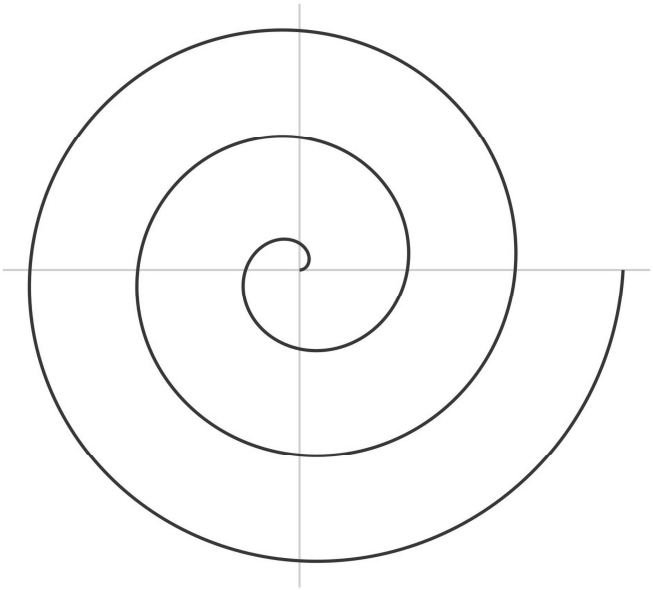
Égi kerekek



Örökké forognak

Komzsik Lajos

Pieke Andreának

Előszó a magyar kiadáshoz

Nagy örömömre szolgál, hogy a matematikai-fizikai történelmi kalandozásaim újabb kötete is megjelenik magyarul. Remélem, hogy a kedves olvasók érdeklődessel követik ezt az utat is amely bemutatja a forgási jelenség rendkivüli befolyását az emberiség fejlődésére és a mindennapi életünkre.

A remek fordításért most is Pieke Andreának tartozom hálával, akinek a magyar megfogalmazása jelentősen megkönnyitette még a mélyebb gondolkodást igénylő témák megértését is.

Jeney Attila is ismételt köszönetet érdemel ezúttal az eredeti illusztrációk elkészitéséért, melyek úgy az angol, mint a magyar kiadást jobban érthetővé és méginkább élvezhetőbbé tették.

Komzsik Lajos, 2011.

Előszó

A fizikai univerzumban alapvető mozgási jelenség a forgás. Mivel legtöbbször észrevehetetlen, vagy felismerhetetlen, a hatásait természetesnek vesszük, vagy egyáltalán nem értjük. E könyv célja, hogy a mindennapi életben előforduló forgások különösen fontos és erőteljes hatásait érzékeltesse, megismertesse és megmagyarázza.

A mechanikai kerék feltalálásával és későbbi fejlődésével hatalmas lehetőség nyílt az emberiség előtt a közlekedés és a szállítás területén. Annak felismerése, hogy a Föld gömbölyű, és kering a Nap körül lehetővé tette az évek, a Föld saját tengely körüli forgása pedig a napok meghatározását.

Nem kevésbé érdekesek a forgás fizikailag érezhető hatásai. A körhintán vagy a hullámvasúton mindennapi jelenség, hogy a rajta ülők örömükben sikítoznak, vagy szédülnek és rosszul lesznek, ami bizonyítja, hogy testünk már kis léptékben jól érzékeli a forgást. Klasszikus fizikai törvények „irányítják” a forgó rendszert, amelyből a hurrikán és a passzát szél mozgása keletkezik. A forgás idézi elő azt a furcsa jelenséget is, hogy a Földhöz viszonyítva más-más irányban haladva a súlyunk megnő, vagy csökken.

Tagadhatatlan a forgás gyakorlati jelentősége a kényelmet nyújtó, nagyon hasznos forgó gépek

esetében. A forgás jelensége még ma is nagyban hozzájárul új és fontos közlekedési lehetőségekhez. Felbecsülhetetlen vívmány, hogy egy nagyon egyszerű elven működő magyar tudós által feltalált berendezést használhatunk fel az egyik legértékesebb természeti kincs, az olaj felkutatására. Fontos termékekben naponta felhasználjuk a forgó gépezetek kényelmét, biztonságát és eredményeit.

A bolygók forgómozgását mindig is nehéz volt magyarázni, két évezreddel ezelőtt a Föld forgását tagadó legfontosabb érv az volt, hogy nem tudjuk érzékelni arcunkon a mozgás miatt fellépő szelet. A Naprendszer forgását sem érezzük, a Tejútrendszerről nem is beszélve, bár spirális alakja erősen arra utal, hogy a forgási jelenség hatásáról van szó. Ezeket a forgómozgásokat azonban megfigyeléssel, vagy valóságos mérésekkel bizonyítani tudjuk.

A következő fejezetek főleg leíró jellegűek, azonban bizonyos pontokon nem kerülhettük el néhány egyenlet bemutatását. Az egyenletek mélysége nem lépi túl a középiskolai szintet, de ha az olvasó átugorja azokat, úgy is élvezhető az életünkben fellépő forgások fogalmi szemléltetése.

Első fejezet

Körbe-körbe

Az ember egy vastag faágat farigcsált, levágta a vékony hajtásokat és ledörzsölte a száraz fakéreg-darabkákat a tűzgyújtáshoz. A táborhely a domboldalon jó kilátást nyújtott a síkságon legelésző állatok megfigyelésére, és jó stratégiai választás volt, hogy a közelgő veszélyes rivális törzseket időben észrevegyék. Békés volt az este, a törzs várta, hogy a tűz fellobbanjon, a földön feküdt a lenyúzott friss zsákmány.

Az ember végzett a faág lecsupaszításával, és lehajította a földre. Az ág azonban visszapattant, mintha szellemek szállták volna meg, és gurulni kezdett lefelé a domboldalon. A mozgás szabályossága meglepő volt; a guruló faág egyre gyorsabban haladt lefelé, végül a domb alján, a síkon állt meg. A törzs és főnökük ámulva figyelte, de hamarosan már csak a tűz ropogásával, és a hús jó illatával törődtek.

Miután elfogyott a hús, és a csontokat is lerágták, a főnök lesétált a dombról és felhozta magával a faágat. Mindenki úgy vélte, hogy a tűzre szánja, mivel az éjszaka hidegre fordult, de ő nem a tüzet táplálta vele. A tisztás széléről ugyanabba az irányba dobta, mint előzőleg. A guruló mozgás megismétlődött, végül a faág majdnem ugyanott állt meg, mint először.

A törzs növekvő érdeklődéssel figyelte, mivel ez már úgy tűnt, hogy nem a szellemek műve volt, hanem egy emberé. Azután mások is bekapcsolódtak a játékba, újra és újra gurult a faág, amely nem hamvadt el azon az éjszakán. Másnap ismét láthatják, hogy működik-e még a varázslat.

Lehet, hogy így történt, bár sohasem tudhatjuk meg.

Egy biztos, hogy mintegy 6000 évvel ezelőtt az egyiptomiak hatalmas kőtömböket görgettek olyan fatörzseken, mint az ősi ember a domboldalon. Bizonyos ősi építkezéseken, mint például Stonehenge, a kőtömböket nagy távolságról szállították, feltehetően hengereken gördítve. Ezt nem tekinthetjük ténynek, de mai tudásunk szerint valószínű, hogy így történt.

Tagadhatatlan, hogy az emberi fejlődést felgyorsította, amikor őseink felismerték a forgási jelenséget. Érdeklődésünk tárgya a fejlődést forradalmasító forgás, és nem a társadalmi, forradalmi változások.

Ha megfontoljuk, hogy az emberszabásúak története körülbelül 2 millió éves, és mintegy 200 ezer éve él homo sapiens a Földön, az utolsó 10 ezer év valóban látványosan felgyorsult. Igazán csodálatos, hogy a forgási jelenség mennyire hozzájárult ehhez a gyorsuló fejlődéshez.

Bár nem tudatosan, de a forgási jelenséget már sokkal korábban felhasználták. Évezredek óta fennmaradt az a jól ismert tűzgyújtási módszer, amikor két tenyerük között forgatnak egy száraz faágat, melynek hegye belefúródik egy másik, száraz lapos fadarabba. Az

Amazonas mentén teljesen elzártan élő bennszülött törzseknél még ma is megfigyelhető. Életünkben talán ez volt a forgási hatás első megjelenése, természetesen a súrlódás is szerepet játszott a hő keletkezésénél.

Mindössze 6000 évvel ezelőtt jelent meg Mezopotámiában a ma ismert kerék. A suméroknak köszönhető a találmány, és segítségével fejlődött ki az első mezőgazdasági társadalom. Természetesen az első kerekek csupán legömbölyített fadarabok voltak, amelyek középen egy lyukat fúrtak a tengelynek. Hogy a kerék a tengelyről ne essen le, egy – valószínűleg bronzból készült – fémdarabbal erősítették meg, ez volt a járomszög.

A kerék elve hamarosan más kultúrákban is elterjedt. Találtak régészeti bizonyítékot arra, hogy kb. 5000 évvel ezelőtt Európában és Indiában is ismerték, kb. 4000 éve pedig Kínában. Úgy tűnik, akkor terjedt el futótűzszerűen a használata, amikor a lovakat és a marhákat háziasították. Bizonyos, hogy a kerék legnagyobb hasznát az igavonó állatokkal vontatott szekér feltalálása jelentette.

Az emberiség hamarosan lovakat vagy marhákat fogott be a kocsi elé, és úgy közlekedett, sőt ez szórakozást is jelentett, ahogy a római kocsiversenyek tanúsítják. Ezeknek a járműveknek már jóval fejlettebb a kereke: a küllő feltalálásával könnyebbé, de ugyanakkor erősebbé vált a kerék. A küllők helyettesítették a fakerék tömör belsejét, és hamarosan fémből, vagy legalábbis fémmel megerősítve készült a külső rész is.

Érdekes megjegyezni, hogy az ősi amerikai kultúrák, az inkák és az aztékok lemaradtak a kerék feltalálásáról. Részben talán elszigeteltségük miatt, az inkák esetében pedig a hegyvidékes táj lehetett az oka, amely nem igazán alkalmas arra, hogy kerékkel közlekedjenek. Létezik néhány régészeti lelet: gyermekjátékok kerékszerű alkotóelemekkel, de az a meggyőződés tartja magát, hogy csak a 16. században a spanyol hódítókkal és a lovakkal együtt érkezett el Amerikába a kerék gyakorlati felhasználása.

A kerék fejlődésének következő lépése még hasznosabb volt az emberiség haladása szempontjából. A forgási jelenség mélyebb megértése vezetett ahhoz a felismeréshez, hogy a kerék segítségével munkavégzés is lehetséges. Mezopotámiában és Núbiában régészeti maradványok igazolják, hogy öntözési célra vízikereket használtak. A keréken lévő kanalak a víz alatt megteltek, és amikor a kerék tengelyénél magasabbra értek, a víz az öntözendő területhez vezető csatornába ömlött. Ezt a technológiát néhol még ma is alkalmazzák, a kerék forgatását állati vagy emberi erővel oldják meg.

Nem sokkal ezután megjelent a fordított alkalmazás is. A folyóból vizet kimerve felismerték, hogy a folyó sodra önmagában is képes a kereket mozgatni.
I.e. 200-300-ból korai kínai leletek azt mutatják, hogy gabona-magvak őrlésére vízierőt használtak fel. Az épület külső oldalán kiálló tengelyre szerelték fel a kereket úgy, hogy egy része alámerüljön a folyóba. A tengely belső végén volt található az őrlőkő, amely egy rögzített kőmedence tetején őrölte meg a gabonát.

A rómaiak az i.e. első és az azt követő századokban tudományos szintre fejlesztették ezt az elgondolást. Gyakran említenek egy történelmi anekdotát, amely a rómaiakkal és a vízikerék alkalmazásával kapcsolatos. A történet szerint, amikor az i.sz. 6. században a vizigótok körbevették Rómát, a várost ellátó vízvezetékeket lezárták. Ekkor a rómaiak vízikerekeket függesztettek fel két hajóra, melyeket pillérekhez horgonyoztak a Tiberis folyón, éppen ott, ahol a folyó leszűkült és gyorsabb folyású lett. Az ostrom alatt lévő várost a vízikerekek a folyóból kiemelt vízzel látták el, és ez a módszer olyan sikeresnek bizonyult, hogy a középkori Európa más városaiban is alkalmazták.

A legnevezetesebbek a Temzén, a London Bridge boltívei közé elhelyezett vízikerekek. A tervezés során az volt a célkitűzés, hogy óránként több mint százezer gallon vizet 120 láb magasba juttassanak fel, ez abban az időben hatalmas mérnöki kihívást jelentett. A városatyák először vonakodtak megadni az engedélyt, de a vállalkozó bemutatta, hogy az elképzelés működik: egy vízsugarat lövellt át a közeli templomtorony fölött.

Végül megkötötték a szerződést, és a 16. század második felében megépültek a kerekek. A vizet a már korábban meglévő vízvezeték-csöveken keresztül osztották el; ezeket századokon át használták a város ellátására, csak más forrásokból nyerték a vizet. 1666-ban, a nagy londoni tűzvész során elpusztultak a kerekek, de később újjá lettek építve, és még a 19. században is működtek. Egy igazán látványosan hosszú-életű római találmány a szükségből erényt kovácsolt.

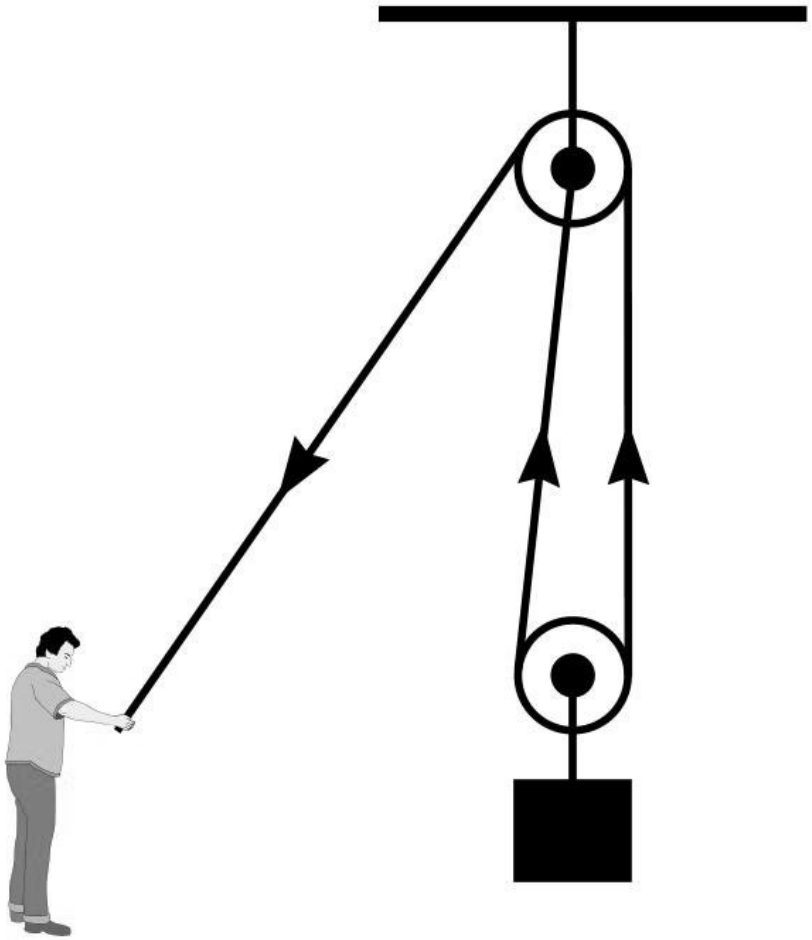
A forgási jelenség első gyakorlati alkalmazását továbbiak követték. Úgy tűnik, amikor az emberek felismerték a mozgást és annak jelentőségét, egyre több és több alkalmazást hoztak létre. Az ókori mérnökök hasonlóan gondolkodtak, mint modern követőik. Az emberi természetnek megfelelően a forgási jelenség hamarosan utat tört magának a hadviselés területére is. Már korábban is alkalmaztak kereket a harci szekereken, és a csapatok felszerelését szállító járműveken, azonban a radikális továbblépés Archimédesz nevéhez fűződik, aki az i.e. 3. században élt Szirakuza görög városban, és az első gépészmérnöknek tekinthető.

Archimédesz i.e. 287-ben született, és 212-ben halt meg szülővárosát védelmezve. Élettörténete elveszett, ezért nem ismerjük a részleteket. Azonban a matematika, a fizika és a mérnöki tudományok területén elért eredményei máig fennmaradtak. Jól ismerjük a gömb és a henger térfogatára vonatkozó számításait, valamint a folyadékban úszó testekkel kapcsolatos törvényét. A leglátványosabb eredményeket azokban a mérnöki munkáiban érte el, ahol a forgási jelenséget alkalmazta.

Az emelő elvének segítségével hajítógépeket épített, amelyek köveket és gyújtószerkezeteket dobtak a támadó rómaiak hajóira. Kifejlesztett egy csigarendszert is, amely lehetővé tette, hogy egyetlen ember mozgasson meg hatalmas súlyokat. Ma ezt az elvet az általános iskolában tanulják, és jól tudjuk, hogy minél nagyobb a kötelek száma, annál kisebb húzóerőt kell kifejteni.

Az 1.1 ábrán bemutatott esetben a tárgy felemeléséhez szükséges erő a tárgy súlyának a fele. Archimédesz azt is felismerte, hogy ezért az előnyért cserébe hosszabb úton kell elhúzni a kötelet. Az ábrán látható rendszernél a tárgy elmozdulási távolságának a kétszerese lesz a kötél végét húzó ember elmozdulása. Ez az energia-megmaradás elvének egy korai felismerése.

Egy fennmaradt anekdota szerint Archimédesz egymaga saját kezűleg húzott ki a partra egy elfogott római hajót a gépe segítségével. Állítását, hogy „adjatok egy pontot, ahol megvetem a lábam, és elmozdítom a Földet” a történettudomány feljegyezte, ez tanúsítja, hogy mennyire bízott a fizikában.



1.1 ábra Archimédesz csigája

Archimédesz egyike volt azon tudósoknak, akik elsőként vizsgálták a könyv borítóján is látható spirális matematikai görbék tulajdonságait. A modern matematikában az egyik ilyen görbét róla nevezték el archimédeszi spirálnak. Ez egy pont mozgása segítségével írható le: a pont a középpontból indulva állandó sugárirányú sebességgel mozog, és ugyanakkor állandó szögsebességgel forog. Ez utóbbi téma a

későbbi fejezetekben a bolygók mozgásánál lesz nagy jelentőségű.

Archimédesz felismerte a spirális alak és a fizikai forgás közötti kapcsolatot, ez vezette őt ahhoz, hogy az ősi vízikeréknél fejlettebb vízkiemelő szerkezet kifejlesztésére törekedjen. Egy cső belsejébe helyezett egy csavart – a ma használt csavarokhoz hasonlót, csak kissé mélyebb csavarmenettel – amely szorosan illeszkedett, de azért lehetővé tette a csavar forgását. Ha a csövet vízbe merítette, és a csavar forgott, ez a cső felső vége felé emelte a vizet. Általában a cső tetején kiömlő vizet egy másik csőben vezették tovább a földekre, vagy a fürdőházakba.

Azt, hogy a görögök idején voltak fürdők, megőrizte az anekdota is, amely Archimédesz felhajtóerővel kapcsolatos felfedezését meséli el. A történet szerint, amikor rájött a törvényszerűségre, kiugrott a fürdőmedencéből és meztelenül rohant végig Szirakuza főutcáján, kiáltozva „Heuréka!”, vagyis „Megtaláltam!”.

A csavar-szerkezet valóban rendkívüli, mivel előállításához nem szükséges nagy pontosság. A csavar felülete egyszerű csigavonal, amely úgy keletkezik, hogy egy henger köré csavarjuk a spirált. Ha a csavar és a cső nem is illeszkedik elég szorosan és a víz visszacsorog a fal mentén a következő fordulatig, de fokozatosan halad felfelé.

Egy módosított változatban ez nem fordulhat elő, mert a csavart szilárdan a cső falához erősítik, és együtt

forgatják. A cső és a csavar felülete közötti térben fokozatosan emelkedik fel a víz.

Az archimédeszi csavar hengerbe rögzitett változatát fordított módon is alkalmazták: a tetején vizet öntöttek bele, és a csavar a csővel együtt a lefolyó viz hatására forgott. Ez a forgás összeköthető egy eszközzel, így született az első mechanikus generátor.

Archimédesz a forgási jelenség megértésében jóval megelőzte korát. Azok közé tartozott, akik elsőként hittek abban, hogy a Föld gömbölyű – ez a téma vitákat váltott ki már az ókorban is.

2. fejezet

Gömbölyű Föld

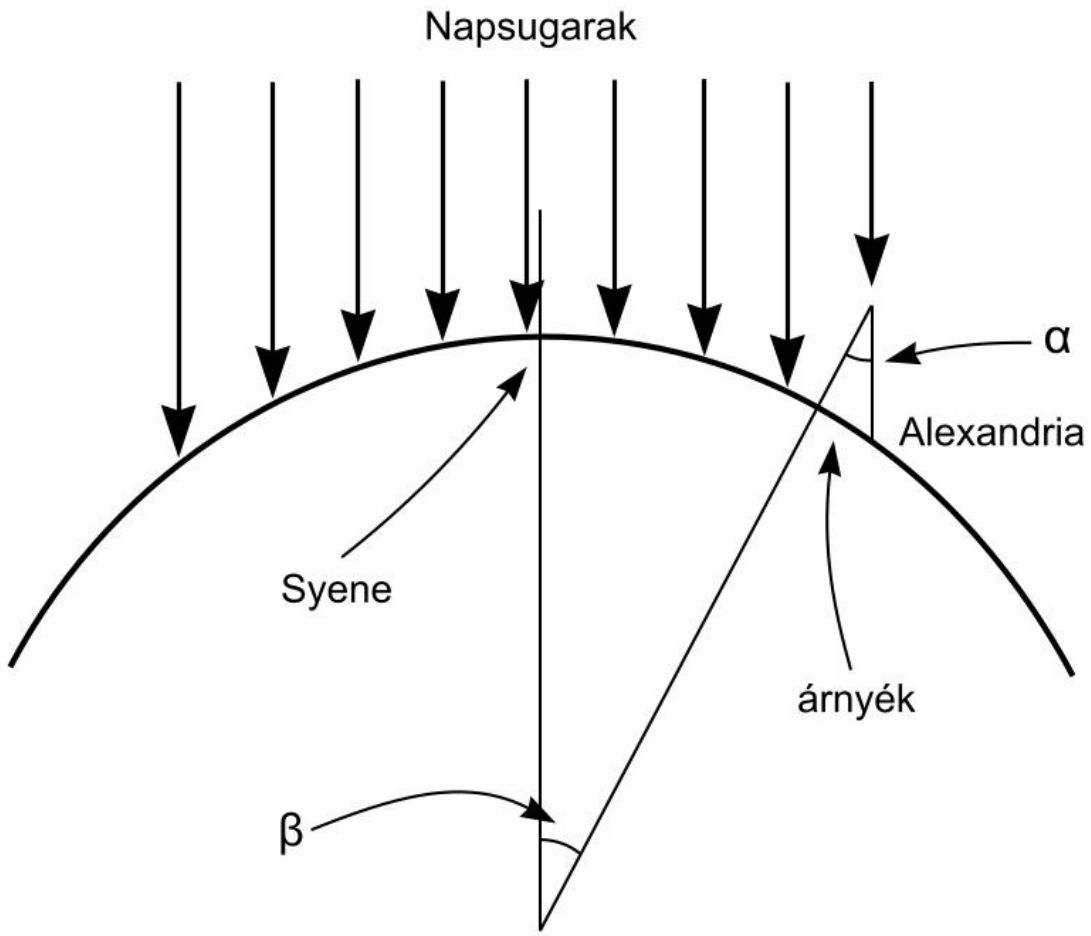
Az ókori görög tudósok Archimédeszhez hasonlóan a Földközi-tenger szigetein, vagy a tengerparti városokban éltek, és jól ismerték azt a jelenséget, hogy a hajók fokozatosan tűnnek el a horizonton. Először a hajó teste tűnik el, de a vitorlák még látszanak egy ideig, azután azok is a láthatár alá merülnek. Fordított esetben, a kikötőhöz közeledve először a vitorlák és a hajó felső része jelenik meg, végül a hajótest is láthatóvá válik. Helyzetüktől függően a tudósok a napfelkeltét, vagy a naplementét is megfigyelték a tengeren. Azok számára, akik értelmezni próbálták a jelenségeket, ezek a megfigyelések arra utaltak, hogy a Föld gömbölyű. Hosszú idő telt el, amíg ez általánosan elfogadott nézetté vált, és még ma is akad, aki tagadja, hogy a Föld gömbölyű.

Az i.e. 3. században az alexandriai Eratoszthenésznek köszönhető az első tudományos magyarázat. Mint a korabeli tudósok általában, ő is polihisztor volt: több tudományágban járatos. Értett a csillagászathoz, matematikához, földrajzhoz, sőt a filozófiához is. Az alexandriai könyvtárat vezette, amely minden bizonnyal a kor legnagyobb gyűjteményének adott otthont.

Írásos emlékek szerint hallott arról, hogy a délen fekvő Syene városban június 21-én délben egy függőlegesen leszúrt pálcának nincs árnyéka. Ez a nap a nyári napforduló, amelyet a korabeli csillagászok jól ismertek. Syene városa – a mai Asszuán – a Ráktérítőn fekszik, tehát a Nap pontosan felülről süt azon a napon. Azt is megfigyelte, hogy ugyanezen a napon Alexandriában keletkezik árnyéka a botnak. Egyetlen magyarázatnak azt vélte, hogy a Föld gömbölyű kell legyen.

Eratoszthenész egy kísérletet is kigondolt a Föld kerületének megmérésére, amely a 2.1 ábrán látható. Feljegyzések szerint felbérelt egy embert, aki elgyalogolt Alexandriából Syene-be, és megmérte a két város távolságát. Mai mértékegységben kb. 800 kilométer lett az eredmény. Eratoszthenész megmérte az Alexandriában leszúrt bot árnyékának a hosszát is június 21-én, és ebből kiszámította, hogy az ábrán α-val jelölt szög durván 7 fok, vagyis a 360 fokos kör kb. 1/50 része.

Az elemi geometria tanítása szerint az α és β szög egyenlő, ezért a két görbe oldalú háromszög hasonló. Így az Alexandriában mért árnyék hossza és a Syene-től mért távolság aránya megegyezik a bot hosszának és a Föld sugarának arányával. Ebből kiszámította, hogy a Föld sugara (mai mértékegységben) kb. 6400 kilométer, és a Föld kerülete az Alexandria-Syene távolság durván 50-szerese, azaz 40000 kilométer.



