításba helyezi. Míg ez a tűneményeket akarat által vezérelteknek tehát szabálytalanul változóknak tekinti, addig a pos. philosophia változat-

lán törvények alá tartozóknak tartja a tüneményeket, melyek ép ez okból előre láthatók. E két felfogás sehol sem zárja ki egymást inkább, mint az előre megalapítható égi eseményeknél. Ha az üstökösök megjövételét és a fogyatkozásokat minden bizonyos körülményeikkel, melyek előre kihirdettettek, mindig beteljesedni látjuk, mindenkinek feltétlenül kell éreznie, hogy e tünemények mentek mindennemű akarat uralmától, mert bármilyen legyen is ez akarat, aligha alkalmazkodnék oly szívesen astronomiai határozatainkhoz.

A gravitáció törvénye.

Az égi mechanika megdönthetetlen alapra állott, midőn a dinamika szabályai szerint Kepler törvényeiből azon erő irányát és nagyságát alapították meg, mely a bolygót egyenes haladási irányától pályájára téríti le. E törvény fölfedezése által az astronomiai kutatások mechanikai problémává változtak, hol a mozgásokat a mozgató erők szerint mérik. E gondolat keresztülvitele a langeszű Newtontól ered. Mi egyelőre a mozgató erő irány- és nagyság-meghatározását tűzzük ki célunkul.

Kepler az égi mechanikát még csak határozatlanul körvonalazta. Első törvényéből kiismerszik, hogy a bolygókra ható gyorsítást okozó erő a nap felé irányul. Az erő intenzitásának törvénye azonban ekkor még nem volt fölfedezhető. Ezen irányban Newton előfutói Huyghens és Galilei, a mechanika megalapítói voltak. Ők azonban már csak azért sem juthattak az intenzitás ismeretéhez mert a feladatot infinitesimalis számolás nélkül aligha tudták volna megoldani, pedig e számolást Newton és Leibnitz fedezték fel. Newton a Kepler törvényekből kezdetben a ható erő nagyságára jutott levezetvén, hogy a bolygó tömegével egyenes, naptól való távolával visszas arányban áll.

A megfordított eljárást is elvégezte azonban Newton: a priori föltette az erő nagyságának ismeretét és ebből integrációk után Kepler törvényeire jutott. Ezen invers eljárás arról győzte meg, hogy a keringési pálya nemcsak ellipsis, hanem bármely kúpszelet lehetne, melynek gyújtó-pontjában a nap van. A kúpszelet neme a kezdősebességtől függ olyannyira, hogy bármely bolygónak bizonyos meghatározott nagyságú sebességnövekedése még most is parabolikussá vagy hyperbolikussá változtathatná az elliptikus pályát.

E fölfedezés sok ellentmondás alapja volt, melyek közül legyen elég egyet említenünk: ha egy fél körülforgásban a bolygó közeledik a naphoz, úgy a másik részben távolodik, ez azonban ellentmondásban

van a nap felé való folytonos törekvéssel. Ez ellenvetést a rosszul választott „*attractio*“ szó idézte fel. — Könnyű kimutatni, hogy a bolygó minden pillanatban a nap felé tart; hibás u. i. a bolygó helyzetét egy előbbivel összemérni, hanem össze kell hasonlítani a bolygó tényleges helyzetét azzal, ahová az tisztán sebessége következtében a nap vonzása nélkül jutott volna. E vizsgálat eredménye az, hogy még a hyperbolikus pálya esetén is a bolygó közelebb lesz a naphoz, mintha tangentiális irányban egyenesen haladt volna.

Eddig a bolygóknak a nap felé és a holdaknak bolygóik felé való törekvésének létezését és nagyságát tárgyaltuk; Newton e gondolatot még azzal egészítette ki, hogy a törvést a földön jelentkező nehézség tűneményével azonosnak bizonyította ki.

Ha földünknek holdja nem volna, ez összehasonlítás lehetetlen volna; a hold azonban az égi és földi mechanikát egygyé kapcsolta, a mennyiben megalapíthatóvá tette, hogy a hold a föld felé a nehézség törvénye szerint esik. Ez elég volt, hogy az égi testek viszonyos hatását mint általánosított nehézséget, vagy viszont a nehézséget mint az égi testek közt föllépő erőnyilvánulás különös esetét tekinthessük.

Az itt említett átmenet úgy történik, hogy a hold gyorsulását pályájában megalapítjuk, mi mechanikai uton egyszerű, mert a hold sebességének négyzetét kell csak földtől való távolával osztanunk. Ezután annak eldöntése marad még hátra milyen volna a holgyorsulása, ha azt a föld felületének közvetlen közelébegondolnók. E célból a gyorsulást növelniünk kell a távolság kisebbedésével négyzetes arányban. E számítás a föld felületén lemért gyorsulás igen megközelíti értékét adja.

A holdnak föld körül való keringése és a nehézség közt való identitás mutatja, hogy a csillagok mozgása a hajított testekéhez hasonlít. Csak az a különbség, hogy a dobott testnek nincs elég sebessége és távolsága, hogy földünk középpontjától való eltávolodása által okozott nehézségváltozás törvénye oly könnyen s a legpontosb eszközök használata nélkül fölismerhető lenne. Magasról és nagyobb sebességgel a szükséges irányban eldobva, mint kis csillag keringene a hajított test földünk körül.

Az égi testek mozgásának mechanikai tárgyalásával egyidejűleg a nehézség fogalma is tisztázódott, mert változásának törvénye ez óta ismeretessé lett. — Mindaddig egy testnek nehézségét (légiüres térben lemért súly-tömeg és gyorsulás szorzata) változatlanak tartották. E jelleget Newton felfogása egy vonással eltörülte, megmutatván, hogy

a súly viszonylagos fogalom, és függ a földi gyorsulástól, mely megint a föld-középponttól való távolságától és a föld forgásából eredő közép-ponttól futó erő gyorsulásától függ. — A nehézségnek és a csillagokat gyorsító erőnek együttes megjelölésére van jelenleg általánosan használatban a *gravitatio* elnevezés.