2.1 ábra Eratoszthenész kísérlete

Ez a kiszámított érték nagyon közel áll a ma ismert pontos mérethez, ez egy 2300 évvel ezelőtti meglepő emberi teljesítmény.

Felfedezése csakhamar széles körben ismertté vált a Földközi-tenger vidékén, és időszámításunk kezdetére a Földet már majdnem mindig mint glóbuszt ábrázolták. Ez a felfedezés az égi megfigyelések egészen új magyarázatát tette lehetővé, és hirtelen más keretek között tekintettek azokra.

Mellékesen a Föld gömb alakjára vonatkozó nyilvánvaló bizonyíték és annak széleskörű elfogadása nem oszlatott el minden kétséget. Hihetetlen, de vannak emberek, a lapos-Föld hívei, akik egészen az új évezred kezdetéig kitartottak a tagadás mellett. Nem győzte meg őket a Föld kör alakú árnyéka sem a Holdon. A Földet lapos korongként írták le. A kör alakú árnyékot azzal a feltevéssel magyarázták meg, hogy a Nap éjjel a korong síkja alá süllyed.

A Föld felületének ismert adatait olyan leleményes módon átrendezve írják le, hogy egy rövid kitérőt megér. A meggyőződés kiteljesedett formája szerint az Északi sarok a Föld-korong középpontja, a világrészek egymáshoz képest az ismert módon helyezkednek el, de a Föld kerületét a Déli sarok jéghegyei alkotják.

Kell némi képzelőerő, hogy követni tudjuk ezt a gondolatmenetet, de tekintsük egy kis gyakorlásnak. 1522-ben, harminc évvel Kolumbusz amerikai útja után Magellán Föld körüli hajóútját a lapos-Föld hívők a rájuk jellemző találékony módon magyarázták. Elképzelésük szerint egy sziget körülhajózásához hasonlított. Leszögezték, hogy csak kelet-nyugati irányban lehetséges körbehajózni, észak-déli irányban nem, mert akkor a hajó leesne a Föld szélén, feltéve, hogy átjutott a jeges tengereken és a jéghegyek akadályain. Szerintük valójában a jéghegyek abból a különös célból vannak ott, hogy megvédjék a leeséstől az oda merészkedő bolondokat.

A lapos Földről szóló tévhit olyan erősen jelen volt még a 19. századi Angliában, hogy a valaha volt egyik

leghíresebb tudományos fogadáshoz vezetett. A fogadásban Alfred Russel Wallace, egy alacsony származású autodidakta brit természettudós is érintett volt. Wallace szegény családban született és csak elemi iskolát végzett. Serdülő korától kezdve dolgozott, de iskolaévei alatt gyakran járt tudományos múzeumokban, és soha nem adta fel álmát, hogy tudós váljék belőle.

Végül lehetősége nyílt, hogy egy botanikus társaság számára példányokat gyűjtsön Kelet-Indiában. A holland felségterülethez tartozó Ternate szigetén dolgozott, és magyarázatot lelt a fajok fejlődésére. Elméletét transzmutációs elméletnek nevezte, és egy levélben leírta Charles Darwinnak, kora legismertebb angol természettudósának. Arra kérte Darwint, hogy mutassa be elméletét az akadémiai társaságnak. Ami ezután következett, az eléggé homályos, és többféleképpen értelmezhető.

Darwin abban az időben állitólag ugyanezen az elméleten dolgozott, de publikálásával késlekedett. Akadémiai barátai egy éven át visszatartották Wallace írását, ez alatt Darwin befejezte saját kéziratát, és sietve kiadta. Egyes beszámolók szerint Wallace levele tartalmazta azt a hiányzó ötletet, melyet Darwin saját megfigyelései magyarázatához keresett. Más feljegyzések szerint Darwinnak volt néhány megválaszolatlan kérdése, és csak egy lökés hiányzott műve befejezéséhez, hogy az elsőségre igényt tarthasson.

A jóindulatú Wallace elismerte Darwint, de ma sokan az evolúciós elmélet felfedezésében Darwin mellé helyezik

Wallace-t. Érdekes, hogy később a híres és gazdag Darwin pénzügyi segítséget nyújtott a megélhetésért küzdő Wallace-nak. Sosem fogjuk megtudni, hogy Darwin csak barátilag segített, vagy talán bűntudata volt. Wallace-t jóindulata ösztönözte, hogy részt vegyen a lapos Földről szóló fogadásban is.

A fogadást egy keresztény filozófus, John Hampden, a lapos-Föld elvének fő támogatója kezdeményezte. A lapos-Föld híveinek többsége mereven ragaszkodott a Biblia tanításához, és vallásosságuk erősen motiválta őket. Azonban a képzett Hampden, aki Oxfordban tanult, elhatározta, hogy bibliai nézeteit tudományos módon bizonyítja be. 1870 januárjában 500 fontos fogadást javasolt korának vezető publikációjában, a Scientific Opinion-ban. A fogadás célja volt, hogy hétköznapi módszerrel, a tudományban járatlan közember számára is érthetően igazolja, hogy a Föld gömbölyű.

A legtöbb tudományos társaság nevetségesnek tartotta a fogadást, az országban majdnem mindenki semmibe vette, de Wallace vállalta a kihívást. Azt állította, hogy a népnek tesz szolgálatot vele, és a társadalom érdekében cselekszik. A nagy összegű díj is vonzó lehetett számára, ha figyelembe vesszük, hogy ekkor már visszatért Angliába, és családja eltartásához nem rendelkezett biztos akadémiai állással. Mivel nem volt egyetemi végzettsége, ez nem meglepő; és az emberek nem ismerték még fel, hogy hozzájárult Darwin elméletéhez, ezt sokan ma is csak vonakodva fogadják el.

Wallace természetesen ismerte azt a jelenséget, amelyet minden hajós és tengerparti nép ismer, hogy az óceán felszíne görbül, és a hajók fokozatosan tűnnek el a láthatár alá. Egy szárazföldi kísérletet gondolt ki, hogy ugyanezt a jelenséget láthatóvá tegye.

A régi Bedford-csatornára esett a választása, amely egy nyílegyenes mesterséges csatorna Bedforshire-ben, és annak egy 6 mérföldes nyílt szakaszára, ahol két híd között zavartalan volt a kilátás. Wallace kiszámította, hogy 6 mérföldes távolságban látható lesz a Föld görbülete. Minden egyes mérföldnél hosszú póznákat helyezett a vízbe, amelyekből pontosan 6 láb hosszú rész volt a víz felett. A póznákon minden egyes láb látható jelet kapott. Azt remélte, hogy a görbület észrevehető lesz, ha távcsövön át nézi a bejelölt cölöpöket.

Úgy is történt, a kísérlet szerint a középső oszlop 4 lábbal magasabban volt, mint a két hídnál elhelyezett első és utolsó pózna, ehhez igazították a távcsövet a „lapos” Föld bemutatására. A második és negyedik póznán is látszott a megfelelő magasságkülönbség. Minden racionális elme és a jelenlévő bíró is elegendőnek találta a bizonyítékot. Wallace bebizonyította, hogy a Föld gömbölyű, és a bíró neki ítélte a fogadási összeget.

Ami ezután következett, az a lapos-Föld filozófia híveinek irracionális hajlamát igazolja. Hampden nem csak, hogy fogadta el a bizonyítást, hanem azt állitotta, hogy bizonyítást nyert a Föld lapos volta. Tovább harcolt, még Wallace családját is megfenyegette. Emiatt

börtönbe került, végül teljesen kegyvesztetté vált. Élete végéig nyomorgott, de soha nem adta föl meggyőződését, hogy a Föld lapos. Folytatva Hampden keresztes hadjáratát, Angliában megalakult a Lapos-Föld Társaság, amely később a fellengzős Világ Társaság nevet kapta.

A filozófia napjainkban is továbbél. Legutóbbi megnyilatkozása a Nemzetközi Lapos-Föld Kutató Társaság, amelyet egy kaliforniai házaspár szervezett és vezetett. Ironikus, hogy éppen Palmdale-ben, az Edwards légi bázis közelében éltek, ahol az űrkompok landolnak, miután befejezték keringésüket a Föld körül. A Társaság rendszeresen megjelenő újságját sok előfizető támogatta még az új évezred kezdetén is. Valóban egy hosszú életű téves meggyőződés.

Harmadik fejezet

Gördülő körök

Egy másik tartós téveszme az a nézet volt, hogy a Föld a világegyetem középpontja, függetlenül attól, hogy lapos-e, vagy gömbölyű. Az i. e. 1. évezredben néhány görög tudós azt a meggyőződést vallotta, hogy a Földnek középponti szerepe van. A körülöttünk lévő égitestek keringését pontosan följegyezték, kivéve néhány esetet, amikor is nevetséges magyarázatokat adtak.
Az arisztotelészi rendszerben – melynek névadója a kor leghíresebb filozófusa volt – a Föld körül 56 átlátszó koncentrikus gömb kering. A legközelebbi gömbön a Hold található, és mivel a bolygók bizonyos viselkedéseit nem tudták megmagyarázni, az indokláshoz gömbök sokaságára volt szükség.

Számos tetszetős érvvel támasztották alá ezt a nézetet. Ha a Föld mozgásban lenne, látnánk a csillagok relatív mozgását, melyet azonban nem érzékelünk. Azután ott volt az a meglehetősen nyilvánvaló tény, hogy arcunkon nem érezzük a Föld mozgása miatt keletkező légmozgást. A feltételezett kegyelemdöfést azonban az adta, hogy a Vénusz fényessége látszólag változatlan, ez pedig csak úgy lehetséges, ha a Vénusz kering a Föld körül. Természetesen az az egyszerű magyarázat nem merült fel még akkor, hogy a Vénusz a Földdel koncentrikus körön lévő belső bolygó. Elhalgatták azt is, hogy a Föld középpontú koncentrikus gömbök nem magyarázzák a különböző távolságokban mozgó bolygók fényerőváltozásait.

Az i. e. 3. században a görög Arisztarkhosz a szerzője az egyik legelső Nap középpontú világmagyarázatnak. Samos szigetén született és azzal vált híressé, hogy többször megkísérelte a Hold-Föld távolság lemérését. Fennmaradt könyvében, amely A Nap és a Hold méretéről és távolságáról címet kapta, heliocentrikus világképet mutat be. Arisztarkhosz mérései kissé pontatlanok, de az akkoriban rendelkezésre álló eszközöket figyelembe véve megközelítése és okfejtése megbízható.

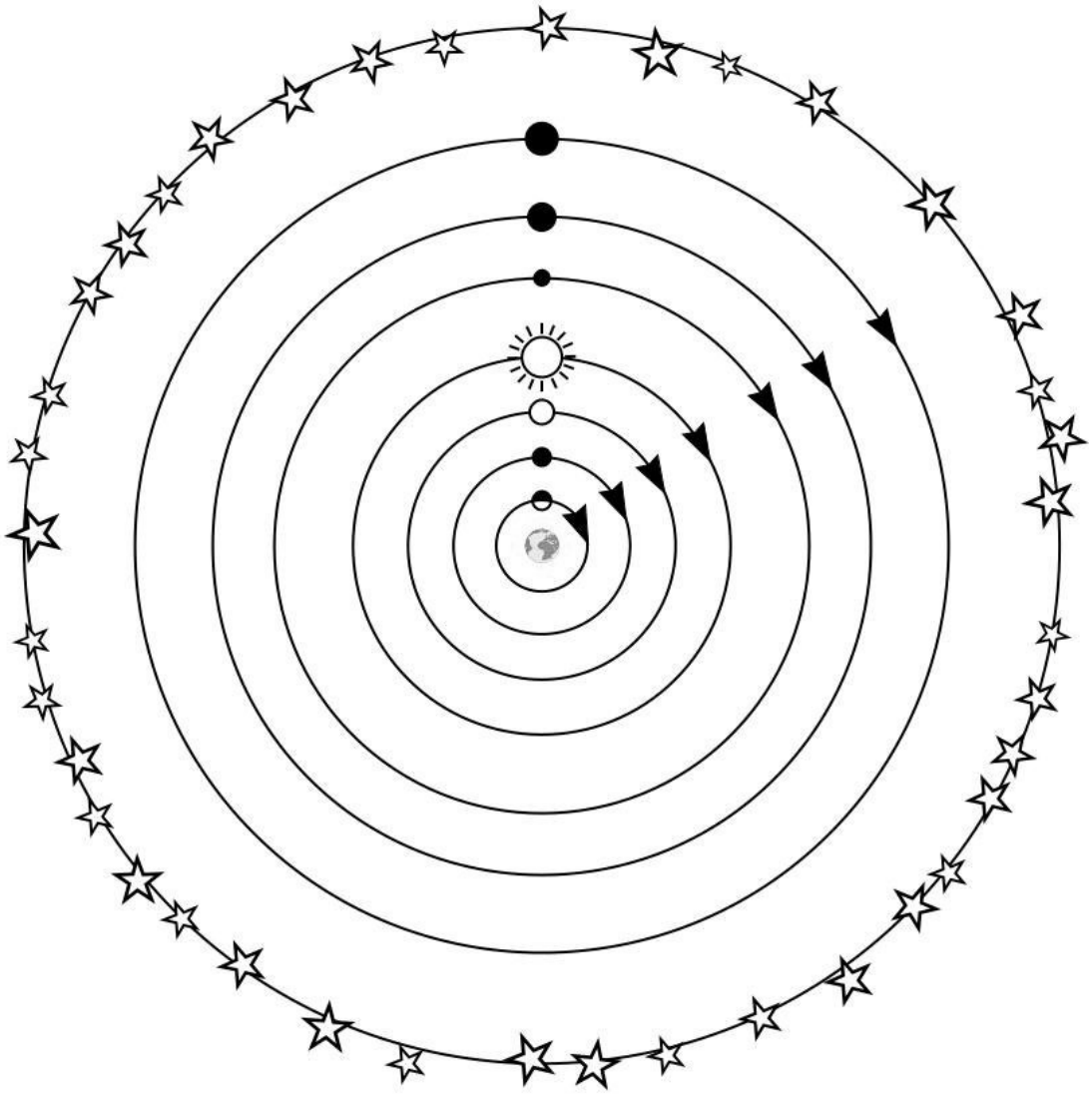
Felismerte, hogy a Földről nézve napfogyatkozáskor a Nap és a Hold ugyanabban a látószögben van, és helyesen következtetett arra, hogy méretük a távolságukkal arányos.
Kiszámította, hogy a Nap kb. hétszer olyan messze van, mivel átmérője hétszer nagyobb, mint a Holdé. Ez kevesebb, mint a ma ismert kb. 400-as érték, de hibátlan gondolatmenete szerint lehetetlen, hogy a jóval kisebb Föld körül keringjen a sokkal nagyobb Nap, méghozzá naponta egyszer. Így érkezett el a heliocentrikus nézethez.

Indoklása szerint azért nem látjuk egymáshoz képest mozogni a csillagokat, mert nagyon messze vannak, szemben a Föld és égi társainak megfigyelt mozgásaival. Megállapította, hogy a Nap is egy csillag, a hozzánk legközelebb eső. Valóban jó nyomon haladt, de úttörő heliocentrikus gondolkodásmódját életében nem fogadták el.

Az elkövetkező, vallási alapon indított középkori tudós-üldözések előzményeként őt is megvádolták, hogy megsértette a fennálló, filozófiailag megalapozott világképet. Nem világos, hogy folyt-e ellene bírósági eljárás, de számos kortársa nyilvánosan figyelmeztette. Voltak, akik csak azért utasították el a heliocentrikus rendszert, mert Arisztarkhosz nem tudta megmagyarázni a Vénusz és a Mars különös mozgásait.

A Föld-középpontú világnézet még századokon át uralkodott, és tovább erősödött Ptolemaiosz munkái révén. Claudius Ptolemaiosz római polgár volt, de görög, vagy más források szerint talán egyiptomi származású. Ptolemaiosz majdnem egy évezreden át visszavetette az emberiség felfedezéseit a minket körülvevő világról. Arisztarkhosz hipotézise ellenében, amely még nem volt bizonyított, Ptolemaiosz másképp győzte meg a világot.

Ptolemaiosz a 2. században „bebizonyította”, hogy az univerzum középpontja a Föld; magyarázata szerint a Nap, a többi bolygó és a csillagok koncentrikus gömbökön keringenek körülöttünk. Állítása szerint a gömbök kristályból vannak, mivel a gravitációról nem volt tudomása, ezért szükség volt valamire, ami fenntartja őket. Ptolemaiosz Almagest című műve általánosan ismertté vált, és akadémiai elismertsége miatt századokon át megőrizte tekintélyét.



3.1 ábra A ptolemaioszi modell

Világképe szerint az akkor ismert égitestek sorrendje, ahogy a 3.1 ábrán látható: a központi Földtől kifelé haladva Hold, Merkúr, Vénusz, Nap, Mars, Jupiter és Szaturnusz. Valamennyi az óramutatóval megegyező irányban kering. Figyelemre méltó, hogy bár a Földről azt feltételezte, hogy mozdulatlan, a Naprendszer többi része forgásban volt. Ez bizonyítja, hogy a forgómozgás

lényegi természetét, mely könyvünk kiindulópontja, már igen korán felismerték.

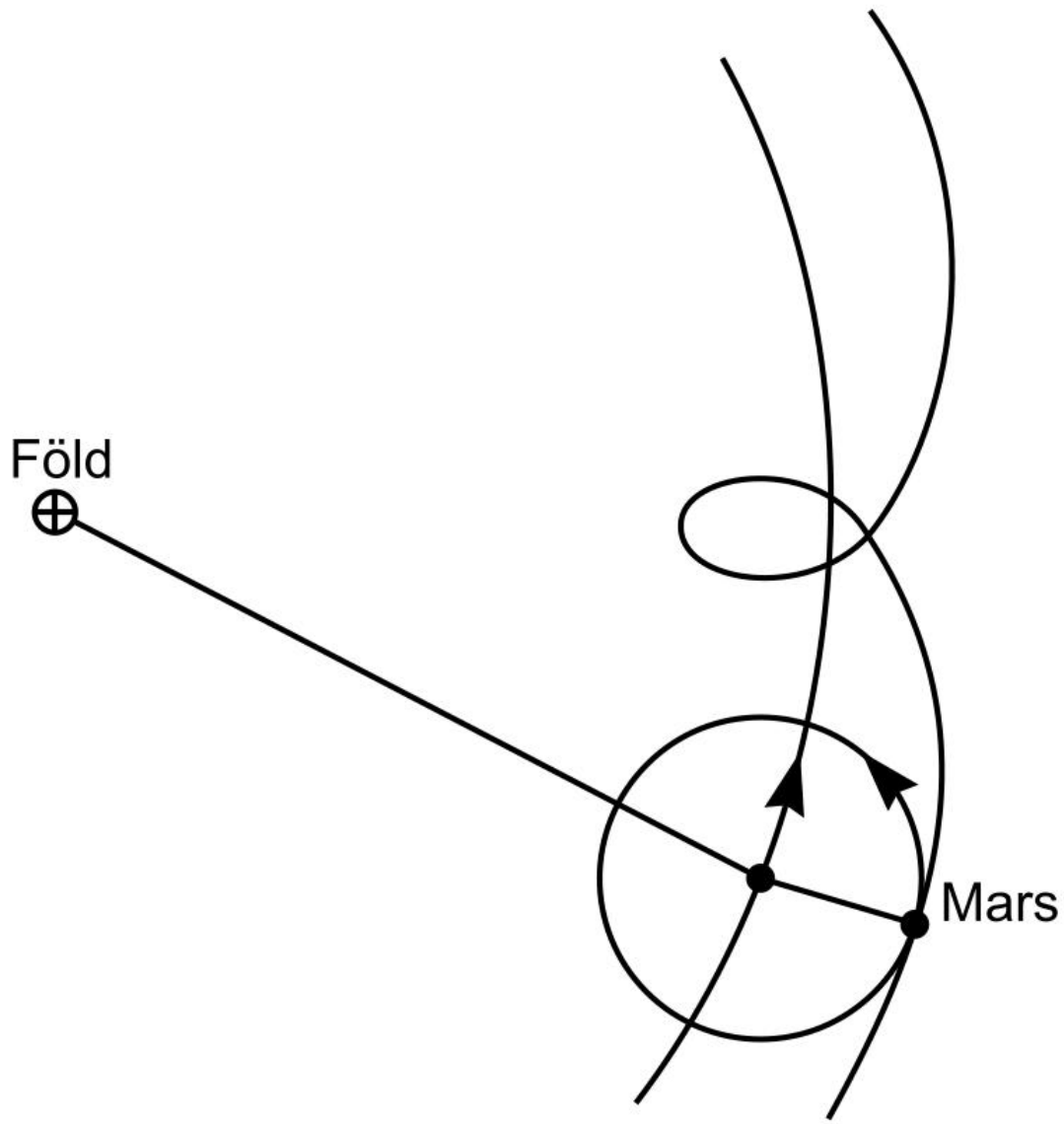
Ptolemaiosz természetesen észrevette, hogy az égitestek távolról sem tökéletes körpályán haladnak. Némelyik felgyorsulni, vagy lassulni látszik, sőt bizonyos szakaszokon visszafelé mozog. Ez komoly problémát jelentett a modellben és a Mars ú.n. retrográd mozgása szálka volt a szemében. Végül úgy magyarázta, hogy további kristály-gömböket vezetett be.

Az ötlet azon alapult, hogy a görög matematikusok erősen vonzódtak a körhöz, és a forgó körök nyomán létrejövő sokféle érdekes görbéhez. Egy síkon forgatva a kört, és bizonyos pontok mozgását megfigyelve sajátos görbét kapunk, melynek ciklois a neve. A kör vízszintes mozgásának és a forgó kör szögsebességének arányától függően a kör egy megfigyelt pontja más-más görbét ír le.

A görbék enyhén íveltek, amikor a kör egyenes vonalú sebessége a szögsebességhez képest nagy. Amikor az arány egy meghatározott érték: az egy teljes fordulat alatt végzett egyenes elmozdulás megegyezik a kör kerületével, akkor a görbék éles csúcsot írnak le. Végül, ha a forgás gyorsabb, mint az egyenes mozgás, akkor a görbéken kifejezett hurok keletkezik.

Ez utóbbi alak adta az ötletet Ptolemaiosz magyarázatához a megfigyelt jelenségre. Elképzelése szerint a Mars valójában egy kisebb kristálylabdán helyezkedik el, amely az éggömb nagy labdájának belsejében forog. Ez a 3.2 ábrán bemutatott mozgás

elég hihető. A nagy sugarú körív jelenti azt a kört, amelynek mentén a kisebb kristálygömb középpontja mozog. A teljes kis kör a kisebb kristálygömböt ábrázolja. E kör kerületén a Mars-pontot követve kapjuk a ciklois görbén leírt hurkos mozgást.



3.2 ábra A Mars ciklusai

Bár ez a magyarázat helytelen, Ptolemaiosz művelt csillagász volt. Megfigyeléseket végzett a csillagokról, feljegyezte fényességüket, sőt még bizonyos napfogyatkozásokat is előre megjósolt. Abban a korban teljesen természetes és általános nézet volt, hogy az égen megfigyelt szabályos mozgások középpontja a Föld. Ez jobban megfelelt annak a megfigyelésnek, hogy a Föld stabil és változatlan, szemben az éjjelente, vagy havonta változó égi jelenségekkel.

Azonban a gyakorlati megfigyelések nem voltak összhangban a kiszámított idővel. Ptolemaiosz soha nem tudta megmagyarázni az eltéréseket, azonban téves égi elképzelése még majdnem 1500 évig fennmaradt. De nemcsak Ptolemaioszt okolhatjuk ezért. Bizonyos mértékben a középkori katolikus egyházé a felelősség.

A bibliai teremtés-leírás tökéletesen összeillett a Föld-középpontú nézettel, ezért az egyház a végsőkig kiállt mellette. Ha elfogadták volna, hogy a Föld mozog, ezzel olyan egyszerű bolygóvá süllyesztetétk volna, mint a Mars, vagy a Vénusz. Így megszűnt volna a Föld isteni teremtésben elfoglalt középponti helye.

Ez bizonyosan nem lett volna a katolikus egyház tetszésére, így egészen az 1500-as évekig hűségesen védelmezték a ptolemaioszi világképet. A 16. század második felében véres harcok folytak a téma miatt , ezek betetőzése Giordano Bruno máglyahalála volt 1600-ban.

Giordano Bruno felszentelt pap volt, így nézeteit az egyház még súlyosabb istenkáromlásnak tekintette. A

heliocentrikus világképen kívül hitet tett amellett, hogy az univerzum végtelen, és lehetséges más világok létezése.

Abban az időben az egyház ezt teljesen elutasította, azonban a tudományos igazságot nem lehetett feltartóztatni és éppen egy másik egyházi ember adta meg a forradalmi téma végső megoldását.

4.fejezet

Forgó világ

Nicolaus Kopernikusz 1473-ban született Lengyelország északi részén. Ő tett pontot a világ közepéről szóló viták végére, bár majd 100 évig tartott, mire teljesen elfogadták világképét. Az 1490-es években a Krakkói Egyetemen tanult, majd az 1500-as évek elején Olaszországban folytatta a tudományok és az orvoslás tanulmányozását. Amikor visszatért Lengyelországba, nagybátyja vette a szárnyai alá, aki a katolikus egyház legészakibb egyházmegyéjében, Frauenburgban volt püspök. 1511-ben unokaöccsét kanonoknak nevezte ki, és Kopernikusz egészen haláláig, 1543-ig töltötte be ezt a tisztséget.

A kanonoki állásban eltöltött három évtized lehetővé tette számára, hogy elmélyült kutatásokat végezzen az égitestek mozgásáról, különösen a ptolemaioszi modell, és a Mars pályájának eltérései területén. Kopernikusz felfedezte, hogy ha a Föld helyett a Napot helyezi a középpontba, hirtelen számos tény a helyére kerül. A bolygók megfigyelt mozgása illeszkedik a modellhez, és nincs szükség kiagyalt módosításokra.