Kiegészítésül még egy szempontból kell a gravitációt vizsgálat alá-vennünk. — Szóltunk ugyan a napnak a bolygókra és ezeknek holdjaikra gyakorolt hatásától, de nem voltunk tekintettel ezen testek nagy ságára és alakjára, hanem pontoknak tekintettük azokat. — A gravitáció azonban a vonzott test minden egyes moleculájára külön gyakorol-tatik, tekintettel a távolságra s így csak a moleculáris gravitáció reális, a tömegeké ezen alapon kiszámítható. S így gravitáló testek moleculái-nak hatását egy közös eredőbe kell összetenni. — Newton egy tökéletes gömböt homogén gömbhéjából — melyeknek sűrűsége bármily tör-vény szerint változhatik — gondolván összetéve, következő két számi-tási eredményre jutott: 1. egy gömbrétegnek hatása az azon belül fekvő pontra zérus, 2. a gömbréteg hatása egy kivülr fekvő pontra oly nagy, mintha a gömbhéj a maga középpontjában volna összesűrűsödve, s ez áll két gömbhéjnak egymásra gyakorolt hatására nézve is. Innen ered, hogy az égitesteket keringésükkor pontoknak tekinthetjük.

A hatás és visszahatás elvénél fogva a gravitáció viszonyos, s így a nap is esik minden bolygója felé és a bolygók holdjaik felé.

A bolygók egymásra gyakorolt gravitációja is ez alapvető concep-tióval volt megadva, s Newton utódai által ebből levont mennyiségtani következmények a bolygók megfigyelt perturbációival összevágáltak.

Az égi tűnemények analysise következő fontos természeti törvényre vezetett: *Világunk minden molekulája gravitál egymásfelé tömegével egyenes, távolsága négyzetével visszás arányban.*

Óvakodnunk kell azonban ezen conceptiót, mely egy általánosan ta-pasztalt ténynek kifejezése, a különböző naprendszerekre is kiterjeszteni. — Semmi sem gátol ugyan föltenni analogia alapján, hogy a dolog csakugyan így áll, sőt ily eljárás észszerűnek tartható, mert eszköze le-het új fölfedezéseknek. De oly bizonyosnak tekinteni a gravitációt a nap-rendszerekre nézve, mint világunk körén belül, az pozitív ismereteink lé-nyegének át nem értésére vallana, mert a valóban létező, a tán örökké föltételelessel zavartatnék össze. Newton gravitációjának realitása szigo-ruan megfigyelt tűneményeken alapul. A mindenségre nézve nincs exacte

megfigyelt megfelelő tüneményünk, s így még kevésbé Kepleréihez hasonló törvényünk.

Néhány kettős csillag relativ mozgásánál ellipsisforma alakot véltek fölfedezni. Hol van azonban a főcsillag? A centrumban vagy a focusban? A gravitáció törvénye a két esetben lényegesen más. Sőt ha e specialis esetekben Newton gravitáció-törvényét igaznak tekintjük is, általános következtetést még mindig nem tehetünk. Mert az, hogy nincs okunk valamit tagadni, még nem jogosít fel azt feltétlenül állítani.

Az égi staticaról.

A csillagok tömegének meghatározása oly fontos az égi mechanikában, mint távolságuké az égi geometriában, mert e nélkül viszonyos gravitációjukról nem lehetne fogalmat szerezni. Következőkben a tömeg-meghatározás módjáról szólunk.

A legáltalánosabb eszköz az, hogy egy csillagon megfigyeljük a keringésben vagy forgásban okozott perturbatiót, melyet az egyes csillagok reá gyakorolnak. E befolyás a perturbált bolygó tömegétől és távólától függ. A távolság ismeretes; a tömeg ismeretlen értékét a direct megfigyelések alapján becsülik meg.

Poinsot is ajánlott egy módszert, mely directebb és biztosab a többinél; kár, hogy keresztülvitele a különféle befolyások pontos megfigyelése miatt sok időbe kerül. Ő valamennyi bolygó tömegét egyszerre ajánlja meghatározni. Ismeretes u. i., hogy a csillagok viszonyos behatása következtében a bolygók radiusvectora által bizonyos adott időben surolt terület megváltozik. Mivel pedig a mechanika mutatja, hogy e különféle változások úgy compensálják egymást, hogy valamennyi surolt terület, különben tetszőleges fekvésű közös síkra való projectiójának, a megfelelő tömeggel való szorzata összegé egyesítve, változatlan marad: az ég különböző állapotát kell csak kellőleg különböző időszakokban megállapítani, s bizonyos idő leforgása alatt elégséges számú egyenlet állhat rendelkezésünkre, melyekből az egyedül ismeretlen tömegeket meghatározhatjuk (a már említett területek szigoruan megmérhetők a bolygók helyzetéből és sebességéből s így ezek ismereteseknek tekintendők).

E módszer philosophiai jelleme azért föltűnő, mint maga Poinsot is említi, mert megadja az összes csillagok tömegének relativ értékét függetlenül a gravitáció törvényétől.

Poinsot-é után — oly bolygókra nézve, melyeknek holdjuk van —

legáltalánosabb Newton módszere. Lényege abban áll, hogy a holdnak bolygója körüli mozgását összehasonlítjuk ennek napkörüli mozgásával. Az egységnyi távolban a gravitáció arányos a pálya nagyobb féltengelye közből és a keringési idő négyzetéből képzett hányadossal, és e két hányados aránya a nap és a szóban forgó hold tömegének arányát adja. Jupiternek Newton által így megalapított tömeg-értéke az az óta alkalmazott más nemű módszerek által csak keveset változott meg.

A legegyszerűbb, de a legkülönösebb módszer, mert a földre szorítkozik, a tömegek viszonylagos nagyságának megalapítása az általuk előidézett gyorsulások segítségével. Ismeretes, hogy ha ismerjük egy csillag tömegét, úgy meghatározhatjuk a gyorsulást e csillag felületén, vagy bármely távolságban is. Viszont: a gyorsulás lemérése elégséges a gyorsulást előidéző tömeg meghatározására. — A földi gyorsulást azonban ingakísérletekkel lemérték, s ha ezt a távolság négyzetének reciproqué értékének arányában fogyasztjuk, megnyerhetjük a föld által okozott gyorsulást a nap távolában; ekkor aztán ez értéket összehasonlítjuk a napnak a földre kifejtett gyorsulásával, mit a föld keringési sebességének és naptávolának ismerete nyújt, hogy a föld és nap tömegének arányát nyerjük.