A történet érdekes lábjegyzete, hogy a nyugodt egyházi hivatalnok munkája elveszhetett volna, ha Georg Joachim Rheticus, a Wittenbergi Egyetem fiatal német

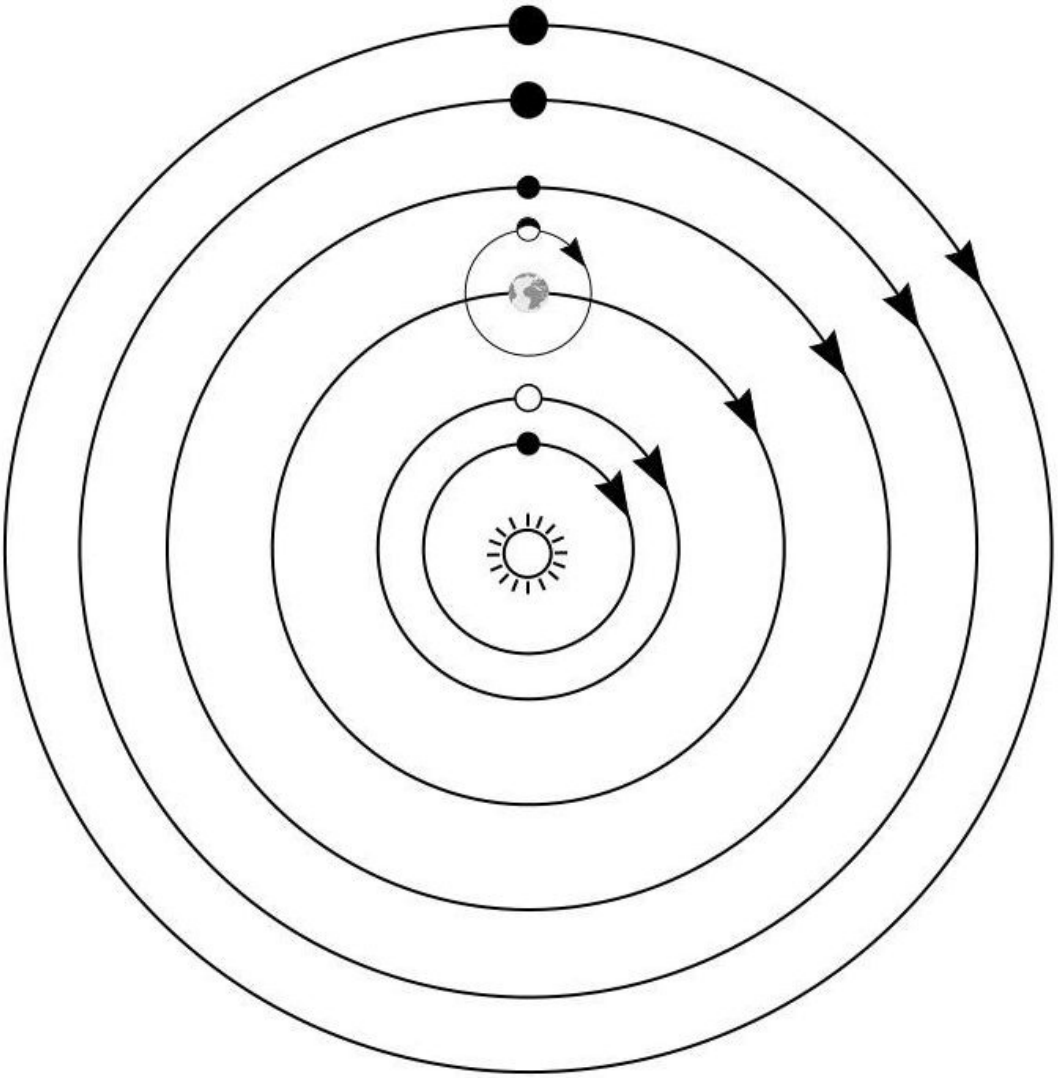
professzora nem pártolta volna lelkes érdeklődésével. Az 1530-as évek végén Rheticus híresztelések alapján értesült a lengyel kanonok úttörő munkájáról, és 1539-ben néhány hétre elutazott hozzá látogatóba. Kopernikusznak soha nem volt tanítványa, mivel nem volt kapcsolata az egyetemekkel, de örömmel fogadta a fiatal tudóst, és Rheticus néhány hetes látogatásából két év lett.

Ez idő alatt Rheticus teljesen megértette és nagyra becsülte Kopernikusz munkáját, és arról is meggyőzte, hogy adja ki a művet. A kéziratot 1541-ben Rheticus magával vitte Nürnbergbe, és előkészítette a nyomtatáshoz. A technológia miatt abban a korban ez rendkívül időigényes volt, és csak 1542 végére lett kész. Végül 1543-ban tért vissza Kopernikuszhoz, aki már halálán volt, csak arra várt, hogy láthassa élete művét nyomtatásban, mielőtt meghal. A könyv címe De Revolutionibus Orbium Coelestium, szabadon lefordítva ”az égitestek keringései”, és kiadásának éve megegyezik szerzője halálának évével.

Kopernikusz világképe a 4.1 ábrán látható. A sorrend most a következő: Nap, Merkúr, Vénusz, Föld (körülötte kering a Hold), majd a külső bolygók: Mars, Jupiter és Szaturnusz. A többi bolygót még nem ismerték. Érdemes megjegyezni, hogy az ő rendszerében az állócsillagok már nem a legkülső körön, hanem az univerzumban véletlenszerűen elosztva helyezkednek el.

A világkép megbízhatóságát nagymértékben fokozta, hogy egyszerű magyarázatot adott az Esthajnalcsillag rendszeres esti feltűnésére. Természetesen ez abból

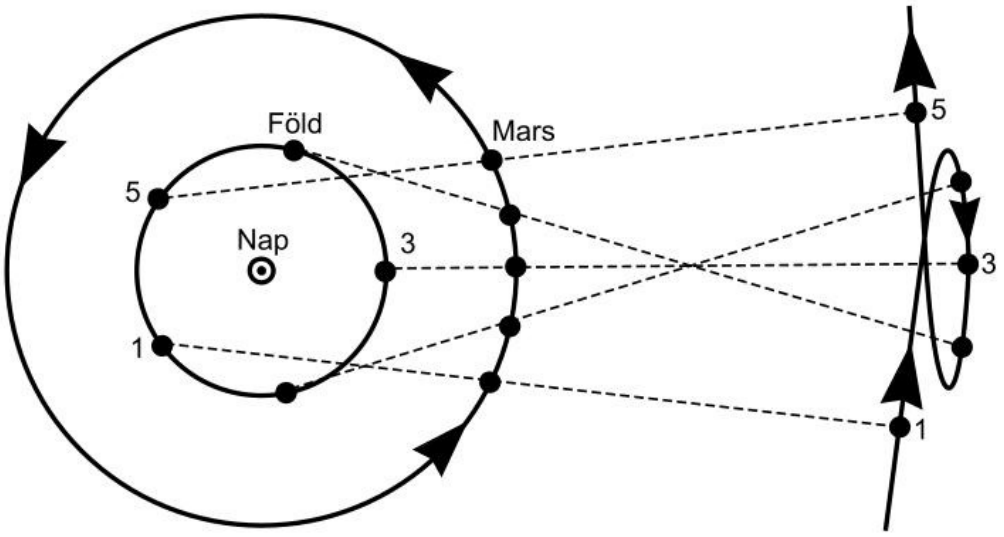
következik, hogy a Vénusz egy belső bolygó, amely közelebb van a Naphoz, mint a Föld.



4.1 ábra Kopernikusz modellje

A modell közvetlenül, a ptolemaioszi epiciklikus eszköz nélkül megoldotta a Mars hátrafelé mozgásának kérdését is, lásd a 4.2 ábrát.

Az ábrán világosan látszik, hogy egymáshoz képest a Mars és a Föld különböző helyzetei hozzák létre a látszólagos hátrafelé mozgást. Mivel a Föld közelebb van a Naphoz, mint a Mars, az ösztönösen elvárt dolgokkal ellentétes, ami történik. Amikor a Föld az 1. helyzetben van, a Mars irányában tekintve az égen az 1. pontban látjuk a Marsot.



4.2 ábra A Mars retrográd mozgása

Amikor a 3. ponton áthaladunk, elhagyjuk a Marsot, mivel a Föld egy beljebb lévő pályán mozog, ezért úgy tűnik, hogy a Mars visszafelé halad. Az 5. ponthoz érve a Mars már újra előrefelé mozogni látszik, amíg egy újabb ciklus be nem fejeződik.

Ironikus, de a kopernikuszi modell sem oldotta meg teljes mértékben a Mars retrográd mozgását. Miközben

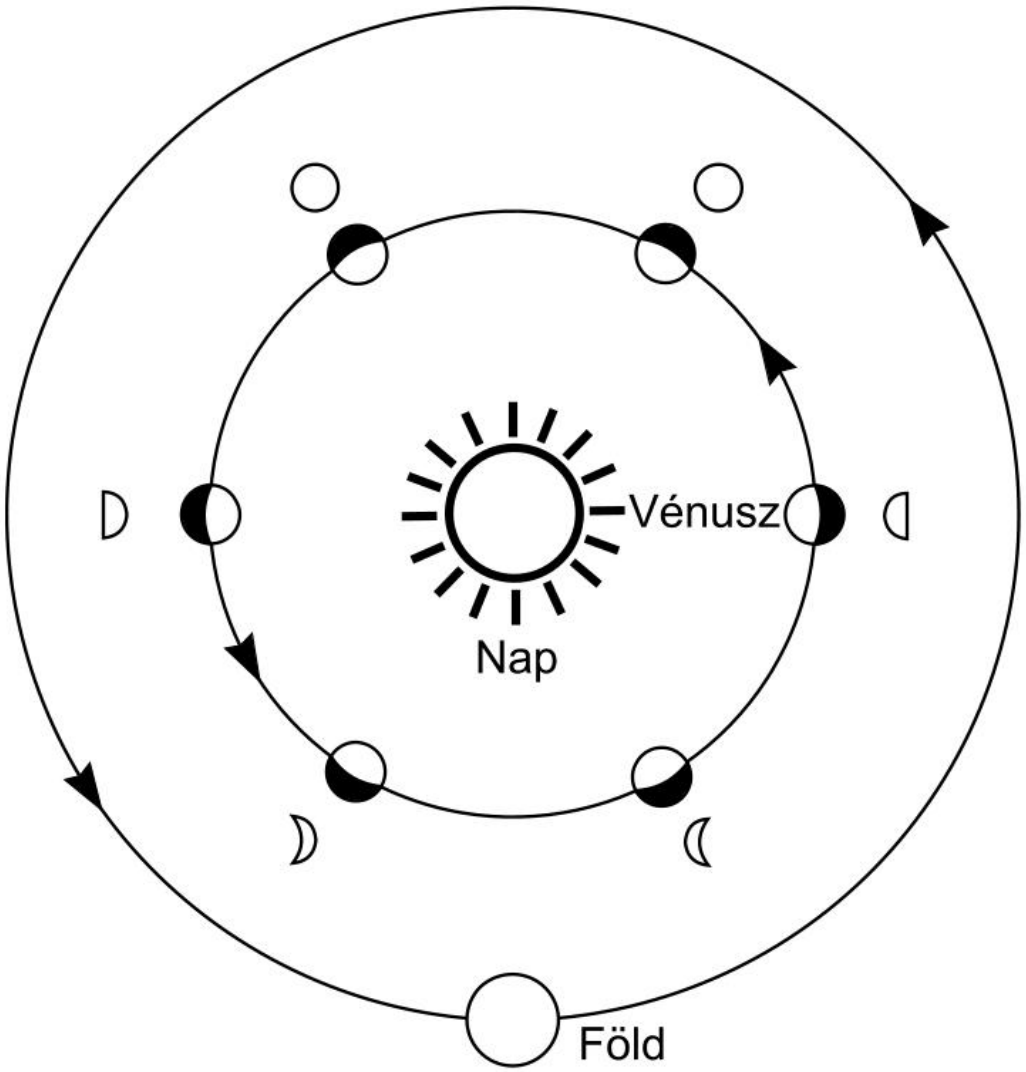
a ma már nyilvánvalóan helytelennek tekintett ptolemaioszi modellben a Mars a megfigyelt pozíciója elé került, Kopernikusz modelljében pedig késésben volt. A kopernikuszi modell elfogadása ezen a végső eltérésen múlt.

Galileo Galilei vezető szerepet játszott a kopernikuszi modell elfogadtatásáért vívott küzdelemben. Galilei 1564-ben született, és gyakran a „modern csillagászat atyjának” nevezik. Pisában született, nevelkedett és tanult, kivéve azt a néhány serdülőkori évet, melyet a család költözése miatt Firenzében töltött. A Pisai Egyetemen - apja kérését teljesítve - orvosi tanulmányokat végzett, de saját érdeklődését követve matematikával is foglalkozott. Végül éppen matematikai katedrát kapott az egyetemen. Három év múlva a Paduai Egyetemre ment, ahol két évtizedes gyümölcsöző munkája során számos híres megfigyelést végzett.

Galilei, - aki korának vezető csillagásza, és minden idők talán legtekintélyesebb tudósa lett – távcsővel vizsgálta az égi jelenségeket. Elbeszélések szerint csak hallomásból ismerte a távcső elvét, és ennek alapján építette meg saját műszerét. Távcsöve 20-szoros nagyítást adott, ezzel az égbolton addig nem látható objektumokat is megfigyelhetett. A távcsövön a rekeszt is szűkíteni lehetett, így a nagyon fényes égitesteket tisztábban tanulmányozhatta. Galilei elsőként állíthatta: ”Látni annyi, mint hinni”.

Az 1610-es évek elején megfigyeléseket végzett a Jupiterről és felfedezte, hogy négy hold kering a Jupiter

körül. A holdakat a Medici-család tagjairól nevezte el, Galilei tudományos munkáját ez a nemes család támogatta. Megfigyelései azt is bebizonyították, hogy a Hold kering a Föld körül, még akkor is, ha a Föld kering a Nap körül. Galilei 1610-ben adta ki könyvét, melynek címe Sidereus nuncius, azaz Csillagos Hírnök, és amely máról-holnapra tudományos szenzáció lett az akkori információ-áramlás korlátozott sebessége ellenére.



4.3 ábra A Vénusz fázisai

A következő két évtizedben folytatta csillagászati megfigyeléseit. A Vénusz fázisait is feljegyezte, ez a 4.3 ábrán látható, és összhangban áll a heliocentrikus felfogással. Galilei felismerte, hogy ha a Vénusz Föld körüli körpályán haladna, akkor a Vénusz fázisváltozásai nem felelnének meg a tapasztalatoknak. A Vénusz tehát nem keringhet a Föld körül, ezzel a Vénusz fázisai megcáfolták a ptolemaioszi elmeletet.

Ezt a tényt a kopernikuszi világkép végső bizonyítékának tekintette. 1632-ben jelent meg könyve Párbeszéd a két fő világrendszerről címmel, és ezzel magára vonta a katolikus egyház haragját. Eretnekséggel vádolták, mint Giordano Brunot, de a pápához fűződő személyes kapcsolata miatt életben hagyták. A pápa enyhítette az ítéletet: élete utolsó évtizedét házi-őrizetben töltötte, és nézeteit meg kellett tagadnia.

Azonban nemcsak a vallási ellenvetés miatt telt ilyen sok időbe, mire elfogadták a gondolatot, hogy a Föld kering a Nap körül. Az intuíció is ellene szólt. Az emberek úgy vélték, hogy ha egy torony nyugati oldaláról ledobnak egy súlyt, az a faltól messzebb fog leérkezni a Föld forgása miatt. Megfordítva, a keleti oldalon ledobott tárgy a falnak fog ütközni. Mivel egyik jelenség sem következett be a gyakorlatban, tovább tartotta magát az a hiedelem, hogy a Föld mozdulatlan.

Galilei 1642-ben halt meg, és a 17. század végére széles körben elterjedt a Föld mozgását valló elképzelés. Azonban a Vatikán csak további 300 évvel később ismerte el hivatalosan, hogy az egyház tévedett

Giordano Bruno és Galilei esetében. II. János Pál, a nem-olasz pápa kinevezése után elismerte „az akkori teológusok hibáját”. Nyilatkozatában kiemelte a Galilei elleni eljárást, mint az egyik, az inkvizítorok buzgósága miatt elkövetett hibát.

A Mars mozgásában fennmaradt eltérés, a modellekhez képest látható késés oka nem a Nap-középpontú kopernikuszi modell, hanem az, hogy a szóban forgó pályák nem körök – ezt a tényt csak egy évszázaddal később ismerték fel.

5.fejezet

Elliptikus pályák

Johannes Kepler 1571-ben született Németországban, és Maulbronn város protestáns iskolarendszerében nevelkedett. Később a Tübingeni Egyetemen tanult, az volt az elképzelése, hogy pap lesz. A csillagászat azonban jobban érdekelte, és megismerkedett az akkor radikálisnak számító kopernikuszi nézetekkel. Pappá szentelése előtt elfogadott egy középiskolai matematika-tanári állást Grazban, Ausztriában, ezért néha osztráknak tartják.

A csillagászat és a matematika iránti kettős érdeklődése miatt egy megegyezést vélt felfedezni a Földön kívüli öt bolygó és az öt szabályos poliéder létezése között. Abban az időben az ismert öt bolygó: Merkúr, Vénusz, Mars, Jupiter és Szaturnusz volt. A szabályos testek határolólapjai szabályos sokszögek, mint a közönséges kocka, más néven hexaéder esetében négyzetlapok. További szabályos testek a tetraéder, az oktaéder és az ikozaéder, melyeknek rendre 4, 8, illetve 20 szabályos háromszög oldala van. Az ötödik a dodekaéder, ezt 12 ötszög lap határolja. Kepler úgy képzelte, hogy a két tény között valódi összefüggés áll fenn, és az univerzumban az ismert bolygók az egymásba ágyazott szabályos testekben helyezkednek el.

Ma már természetesen tudjuk, hogy ez nem így van, azonban tudományos körökben figyelmet kapott a munkája, és 1599-ben a híres dán csillagász, Rudolf

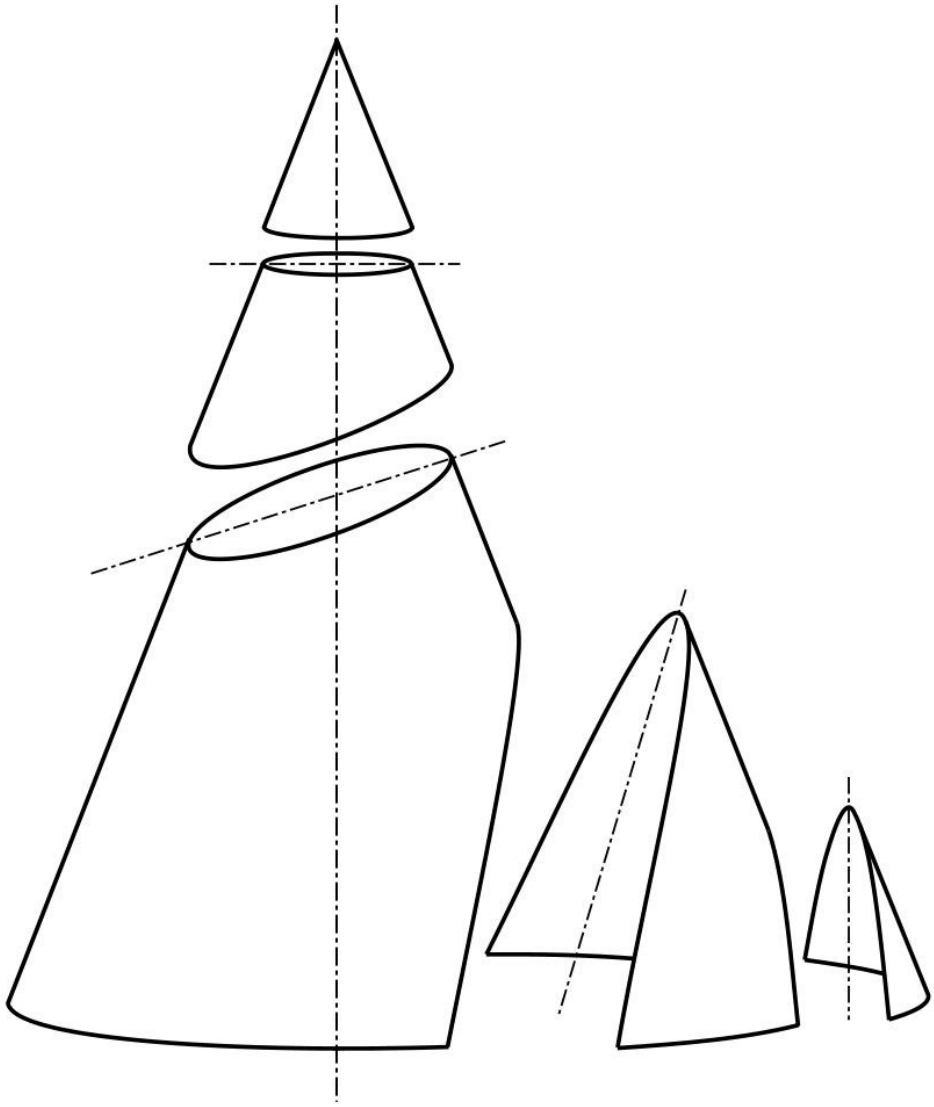
német császár udvari csillagásza Tycho Brahe meghívta magához Prágába. Brahe fényes karrierje során rengeteg csillagászati megfigyelést halmozott fel, de emellett vagány személyiség volt. Párbajba keveredett , és majdnem belehalt egy kard vágta sebbe. Saját hipotézist állított fel Naprendszerünk elrendezéséről.

Ez a máskülönben keményfejű és agresszív személy ebben az esetben Ptolemaiosz és Kopernikusz nézetei közötti kompromisszumot hozott létre. Az is lehet, hogy ravaszul bírálta a társadalmat, és tudatosan nem vétett a politikai korrektség ellen. Brahe megtartotta a Földet a világegyetem középpontjaként, a Nap keringett a Föld körül, ezáltal lecsillapította a vallási hatalmakat. Azonban furfangos módon a többi bolygót Nap körüli pályára helyezte. Pontos megfigyeléseire ez jobban illeszkedett anélkül, hogy a papság haragját felkeltette volna.

Brahe meglehetősen rendetlen volt, és Keplert azért hívta meg, hogy a megfigyelések rendszerezésében segítsen neki. 1601-ben, két évvel Kepler érkezése után Brahe hirtelen meghalt túlzásba vitt lakomázás következtében (az emberiség egy másik régi jellemző vonása), és Keplert nevezték ki királyi csillagásznak. Örökölte Brahe életet során összegyűjtött megfigyeléseit, és ez lett a Marsról végzett munkájának alapja.

Brahe égi modellje sem oldotta meg a kopernikuszi elképzelés Mars-problémáját, ahogyan Kopernikusz sem tisztázta teljesen a ptolemaioszi kép Mars-mozgását, de a megfigyelési adatok Kepler számára lehetővé tették az érvényesülést. Évekig dolgozott ezen

a témán, amíg ráébredt, hogy mindhárom univerzum-modell közös alapfeltevése hibás. Mindnyájan azt feltételezték, hogy a bolygók körpályán mozognak állandó sebességgel, és a mozgás középpontja vagy a Föld (Ptolemaiosznál), vagy a Nap (Kopernikusz és Brahe modelljében). Mindenki tévedett!



5.1 ábra Kúpszeletek

Kepler felismerte, hogy a bolygók pályája nem kör, hanem ellipszis, melynek egyik fókuszpontjában van a Nap. Már az ókori görögök is jól ismerték az ellipszist, mint geometriai alakzatot, a kúpszeletek osztályának egyik tagját. Ezeket a görbéket úgy kaphatjuk meg, hogy egy kúpot (mint például a fagylalttölcsér) különböző irányokban metszünk el egy síkkal.

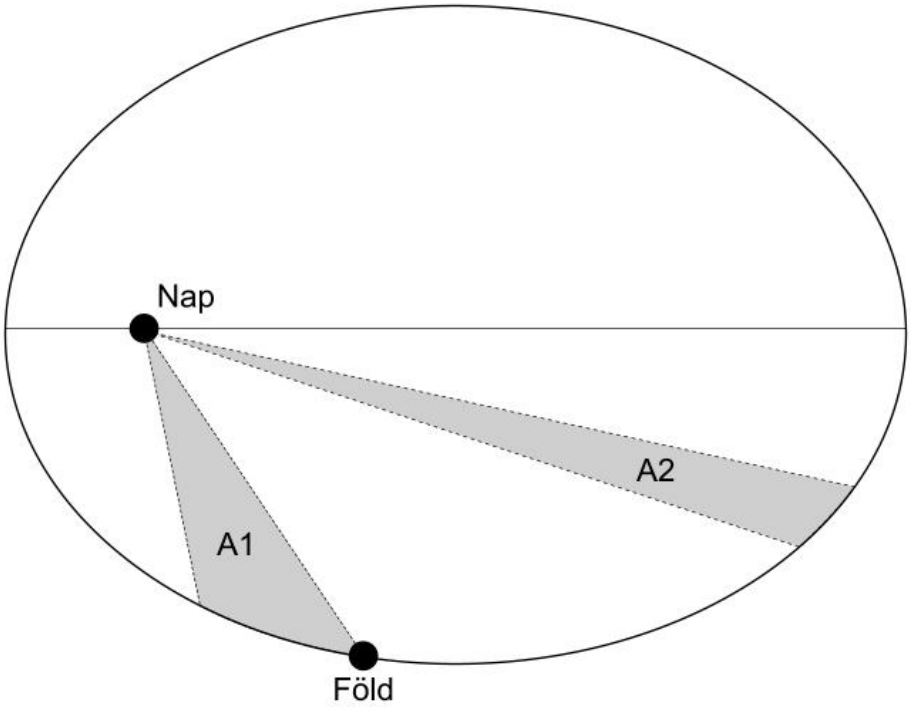
Ha egy kúpot a tengelyére merőleges síkkal vágunk át, kör keletkezik, míg ha kissé ferde a sík, akkor nyújtott kör-alakot, azaz ellipszist kapunk. Ha tovább fordul a sík, kétféle görbe: parabola és hiperbola jön létre, melyeknek a későbbiekben lesz jelentősége a bolygókkal kapcsolatban. Az 5.1 ábra szemlélteti a metszési síkokat, és a keletkező görbéket.

Kepler ellipszisei összhangban álltak a Nap körül keringő bolygók kopernikuszi nézetével, mivel a kör az ellipszis speciális esete. A kérdéses ellipszisek majdnem kör alakúak, legalábbis a belső bolygók esetében. Ez a megkülönböztetés nagy jelentőségű, főleg a Mars esetében.

A Marsról - amely egy évezreden át annyi fejtörést okozott, Ptolemaioszt és Kopernikuszt is aggasztotta -, kiderült, hogy az ellipszispálya két tengelyének aránya 0,9956. Azaz a tengelyek csaknem egyformák, tehát a pálya majdnem kör, de ahhoz elég elliptikus, hogy a korábbi modellek pontatlanul írják le. Végül Kepler a De

Stella Martis című könyvében magyarázta meg helyesen a Mars mozgását.