A nap tömegét egységnek tekintik s ezzel összehasonlítva a föld tömegét tekinthetjük legpontosabban meghatározottnak. A hold és Jupiter tömege szintén csaknem oly pontosan van megbecsülve. Nem ismerik az üstökösök tömegét, mert kicsiségük semmi megbecsülhető perturbatiót nem okoz; még az oly üstökösök, melyek néhány igen kis planetoid közelében mennek is el, sem változtatnak semmit e kis csillagocskák pályáján. A holdak közül, holdunk kivételével, csak Jupiter holdjainak tömegét ismerjük közelítőleg.

Ez ismeretek befejezésére meg kell még említeni, miként lehetett minden tömeget kifejezni a mi tömegegységünkben a föld tömegének meghatározása által.

Bouguer, Peruban tett tudományos czélú utjában észrevette nagy hegyeknek a gyorsulás irányára való befolyását. A függő ónnak irányváltozása pontosan lemérhető s így a hegy és a föld által egyensúlyban tartott függő ón, a két tömeg arányát alapítja meg és ezzel a föld tömegét, ha a hegyé adott. Ez első kísérlet megfigyelései nem voltak elég pontosak. Felsőzázaddal utóbb Maskely Skótországbán 5"—6" nagynak találta a gyorsulás természetes irányának változását és Hutton ez alapon 4-5-szer nagyobbnak találta a föld tömegét, mint ha az vízből lenne.

Miután Coulomb a csavarási mérleget föltalálta, mely igen kis erők mérésére szolgál, Cavendischnek sikerült két ólomgolyó egymásra gyakorolt hatását érezhetővé tenni. E hatás okozta oscillatiokat összemerve a föld vonzása következtében előállókkal, meghatározhatta az ólomgolyók tömegének viszonyát a földékez képest. Ez a föld számára relativ sűrűségül 5·5-t adott. Ez eredmény mutatja, hogy földünk közepsűrűsége jóval nagyobb, mint a fölületén levő rétegek legnagyobb része, s így a gömbhéjak sűrűségének a föld középpontja felé nőnie kell, mi azonban nem zárja ki e rétegek folyékony vagy gáznemű természetét.

Egy második statikai kérdés a csillagok alakjának vizsgálata, matematikai alapon, nem megfigyelésre támaszkodva, hanem az egyensúly elvéből kiindulva.

Ha a föld vagy bármely csillag mindig szilárd lett volna, nem volna alap, melyen a priori alakjára következtethetnénk; mert egy szilárd rendszer összeegyeztethető bármely külső alakkal. Innen van, hogy a csillagoknak statika szabályai szerint való vizsgálata céljából azokat folyékonyaknak kell tekinteni, ami már csak bizonyos alak mellett fér meg az egyensúly föltételeivel s e hypothesisből folyó eredmények meggyezése a nagyfigyelésekkel e hypothesis igazságát igazolja.

Ha a csillagok nem forognának, moleculaik egyensúlyuknak gömbalak felelne meg, föltételezve egyenkint a gömbhéjaknak homogenitását. A centrifugalis erő azonban, mely a forgás által áll elő, megváltoztatja ez alakot, változóvá tevén a gyorsulás n a g y s á g á t é s i r á n y á t.

Ha a föld gömbalaku volna, úgy mint azt Huyghens is találta, a centrifugalis erő a függő önt függélyes irányától eltérítene, maximalis volna (kö.ülbelül 6') ez eltérítés 45° szélességnél, az aequatoron és a polusnál pedig zérus.

Newton az intensitas-változását vizsgálta és arra az eredményre jutott, hogy ugyanazon test nagyobb súlyú a sarkoknál, mint az aequatoron.

E vizsgálat magyarázza meg a csillagok gömbalakját és polusaik körüli lapultságát; de a lapultság mennyiség tani kiszámítása szinte fölülmulhatatlan akadályokba ütközik. A mennyiség tani egyensúlytan a folyadék fölületmeghatározása céljából kívánja, hogy ismeretes legyen a szabály, mely szerint az egyes moleculák vonzatnak és mely szerint a sűrűség változik. Ezeket föltételeknek vetvén alá, már az alakot meghatározhatjuk. Maclaurin e feladatot a homogenitás esetén meg oldá, s eredményül forgási ellipsoidot nyert. Clairot általánosította a megoldást

oly csillagokra, melyeknek héjai tetszőleges szabály szerint változó sűrűséggel bírnak. Különösen Laplace ismertette meg a határokat, melyek közé a lapultságnak okvetlenül esnie kell. Szerinte a föld lapultsága $\frac{1}{230}$ -on felül és $\frac{1}{578}$ -on alul nem lehet, ami a direct méréseknek is megfelel.

De bár Maclaurin tétele szerint az egyensúly összefér az ellipsoid-alakkal, hanem ez kizárólagos alak. — Laplace elméleti uton megmutatta, hogy Saturn gyűrűi egyensúlyban lehetnek, folyékon állapotban is, s keletkezetteknek tekinthetők egy forgási ellipsoid forgása által, mely forgás az ellipsoid kisebb tengelye körül történik.

A csillagok felületét borító folyadékok egyensúlyának állandósága a most említett elméletekkel összefügg. — Laplace ez állandóságot annak tulajdonítja, hogy a csillagnak középsűrűsége sokkal nagyobb a folyadékénál. — Lehetne ugyan ez egyensúlyt mint végeztél is tekinteni s mondani, hogy a földi anyagok egyensúlya követeli, hogy a tengerek egyensúlya rögtön helyreálljon, ha valami által, valami módon megzavartatott. E végeztéluság azonban a kutató elme előtt meg nem áll és érezhetővé válik a bolygó ily elrendezkedésének szükségszerűsége, mivel az egyes gömbhéjak sűrűségének nőnie kell, mint azt a csillagok alakjának egész elmélete mutatja.

Az apály és dagály elmélete az utolsó idetartozó kérdés, mely bölcsészeti szempontból kiválóan érdekes, mert az ég természettanát a földével természetes kapcsolatba hozza, egy földi tüneménynek csillagászati magyarázata által.

Descartes kísérlette meg legelőször az árapály magyarázatát, Newton alapította meg elméletét, melynek alap gondolata azon fordul meg, hogy az Oceán különböző részei egyenlőtlenül gravitálnak a nap és a hold felé. E vizsgálatot mélyebbé Newton után Bernoulli Dániel tevő. Miben áll már most ezen kutatás lényege.

Ha a föld középpontját egy csillagéval egyenes irányban összekötjük, úgy ez egyenesben a föld felületén levő két ellenlábás pont egyike jobban, másika kevésbé gravitál a csillag felé, mint a föld középpontja, a négyzetes távolság viszszás arányának megfelelőleg. Az első törekszik távolodni a középponttól, mi a folyékony felület emelkedését idézi fel; a középpont pedig a második ponthoz képest távolodik, s így ez a 2. pont visszamarad, tehát e második pontban analog és az előbbivel csaknem egyenlő nagy elevatio származik. E hatás kisebbül a két ponttól

való távolodáskor és zérussá lesz 90° -nál, hol a niveauak apadnia kell, hogy kiadódhassék megfelelő helyen a dagály. E niveauváltozás is megváltoztatja a földi gyorsulást, s megváltoztatja a föld felületét. Minden bolygó az oceán alakját megváltoztatja, csillag felé hosszasodó spheroid alakot adván a földnek s így a földnek már ez okból is igen összetett alakja van. Földünk forgása könnyen fölfoghatóvá teszi azt is, hogy az ár-apály tüneményének, minden bolygó befolyása következtében, a földön négyszer kell naponként jelentkeznie, csaknem egyenlő időközökben. E helyen akarjuk megemlíteni a szabályt, mely szerint az egyes csillagoknak energiáját mérik. Ez energiát azon különbség határozza meg, mely a föld középpontjának és a föld egy szélső pontjának gravitatioja közt fönáll. E különbség megnyerésére differentiáljuk Newtonnak a gravitatio kifejező képletét s találjuk, hogy minden csillagnak árapályt előidéző képessége tömegével egyenes és távolság kőbével visszás arányban áll. A nap tehát tömege miatt, a hold tulságos közelsége miatt okoz árapályt; de megérthető az is, hogy a hold árapálya 2·5—3-szor akkora mint a napé.

A nap és hold együttes hatása igen bonyolulttá tenné e kérdés analtikaj tárgyalását, ha Bernoulli Dániel nem egyszerűsítette volna az által, hogy itt is alkalmazza kicsiny rezgések coexistentiájára vonatkozó elvét. Ez elv szerint a hold és nap okozta árapály egymásra helyezkedik alteratio nélkül, ami által a problema a két alkotórész külön analysisévé válhatik. Innen kezdve a tünemény változása könnyen kimagyarázható. Syzygiakor a kettős hatás egybeesik, az árapály tehát legnagyobb és egyenlő a két egyszerű árapály összegével. A két quadraturában az árapály minimális, mert a két égi test hatása rontja egymást. A közbeeső epochakban egyenlőtlenül változtatja a napokozta árapály a hold által előidézett s e változások periódusa egy synodikus hónap, s ezen belül is a százados változásokra tekintettel kell lennünk.

Az árapályra a földnek a naptól vagy a holdtól való különböző távolsága is periodikus és szabályos befolyással van. Ami pedig az árapálynak az északi szélességgel való változását illeti, ugy az az aequatornál legnagyobb, másutt változik a forgás energiájával s következtékép a szélesség cosinusával arányosan.

Ez az árapály általános elmélete, mely a direct megfigyelésekkel elégséges harmóniában áll.

Exact és általános összehasonlítását a számolás és megfigyelés eredményének az a körülmény gátolja, hogy minden mérés a kikötőkben, vagy ezekhez igen közel történik. Ily helyen azonban csak az indirect ára-

pályt figyeltetni meg, mely a földnek configurációjától függ. Ily körülményeknek kell azt a különbözőséget tulajdonítani, melyet majdnem identicus helyzetük dacára, Granville és Dieppe, vagy Bristol és Liverpool tengerei mutatnak.

Az árapály empirikus tanulmányozása végett évek hosszú során át egy igen kis az aequatoron levő és a száraz földtől minden felé mintegy 30^o-ra fekvő szigeten kellene a megfigyeléseket tenni.

Ez elméletünkkel az árapályra vonatkozó tünemények előre megmondhatók s ebben hordja elméletünk igazsága szentesítését.

Egy század óta különben igen sok addig kimagyarázhatatlanoknak tekintett tüneményt vetettek alá változatlan törvényeknek, melyek minden gondviselészerű közbenjárást vagy önkényes föltevést kizárnak.

Az égi dynamika.

A világunkhoz tartozó csillagok viszonos gravitációja, a bolygóknak, Kepler törvényei szerint való mozgását megváltoztatja. A következőknek célja lesz az égi mozgások változására vonatkozó főtanulmányok terét és mezejét vizsgálni.

Két féle változás van: a hirtelen változások ütközésből vagy explosióból erednek, a fokozatos változások vagy u. n. perturbatiók másod fokú gravitatio befolyásából keletkeznek. Az első fajta csaknem ideális valami, s mégis ennek előzetes meggondolása kell, hogy megelőzze a második fajta tanulmányát, mely minden perturbáló gravitációt a kis impulsiók egy sorozatának tekint.

Egy hirtelen változás következménye abban áll, hogy az elliptikus pálya a 6 pálya elemének értéke rögtön megváltozik, amennyiben változás nem történt a gyorsulást előidéző erőben. Kepler törvényei érvényesek maradhatnak, legfőlebb az elliptikus pálya megy át parabolába vagy hyperbolába.

Két relatio azonban, a mozgási törvények szerint, még két csillagnak ütközése után, vagy egy csillagnak több ágra szakadása után is megáll: a tömegközéppont mozgásának megmaradása és a leirt terület darabok összegének változatlansága. Két egyenletet nyerünk ezen alapon: a tömegek a sebességek közt a két-csillagra nézve az ütközés előtt, vagy a csillagtöredékre nézve a föloslzás után.