Már csak egy valami nyugtalanította Keplert: a különböző bolygók látszólag egyenlőtlen ciklusai egy keringés alatt. Feltette a kérdést: Miért gyorsulnának és lassulnának?



5.2 ábra Kepler törvényei

Kepler számításai alapján arra a következtetésre jutott, hogy keringés közben a bolygók területi sebessége állandó. Ez azt jelenti, hogy az 5.2 ábrán A1 és A2-vel jelölt részek területe egyenlő. Amikor az ellipszis kerületén fekete ponttal jelölt bolygó ahhoz a fókuszponthoz jár közelebb, amelyikben a Nap helyezkedik el, akkor gyorsabban halad, és a Napot a

bolygóval összekötő szakasz szélesebb sávot ír le, viszont a közelség miatt rövidebb ez a szakasz. Másrészt, amikor a bolygó a pálya Naptól távolabbi részén mozog, az összekötő szakasz jóval hosszabb, viszont a súrolt terület keskenyebb. De a két terület nagysága megegyezik. A távoli oldalon a keringési sebesség kisebb. Kepler zsenialitását jelzi, hogy csupán megfigyelések alapján felismerte ezt az összefüggést, melyet ma Kepler második törvényének hívunk.

Kepler arra is magyarázatot adott, hogyan lehet a különböző bolygóknak más-más elliptikus pályája a Nap körül. Felismerte, hogy a Naprendszerben kissé eltérő pályasíkokon mozognak a bolygók, így békésen keringhetnek a Nap körül.

Kepler Astronomia Nova című könyvében publikálta új világfelfogását a 17. század első évtizede végén. Nem meglepő, hogy a kor tudósai elutasították. Először is, a kör olyan gyönyörű szimmetrikus, vajon Isten miért teremtett volna csúnya, lapított köröket? Sőt, a Brahe megfigyelései miatt immár vitathatatlanná vált elliptikus mintát egyesek újra megpróbálták Ptolemaioszhoz hasonlóan körökkel és cikloisokkal magyarázni. Csak Newton bizonyítja majd be, hogy Keplernek igaza volt.

Kepler azt is megfigyelte, hogy a Naptól távolabb lévő külső bolygók elnyújtott ellipszis pályán és nagyobb sebességgel keringenek. Ez a megfigyelés vezetett harmadik törvényéhez, amely szerint egy bolygó keringési idejének négyzete a bolygó Naptól mért középtávolságának harmadik hatványával arányos. A középtávolság azt jelenti, hogy a bolygó Naphoz

legközelebbi (perihélium) és a legtávolabbi (afélium) távolságát átlagoljuk.

A törvény szerint egy Nap körül keringő bolygó keringési idejének négyzete: KD^3 , ahol D a középtávolság és K az ún. Kepler-állandó, amely a bolygó tömegétől függ. K értéke a Föld esetében $4{,}03\ 10^{-29}$. A Föld középtávolsága a Naptól körülbelül 150000000km, vagyis $1{,}5\ 10^{11}$ méter. A képletbe helyettesítve a gyök alatti érték $13{,}3\ 10^4$ nap, amelyből a jól ismert 365 napos keringési időt kapjuk meg.

Bolygó	Távolság	Periodus
Merkúr	0.387	0.241
Vénusz	0.723	0.616
Föld	1	1
Mars	1.524	1.88
Jupiter	5.203	11.9
Szaturnusz	9.539	29.5
Uránusz	19.191	84.0
Neptunusz	30.071	165.0
Plútó	39.457	248.0

5.1 Táblázat

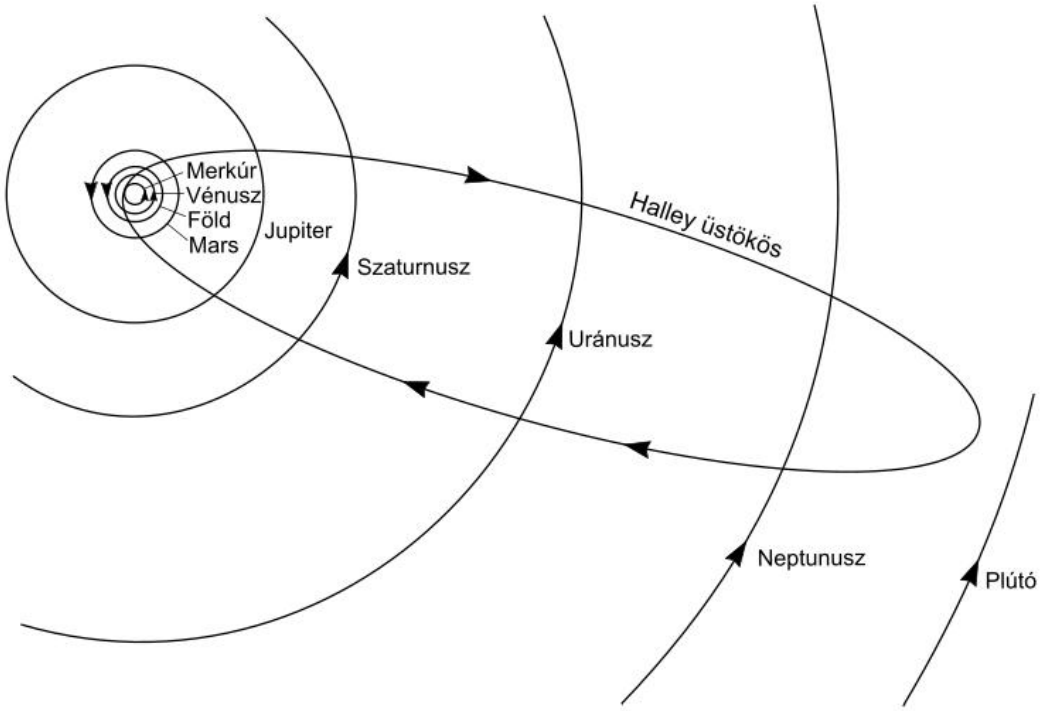
Az 5.1 Táblázatban Naprendszerünk ma ismert bolygóinak Naptól mért középtávolságát és a harmadik Kepler törvény képletével kiszámított keringési idejét soroljuk fel. Az értékeket a Föld mozgásához képest normalizálva adjuk meg. A keringési időt években, a távolságot a Föld középtávolságában, mint csillagászati egységben mérjük. Naprendszerünk ellipszisei valóban hatalmasak!

Kepler törvényét a Marsra vonatkoztatva, ahol K=3,95 10^{-29} és a Naptól mért középtávolság 225000000 km, a keringési idő 684 nap lesz. A következő bolygó a Naprendszerben a Jupiter, melyre K=3,98 10^{-29} a konstans értéke, de több mint ötszörös a középtávolság. A Jupiteren ezért meglehetősen hosszú egy év: 433 napból áll.

A külső bolygókra vonatkozó távolság- és időadatok zavarba ejtőek. Például az 5.1 Táblázatban a Neptunusz középtávolsága nagyjából harmincszorosa a Földének, a keringési ideje 165 földi év. Szegény Plúró még messzebb van, és a legújabb bolygó-meghatározási szabványok szerint már nem is bolygó, ezért eltávolították a Naprendszer planétái közül.

Az elnyújtott elliptikus pályák legszembetűnőbb megjelenései az üstökösök. Ezt Edmund Halley angol csillagász majd 100 évvel Kepler után fedezte fel. 1656-ban született, jómódú családja lehetővé tette, hogy tudományos érdeklődését kibontakoztassa, különösen a csillagászat területén. Középkori leírásokból tudta, hogy Naprendszerünkben a bolygók pályájához képest igen meredek szögben időnként feltűnnek fényes, gyorsan mozgó égitestek, amelyek azután örökre eltűnnek.

Halley felismerte, hogy ezek a feljegyzések talán egy bizonyos, szabályos időközönként megjelenő égitest mozgását írják le, amelynek nagyon hosszú a keringési ideje – ez egy üstökös. Az üstökös feltűnt 1682-ben, és Halley alaposan megfigyelte.



5.3 ábra A Halley-üstökös

Megjósolta, hogy az üstökös1758-ban újra megjelenik majd, amikor ő 102 éves lesz. Az ilyen jóslatokat nem vették komolyan, csak azután, hogy tényleg feltűnt az égen, ahogy Halley előre megmondta. Ezért az égitest megkapta a Halley-üstökös nevet.

Az üstökös pályája az 5.3 ábrán látható, körülbelül 76 év alatt írja le az elnyújtott ellipszis pályát. Amikor a Naptól legtávolabb van, az afélium helyzete kb. 5,3 milliárd km, majdnem eléri a Plútó pályáját. Perihéliuma pedig csak kb. 90 millió km a Naptól, a Vénusz pályájánál is közelebb kerül a Naphoz. Ez az elliptikus pálya-tengely különösen hosszú, gyakorlatilag a Naprendszer sugarával megegyező, főleg, ha figyelembe vesszük,

hogy a Plútó most már nem tartozik a bolygók családjába.

Kepler zseniális megfigyelései és matematikai értelmezései nem terjedtek ki arra, hogy a mozgások okát megfejtse. „Mágneses” kapcsolatot feltételezett a bolygók és a Nap között, de ez csak bizonytalan meggyőződés volt. Az igazi megértés Halley barátjának, Isaac Newtonnak a nevéhez fűződik.

6. fejezet

Repülő bolygók

A gravitációt, mint alapvető jelenséget először Newton ismerte fel, és értelmezte. Az emberiség korai időszakában a gravitációt nem ismerték, és részben ez okozta, hogy vonakodtak a Föld gömb-alakját elfogadni. Mivel nem tudtak a gravitációs hatásról, ésszerű érvnek tűnt, hogy a déli félgömbről leesnének az emberek.

Isaac Newton, minden idők legbefolyásosabb tudósa Angliában született, egy lincolnshire-i farmon 1642 végén, abban az évben, amikor Galileo Galilei meghalt. Úgy tűnik, mintha a tudomány két óriása átadta volna egymásnak a történelmi stafétabotot. Newtont kamaszkoráig nagyanyja nevelte, majd nagybátyja lépteit követve 18 éves korában Cambridge-be ment. Hamar kitűnt csodálatos tehetségével a tudományok és a matematika területén. A Bachelor fokozat megszerzése után hazatért és két évig egyénileg folytatott elmélyült tanulmányokat.

Egyik életrajzírója szerint Newton egy este a családi ház mögötti almáskertben teázott. Felfigyelt arra, hogy egy alma leesett és tompa puffanással földet ért. Ekkor ébredt rá, hogy egy titokzatos erő húzta az almát a talajra, és ez az erő az almafánál is továbbterjed, valószínűleg eléri a Holdat is. Felismerte, hogy ez az erő mindenre hat, beleértve saját testünket is.

Newton visszatért Cambridge-be, és több évtizeden át dolgozott több tudományterület megalapozásán, legfontosabb ezek közül a mozgás és a gravitáció fizikája. Gravitációs törvénye szerint két test, melyeknek tömege M és m, a távolságuk R, vonzást gyakorolnak egymásra, és ez az erő

$$G\ M\ m\ /\ R^2$$

ahol G az univerzális gravitációs állandó, egy nehezen mérhető, kicsiny mennyiség: $6{,}6\ 10^{-11}$ ha a tömeget kilogrammban, a távolságot méterben mérjük, az erő egységét newtonban kapjuk meg. Figyelemre méltó, hogy ez az állandó az egész univerzumra vonatkozik, és bármely két tömeg esetén alkalmazható. Képzeljük el, hogy M a Föld tömege, és m az alma tömege, ekkor az erő leírja a lehulló alma jelenségét. Érdekes módon a képlet nem szól a tárgyak térfogatáról, vagy alakjáról, ez rokonszenves, de nehezen elfogadható tény.

Newton magyarázata szerint egy tárgy tömege meghatározza a tehetetlenségét, ezzel az érdekes témával a későbbi fejezetekben foglalkozunk.
Ha egy tárgynak kétszer akkora a tömege, mint egy másiknak, akkor ez kétszer olyan nagy erővel áll ellen a mozgásnak. Ez a megfigyelés vezetett Newton második mozgástörvényéhez, mely szerint egy tárgy mozgatásához szükséges erő arányos a tömeggel és a gyorsulással, ez a híres képlet F = m a.

Newton felismerte, hogy a Naprendszer minden egyes tagja saját gravitációs mezővel rendelkezik, amely hatással van a környezetében lévő többi objektumra.

Természetesen az erő a tömegközéppontok közötti távolság négyzetével csökken, és minél nagyobb a tömeg, annál nagyobb az erő. De Newton legfőbb és legfontosabb felismerése, hogy a bolygók a gravitációs erő miatti mozgásban vannak!

Newton általános gravitációs törvénye egyszerűsödik, ha egy a Föld felszínén lévő testre alkalmazzuk, mivel ekkor a távolság a Föld sugara. Ha bevezetjük a gravitációs gyorsulás fogalmát

$$g = G\,M / R^2$$

akkor a Föld gravitációs vonzását a testre, amelyet a súlyának is nevezünk, a $W = m\,g$ jól ismert képlet adja meg. Ez az alak összhangban van Newton fenti második mozgástörvényével.

Tegyük fel, hogy egy ember tömege 100 kg; a Föld gravitációs gyorsulása 9,81 m/s^2 , ekkor az ember súlya $m\,g = 981$ kg m/s^2 azaz newton (a méteralapú mértékrendszerben).

Ha az angol mértékegységeket részesítjük előnyben, akkor a Föld gravitációs gyorsulása 32,2 $láb/s^2$. A 200 font tömegű személy súlya így 6440 font $láb/s^2$ – ez a számérték eléggé szokatlan. Szembesültünk az angol rendszer kétértelműségével: a font mint tömeg és a font mint erő különböző egységek.

Valójában a mindennapi életben a súlyon a tömeget értjük. Ha egy font lisztet vásárolunk, és az üzlet polcán a csomagoláson 0,45 kg olvasható, akkor az angol font

egysége a tömegre vonatkozik. Máskülönben helytelen lenne az összefüggés. Tehát ha a fürdőszobai mérlegre állunk, annak ellenére, hogy a súlyunkat méri, a tömegünket mutatja. A 200 font kb. 90 kg-nak felel meg.

A 6.1 Táblázat a Naprendszer tagjainak gravitációs gyorsulását növekvő sorrendben mutatja be, az első oszlop az abszolút értékeket m/s^2-ben, a második oszlop a legkisebb égitesthez, a Holdhoz viszonyított relatív értékeket tartalmazza.

Objektum	Abszolut	Relativ
Hold	1.63	1
Merkur	3.70	2.27
Mars	3.73	2.29
Vénusz	8.87	5.44
Uránusz	9.01	5.53
Föld	9.81	6.02
Szaturnusz	11.19	6.87
Neptunusz	11.28	6.92
Jupiter	25.93	15.91
Nap	274.1	168.2

6.1 Táblázat

A táblázatból kiolvasható, hogy ugyanaz a személy miért kisebb súlyú a Hold felszínén, mint a Földön. A Holdon a gravitációs gyorsulás a földinek majdnem egyhatoda. A múltbeli szemcsés filmfelvételen láthattuk, ahogy a Holdra szállásnál az űrhajósok bemutatták ezt: hatalmas szökdécseléssel megdöntötték a földi távolugró

világrekordot. Hogy a Holdra érvényes világrekordot is megdöntötték-e, erre a kérdésre még nincs válasz.

Az, hogy a súlyunk egy erő, a gravitációs gyorsulásból következik. A gravitációs gyorsulás lényegében a tárgyra ható gravitációs mező ereje. Azt mutatja, hogy a Föld felé eső test sebessége milyen mértékben növekszik. Newton elődje, Galileo Galilei - egy korábbi fejezet főhőse -, az 1600-as évek elején a pisai ferde toronyból hajtotta végre egyik híres kísérletét.

Galilei bemutatta, hogy ha ledob a torony tetejéről egy fából és egy vasból készült azonos alakú golyót, azok egyszerre érnek földet. Ebből arra következtetett, hogy szabadesésnél a testek gyorsulása állandó, feltéve, hogy ugyanolyan alakúak, és nem lép fel jelentős légellenállás. De a miértre nem tudott magyarázatot, és a kérdés évtizedekig foglalkoztatta a tudósokat, amíg Newton meg nem adta a helyes választ.

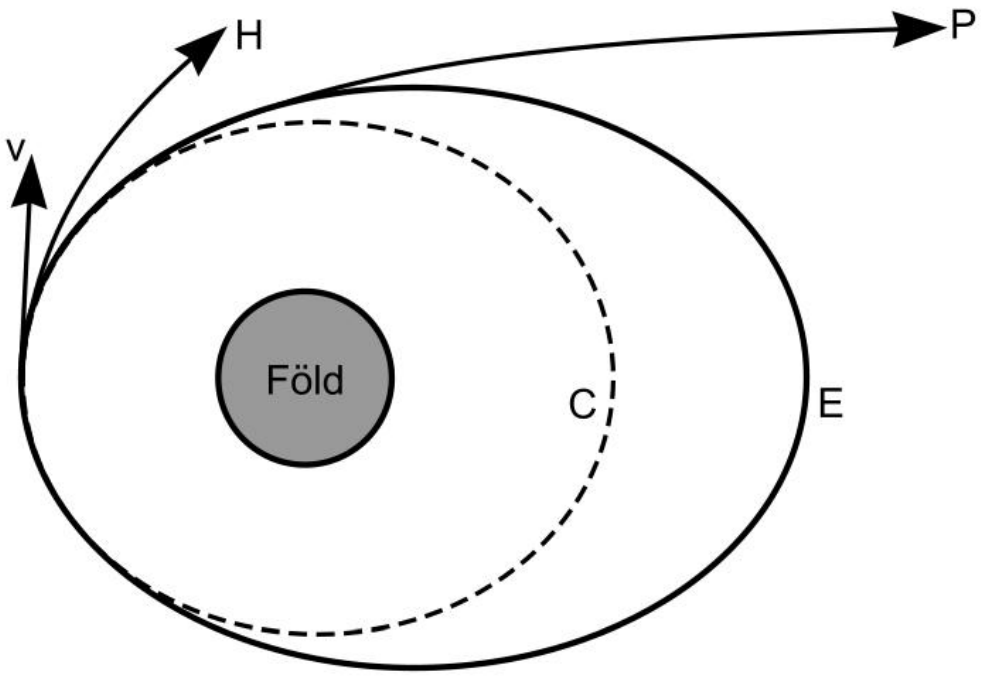
A gravitáció a legfőbb akadály, amikor a Földet elhagyva az űrbe lépünk. Például óriási energia kell, hogy az űrsikló felemelkedjen a Földről. Azonban az objektum tömegétől független az a sebesség, amelynél a tárgy kiszabadul a bolygó gravitációs mezejének határán. Minél nagyobb a tömeg, annál több energia szükséges, hogy a tárgy felgyorsuljon és elérje a szökési sebességet, de a kívánt sebesség mindig azonos.

Pontosabban a szökési sebesség a gravitációs mezőben álló helyzetben lévő tárgy kezdősebessége. A Föld felszínén mérjük, feltételezve, hogy a tárgy elhagyja bolygónkat. Átlagosan a Földre vonatkozó szökési

sebesség körülbelül 11,2 km/sec, ami megfelel kb. 7 mérföld/másodperc -nek. Ez a sebesség kb. 10-szerese egy jó puskából kilőtt golyó sebességének. Világosan látszik: rendkívül jó puskára van szükség, hogy a Föld gravitációs mezejéből kilőjünk valamit.

A szökési sebesség értéke azt feltételezi, hogy a tárgyat a Földről sugárirányban lövik fel, és az legyőzi az előtte lévő gravitációs mezőt. Azonban maga a Föld is elősegítheti ezt a törekvésünket. Mivel a Föld forgási sebessége (a tengely körüli forgásnak köszönhetően, amely a következő fejezet témája) az Egyenlítőnél körülbelül 0,465 km/sec, ha a tárgyat kelet felé vízszintesen indítjuk el, csak 10,735 km/sec lesz a szökési sebesség értéke. Nem tűnik nagy különbségnek, de ha gyakorlati szempontból nézzük (a tárgy biztosan nagyobb, mint egy puskagolyó), a szükséges energia-különbség bizony jelentős. Ezért a kilövőállomásokat az Egyenlítőhöz közel találjuk, mint az Európai Űrprogramét Francia Guyanában, vagy mint Cape Canaveral az USA esetében amennyire lehetséges az ország legdélibb részén.

Ha egy objektum már Föld körüli pályán van, akkor kisebb lesz a szökési sebessége. A 6.1 ábra lehetséges Föld körüli pályákat mutat be.



6.1 ábra Szökés a Föld bolygóról

Az ellipszis (E) és a kör (C) olyan pályák, amelyeken az objektum sebessége kisebb, mint a szökési sebesség. A tárgyat a Föld gravitációja megtartja a pályán. A kör például lehetne a Hold pályája. Ha egy tárgy eléri, vagy túllépi a szökési sebességet, akkor vagy egy parabolikus (P) vagy egy hiperbolikus (H) pályán elhagyja a Földet.

A szökési jelenséget természetes módon is megfigyelhetjük. A véletlenszerűen repülő bolygó-darabok, üstökösök vagy más részecskék az univerzumban egy bizonyos életszakaszukban mind elszöktek egy gravitációs körpálya fogságából.

Másrészt, ha egy objektum – akár csak átmenetileg - belép egy bolygó gravitációs mezejébe, akkor fellép az

ún. gravitációs csúzli erőteljes hatása. Ez felhasználható arra, hogy egy bolygó gravitációs mezeje megnövelje a tárgy sebességét. Ez a sebességnövekedés a Naphoz viszonyított, feltételezve, hogy a mi Naprendszerünkben lévő tárgyakról van szó. A tárgy sebessége nem változik ahhoz a bolygóhoz képest, amelynek gravitációs mezejét felhasználjuk.

Képzeljünk el egy bolygóközi objektumot, amely v sebességgel közeledik egy bolygóhoz, miközben a bolygó u sebességgel mozog a tárgy felé. Ezeket a sebességeket a Naprendszerhez viszonyítjuk. Ha az objektum eléggé megközelíti a bolygót ahhoz, hogy annak gravitációs mezeje „befogja”, akkor a bolygó vonzást gyakorol a tárgyra. Ennek következtében az objektum a bolygó körüli parabolikus, vagy hiperbolikus pályára kerül. Mivel a tárgy sebessége nagyobb, mint a pálya szökési sebessége, a tárgy az ellenkező irányban elhagyja a bolygó körüli pályát.

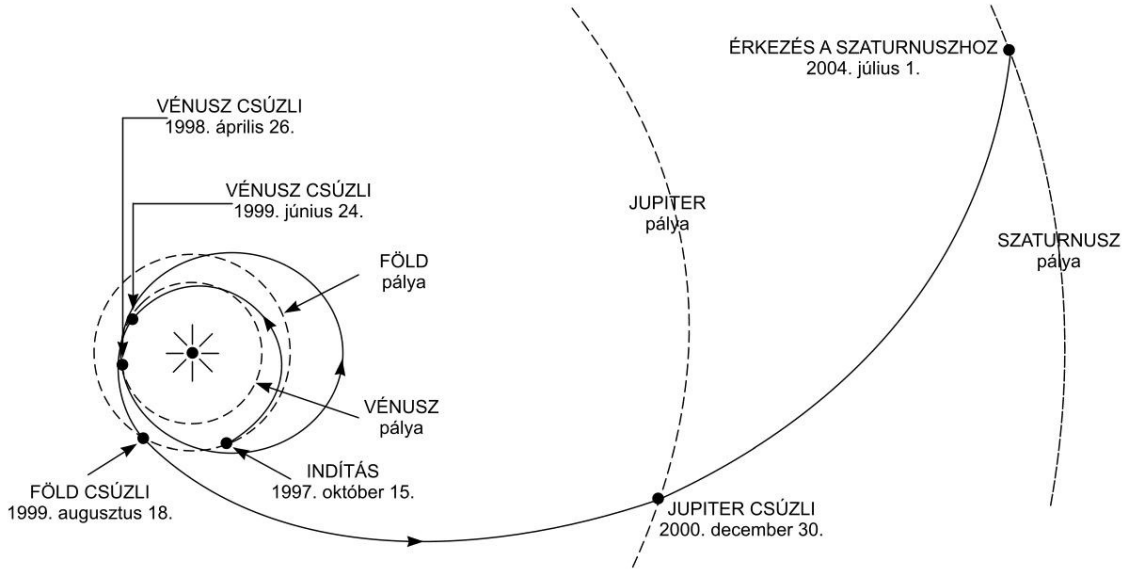
Közeledéskor a tárgy és a bolygó relatív sebessége u+v, mivel egymás felé haladnak. Amikor elhagyja a bolygó gravitációs terét, a tárgy sebessége a bolygóhoz képest még mindig u+v. Azonban mivel ekkor már egy irányba haladnak, az objektum sebessége a Naprendszerhez viszonyítva 2u+v.

Összefoglalva: az objektum 2u sebességet nyert a bolygóval történt találkozásnál. A gyakorlatban a tárgy beérkező és távozási pályája nem párhuzamos, ezért a sebességnövekedés kisebb, mint a fenti példában, de azért jelentős.

Ezt a technikát a valóságban alkalmaztuk, amikor a múltban többfelé szondákat küldtünk a Naprendszerbe. A Nap és a Föld között lévő belső bolygók felé könnyebb szondákat küldeni, mivel a Nap irányába haladva a Nap gravitációs vonzása miatt felgyorsul a szonda. A külső bolygók felé viszont nehezebb szondát küldeni, mert az a Nap gravitációja ellenében halad, így ebben az esetben hasznos a gravitációs csúzli.

Legelőször 1974-ben a Mariner 10 felbocsátásakor alkalmazták ezt a módszert. A Vénusz gravitációs mezejét használták a felgyorsuláshoz. Ma már kb. 10 milliárd mérföldre van a Napunktól, - ez a Naprendszer pereme és átmenet a csillagközi térbe.

A 6.2 ábrán az 1997-ben felbocsátott Cassini szondánál alkalmazott speciális csúzli-módszer látható. A belső bolygók irányába indították el, és a Vénusz gravitációs mezejét kétszer használták fel a gyorsulásra. A Vénusz két csúzli-manővere között a szonda megtett egy elliptikus pályát a Nap körül, ennek következtében indítása után néhány évvel újra Földközelbe került. Ezután 2000-ben a Jupiter körül újra csúzli-manőverre került sor, és 2004-ben megérkezett a Szaturnuszhoz.