Arra semmiféle jel sem jogosít fel, hogy a mi világunkban valamely ütközést megtörténtnek föltételezhetnénk. A Mars és Jupiter

közt fekvő planetoidok közül többnek keringési ideje és középnap-távolsága Olberst arra a gondolatra vette, hogy azok egy bolygót képeztek. Lagrange pedig alakjuk szabálytalanságából arra vélt következtethetni, hogy a robbanás a megkeményedés után történt. Számolással meglehetne ugyan keresni e planetoid-rendszer tömegközéppontját, megalapítani az eredeti csillag főmozgását; de nehéz volna e feladat, mert valamennyi, tehát több mint 170 planetoidra kellene tekintettel lenniük.

Lagrange azt vélte, hogy explosiók világunkban igen gyakoriak voltak s hogy így lehetne magyarázni az üstökösök származását. Hisz valóban! — elég, hogy a bolygó két igen egyenlőtlen darabbá pattanjon s a nagyobb alig fogja megváltoztatni pályáját; míg lehet, hogy a kicsi igen megnyult és nagy inclinációjú pályát ír le.

Ami a tulajdonképeni perturbatiokat illeti, két fajtát különböztetjük meg, aszerint, amint a translatióra, vagy rotatióra vonatkoznak. Vizsgáljuk először a translatiót, hol a csillagok középpontjukba egy ponttá sűrűdve gondoltanak.

A tudósoknak elkülönítve kelle tárgyalni egy-egy bolygó mozgását, a focusát képező (második) csillag körül és csak egy, a pályára befolyást gyakorló harmadik csillagot véve tekintetbe. E nagy szabású feladat a három test problémája. Világunk mozgása azonban egységes problema, s nem elkülönített problémák sora. Ez elkülönítés, mely analysisünk tökéletlenségének folyománya, első forrása az oly sokszoros változtatásoknak, melyek az égi testek pályáinak meghatározását oly terhessé teszik. — Ha a három test problémája szigorúan megoldható volna, úgy a correctiók sem lennének oly számosak. De az analysis csak két test problémáját oldja meg, itt is a testek egyikét állónak kell föltételezni. E típusra kell ilyenformán folytonos approximációval a csillagok mozgását visszavinni. Az eljárást erre nézve Lagrange adá s abban áll, hogy a csillagnak mozgását ellipticusnak tekintjük, de változó értékű pályaelemekkel. Lagrange általános analytikai egyenleteket is alapított meg, melyek az elemek változását szolgáltatják a perturbáló erő-től függően.

A gravitatio az egyes behatások összehasonlítására is alkalmas. Ha két perturbáló csillag hatását nem tudnók megkülönböztetni úgy tömegüket a perturbált csillagtól való megfelelő távolságuk négyzetével elosztjuk. E két hányados képviseli a perturbáló csillag által előidézett gyorsulást a perturbált csillag távolságában; s amelyik a kettő közül nagyobb, azt kell különösen tekintette venni. Ily nemű vizsgálatinkat

világunk alkotása könnyüvé teszi, mert a bolygók tömege kicsi a napéhoz képest, ami a perturbatiók kicsiségének az oka; a bolygók ezenkívül nem nagyon számosak, nagyon szétszórta, nagyon egyenlőtlenek; aminek megint az a következménye, hogy a legtöbb esetben az elliptikus mozgást csak egy test módosítja.

Itt is, mint már tettük, a bolygók, a holdak és az üstökösök problémáját kell megkülönböztetni. Sőt tekintetbe kellene vennünk a nap mozgását is, mely a bolygók által reá gyakorolt visszahatás következtében szintén nem lehet mozdulatlan. Világunkban történő belső tüemények nem is engednek meg több fix pontot, mit az egész rendszer tömegközéppontját, s ez képezi a bolygók pályájának reális focusát s e körül még a nap is oscillál. E pont azonban a napnak a többi bolygókéhoz képest tulságos nagysága miatt mindig a napon belül marad. Nem kell tekintettel lenni a nap oscillatiojára, melyet semmi megfigyelés meg nem erősített; és mozdulatlannak is tekintik a napot, eltekintve forgásától. Éppen így van ez a bolygó és holdjai által képezett részleges rendszerekkel, még a föld és hold kedvezőtlen esetén is; itt is a tömegközéppont a föld belsejében van folytonosan.

A bolygók problémája a legegyszerűbb; nem valami előnyös ugyan földünk esete az aránylag nagy tömegű hold miatt, mely oly közélről kíséri és mely ama fő perturbatiókat okozza, melyeket még Jupiter perturbatiói sem mulnak fölül.

A holdak problémája complicáltabb főmozgásuk focusának mozgása miatt.

A holdak mozgásában történő direct perturbációkra nézve különbséget kell tennünk a szerint, amint a bolygónak egy vagy több holdja van. Első esetben — ez a mi holdunkra vonatkozik — a főpertubáló test: a nap, azon nem egyforma hatás miatt, melyet a bolygóra és a holdra gyakorol. Ezen alapon magyarázták a holdpálya csomópontjainak 19 évi periodusban történő retrográd forgását és perigäumát is, mely alig 9 év alatt fordul meg. Több hold esetén azok egymásra hatását is tekintetbe kell venni. Az itt előjövő nehézségek olyanok, hogy még csak Jupiter bolygóinak mozgási elméletét sikerült megalapítani. Saturnus és Urúnus holdaira vonatkozó táblak még csak geometriailag készek, de tömegükre még közelítő értékünk sincs.

Az üstökösök problémája legnehezebb. Keringésük közben u. i. mindig változó mechanikai viszonyok közé kerülnek, míg a bolygóknál a relatio megmarad, csak intenzitásuk változik. Az üstökösök annyira eltá-

volodnak a naptól és közelednek különböző bolygókhoz, hogy a perturbáló erő csaknem egyenlő a főgravitációval. Az üstökösök tömege is igen kicsiny, ez is érezhetőbbé teszi perturbációjukat. Tömegük is valószínűleg változáson megy át, midőn egy szomszéd égi test légkörüknek egy részét elvonja. Ezek az okok, melyek az üstökösök perturbációjának tökéletlen ismeretét kimagyarázzák; s innen van, hogy az üstökös visszajövetelének idejét megmondani oly nehéz. — Ami ily üstökösöknek földdel való összeütközését illeti, mely az üstökösökkel összekötött vallásos ijedelmeknek adott helyet, nem egyéb gyermekes félelemnél. Szomszédságuk legfőlebb az árapályt változtatja meg egy kissé.