6.2 ábra A Cassini pályája

Most, hogy felismertük és hasznosítottuk a gravitációs erőt, azt gondolhatjuk, hogy teljesen megszabadulunk tőle, ha elérjük a súlytalanságot. A súlytalanság nem a gravitáció hiánya, hanem a súlyunkat kompenzáló hatás hiánya. Ez történik szabadesés közben .Világos, hogy hat ránk a gravitáció és felgyorsítja testünket, de nem érezzük a hatását (a súlyunkat) mint a talajon az ellenerőt.

Mesterséges súlytalansági állapot hozható létre egy repülő meredek zuhanásba ejtésével. Ez rendszerint egy több mérföld hosszú parabolikus ív, melynek során a leszálló ágban a résztvevők súlytalannak érzik magukat. Szabadesésnél a gravitációs gyorsulás ugyanolyan irányú, mint az esési sebesség, és állandóan növeli a sebességet. Ez mindaddig tart, amíg a repülő a zuhanás végén meg nem fordul, ezen a ponton a résztvevőknek kétszeres gravitációs gyorsulást kell elviselniük. A

legtöbb ilyen repülőt űrhajósok kiképzésénél használják, azonban ma már arra is van lehetőség, hogy bátor és gazdag turisták kipróbálják a magáncégek által szervezett súlytalan repülést.

Newton gravitációs törvényét a Naprendszerre alkalmazva lehetővé válik, hogy a látható pálya meghatározása alapján kiszámítsuk az égitestek tömegét. Az űrben, ahol nincs légellenállás, egy bolygó megtartja pályáját a rá ható gravitációs erő miatt. Valójában a Nap körül keringő bolygók pályáját leíró első Kepler-törvény matematikailag levezethető Newton gravitációs törvényéből, ez azonban túlmutat a könyvben használt matematikai szinten.

Ha csak egyetlen bolygó keringene a Nap körül, a létrejövő pályagörbe egy szabályos ellipszis lenne. A keringési idő a pálya méretétől függ. Azonban Naprendszerünkben több bolygó kering. A Nap által meghatározott mozgás mellett a bolygók egymásra gyakorolt hatása olyan eltérésekhez vezet az egyéni pályákon, melyek segítségével forgó világunk néhány ma még láthatatlan objektumát is felfedeztük.

Például az Uránusz ilyen indokolatlan mozgását egy, a pályáján kívüli másik égitest hatásának tulajdonították. Newton gravitációs elmélete segítségével előre megjósolták egy még ismeretlen bolygó létezését. Ez a később felfedezett bolygó a Neptun.

Azonban egy másik bolygó esetében a pályaeltérés Newton elméletének trónfosztásához vezetett. A 19. század második felében volt a Merkúr pályáján egy

anomália, amelyre Newton törvényei nem adtak magyarázatot. Egy a Naphoz még közelebb keringő, számunkra nem látható bolygót feltételeztek, olyannyira biztosan, hogy előre a Vulcan nevet kapta. Azonban a keresés eredménytelen volt. Vulcan az a bolygó, amely sohasem létezett.

Végül Albert Einstein, a történelem leghíresebb tudósa adott magyarázatot a pályaeltérésre. Einstein 1879-ben született a dél-németországi Ulmban, elemi és középiskoláit Münchenben végezte. 1896-ban Svájcba költözött, és beiratkozott az egyetemre. Ábrándozó diák volt, csak olyan témákkal foglalkozott, amelyek felkeltették érdeklődését. Az emberiség szerencséjére a fizika is ezek közé tartozott. 1900-ban végzett, kevéssé fényes bizonyítványa nem tette lehetővé hogy egyetemi állást kapjon, ezért a Svájci Szabadalmi Hivatalban helyezkedett el.

A hivatali munka lehetővé tette számára, hogy a fizikában továbbra is elmélyedjen, és a ma már világhírű gondolatkísérleteit elvégezze. Ezek vezették arra a legfontosabb felismerésre, hogy a mozgás sohasem abszolút, hanem mindig a megfigyelő vonatkoztatási rendszeréhez viszonyított. Gyerekkori megfigyelése – amikor a vonat ablakából figyelte az esőcseppeket – volt a kiindulópont. Észrevette, hogy ha a vonat megáll, az esőcseppek függőlegesen esnek. Amikor a vonat elindul az állomásról, úgy tűnik, hogy az esőcseppek ferdén esnek.

Ezt a felismerést különböző gondolatkísérletek követték, mint például hogy az állomáson ülő megfigyelők a

mozgó vonaton történő eseményt hogyan látják. Két megfigyelő (az egyik mozdulatlan, a másik mozog) az eseményeket különbözőképpen érzékeli – ez az alapja az 1905-ben megjelent Speciális relativitáselmélet című alapvető munkájának, amely meghozta számára az áhított egyetemi pozíciót, a Nobel-díjat és a világhírt. A korabeli újságcímek a fizikai világ igazságát felfedező tudósról szóltak.

Einstein leírása – amely szerint a tér nagy tömegek hatására eltorzul – számos megmagyarázhatatlan égi jelenséget kézzelfoghatóvá tett. Gravitációs értelmezésének alapja, hogy az (egyelőre kétdimenziós) teret egy nagy rugalmas lepedőnek képzeljük, amilyet (legalábbis a filmekben) a tűzoltók feszítenek ki, hogy a magasból kiugró embereket megvédjék. Ha a lepedő közepére egy hatalmas labdát képzelünk, akkor biztosak lehetünk benne, hogy a lepedő deformálódik. A torzulás görbülete annál nagyobb, minél közelebb vagyunk a labdához.

Ha egy kisebb labdát helyezünk el valahol a lepedőn, a görbület miatt nyilvánvalóan a nagy labda felé fog gurulni, ez mutatja a gravitációs hatást. Most tegyük fel, hogy a kisebb labdát körkörösen elgurítjuk. A labda fokozatosan közelít a középpontban lévő nagy labda felé, azonban néhány körpályát leír körülötte. Minél közelebb kerül a középpontban lévő labdához, annál nagyobb sugárirányú gyorsulása lesz.

Einstein megsejtette, hogy a Vénusz viselkedése azért nem felel meg teljesen Newton gravitációs törvényének, mert a Naphoz nagyon közel azok az egyenletek nem

pontosak. 1915-ben jelent meg Általános relativitáselmélete, amely magyarázatot adott a pontos viselkedésre. Még érdekesebb, hogy Einstein elmélete számos, a fény tulajdonságaival kapcsolatos jelenséget is megmagyarázott, és bár ez a legjelentősebb része, a mi mechanikai nézőpontunkon túlmutat.

Mellékesen, ahogy Newton elméletéről, ugyanúgy Einstein elméletéről is kiderült, hogy nem teljes. Az 1910-es évek sikerei után több évtizedet töltött azzal, hogy a nagyon apró részecskék, a kvantumok fizikájával összehangolja elméletét. Ez nem sikerült, és a mai napig tudományos kihívást jelent a atomon belüli részecskék fizikája.

Mindenesetre Newton elmélete földi méretekben a legtöbb fizikai jelenséget megfelelően magyarázza, ezért megmarad a mindennapi használatban. Az óceánok látványosan mutatják be, hogy a gravitáció kölcsönös erőhatás. Az árapály világosan jelzi a Hold gravitációs vonzását. Azonban még található néhány, a Föld saját mozgásával kapcsolatos jelenség, amely ellenáll a tisztán gravitáción alapuló magyarázatnak.

7. fejezet

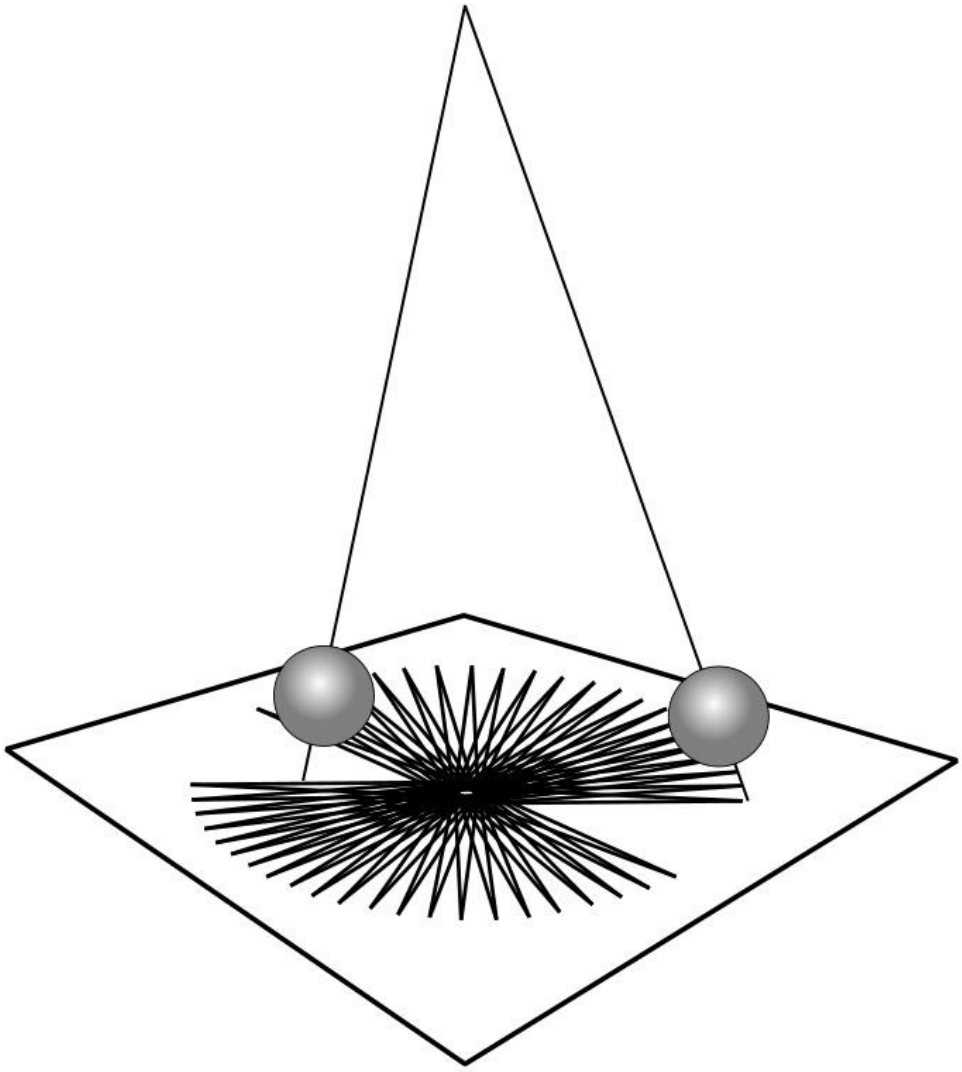
Pörgő Föld

A csillagászok évezredeken át feltételezték, hogy a Föld forog a saját tengelye körül. Azonban nem volt könnyű bizonyítani ezt. A legnagyobb problémát az jelentette, hogy a Föld forgását nem lehet érezni és ez nem meglepő; ma sem érezzük. Hogyan lehet bizonyítani, hogy forog a Föld? Századokon keresztül rejtélyes kérdés volt a tudósok számára, míg végül 1851-ben a francia Foucault megadta a választ.

Léon Foucault Párizsban született 1819-ben, ő is orvosi tanulmányokkal kezdte, majd később fordult a fizika felé. Az ő esetében ennek indítéka az volt, hogy rájött, fél a vér látványától – ez valóban akadály az orvosi hivatásban. A fizika területén először a fénysebesség érdekelte, megpróbálta megmérni. Meglepően jó eredményre jutott: 298000 km/sec, ha figyelembe vesszük az akkor rendelkezésére álló eszközöket.

1851-ben elvégzett kísérlete, amely bemutatta a Föld tengely körüli forgását, azonnal hírnevet és elismerést hozott számára. Elnyerte a Royal Society kitüntetését, és kinevezték a párizsi Királyi Csillagvizsgáló fizikusának. Foucault a párizsi Panthéon kupolájára függesztette fel 67 méter hosszú és 28 kg súlyú ingáját. A hatalmas ingát az épület egyik oldaláról indította el, és korábbi megfigyelések alapján azt várták, hogy megtartja lengési síkját. Azonban az inga folyamatosan

változtatta síkját, a hegye mintát rajzolt a földön lévő homokba, ahogyan a 7.1 ábrán látható.



7.1 ábra Foucault ingája

Az inga lengési síkja az óramutató járásával megegyezően óránként kb. 11 fokot fordult el, így rövid idő alatt is jól megfigyelhető volt. Az inga kb. 32 óra alatt tett meg egy teljes kört. Mivel a kísérlet igen látványos, a

csillagvizsgálókban világszerte hasonló Foucault-ingákat láthatunk. Egy nevezetes inga van Washingtonban a Smithsonian Múzeumban, és egy másik Los Angelesben a Griffith Csillagvizsgálóban található. A legmodernebb változatok a kupola alatti kör kerületén felállított dominókat döntik fel. Ha a dominókat 5 fokonként helyezik el, az inga félóránként dönt fel egyet-egyet a látogatók nagy örömére.

A kísérlet tényleges időtartama attól függ, hogy melyik szélességi fokon végzik el. Például az Északi-sarkon a teljes kört pontosan 24 óra alatt járja körbe. Viszont az Egyenlítőn felfüggesztett inga egyáltalán nem mutatja be a jelenséget, mivel az inga lengési síkja, - amely természetesen megmarad – merőleges a Föld forgási tengelyére.

Más szélességi fokon az inga lengése valahol a sarki és az egyenlítői jelenség között mutatkozik, és a körbejárás időtartama változó. Az inga síkjának szögváltoztatása egy φ szélességi fokon arányos sinφ-vel. Pontosan 360sinφ a sík forgási szögének változása 24 óra alatt.

A sarkon a szélesség 90 fok, ahol a sin függvény értéke 1. Így a teljes 360 fokos körbeforgás egy napig tart. Az Egyenlítőnél sinφ értéke nulla,és a lengési sík nem változik. Egy közbenső szélességi fokon sinφ értéke kisebb, mint 1, ezért egy nap alatt 360 foknál kevesebbet fordul el. Tehát a teljes kör megtételéhez több mint 24 óra szükséges, mint ahogy Párizsban 32 óra.

Miután bebizonyítottuk, hogy a Föld forog a tengelye körül, ezután felmerül a kérdés:Hogyan marad fenn a Föld forgása évmilliók alatt? Miért van az, hogy a Föld a Nap körül, a Nap és a bolygók együttesen a galaxis központja körül folyamatosan keringenek, és nem látszik, hogy lassulnának?

A választ az impulzusmomentum (perdület) elnevezésű bűvös mennyiség, és annak megmaradási elve rejti magában. Egy m tömegű részecske, amelynek keringési sebessége v, és a forgás tengelyétől r távolságra helyezkedik el, mrv forgási energiával rendelkezik. A részecske kerületi sebességét a jól ismert $v = r\omega$ képlet adja meg, ahol ω a szögsebességet jelenti. Ennek alapján a részecske forgási energiája $m\, r^2\, \omega$.

A megmaradási elvet hétköznapi körülmények között a műkorcsolyázó forgása közben figyelhetjük meg. Amikor kitárja a karját, forgása lelassul, amikor pedig behúzza a karját, a forgás felgyorsul. Ez azért van így, mert a forgó test forgási energiája állandó marad, eltekintve a jégen fellépő enyhe súrlódástól. Kitárt karokkal nagyobb a sugár, és megfordítva behúzott karokkal kisebb az r értéke. Mivel a korcsolyázó tömege nem változik,ezért a szögsebességnek kell megfelelően változnia.

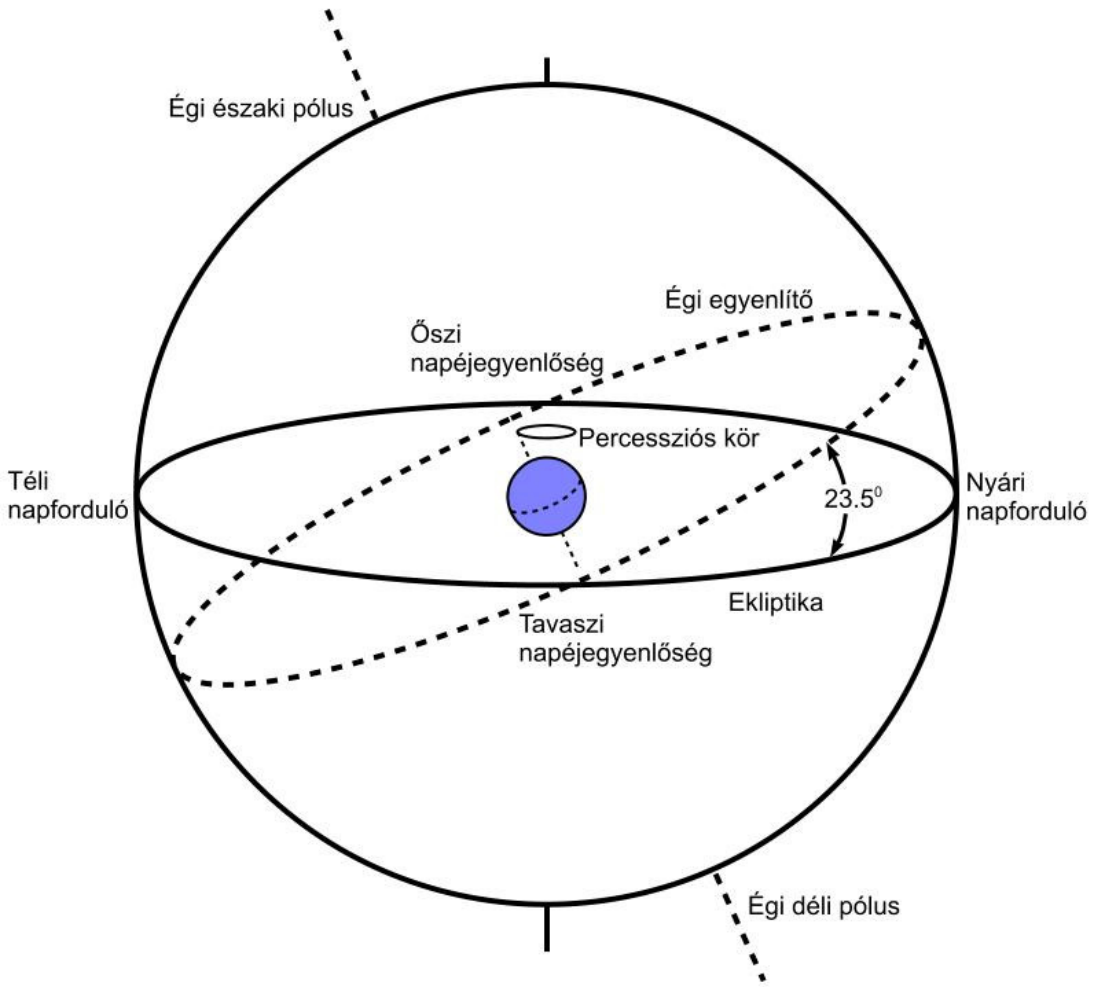
A Földre vonatkozóan minden részecskét, és azok elhelyezkedését is figyelembe kell vennünk. Ehhez valamivel több számolás szükséges, mivel a Föld jelentős számú részecskével rendelkezik, és azok nem mind a felszínen találhatók. Így a fenti képletet integrálva a Föld térfogatára, megközelítőleg kapjuk:

$$MR^2\omega$$

ahol az integrálási konstanst elhanyagoltuk, M a Föld teljes tömege, és R a fő-sugara. Ha a Föld sugarát megközelítőleg 6 millió méternek tekintjük, az egyenletben a középső tényező 36 10^{12}, azaz harminchat billió.

A Föld szögsebességét annak alapján számíthatjuk ki, hogy 24 óra alatt tesz meg egy 360 fokos teljes fordulatot, 2π radiánt, tehát ω = 2π/(24x3600) = 0,000073 radián/sec. Egy radián az a szög, melyet úgy nyerünk, hogy ha a kör sugarát felmérjük a kerületre. Ez megközelítőleg 57,3 fok. Ha a két utolsó tényezőt összeszorozzuk, billiós nagyságrendet kapunk. Ha figyelembe vesszük a Föld tömegét is, hihetetlenül nagy forgási energiával rendelkezik Földünk, legalábbis emberi egységeinkhez képest.

A következő szinten, ami a Nap körüli mozgást illeti,a Föld még nagyobb forgási energiával bír. A forgás sugara ekkor a Nap körüli pályán kb. 150 millió kilométer, vagyis 150 milliárd méter. Ebből R^2 = 2,25 10^{22}. Bár a szögsebesség sokkal kisebb, mivel egy év kell a teljes kör megtételéhez.
Ezért ω = 2π/(365x24x3600)= 0,0000001 radián/sec, a két utolsó tényező nagyságrendje így is 10^{15}. Ezt a Föld tömegével megszorozva, szinte felfoghatatlanul nagy a világ forgási energiája.



7.2 ábra A precesszió

Mivel az űrben nincs súrlódás, ez a forgási energia megmarad. A Nap körül keringő Föld forgási pályáját a Nap gravitációs vonzóereje uralja, kisebb mértékben pedig a Hold és a többi égitest vonzása befolyásolja, ebből ered a precesszió jelensége: a 7.2 ábrán bemutatott földtengely-ingadozás. Ez annak nyomán lép fel, hogy a Földre ható összetett gravitáció a Föld keringési síkjával szöget zár be, és 23,5 fokkal megbillenti azt.

A ferde helyzetet, amely hozzájárul a Földön az évszakok váltakozásához, már az ókorban feljegyezték. Néhány ezer évvel ezelőtti egyiptomi és babiloni emlékek említik a (tavaszi) napéjegyenlőség különböző elhelyezkedését az égen. Az égi egyenlítőn az a pont a tavaszi napéjegyenlőség, ahol a Nap észak-déli irányban áthalad az égi egyenlítőn. Az égi egyenlítő a Föld egyenlítői síkjának kivetítése az égboltra.

Március 21. a keresztezés napja, ez az az időpont, amikor a Nap éppen az Egyenlítő fölött van, és a nappal egyenlő hosszú az éjszakával. A babiloniak feljegyzése szerint a napéjegyenlőség a Kos-csillagképbe esett, míg az egyiptomiak szerint a Lyra csillagképbe. Hipparchus i.e.100-ban észlelte ezt az eltérést.

Hipparchus Rodosz szigetén élt, ő is azon görög tudósok közé tartozik, akinek életéről keveset tudunk, de munkássága évezredeken át fennmaradt. Az állócsillagok megfigyelése alapján kiszámította a precessziós ciklus hosszát. Számításai szerint évszázadonként kb. egy fok az elfordulás, így a teljes kör kb. 36000 évig tart. Bár a megfigyeléseket helyesen magyarázta, a majdnem 2000 évvel későbbi gravitációs elv nélkül nem tudta indokolni.

Ha nem is tudtak rá magyarázatot adni, számos forrásban megtalálható a jelenség leírása, még jóval Hipparchus előtt, nevezetesen az ókori Indiában, Egyiptomban és a maja kultúrában. Az ősi hindi szövegek bizonyos értelmezése szerint – ha az egységeket megfelelően átszámítjuk – a teljes körbefordulás 25000 évig tart.

Még érdekesebb néhány tudós állítása, hogy a gízai három nagy piramis építése idején a tavaszi napéjegyenlőség az Orion csillagképre mutatott. A három piramis elhelyezkedése látszólag megegyezik az Orion-öv három csillagának pozíciójával. Tekintettel arra, hogy az egyiptomi kultúra több ezer éven át fennmaradt, nagyon valószínű, hogy generációkon keresztül folytatták égi megfigyeléseiket, és feljegyezték a napéjegyenlőség változásait.

A legvitatottabb a maják precessziós ismerete. Néhány tudós szerint az, hogy a maja naptár 2012-ben véget ér, összefüggésben áll a teljes precessziós ciklus befejeződésével abban az évben. De a körmozgásnak az a szépsége, hogy folyamatosan ismétlődik - ezért is választottuk könyvünk témájául. Így mi lehet olyan különös 2012-ben a precessziós helyzetben?

Előre jelezték, hogy 2012 folyamán a precesszió olyan helyzetet hoz létre, hogy a Nap a Tejút középpontját elhomályosítja. Sőt 2012-ben két napfogyatkozás is lesz, június 4-én a Hold, június 6-án a Vénusz okozza, ezért az emberek baljóslatúnak tartják, hogy ebben az évben három ilyen esemény is bekövetkezik. Mi nem követjük ezt az utat, és feltételezzük, hogy ez a pont jelölheti a 26000 éves ciklus ismétlődő kezdő- és végpontját. A maják valószínűleg nem apokaliptikus látomásokat kívántak közvetíteni azzal, hogy itt véget ér a naptáruk; inkább csodálatosan megérthették, hogy a ciklus itt véget ér és újra elkezdődik.

Ma már pontosan tudjuk, hogy a precesszió 25771 évig tart, ezalatt a Föld egy teljes imbolygást megtesz. Körülbelül 72 év alatt változik egy fokkal a precessziós szög, így Hipparchus majdnem 30 évet tévedett. Ma már teljesen megértjük a precessziós jelenséget, és annak okát, hogy a Föld meg akarja tartani forgási tengelyét. Emlékszünk a gyerekkori forgó játékra, a búgócsigára, vagy az egyszerű pörgettyűre, amely mintegy száz éve a világon sok gyereknek örömöt szerzett. Elbűvölő volt, hogy amikor megpróbáltuk felbillenteni, néhány ingadozás után stabilizálódott, és tovább pörgött. Ugyanez a varázslat működik a Föld esetében, amelyet giroszkópos hatásnak nevezünk. Valamennyien egy hatalmas égi pörgettyűn élünk.

Már körülbelül 200 éve ismert ez a hatás, és különféle mechanikai alkatrészekkel, gömbökkel, korongokkal és hengerekkel is bemutatható. Ha ezeket a tárgyakat a szimmetriatengelyük körül nagy sebességgel megpörgetjük, akkor igyekeznek fenntartani forgási állapotukat, amikor kissé megzavarjuk a forgást. Ez a hatás is a forgási energiának tulajdonítható. Minél nagyobb a forgási energia (minél gyorsabban pörög a tárgy), annál nagyobb a tárgy tehetetlensége az irányváltozás ellenében. Ezért a pörgettyű (giroszkóp) megtartja irányát annak ellenére, ha egy külső erő megpróbálja felborítani.

Foucault egy giroszkópos kísérleti bemutatót is kigondolt a Föld forgásának bizonyítására, sőt mi több, ő a berendezés névadója. Azonban a készülék nem működött, mert az érintkező részek súrlódása sokkal nagyobb volt, mint az inga felfüggesztési pontján fellépő

súrlódás. Ezért a forgó mozgást nem lehetett elég hosszú ideig fenntartani ahhoz, hogy megfigyelhető legyen a Föld forgása. A giroszkóp viselkedésének további vizsgálata azonban a forgási jelenségből következő más érdekes erőket is tár a szemünk elé.

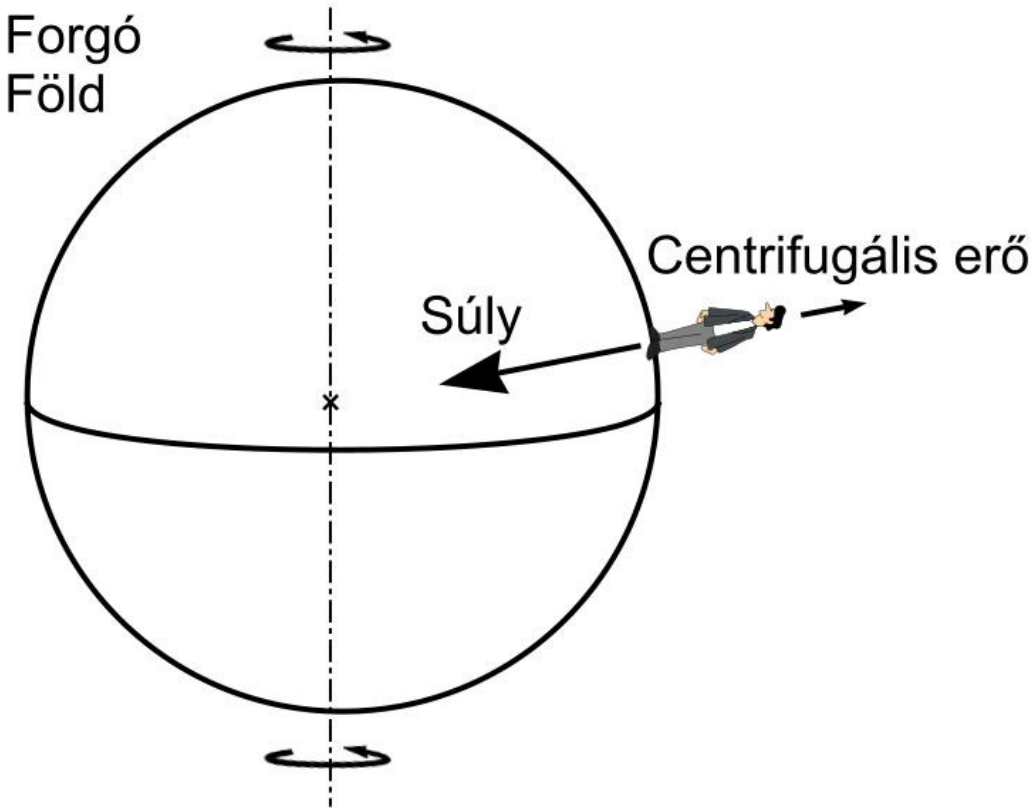
8. fejezet

Centrifugális érzés

Mindannyian tapasztalhattuk azt az érzést, hogy a körhintán mintha valami erő kifelé taszítana, vagy hogy egy nagy sebességgel kanyarodó autóban az ajtónak nyomna. A vidámparkban a gyorsan forgó sokféle játék is nyilvánvalóvá teszi ezt az erőhatást. Ez a centrifugális erő, amelyet köznapi körülmények között talán a leggyakrabban érzékelünk.

Mi hozza létre, és mekkora ez az erő? Nem meglepő, hogy testünk egy középpont körüli forgómozgásának eredménye ez az erő. Az erő nagysága függ a középponttól mért távolságtól (r), és a forgás ω szögsebességétől. A tömegünk (m) is hozzájárul , és a keletkező egyszerű képletet kapjuk: $mr\omega^2$.

A 8.1 ábrán bemutatott centrifugális erő a forgás középpontjából sugárirányban kifelé hat, és kirepítené a testet, ha valami nem tartaná vissza. Ez a valami lehet az autó, vagy a vidámparki kocsi oldala, bolygó-méretekben pedig a gravitáció által létrehozott súly, mint ellenerő.



8.1ábra A centrifugális erő

A centrifugális erő csak egy forgó rendszerben lép fel. Ha nincs forgás, akkor centrifugális erő sincs. Ha a körhinta lelassul, nem érezzük a repülés örömét és a kifelé ható erőt. Ezért a centrifugális erő nem aktív erő, hanem tehetetlenségi erő.

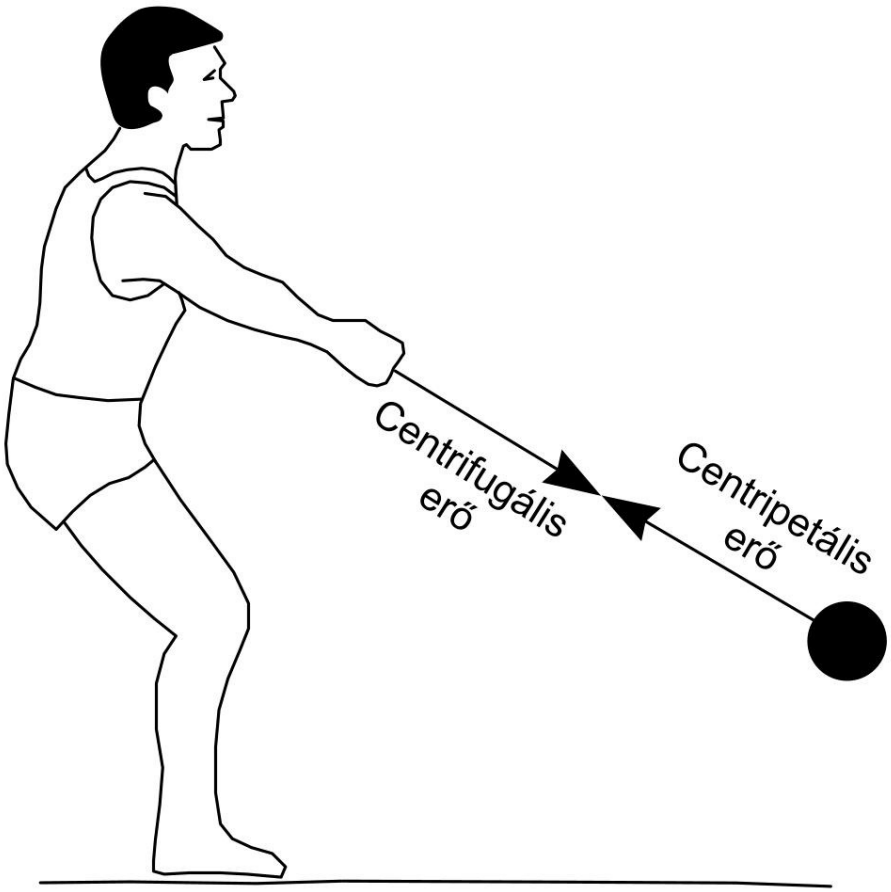
Ha egy test gyorsul, mindig fellép tehetetlenségi erő. Ha vonaton utazunk, és a vonat hirtelen gyorsít, a testünk az üléshez feszül, ha a haladás irányában ülünk, vagy előredőlünk, ha a menetiránynak háttal utazunk. Amikor egy gyorsliftben haladunk felfelé, nekinyomódunk az aljának és a térdünk megbicsaklik. Megfordítva, a lefelé haladó lift hirtelen mozgásakor úgy érezzük, hogy „megemelkedünk a talajtól”.

Számos tehetetlenségi erő létezik, függetlenül attól, hogy érzékeljük-e, vagy sem. A hullámvasút szerelmeseinek élvezetét a hirtelen gyorsulások, lassítások, ugratók és fordulók adják. Ezek a különféle tehetetlenségi erők megnyilvánulásai. Felismerésük a megfigyelő helyzetétől függ.

Ha kívülről, álló helyzetből figyeljük a forgó körhintát, azt látjuk, hogy valamilyen erő az üléseket kifelé mozdítja. Azonban csak a körhintán ülve érezzük a centrifugális erő hatását. A különbség az, hogy a forgó rendszer részeként megváltozik az érzékelésünk.

Newton harmadik törvénye szerint minden hatásra fellép egy ellenhatás. Ha egy testre erő hat, és nincs ellenerő, akkor a test gyorsulni fog. A centrifugális erő párja a centripetális erő. Azért nevezik centripetális erőnek, mert a forgás középpontjának irányába hat.

Bár a centrifugális erőt valóban érezzük, és aktívnak véljük, mégis a centripetális erő az aktív erő, a centrifugális erő pedig visszaható, vagy tehetetlenségi erő. A jelenséget a 8.2 ábra mutatja be egy kalapácsvető sportoló segítségével. A centrifugális erő a kalapácsot a személytől eltávolítaná, de a kötélben fellépő centripetális erő ellene hat.



8.2 ábra A centripetális erő

Mi történik, amikor forgás közben a kötelet elengedik? A golyó a körpálya érintője mentén, és nem sugárirányban fog kirepülni. Ez Newton első törvényének következménye, amely szerint egy test megtartja állandó sebességű mozgását, ha külső erő nem hat rá. A forgó golyónak kerületi sebessége van a forgás miatt, és ha elengedik, ebben az irányban halad tovább.

Ezt a jelenséget használja ki a kalapácsvető, hogy nagy távolságra hajítsa el a golyót. A döntő mozzanatok: gyors forgással nagy kerületi sebességre kell szert tenni,

és a megfelelő pillanatban elengedni a kötelet. Természetesen nagyobb kerületi sebesség esetén a kötélben és a dobó karjában fellépő centripetális erő is nagyobb lesznek, ez jelentős erőkifejtéssel jár a dobó felsőtestében.

A centrifugális erő másik érdekes aspektusa, hogy úgy tűnik, mintha a forgás tengelyéből, mint forrásból terjedne szét. Sőt még növekszik is, minél távolabb van (a forgó rendszeren belül) a középponttól. Ez természetesen azonnal látszik az egyenletből, minél nagyobb r értéke, annál nagyobb lesz az erő. Mivel egy adott forgási sebességnél minél nagyobb a sugár, annál nagyobb lesz a kerületi sebesség, és ha egy test nagy sebességgel mozog egyenes vonalban, nagyon nagy erő szükséges, hogy megváltozzon az iránya. A futball-játékosok ezt a gyakorlatban is ismerik: szerelésnél egy nagy sebességgel mozgó játékost nem könnyű eltéríteni az irányából.

Miután az előző fejezetben megállapítottuk, hogy a Föld forog, felmerül a kérdés, hogy milyen nagy a Föld forgásából adódó centrifugális erő, és hogyan hat ez ránk. A Föld sugara az Egyenlítőnél körülbelül 6378000 méter, és korábban kiszámítottuk, hogy a Föld szögsebessége 0,000073 radián/sec. Ezért egy 100 kilogramm tömegű emberre ható centrifugális erő a Föld felszínén k. b. $100 \times 6378000 \times 0{,}000073^2 = 3{,}39$ kg m /s^2 azaz newton.

Angol mértékegységek használata esetén a számértékek változnak. Ha a tömeget fontban mérjük,

ez nagyjából kétszer akkora, mint a kilogrammban mért érték, és a láb hosszúságérték majdnem háromszor akkora, mint méterben kifejezve, így a keletkezett szám k. b. hatszor nagyobb lesz. Azonban a testre ható tényleges centrifugális erő ugyanúgy a súly 0,34%-a, vagy 1/290 része, bármely mértékegységben számolunk is.

Tehát a Föld bármely pontján a súlyunk jóval nagyobb, mint a centrifugális erő, amely megpróbál kirepíteni minket. Úgy tűnik, elég biztosan állunk a Földön, és nem fenyeget az a veszély, hogy lerepülünk innen. A fenti számérték tulajdonképpen a legrosszabb esetet mutatja az Egyenlítőn. Más szélességi fokok esetén ez az érték sokkal kevesebb, mivel ott a forgáshoz tartozó sugár megfelelően kisebb.

A centrifugális erő egy másik sportban, az autóversenyzésnél is megjelenik. Nagy sebességnél a centrifugális erő rendkívül nagy, annyira, hogy a kanyarban fennáll a kipördülés veszélye. Hogy ezt ellensúlyozzák, éles kanyarokban a pálya szélét befelé döntik. Ez a konstrukció lehetővé teszi, hogy a centrifugális erő egy része ne az autó oldala felé, hanem a kerekek irányába mutasson. Ennek eredménye, hogy a versenyző nagyobb sebességgel képes bevenni a kanyarokat.

A centrifugális erő magyarázza meg a Föld alakjában az egyenlítői kidudorodást. Bolygónk formája a milliárd évekkel ezelőtti kialakulás során a centrifugális hatás következménye. A még nem teljesen megszilárdult forgó anyag bizonyos része kifelé mozdult, ahol a bolygó

forgástengelyétől mért sugár a legnagyobb, azaz az Egyenlítőnél.

A centrifugális erő a bolygók keringési mozgásában is megjelenik. Feltéve, hogy egy hold körpályán mozog a bolygója körül, a bolygó gravitációs ereje a bolygó felé húzza a holdat. Ezt a centrifugális tehetetlenségi erő ellensulyozza, és a körpályán tartja a holdat. Azonban megjegyezzük, hogy nem a centrifugális erőtől kapja a bolygó a kerületi sebességét. Sem pedig a gravitációs erőtől. Ezt a sebességet a hold akkor szerezte, amikor keletkezett, valamilyen ütközési esemény lejátszódása során.

A fenti egyensúly alapján kiszámíthatjuk a Hold-Föld távolságot. Jelölje M és m a Föld illetve a Hold tömegét. Newton gravitációs törvénye szerint a köztük ható erő

$$GMm/R_M^2$$

ahol R_M a Hold még ismeretlen távolsága a Föld középpontjától. A Holdra ható centrifugális erő összefügg a Föld körüli keringésével, és a korábbi képlet szerint értéke pedig

$$mR_M\omega^2$$

Megfigyelés alapján a Hold keringési sebessége k. b. $\omega = 2\pi/28$ rad/nap. Ez nyilvánvalóan azon a megfigyelt értéken alapul, hogy a Hold k. b. 28 nap alatt kerüli meg a Földet.

A két erő egyenlő, mivel a Hold stabil pályán kering a Föld körül. Ebből az egyenlőségből kiszámíthatjuk a Hold pályasugarát (R_M), és kiderül, hogy az nagyjából a Föld sugarának hatvanszorosa. Újra felhasználjuk, hogy a Föld sugara az Egyenlítőnél 6378 kilométer, így a Hold távolsága k. b. R_M=400000km, az Egyenlítő hosszának tízszerese.

Ez egy általános csillagászati számítási módszer. Ha egy égitest és gravitációs gazdabolygójának távolságát nem ismerjük, de a bolygó körüli keringési időt lemérjük, akkor a fenti számítással meghatározható a távolságuk. Távoli égitestek esetén ez valóban nagyon hatékony módszer.

A centrifugális erő gyakorlati jelentősége óriási. A pilótáknak a kiképzés során meg kell ismerkedniük a centrifugális erővel, és annak a repülésre gyakorolt hatásaival. Az autóverseny-pályán a bedöntött útfelületnek a repülésben a bedöntés felel meg. Ugyanaz a fizikai jelenség, vagyis a centrifugális erő bizonyos részét a kerekek felé irányítják, bár repülés közben a kerekeknek nincs kapcsolata a földdel. Amikor egy fordulásnál a pilóta bedönti a repülőt, akkor a szárnyak által létrehozott felhajtó erő ellensúlyozza a centrifugális erőt.

A centrifugális erőt felhasználva a test mesterségesen előidézett nagyarányú gyorsulását idézhetjük elő. Az űrutazás hőskorában ez volt a vadászpilóták és űrhajósok alapvető edzési módszere. Egy egyszemélyes kis kabint függesztettek fel egy hosszú rúd végére, és nagy sebességgel forgatták. A kabinban lévő személy a

gravitációs gyorsulás többszörösét viselte el. A gépezet egy korai James Bond filmben is szerepelt, ahol a gazemberek úgy próbálták megölni a főhőst, hogy túlpörgették a gépet.

Azután itt van a súlytalanság jelensége a Föld atmoszféráján kívül keringő űrállomáson. A gravitációs gyorsulást ellensúlyozza a centrifugális erő, amely megpróbálja eltéríteni a pályájáról. Az eredményt számos felvételen láttuk az űrállomáson dolgozó szabadon lebegő űrhajósokról.

Végül a vidámparkok is hasznot húznak a jelenségből, amikor mesterséges súlytalanság-érzetet hoznak létre. Egy henger alakú szobában a fal mellé állnak az emberek, a henger pedig egyre gyorsabban forog, amíg a bennlévők a falhoz nyomódnak. Ezután a padló eltűnik, az emberek pedig meglepődnek, hogy súlytalanok, legalábbis függőleges irányban.

Nagyon valószínű, hogy már az ókori emberek érezték, és talán meg is értették a centrifugális erőt. Az ókori Róma kocsiversenyein – legalábbis a mai moziváltozatokban – a hajtók nagyszerűen veszik be a Colosseum szűk fordulóit. De mint a többi fejezetben tettük és tesszük, itt nehéz kiemelni egyetlen embert, aki leginkább hozzájárult ehhez a témához.

Mindamellett még mindig úgy tűnik, hogy Newton második törvénye a centrifugális és centripetális erővel kiegészítve mindennapi körülmények között még a forgó Földön is a mozgások univerzális törvénye marad. Azonban a forgó rendszerekben bizonyos más erők

következtében meglehetősen zavarba ejtő hatások léptek fel.

9. fejezet

Karneváli forgatagok

Ki tudná feledni azt a jókedvet, amit egy karneválon, vagy vidámparkban a forgó hordón áthaladó emberek látványa okoz? Ha egyenesen indulunk el, a túloldalon biztosan elesünk. Ha óvatosan a felénk gördülő fal felé lépkedünk, átjuthatunk. Ha a lábnyomokat rögzítenénk a hordó belsejében, nem egyenes vonalat, hanem egy érdekesen görbülő ívet kapnánk. Az történik, hogy egy forgó rendszerben a legrövidebb út nem feltétlenül az egyenes.

Gaspard Gustave Coriolis fontos felfedezése a 19. század elején a forgási jelenség egészen új felfogását hozta magával. Coriolis, aki alkalmazott matematikus volt, érdekes megfigyeléseket tett mérnöki munkája során. Rájött, hogy néhány jól ismert mechanikai törvény nem pontosan ír le bizonyos jelenségeket, ha forgó vonatkoztatási rendszerben tekintjük. Ez a forgó hordó esetére is igaz, ahol bizonyos megfigyelt mozgások nem nyilvánvalóak.

Coriolis 1792-ben született Párizsban, amikor a monarchiát eltörölték Franciaországban; ez az esemény egy másik kiváló francia tudós életére is hatással volt, akiről az utolsó előtti fejezetben lesz szó. Franciaország elsőrangú iskolájában, az École Politechnique-ben végzett, és több éven keresztül a hadsereg mérnöki

testületében dolgozott. Miután lerótta nemzeti szolgálatát és felbecsülhetetlen tapasztalatokat szerzett a gyakorlatban, visszatért alma materébe alkalmazott mechanikát tanítani.

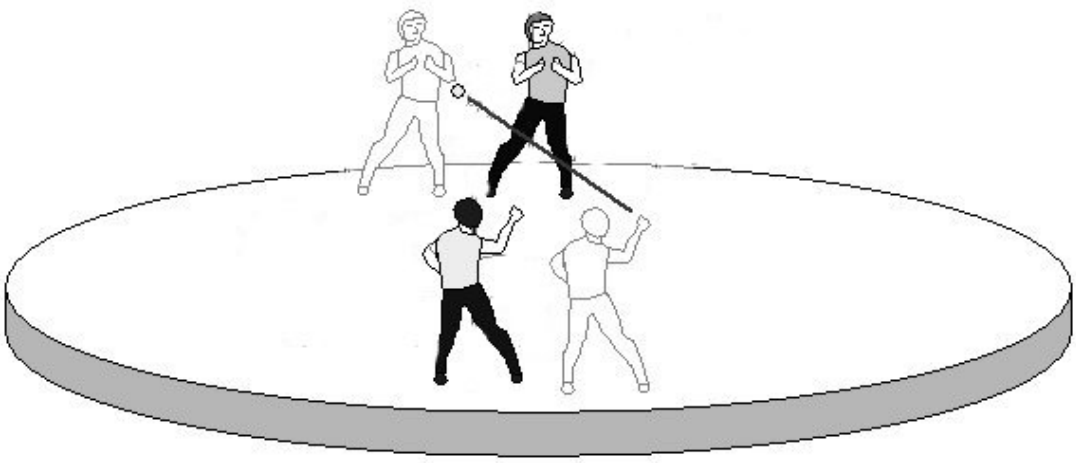
Az 1830-as évek elején jelent meg értekezése, melynek címe Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps. A cikk egy testekből álló rendszer relatív mozgásának egyenleteivel foglalkozik. Nem szólt a Föld forgásáról, vagy az „emiatt” fellépő következményekről az atmoszférában; ezekről később mások írtak. Coriolis a vízikerekek működését és a különböző fokozatok közötti energiaátvitelt vizsgálta, - ezzel az ókori berendezéssel az 1. fejezetben már foglalkoztunk.

Forgó rendszerek esetében egy erőkomponens bevezetését javasolta, amely ma a nevét viseli, bár ő nem nevezte meg. Úgy vélte, hogy ez az erő a szokásos erőt kiegészítve egy globális centrifugális erő alkotóeleme. Azonban a jelenség felismerése biztosította számára a halhatatlanságot, - róla nevezték el ezt a ma már közismert erőt.

A Coriolis-jelenség megnyilvánulásait láthatjuk, amikor egy olyan körhintán mozgunk, amelynek forgó platformjához lovak, vagy más állatok szobrát rögzítették; egy másik mulatságos emlék gyermekkorunkból vagy saját tapasztalatunkból. Képzeljük el, hogy ráültettük gyermekünket egy belső körben lévő lóra, és megpróbálunk eljutni a külső kapuhoz, miután a körhinta már elindult. Ha a körhintára

festett egyenes sugár mentén indulnánk a széle felé, biztosan elvétenénk a kaput a forgómozgás miatt.

Ha a forgó hintán haladva el akarjuk érni a kaput, ugyanúgy kanyarodnunk kell, mint a hordó belsejében. A jelenséget könnyű megérteni: mivel a dobogó forog, de a célpontunk mozdulatlan, igazodnunk kell a forgáshoz. Kedves olvasó, győződjön meg róla személyesen, ha mostanában körhintát lát.



9.1 ábra A Coriolis-hatás

Most teljesen felejtkezzünk el a körhintán kívüli, álló környezetről, és tekintsük úgy, hogy csak a forgó körhinta létezik. Képzeljük el, hogy a körhinta egyik oldalán állunk, és labdát dobunk valakinek, aki a körhinta másik oldalán áll.

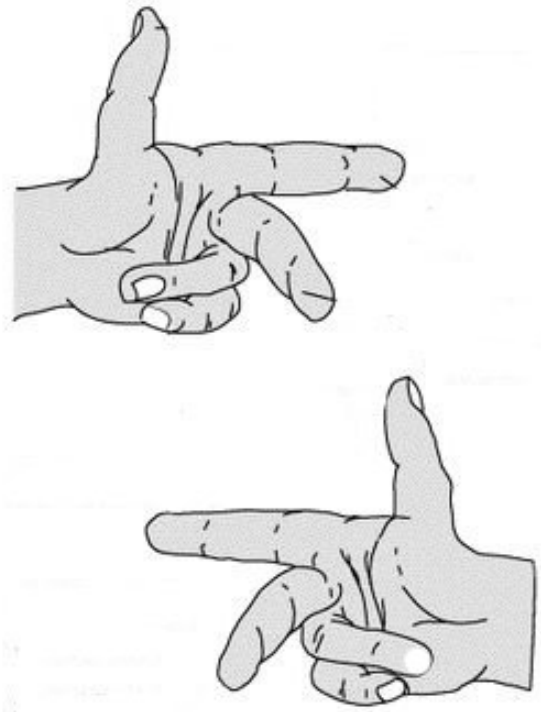
Ha dobunk valakinek, a labda egyenes vonalban mozog, ahogy a 9.1 ábrán a két árnyalak között látható. Azonban akinek a labdát célozzuk, időközben a dobogó forgása miatt elmozdul, és a kiszínezett alak helyére kerül. De mi is elmozdultunk. A labda nem fog célba érni. Az elforgatott helyzetből nézve mindkét személy szerint görbült pályát ír le a labda.

Ezt a helyzetet már nehezebb megérteni, mivel a levegőben szálló labda nincs kapcsolatban a forgó dobogóval. A forgó rendszerben lévő megfigyelő szerint a labdára egy erő hat, amely eltéríti az egyenestől. Ez a Coriolis-erő. A nyomvonal eltérése balra vagy jobbra attól függ, hogy az óramutató járásával megegyezően, vagy ellenkezőleg forog-e a rendszer.