Térjünk át a forgásban okozott perturbációkra. Egy test forgása tömegközéppontja körül úgy történik, mintha e pont fix volna a térben. S így a forgást sem a moleculák viszonyos hatása, sem valami külső erő, melynek iránya a tömegközépponton áthalad, meg nem változtathatja. Ha tehát az égi testek teljesen gömbalakuak és gömbalaku homogén héjakból összetettek volnának, viszonyos gravitációjuk eredője, geometriai középpontjukon menne át. — Világunk csillagai ilyenformán nem változtathatják meg egymás forgási idejét, hacsak saját maguk forgása okozta gömbölyűség-hiány miatt nem. S így ami az égi forgások állandóságát biztosítja, tengelyeik párhuzamosságának kikerülhetetlen megváltozását is meghatározza.

A földre nézve ezen megváltozás a napéjegyenlőségnek praecessiójában áll, melyet a nutatio módosít. A praecessiót különböző csillagok, de különösen a nap és hold hatása az aequatorialis duzzadtságra okozzák D'Alembert elmélete szerint. Ha a hold az aequatorban mozogna, vagy pályájának csomó pontjai állók volnának, csak praecessio léteznék, mert a megfelelő kidudorodás két félgömbjére gyakorolt hatás nem érvényesülhetne. De a hold gyöngye inclinációja a csomópontok retrograd haladását, egy másodrendű sebességváltozást, nutatiót okoz.

Ha az elméletet a többi csillagokra is ki kellene terjeszteni, úgy e helyt is a bolygókat, holdakat és üstökösöket kellene megkülönböztetni. Az üstökösök esetét csak azért említők fel, hogy forgásuk meghatározásának tán örökre lehetetlenségét kimondjuk. A bolygók földünkéhez hasonló tüneményeket mutathatnak, melyek többé kevésbé kifejlődöttek, tengelyöknek pályájához, helyzetükhöz, tömegükhöz, nagyságukhoz, keringési idejükhöz és lapultsági fokukhoz mérten.

A holdak forgása igen érdekes tüneményt nyújt, mely e forgásnak és bolygójuk körüli keringésüknek ideje közti egyenlőségben áll, s ezért

bolygójuk felé állandóan u. a. félgömböt fordítják, eltekintve az ingadozás (libration) neve alatt ismeretes kicsiny változásoktól. A forgás és keringés ideje közti egyenlőség csak holdunk számára van megállapítva. Lagrange véleménye szerint ez azon, a hold keletkezésekor származott tulsulyból ered, melyet a hold felénk fordult fele, földünk hatása következtében nyert; a holdnak forgása tehát nem egyéb, mint hogy mindig nehezebb oldalára törekszik esni.

Ezen tárgyat kiegészítendő egy jelentős gondolatot kell megemlíteni, mely tanulmányunkat egyszerűsítheti; ez ugyanis megengedi mindezen mozgásokat visszavinni egy közös síkra, melynek helyzete független ezen mozgások nagy változatosságától.

E sík ismeretét Bernoulli Dánielnek és Eulernek köszönjük, kik tisztán analtikus uton jutottak rá. Laplace azt már egy változó rendszerre terjesztette ki és alkalmazta is az égi mechanikára. Poinsot pedig kimutatta, hogy e változatlan síkot azon két sebesség definiálja, melyek a rendszer összes különös sebességeinek a rendszer súlypontjába átvitele után ezen sebességeknek egy párrá egyesítéséből származnak. E sík meghatározására szükséges, hogy a rendszer különböző pontjai által leírt összes felületeket tekintetbe vegyük. Laplace a feladat könnyítésére minden csillagot középpontjába összesűrűsödöttnek tekintett, még a holdakat is bolygójukkal egyesítve; ez által egyszerű pontokra, nem pontrendszerekre kelle figyelme fordítania. Poinsot elmélete föltüntette Laplace eljárásának tökéletlenségét, amennyiben ő nemcsak a holdak által leírt területektől, hanem minden egyes égi testnél, az egyes molekuloknak súlypontjuk körül leírt területtől is eltekintett. — A Poinsot fölfedezte síknak meghatározása azonban igen nehéz, mert e feladathoz nemcsak az égi testek tömege, hanem tehetetlenségi momentumuk ismerete is szükséges. De bárhogy is áll a dolog, érdekes látni, hogy az égi mechanika rendszerünk belsejében föllépő annyi perturbatio között képes volt egy mozdatlan síkot megjelölni. Newton is fölismert egy a naprendszer belsejében történő változásoktól független elemet, s ez elem naprendszerünk súlypontjának sebessége.

A perturbatiook tanulmánya világunk állandóságára vezet. Az üstökösöket nem véve számba, minden perturbatio periodikus. Csillagaink mindenike oscillál ugyan, de igen lassan és kis kitéréssel egy középhelyzet körül. E lassúságot pedig a pályák kis excentricitása és pályasíkjaik kis elhajlása okozza.

Nem szóltunk még ellenállásáról azon közegnek, melyben az égi

testek mozognak, s mely zérus nem lehet. Euler és Lagrange megállapították, hogy e közeg miatt a csillagok pályája kisebbedik és a kör alakú pályához közeledik, s a keringési idő is fogy. Ily formán egy rendkívül távoli időben az összes csillagok a nap tömegével egyesülnek. A közegellenállás nagyságának meghatározására az üstökösök lesznek tán egykor alkalmasak, mert rajtuk ez ellenállás könnyebben megbecsülhető kis tömegük és nagy fölületük miatt. Látni ilyenformán, hogy egy csillag sincs naprendszerünkben, melynek az elmélet közvetlen érdekét ne kölcsönözne. Az üstökösök tanulmányozása pl. egykor, egy rendszerünkre vonatkozó igen fontos törvényt lelelhet le.