Az erő tényleges nagysága a forgási sebességtől függ. Ha a forgás sebessége nulla, azaz a körhinta áll, nem lép fel a jelenség. Ha a körhinta szögsebessége nagy, jelentősebb lesz a kitérés oldalra. A Coriolis-erő nagysága:

$$2m\omega v$$

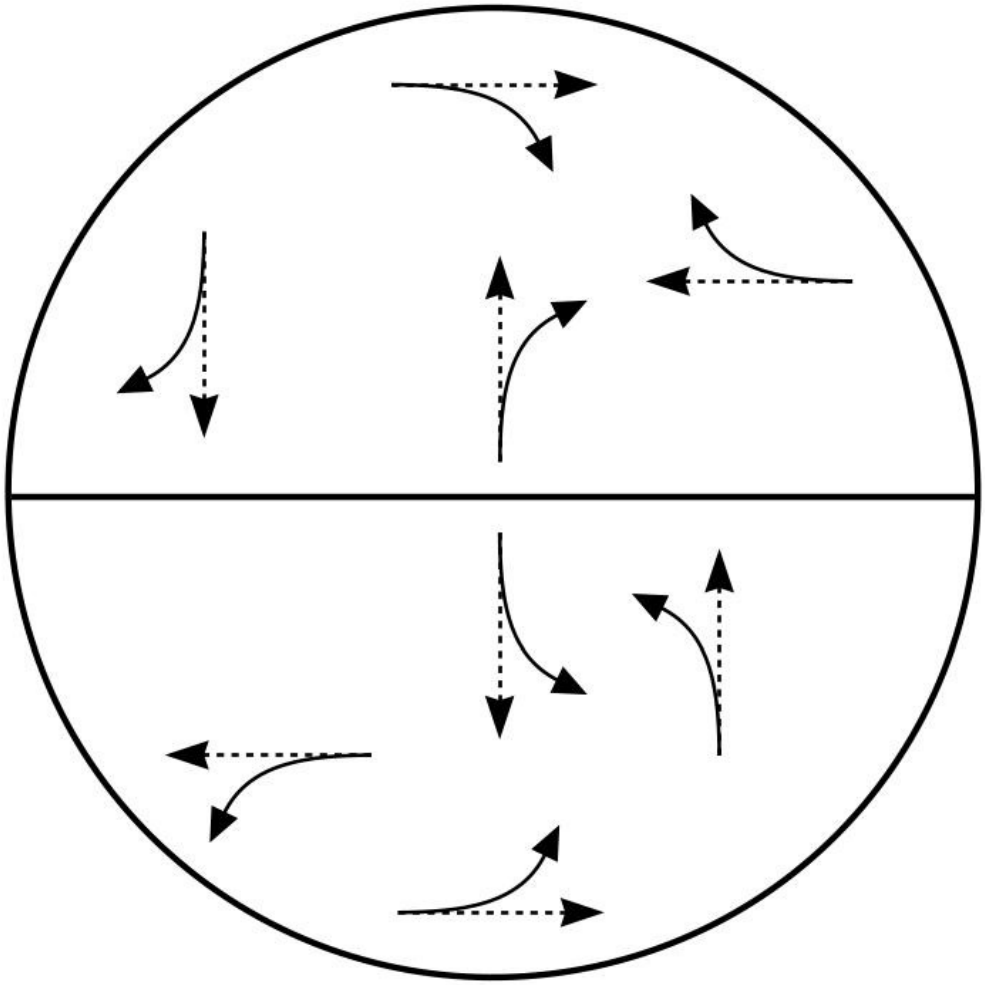
ahol m a mozgó tárgy tömege és v az egyenesvonalú sebessége. Mint a korábbi fejezetekben láttuk, ω a forgás szögsebességét jelenti.



9.2 ábra Balkezes és jobbkezes szabály

A Coriolis-erő iránya a forgás irányától és a forgó rendszerben lévő mozgás irányától függ. A 9.2 ábrán látható ún. balkezes és jobbkezes szabállyal határozhatjuk meg. A balkezes szabály az óramutató járásával ellentétes forgásnál, a jobbkezes szabály az óramutatóval megegyező forgásiránynál alkalmazható. Mindkét esetben a hüvelykujj a forgástengely, a mutatóujj a tárgy mozgásának irányába mutat, és a középső ujj jelöli ki a Coriolis-erő irányát.

A körhintás kísérletünkre alkalmazva ezeket a kézszabályokat, a nyomvonal görbülete attól függ, hogy a labdát északi, déli, nyugati, vagy keleti irányba dobjuk, illetve hogy a körhinta az óramutató járásával ellenkező, vagy megegyező irányban forog.



9.3 ábra A Coriolis-erő irányai

A 9.3 ábra a forgó körhintán eldobott labda különböző lehetséges irányait mutatja be. Az óramutató járásával ellentétes forgás esetén az iránymeghatározásra az ábra felső része alkalmas. Az óramutató járásával ellenkező irányba forgó körhinta esetén, ha kelet felé dobjuk a labdát (legfelső pontozott egyenes vonal), a Coriolis-erő dél felé mutat. Viszont, ha nyugat felé dobjuk, az erő az északi irányba mutat. Másrészt, déli

irányba dobva az eredmény nyugatra mutató erő, míg ha észak felé dobunk, akkor kelet felé „térül el” a labda.

Az ábra alsó része az óramutató járásával megegyező irányban forgó körhinta esetén mutatja a Coriolis-erő irányait, és a jobbkezes szabály segítségével határozhatjuk meg. Ha kelet felé dobjuk a labdát (a 9.3 ábrán a legalsó egyenes nyíl), akkor a Coriolis-erő iránya északi. Az összes többi esetben az ellenkező forgásirány miatt az erő ellentétes irányba hajlik el.

A centrifugális erő megnyilvánulására találtunk példát a sportból, keressünk a Coriolis-erő megjelenésére is. Számos sportban előfordul a forgómozgás, ezért érdekes példák adódnak. Fontos, bár nem nyilvánvaló eset a baseball egyik legnehezebb pozíciója, a shortstop. A feladat az, hogy a labdát el kell kapni, mialatt a játékos szemben áll a dobóval, azután az első bázis felé fordulva kell eldobni. Valójában hasonlít a körhintával végzett gondolatkísérletünkhöz, csak itt a pálya mozdulatlan (figyelmen kívül hagyjuk a Föld forgását), és a játékos forog.

Forgás közben dobni: önkéntelen igazodást kíván a játékostól a Coriolis-hatáshoz. Nevezhetjük csupán tehetségnek, mivel valószínűtlen, hogy a játékosok figyelmet fordítanának erre, ha egyáltalán tudomásuk van róla. Gyakorlás és tapasztalat kell, hogy sikerüljön, de a hatás tagadhatatlan.

Ebben a baseball példában és más valóságos alkalmazásoknál nyilvánvalóan nem minden mozgás (ez esetben a dobások) esik a földrajzi fő irányokba. Forgó

rendszerekben a testek és részecskék mozgása általánosabb, és a fenti szabályok nem mindig alkalmazhatók közvetlenül. Az ilyen általános mozgások pontos matematikai leírásához szükség van a vektorokra, és néhány olyan algebrai műveletre, amelyek a mi szintünket meghaladják, ezért itt nem tárgyaljuk.

Legyen elegendő annyi, hogy bármilyen általános mozgáshoz algebrai módszerrel meghatározható a rá vonatkozó Coriolis-erő iránya. Ha a Coriolis-erő hatását a Földünkre vonatkoztatjuk, nagy jelentőséget kapnak az erő különböző irányai.

10.fejezet

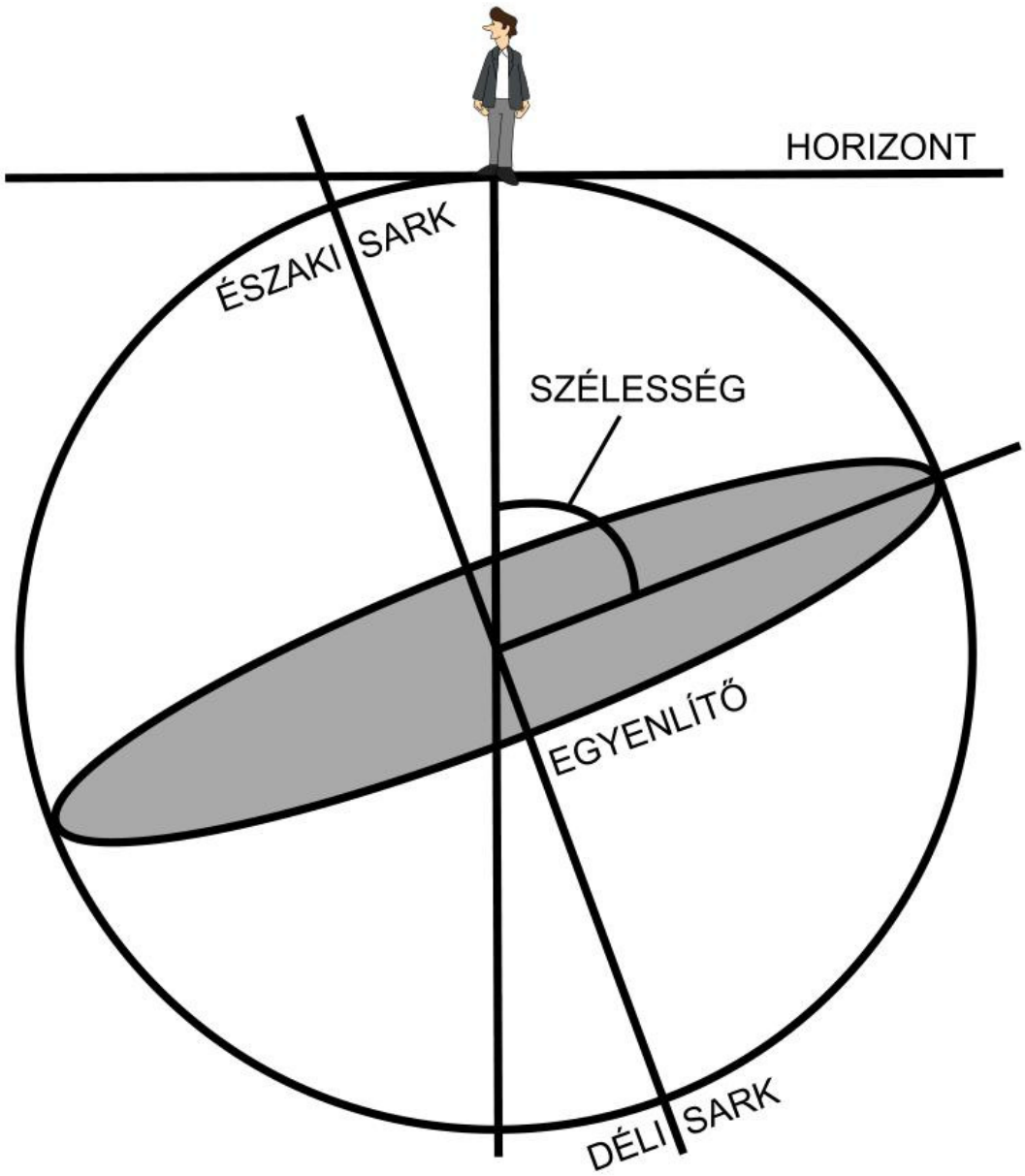
Földi spirálok

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a Föld tökéletesen gömb alakú, és hagyjuk figyelmen kívül a sarkok belapulását, az egyenlítői kidudorodást, vagy méretüktől függetlenül a hegyek és a kanyonok okozta eltéréseket. Témánk szempontjából a Föld méreteihez képest ezek elhanyagolhatók.

Mivel a Föld egy tengely körül forog, - amelyről az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy a sarkokat köti össze, - így a Földön egy folyamatosan forgó rendszerben élünk. Elkerülhetetlenül forgó résztvevői vagyunk különböző fizikai és meteorológiai jelenségeknek, amelyek közül néhányat hasonlóan értelmezünk, mint a forgó körhinta esetét. Bár a Föld forgásának tengelye nem mindig mutat függőlegesen felfelé, mégis használjuk a kelet, nyugat, észak ,dél irányt az égtájakra.

Vizsgáljuk azt az esetet, ha valahol az északi félgömbön vagyunk, ahogy a 10.1 ábra mutatja. Ezen a szélességi fokon a Föld forgástengelye a megfigyelő számára a lokális horizonthoz képest nem függőleges. Az általuk bezárt szög befolyásolja a Coriolis-erő nagyságát. Ha a szélességi fokot φ jelöli, akkor a Coriolis-erő nagysága

$$2\ m\ \omega\ v\ \sin\varphi.$$



10.1 ábra A szélességi fok

Ha a φ szög 90 fokos, akkor sinφ = 1 és a Coriolis-erő megegyezik azzal, amit az előző fejezetben kiszámítottunk. Ekkor az Északi-sarkon vagyunk, és a

forgástengely függőleges irányú, ugyanúgy mint a körhintán.

Másrészt, ha a szög nulla fokos, akkor az Egyenlítőn vagyunk. Ekkor $\sin\varphi = 0$, és nincs Coriolis-erő, mert az Egyenlítőn a Föld forgásának tengelye párhuzamos a horizontális síkkal. Lényegében a hüvelykujj és a mutatóujj az Egyenlítőn egybeesik, ezáltal a kéz-szabály nem használható.

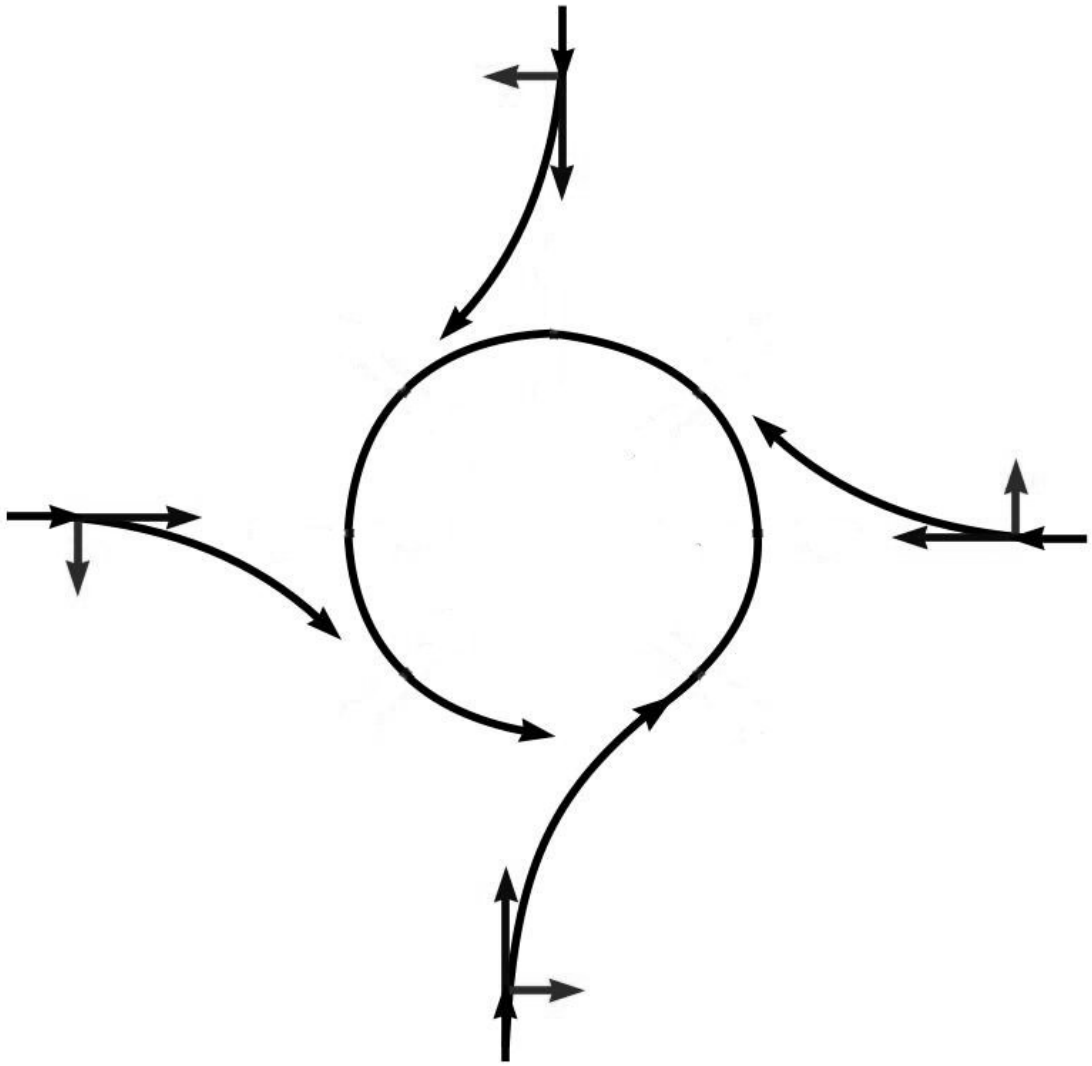
A Coriolis-hatásnak a Föld felszínén messzemenő következményei vannak. Tekintsük az atmoszférát, melyet nagyszámú paraméter határoz meg, és nagyon nehéz megjósolni a levegőtömegek mozgását, az időjárást. Néha teljesen véletlenszerűnek tűnik, de valójában ebben a Coriolis-erő által érdekes módon befolyásolt káoszban létezik valamiféle rend.

Az atmoszférában a nagynyomású területek felől az alacsonyabb nyomású helyek felé áramlik a levegő, ugyanúgy, ahogy a meleg is az alacsonyabb hőmérsékletű terület felé áramlik. Mivel az atmoszféra a forgó Földet veszi körül, a Coriolis-erő hatással van rá. A nagyobb nyomás felől az alacsonyabb felé áramlás egyenes vonalú mozgását a Coriolis-erő módosítja, az eredményt a 10.2 ábrán mutatjuk be.

Az ábrán a körön kívüli, középpont felé mutató egyenes nyilak ábrázolják az alacsonyabb nyomás felé induló levegőáramlatot. A kisebb, merőlegesen rajzolt nyilak az oldalirányban ható Coriolis-erőt jelölik. Az eredményt a görbült nyilak mutatják: a levegő az óramutató járásával ellentétes irányban kering a középpont körül. A

megértéshez segítséget adhat, ha felfedezzük, hogy ez a minta megegyezik a körhinta-kísérletével, és emlékszünk az előző fejezetben tárgyalt, irányokra vonatkozó megállapodásra.

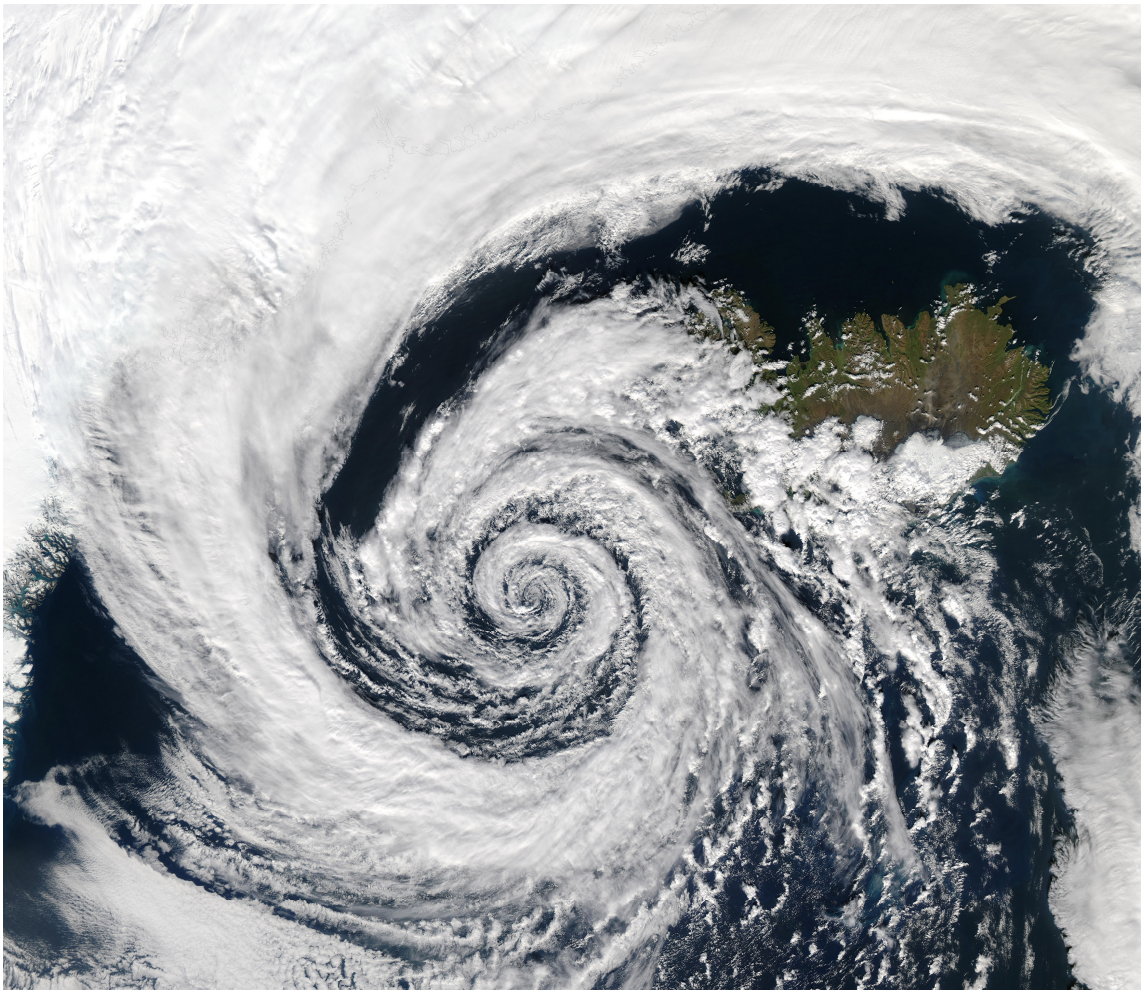
Most nézzük a hurrikánokat. Valójában ezek is a nagyobb nyomás felől a kisebb nyomás felé mozgó olyan levegőáramlatok, amelyek forgásba jönnek.



10.2 ábra Coriolis-hatás a levegő mozgásában

A Karibi térségben fellépő hurrikánok túlnyomórészt az óramutatóval ellentétes irányban forognak, ahogy az északi félgömbön várható, míg a déli félgömbön a forgószelek az óramutató járásával megegyező irányt mutatnak. Az Egyenlítőhöz közeli területeteken sem hurrikánok, sem forgószelek nem lépnek fel: a fenti egyenletből látható, hogy a φ szög nagyon kis értékeihez nagyon kicsi sinφ érték tartozik, így a Coriolis-erőkomponens is kicsi lesz.

Továbbá a sinφ értéke maximális amikor a szög 90 fokos, amely a sarkoknak felel meg. Felülemelkedve azon a kétértelműségen, hogy a sarkokon állva a keleti vagy nyugati irány mit jelent, a Coriolis-erő vízszintes hatása itt a legnagyobb. Ez kétségkívül hozzájárul ahhoz, hogy a sarki területeken rendszeresen forgó meteorológiai jelenségeket figyelnek meg.



10.3 ábra Hurrikán

A híradóban bemutatott időjárási térképeken jól kivehető spirális mintázatokat látunk, mint a10.3 ábrán, amely egy alacsony nyomású rendszer műholdas felvételét ábrázolja. Ez a 10.2 ábrán látott körkörös minta valódi megjelenése. Ez a felvétel az északi félgömbön készült, a Coriolis-erő hatása az óramutató járásával ellentétes irányú. A déli félgömbön viszont a mozgás ellentétes irányú.

A Coriolis-erő a Földön tipikus széljárásra, a passzátszélre is hatással van. Ezt a jelenséget a magas

és alacsony nyomáson kívül a hőmérséklet befolyásolja. Az Egyenlítőnél a forróság hatalmas emelkedő légtömegeket hoz létre. Ez a meleg levegő azután a sarkvidékek hűvösebb területei felé áramlik. Az északi áramlás a Coriolis-erő hatására (az északi félgömbön) kelet felé térül el, hasonlóan, mint a hurrikánok.

Ennek eredményeként jön létre a passzátszél, a 30. és 60. szélességi fok között uralkodó széljárás. Nyugati szeleknek nevezik, mivel nyugat felől fújnak. A passzát szelek a déli félgömbön is nyugatiak. Ez a látszólagos ellentmondás annak tulajdonítható, hogy a déli félgömbön a dél felé történő mozgásra a Coriolis-hatás nyugati irányba mutat. Az Egyenlítőnél nincs passzátszél, mivel nincs Coriolis-hatás. Végül a sarki területeken, ahol maximális a Coriolis-hatás, hírhedten változékony a széljárás.

A nagy magasságban lévő légáramlatok (jet stream) is nyugatiak, és valószínűleg ugyanezek a hatások befolyásolják a légmozgásokat 8-12 kilométer illetve 25000-40000 láb magasságban. Az óceánon átkelő repülőket olyan mértékben segítik, vagy akadályozzák, hogy egy óra különbséget okoz, ha az áramlattal együtt, vagy annak ellenében haladnak. Sajnos a légáramlatok határán a levegő eléggé turbulens, ami nehézséget okoz a repülőknek.

A Coriolis-erő hatásával kapcsolatos az a népszerű hiedelem, hogy az északi félgömbön az óramutató járásával ellentétes, a déli féltekén pedig az óramutatóval megegyező irányú a lefolyókban a víz áramlása. Valójában az arányok számítanak. Bár

tagadhatatlan a hatás, a lefolyó geometriai alakjának sokkal nagyobb a befolyása, mint a Coriolis-erőnek. Könnyen belátható, hogy napjainkban a modern fürdőszobai lefolyóknál, - különösen ha nem a kagyló középpontban helyezték el - a víz mozgásának irányát a lefolyó alakja befolyásolja.

Azonban a hatást kísérletekkel igazolták, teljesen szimmetrikus, hengeres víztartályok esetén, ahol a lefolyó az alsó rész közepén volt. Amikor a tartály teletöltése után sokáig hagyták a vizet megnyugodni, azután lassan kihúzták a dugót, tehát egészen csendesen folyt, a jelenség bekövetkezett: a víz mindkét félgömbön a várt irányban folyt.

A Coriolis-erővel kapcsolatos buta babonák közé tartozik például az, hogy a fejünk tetején a hajnövekedés iránya jelzi, hogy az illető az északi, vagy a déli féltekéről származik-e. Világos, hogy ez minden alapot nélkülöző mítosz, mert mint tudjuk, a mozgás sebességének is szerepe van, a hajnövekedés gyorsasága a Föld forgásához viszonyítva kifejezetten kicsi. Más szemszögből nézve is lelepleződik ez az elképzelés: nem inkább egyenesen felfelé kellene nőnie a hajunknak a sokkal nagyobb centrifugális hatására, mint forgót képezni a sokkal kisebb Coriolis-erő miatt?

Végül, ha lehetséges, a Coriolis-erő még bonyolultabb. A 10.1 ábrán az emberke egy bizonyos szélességen mozogva azt kérdezheti: Hogyan ismeri fel a Coriolis-erő a vízszintes irányt? Amint látni fogjuk, a válasz elég érdekes és magyar vonatkozasú.