Az álló csillagok és a pozitív kosmogonia.

Az álló csillagokra nézve exact tanulmány tárgyát csak az idősb Herschel által (1778.) fölfedezett többszörös csillagok viszonyos mozgása képezi. Többszörös csillag alatt, igen közel álló csillagokat értünk, melyeknek szögtávolsága $\frac{1}{2}$ "-t nem halad meg, s melyek szabad szemmel sőt közönséges observatoriumi távornézővel is egy csillagnak látszanak. Csak a leghatalmasabb teleskopok választják el őket. Első osztályu többszörös csillag (2 csillag van együtt) mintegy 1930, másodosztályu (3 csillag látszik egygyé olvadni) 1310, harmadosztályu is mintegy 1310 ismeretes jelenleg. Comte harmadosztályu többszörös csillagot még nem ismer ugyan, de nem létezésük okát igen helyesen a teleskopok tökéletlenségének tulajdonítja. Az ily többszörös csillag azonban csak kivételes eset a mindenségben és több esetben, inkább tekinthető földünk helyzetéből folyó esetlegességeknek, mint egybe tartozó rendszernek.

Van mindazon által mintegy tizenkét (Comtenál hét) kettős csillag, melyek viszonyos mozgást végeznek, sőt pályaelemeiket is annyira-mennyire meghatározták. A biztosság ez eredményeknél bizonyára sohasem lesz összehasonlítható a bolygók pályájának praecis ismeretével, mert a látzólagos radius vectorok oly kicsinyek, hogy a lemérésnél elkövetett hiba nagyságuk harmadát vagy negyedét teszi. Valószínűtlen ilyformán, hogy enemü ismereteink oly exactakká lehessenek, hogy visszautasíthatatlan dinamikai következtetéseket tehesünk, pl. kiterjeszthessük a gravitotit a kettős csillag elemeinek viszonyos egymásra hatására.

Az első kettős csillagot, melynél keringés volt észrevehető, Savary figyelte meg, ő adta meg pályáját is. Valamennyi kettős csillag keringő

pályájának nagy excentricitása van; ez excentricitások legkisebbike kétszer, legnagyobbika pedig négyszer mulja felül a bolygók legnagyobb excentricitását. A mi a keringés periodikus idejét illeti, a legrövidebb 37·21, a leghossabb 996·85 év.

Jellemezni akarjuk még Savary szellemes módszerét, melylyel tán egykor — legalább korlátolt pontossággal — néhány csillagnak a földtől való távolát meghatározhatni. E módszer az egyedüli tudományos conceptio az álló csillagokra nézve, és független a csillagok pályájának alakjától és a gravitatio általánosításától. Elég, hogy e görbék a hosszabb tengelyükre nézve symmetrikusak legyenek és hogy a kisebb csillag keringése közben u. a. sebességgel birjon a nagyobbik csillagtól számított egyenlő távolságban.

Az eljárás a fényterjedés időtartamán alapul. Tekintsünk u. i. egy csillagot, melynek keringési síkja merőleges a látó sugárra, mely a földről — vagy a mi e helyen mindegy: a napról — a kettős csillag felé tart. Ez esetben a keringés két fele egyforma ideig tartónak látszik. Nem így áll azonban a dolog, ha a keringés síkja a látó sugár felé erősen hajlik. Ez esetben a csillag azon félkeringésének, mely felénk van fordulva, kisebb ideig kell tartania, mint tart azon félkeringés, melynél a csillag tőlünk távolabb van. Oka ennek az idők különbözősége, melyre a fénynek szüksége van, hogy a csillag két földtől való távolságára nézve legellenkezőbb pontjáról hozzánk eljuthasson.

A keringés két fele ilyenformán nem tart egyenlő ideig; s ha egyenlőtlenségük megfigyelhető, ugy a fény terjedés-sebességének segítségével ismeretessé válik a csillag legkisebb és legnagyobb távolsága a földtől. E pillanattól kezdve ismeretessé válik a keringő test dimensiójának, földtől való távolának, inclinatiojának közelítő megbeeslése. Igaz, hogy e félkeringésidők csak pár napi pontossággal becsülhetők meg, s minden másodpercz mintegy 32 ezer myriameter hibát okoz a végső eredményben; s mégis ez az egyedüli alkalmas módszer egy maximum vagy egy minimum megalapítására. — E módszer idők multával bizonyára tökéletesedik; pontatlanságának okai azonban oly fundamentalisak, hogy nem is remélhetjük, hogy tudományos jelleme a naprendszerével egykor vetekedhetnék.

Vizsgáljuk már most a kosmogonikus hypothesiseket. A teremtés gondolatára itt nem vagyunk tekintettel, csak az ég fokozatos átváltozását kutatjuk és első sorban azt az átváltozást, mely a mostani állapotot létesítette. A kérdés u. i. ez: van-e jel, melyből az égnek haj-

danta egyszerűbb állapotára következtetni és lehet-e ez állapot jellemét meghatározni? Itt különbséget kell tenni világunk és a mindenség között, mint ezt már tettük is. A napok keletkezésére nézve semmi föltevésünk sincs; egy állítást sem erősíthetünk, de nem is gyöngíthetünk, mert nincs e czélból kikutatott vagy kikutatható tüneményünk. — Világunk alakulása az egyedüli, melyet észszerűen kereshetünk.

A positiv cosmogonia akkor kezdődött, midőn a mennyiségtudósok a bolygók alakjából matematikai alapon azoknak előzőleg folyékony állapotára következtettek. Miután mindeniknek előbbi állapotát ily módon kétségtelenné tevék, természetesnek tünik fel, hogy a bolygók egész rendszerének eredetéhez akartak emelkedni, e rendszer jelenlegi alkotása alapján, föltételezve egy középponti kész égi testet (napot).

A cosmogoniát tehát nekünk világunk alakulására kell összeszorítanunk, a napot adottnak tekintjük és egyenletesen forgónak föltételezzük. Ily föltételekből vont következtetéseink alávetvék azon követelménynek, hogy egyéb tényezők nem működnek közre, mint a melyeknek befolyását a mindennapi tüneményeknél tapasztaljuk.

Vizsgáljuk mindjárt Laplace cosmogoniáját; ez a legelfogadhatóbb valamennyi közül, sőt matematikai megerősítést is nyerhet.

Laplace a nehézséget és a meleget használja csak fel elméletében, az erőnyilvánulás e két szigoruan és tán egyedül általános formáját.

E hypothesis célja minden bolygó egyirányu (nyugatról keletre) keringését, egyirányu forgását, a holdaknak ép ilyen viselkedését, a pályák kis excentricitását és égi aequatortól való kis eltérését megmagyarázni. Nem vesszük tekintetbe az üstökösöket, amennyiben Lagrangenak a mult fejezet elején megjelölt véleményeihez csatlakozunk. Laplace azokat világunkra nézve idegen csillagoknak mondja; ez azonban azon helyes elvvel ellenkezik, hogy rendszerünk belső tüneményei függetlenek az ide nem tartozóktól.

Laplace cosmogoniája a bolygóknak a naphathosphära fokozatos összesűrűséséből való keletkeztetésében áll. Ez athmosphära világunk határáig terjedt és hülés következtében folyton összehúzódott. E cosmogonia két kétségbevonhatatlan matematikai tényen alapul. Az első a keringés és a megfelelő felületek kapcsolatából foly. Ezen alapon, egy forgó testnek összehúzódása esetén, gyorsabb forgásúvá kell lennie, hogy így a szög sebességek növekedésével megfelelő pótlást nyerjen a keringő tömegpontok radius vectorainak kisebbedése. A másik meggondolás a nap

forgásának szögsebességére és atmosphaerájának kiterjedésére vonatkozik. Ez atmosphaera u. i. odáig terjedhet, hol a forgás által létesített centrifugális erő egyenlő a megfelelő nehézségi erővel. Ha az atmosphaera egy része e határon kívül volna, úgy e rész megszűnnék a naphoz tartozni, bár a nap körül kénytelenülne mozogni oly sebességgel, milyennel az elkülönödés pillanatában bírt, de nem venne részt többé azon változásokban, melyek a lehülés következtében a napforgásában eléállnak.

A nap atmosphaerájának határa mindinkább kisebbedett a nap aequatorán, mert róla egymásután leszakadtak a gáznemű zonák és ez volt első állapota ami bolygóinknak. Ugyanezen mód alkalmas a holdak keletkezésének magyarázására is.

Midőn csillagaink a nap tömegétől elváltak, saját lehülésük következtében folyékonyakká s végre szilárdakká lettek, s ez időtől nem voltak alávetve a nap forgásában és atmosphaerájában történt változásoknak. De a csillag hidegülésének szabálytalansága és különböző részének egyenlőtlen sűrűsége megváltoztatták az eredeti gyűrű alakot, mely csak Saturnusnál maradt meg. Többnyire a gáznemű zona egy részének tulsulya fokozatosan összetömörítette absorbtio útján az egész gyűrű tömegét, s így a csillag gömbalaku lett; forgása ugyanazon irányu maradt, mint a milyen keringése volt, mert a felső moleculák az alsóknál sebesebben mozognak.

Világunk ez elmélettel összhangzásban van. A translatio és rotatio azonos iránya megvan. A pályák teljesen köralakúak lennének, és az ég aequatorába esők, ha a hidegülés és sűrűsödés teljes szabályszerűséggel történt volna; s csak a rendetlen változások, a tömegek sűrűségében és melegségében, okozhaták Laplace megjegyzése szerint a kis excentricitásokat és a kis deviatiokat. Ebből egyuttal az is következik, hogy a bolygók annál régiebbek, mennél távolabb vannak a naptól, s e törvény a holdakra is vonatkozik.

E cosmogoniának mennyiségtani alapot is adhatunk s Comte maga megkísérlette ennek számbeli igazolását. Ez igazolás principiuma az, hogy minden megalakult csillag keringési ideje, egyenlő volt az alkotó csillagéval, midőn ennek atmosphaerája odáig terjeszkedett. A kérdés tehát, milyen lehetett az alkotó csillagnak akkoriban keringési ideje? Comte számítást végzett a holdra nézve és azt találta, hogy jelenlegi keringési ideje egy tized napi pontossággal megegyez a föld forgási idejével akkor,

midőn athmosphaeránk határa egész a holdig elért. A megjegyzés minden más esetben is, bár nem teljes, de feltűnő.

Comte ezek alapján következő eredményt mondá ki: ha kiterjesztjük a nap athmosphaeráját fokozatosan addig, hol most a bolygók vannak, ugy a nap forgásának ideje ezen epochak mindenikében egyenlő volna a megfelelő bolygó keringési idejével; ez áll fenn a bolygók athmosphaerájára is, a holdakra vonatkozólag. Comte azonban ezen igazolást távolról sem akarja matematikai bizonyításnak tekinteni, — csak eszköznek, mely Laplace hypothesisének tudományos jelleget kölcsönöz.

Talán egykor, a kiszámított és tényleges keringési idők különbségéből, a bolygók alakulásának epochaira is főgnak következtethetni, bár a tulságos matematikai nehézségek, melyek e kérdéssel összefügnek — tekintetbe kellene venni a perturbáló okokat — kevés reményt hagynak ez irányban.

Egy végső következménye az itt említett cosmogonikus hypothesisnek az, hogy e világ alakulása teljes. Elég ennek megismerésére főlemlíteni, hogy világnak minden egyedén az athmosphaera mélyebben van, mint azon határ, melynél centrifugalis ereje leronthatná saját súlyát.

Világunk ilyen formán ugy kősmogonikus, mint mechanikus tekintetben bizonyos idő óta változatlan. — Mindazonáltal sem az egyik, sem a másik változatlanóság nem absolut, tartóssága azonban kielégítheti az utódaiért aggodó ember legtulcsigázottabb óhaját is. — Tudjuk, hogy a mindenütt elterjedt anyag ellenállása következtében világunk kikerülhetetlenül egyesül a nappal, melyből eredt, mig u. a. napnak új kiterjeszkedése nem áll elő a jövő idők végtelenében, s nem szervezkedik, a mostaninak alakulása szerint, egy új világ.

Ormay Lajos.