11. fejezet

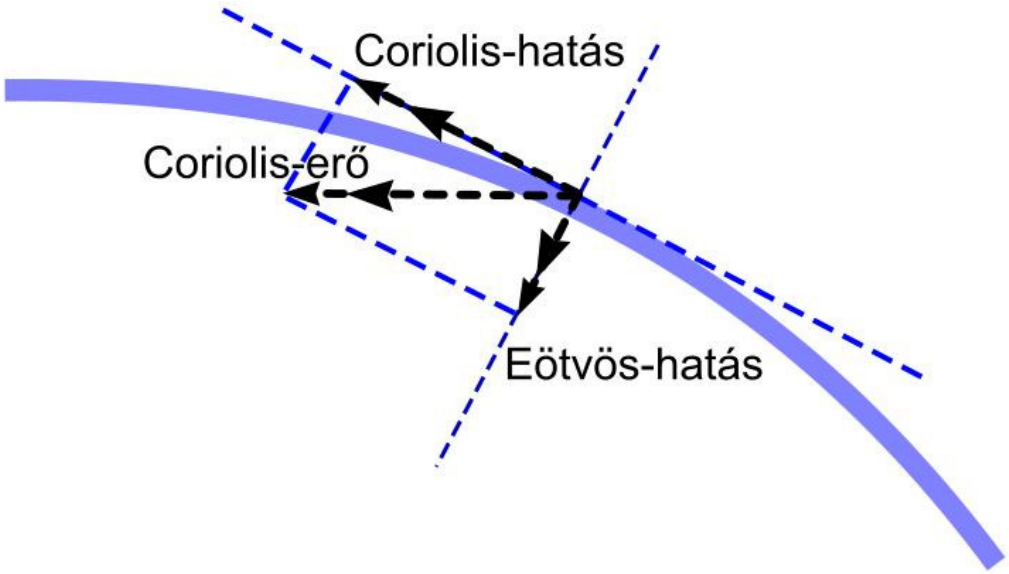
Torziós hatások

Valamikor a19. század végén egy német kutatócsoport gravitációs méréseket végzett egy hajóról az Északi-tengeren. Az eredményeket egész Európában a kutatók rendelkezésére bocsátották, és a tudósok nagyon érdekes megfigyelésre jutottak. Észrevették, hogy ugyanazon a helyen a mérések különbözőek voltak attól függően, hogy keleti, vagy nyugati irányban haladt-e a hajó. Ez a jelenség meglepő volt és a tudósokat zavarba is ejtette.

Eötvös Lóránd, egy magyar nemesi család leszármazottja, 1848-ban született. Ez az év kiemelkedő a magyar történelemben, mert a magyarok ekkor kezdték meg - végül bukásra ítélt – szabadságharcukat, hogy az Osztrák Császárságtól függetlenné váljanak. Ahogy akkoriban a magyar nemesi családok körében népszerű szokás volt, Eötvös is jogi tanulmányokat végzett, hogy politikus lehessen. Azonban a természettudományok érdekelték igazán, ezért Németországban,a Heidelbergi Egyetemen tanult tovább. Olyan tekintélyes tudósok oktatták, mint az áram-törvényeiről híres Gustav Kirchhoff és az energia megmaradási elvének felfedezője Hermann Helmholtz.

Tanulmányai végeztével visszatért Pestre és egyetemi előadó lett a Tudományegyetemen, amely ma az ő nevét viseli (és e könyv írójának egyik alma mater-e). A kísérleti fizika területén tevékenykedett, különösen a

gravitáció érdekelte. Eötvös felismerte, hogy a Coriolis-erő iránya függ a földrajzi szélességtől, és nem szükségszerű, hogy a megfigyelő vízszintes síkjában legyen. Arra a következtetésre jutott, hogy a német tudósok által észlelt jelenséget a Coriolis-erő függőleges összetevője okozza, amely bizonyos szélességi fokokon lép fel. Azóta ezt a hatást Eötvös-hatásnak nevezik, és a Coriolis-erő vízszintes összetevőjét szokták Coriolis-hatásnak tekinteni.



11.1 ábra Az Eötvös-hatás

A Coriolis-erő függőleges összetevője a különböző földrajzi szélességek esetén:

$$2\ m\ \omega\ v\ \cos\varphi.$$

Középiskolai matematikai tanulmányainkból emlékszünk, hogy cosφ értéke egy, ha a szög nulla. Ez az Egyenlítőnek felel meg, így a Coriolis-erő függőleges összetevője itt a legnagyobb. Viszont a sarkokon nincs Eötvös-hatás, mert 90 fokos szög esetén cosφ értéke nulla.

Ezt a Coriolis-erő irányfüggésével összevetve következik, hogy kelet felé mozogva a hatás iránya fölfelé mutat a Föld felszínétől. Ha nyugati irányban haladunk, az Eötvös-hatás a Föld felszínére mutat, és hozzáadódik a gravitációs erőhöz, amint a 11.1 ábrán látható.

A fenti megállapítások az északi félgömbre vonatkoznak, ahol az óramutatóval ellentétes forgás megfelel a Föld rotációs vektor-irányának. Ez úgy állapítható meg, hogy a tengelyre nézve megfigyeljük a forgást. Az északi féltekén a sarokról dél felé tekintve a Föld forgása az óramutató járásával ellentétes. Az erő a déli félgömbön ellentétes lesz, mivel a Déli-sarokról nézve a Föld forgása megegyezik az óramutató mozgásával.

Ezért az északi féltekén egy kelet felé haladó hajón a súly a Coriolis-erő függőleges összetevőjével csökken. Kevesebb a súlyunk, ha kelet felé mozgunk. Némi alázatossággal beláthatjuk, hogy a testsúlyunkra vonatkoztatva ez nem mérhető, ezért nem tervezhetünk olyan fogyókúrát, amely folytonosan kelet felé haladva ígér súlycsökkenést. Azonban a forgási jelenség további érdekes hatását figyelhetjük meg.

A hatás tényleges mérése egy rugóra felfüggesztett súlyos tárgy segítségével történhet. A felfüggesztési erő pontosan megegyezik a gravitációs erővel, azaz a tárgy súlyával. A jól ismert Hooke-törvény szerint a rugóban fellépő erő arányos annak hosszával. Egy rugó hossza nagy pontossággal elég egyszerűen lemérhető, így a kelet és nyugat felé haladás közötti mérési különbségek érzékelhetőek.

Nézzük meg az Eötvös-hatást mennyiségi szempontból. Ha a szélességi szög 60 fok, akkor a szög cos értéke ½, és egy m tömegű testre ható függőleges Eötvös-hatás

$$2\ m\ \omega\ v\ 1/2 = m\ 0{,}000073\ v$$

lesz, ahol felhasználtuk a Föld korábban kiszámított szögsebességét radián per másodpercben.

Ez az erő a rugóerővel együtt adja a test súlyát. Tegyük fel, hogy egy 100 kilogrammos tárgy mozog kelet felé 10m/sec sebességgel, ekkor az Eötvös-erő megközelítőleg 0,073 newton. Ez csökkenti a rugóban fellépő erőt, ezért a rugó megnyúlása kisebb lesz. Viszont ha nyugat felé mozog, akkor a függőleges erő hozzáadódik a súlyhoz, ezért tovább nyújtja a rugót.

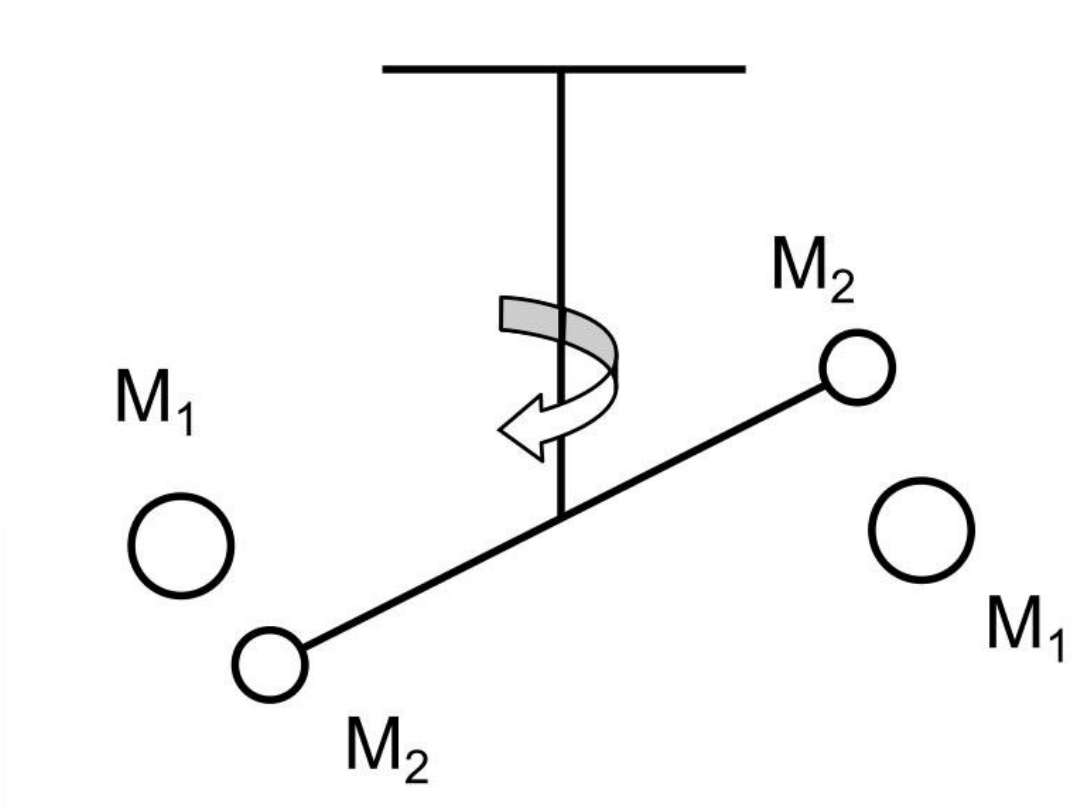
A súlykülönbség körülbelül ⅓ uncia, majdnem egy deka, ezért a rugó hosszváltozása a két útvonal között finom műszerrel lemérhető. A hatás csökken, ha a sarkok felé, és növekszik, ha az Egyenlítő felé közelítünk.
Eötvös magyarázatát nem fogadták el azonnal. Azonban az eredeti német kutatócsoport 1908-ban megismételte a kísérletet a Fekete-tengeren, amely közelebb van az

Egyenlítőhöz. Egymástól függetlenül két hajón végezték a szimultán megfigyeléseket. Az eredmények Eötvöst igazolták, és a hatást ezután teljesen bizonyítottnak tekintették.

Eötvöst, a kísérleti fizikust rendkívüli módon érdekelte a gravitáció mérése. Felismerte, hogy egy testre ható gravitációs erőt a Coriolis-erő függőleges összetevőjén kívül a centrifugális erő és talán a Föld tömegeloszlása is befolyásol. Érvelése szerint ezt tükrözik vissza a gravitációs gyorsulás lokális változásai, amelyek nehezen mérhetők, de Eötvös elhatározta, hogy segítségül a torzió mechanikai jelenségét használja fel.

Torzióról beszélünk, ha forgatónyomaték hatására egy tárgy a tengelye körül elcsavarodik. Például ha egy merev rudat két kézbe fogunk, és ellentétes irányba megcsavarjuk a két végét, akkor torzió lép fel. Attól függően, hogy milyen anyagból készült a tárgy, ez a torzió általában nem látható. Képzeljük el, hogy most egy kötelet csavarunk meg a két végén. A kötél könnyedén és látható módon megcsavarodik, és elnyeli a torziós nyomatékot.

Minél nagyobb forgatónyomaték hat a kötél két végére, annál nagyobb ellenállást fejt ki a kötél. Ez a hatás jól mérhető még kis forgatónyomaték-különbségek esetén is, amint ezt az 1700-as évek végén Charles de Coulomb felismerte. Coulomb a fenti elv alapján tervezett készülékkel a két feltöltött gömb között fellépő elektrosztatikus erőt mérte meg.



11.2 ábra Coulomb kísérlete

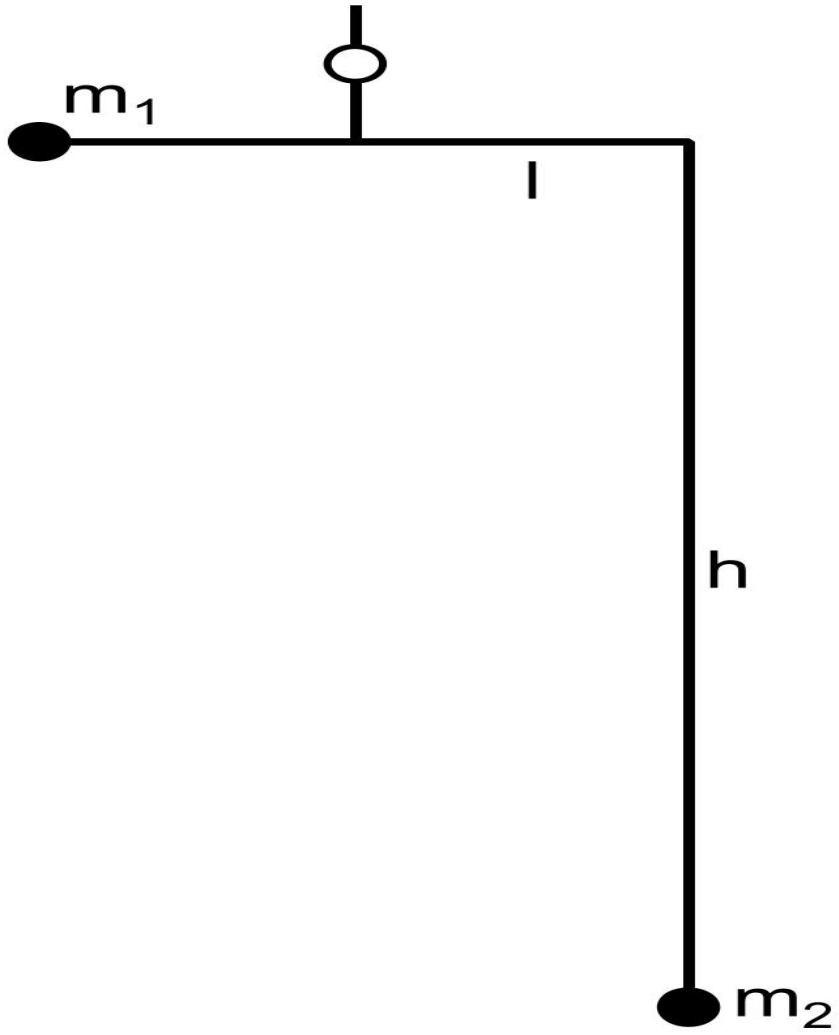
Coulomb kísérletében egy selyemzsinórra hatott a torzió, amely nyilvánvalóan könnyen elcsavarodik, így a legkisebb erő-különbségekre is érzékeny. Két pár, elektrosztatikusan feltöltött ellentétes polaritású gömböt (M_1 és M_2) nagyon közel helyeztek egymáshoz, és a köztük lévő vonzóerőt nyilvánvalóan láthatóvá tette a tartórúd elfordulása. A 11.2 ábrán látható kísérlet a ma Coulomb-törvénynek nevezett elv bizonyítási alapja volt.

Mintegy száz évvel később Eötvös elhatározta, hogy Coulomb berendezését használja fel a gravitációs erő lokális változásainak méréséhez. Észrevette, hogy a torziós elv nagyon pontos eszközt nyújt a gravitációs erő

nagyságának és irányának méréséhez, szögperces változást is kimutat. Coulomb berendezésén találékony módosítást hajtott végre: a rúd egyik végén lévő testet egy további szalagra függesztette fel. Ez az elrendezés lehetővé tette, hogy a gravitációs gyorsulás helyi vízszintes összetevőjét érzékelje. Ez a berendezés a híres torziós inga.

Az 1891-ben megjelent Eötvös-féle készülékben a zsinór egy 0,04 mm átmérőjű platina-irídium drót volt; nagyon vékony, körülbelül az inch ezredrésze. A vízszintes rúd egy alumíniumcső volt, a gömbök tömege 30 gramm, vagyis körülbelül egy uncia. Azonban az egyik oldalon a gömb egy 65 cm hosszú zsinóron függött a rúd alatt.

A vékony zsinór tette különösen érzékennyé a berendezést. Középen egy tükröt szereltek a rúdra, amely a fényt egy távcsőbe továbbította. A rúd irányának legkisebb változását felnagyította a tükröződő fény. A rúd két oldalán ható erő között fellépő bármilyen különbség hatására a rúd elfordul, és a vékony zsinórra erősített tükörberendezés láthatóvá teszi azt.



11.3 ábra Az Eötvös-inga

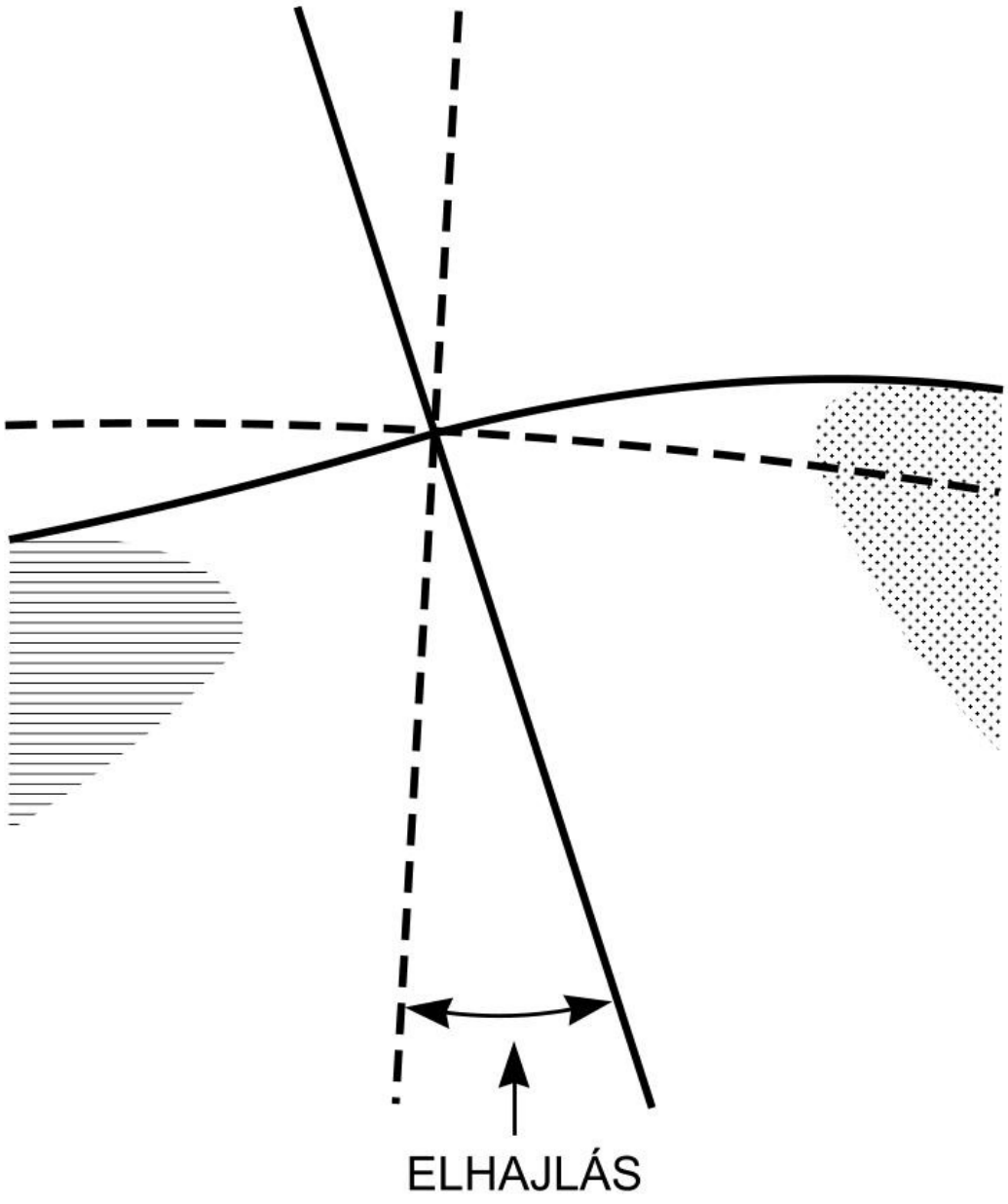
A 11.3 ábrán látható Eötvös-inga vázlatos rajza bemutatja Eötvös gondolatmenetét. Feltételezte, hogy ha ugyanaz a vízszintes erő hat mindkét gömbre, akkor a zsinórra felfüggesztett gömb képes elnyelni azt úgy, hogy függőleges helyzetéből kimozdítja a zsinórt, és ezáltal nyomatékot gyakorol a rúdra. A rúd két végén ható vízszintes erők közötti különbség elfordítja a rudat.

Eötvös felismerte azt a tényt, hogy a gravitációs erő nem mindig függőleges irányú. A vízszintes irányú erőkomponens a Föld forgása miatt fellépő centrifugális erőnek tulajdonítható. A hatás a 45. szélességi fokon a legerősebb. Eötvös első kísérleteinek színhelye, Budapest a 47,25 szélességi fokon fekszik, így itt nagyon jól érezhető a hatás.

Azt is megsejtette, hogy a gravitációs erő vízszintes összetevőjének egyéb változásait helyi tényezők idézhetik elő. Ez nem volt azonnal nyilvánvaló, elfogadásához szüksége volt a gravitációs jelenség elmélyedt megértésére. Feltételezte, hogy ezeket a gravitációs mezőben fellépő vízszintes változásokat olyan tömegek okozhatják, mint a hegyláncok, vagy más tektonikus jellemzők, ahogy a 11.4 ábrán bemutatjuk.

A Föld tömege az ábra jobboldalán sokkal tömörebb, mint a bal oldalon. Így a gravitációs erő iránya, amely normál körülmények között a Föld középpontja felé mutat, a nagyobb sűrűségű terület felé térül el. Ezt az elhajlást átveszi a vízszintes rúd a ritkább tömegnél lévő zsinor közvetítésével, ez végül mérhető elfordulást okoz.

Eötvös biztos volt abban, hogy mérőműszere képes kimutatni ezt. A berendezés érzékenysége látványos volt. Eötvös a gravitációs erő irányának 1/6000 szögmásodperces elhajlását is meg tudta mérni, ami még mai szemmel is meglepő pontosság. A kísérlet során lehetséges mérési hibákat jóval túllépi.



11.4 ábra Az Eötvös-jelenség

Eötvös többféle elrendezésben, különböző anyagból lévő összetevőkkel és több irányban ismételte meg a kísérletet. Amikor a berendezést kalibrálta, kihasználta, hogy 1901. telén a Balaton vize befagyott, és a tó jegén

helyezte el a készüléket, hogy minimális legyen a Föld lokális földalatti tömegeloszlásának hatása. A tó jege homogén földalatti tömegeloszlást biztosított.

Az, hogy ilyen mélyen megértette a gravitáció térbeli változásainak okát, a tudományra és az emberi létre hatalmas befolyást gyakorolt. Arra a következtetésre jutott, hogy berendezése képes lehet a gravitációs erő hirtelen változásait érzékelni azokon a helyeken, ahol a különböző földalatti ásványkincsek határán megváltozik a sűrűség. Ahogy mondani szokás, a többi már ismert történelem.

Egy cikkében azt javasolta, hogy készülékét olajmezők felkutatásához használják fel. Valóban, a berendezés jól szerepelt, amikor Magyarországon az első olajmezőket megtalálták. Az 1930-as évekre Európában százszámra fedeztek fel olajmezőket az Eötvös-berendezés segítségével.

Azonban a készülék csak elvileg volt egyszerű. Gyártásához kiváló szakemberekre, a kísérlet végrehajtása során pedig nagyfokú pontosságra volt szükség. Hogy elkerüljék a légáramlatok, vagy a hőmérséklet zavaró hatását, a berendezés függő alkatrészeit fémburkolatba zárták. Különös figyelmet fordítottak a szerkezet semleges állapotú beszabályozására, ehhez különböző szabályozó csavarokat alkalmaztak.

Olajtermelő országok, mint az Egyesült Államok, Venezuela, India és Kanada évtizedeken keresztül az eredeti budapesti gyártótól szerezték be az Eötvös-

ingákat, mivel ezek a készülékek finom pontossággal mértek. Eötvös, az elkötelezett tudós, mások tanácsa ellenére sem szabadalmaztatta készülékét. Úgy vélte, ez az ő hozzájárulása az emberiség haladásához. Az ő elve alapján készített műszereket ma is használják a geofizikusok az olajkutatásban és a bányászatban.

Egy másik, látszólag egyszerű forgási jelenség: egy finom műszer torziós kilengése látványos eredményre vezetett. Lényegében egyfajta forgó gépnek tekinthető; számos modern, a forgómozgást felhasználó olyan gép elődjének, amelyek megkönnyítik életünket.

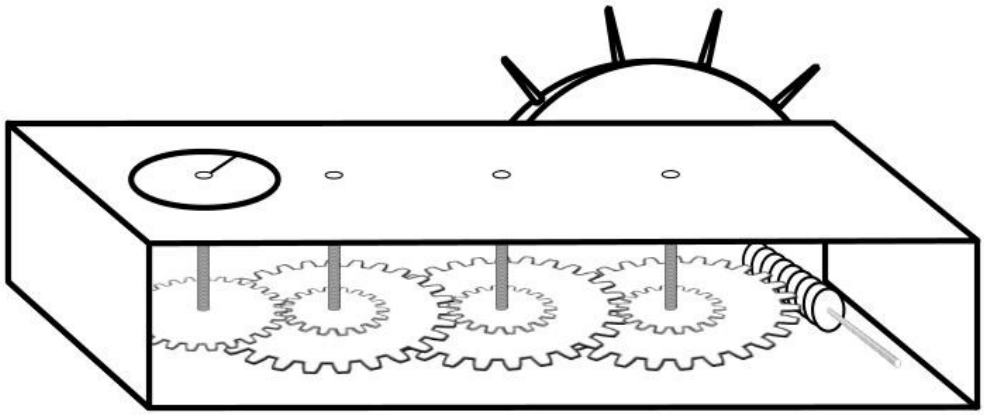
12.fejezet

Forgató gépezetek

A forgó mozgás hasznosításában nagyon fontos mérnöki találmányt jelentett a fogaskerék. Ez a találmány már az ókorban létezett, valójában az első fejezet főhősének, Archimédesznek tulajdonítják, hogy feltalált egy fogaskerekekkel működő távolságmérőt a hajók által megtett út meghatározására. A 12.1 ábrán látható Archimédesz szerkezetének vázlata.

A víz a külső lapátkereket forgatta, melynek csavarmenetes tengelye a hajó belsejében egy kerék fogazatához kapcsolódott, ez a fogaskerék elvének egyik legkorábbi megjelenése. További, egymáshoz kapcsolódó fogaskerék-párok fokozatosan annyira lecsökkentették a forgási sebességet, hogy az megfigyelhető lett a doboz tetején lévő skálán.

Az emberiség a fogaskerék elvének megismerése után csodákra lett képes a forgómozgáshoz kapcsolódóan. Megfelelően választott fogaskerék-párokkal lehetővé vált a forgómozgás fokozatossá tétele. A kerékpárnál is ezt az elvet hasznosítják, amikor az emberi erő pedál-munkája során létrejövő körmozgást felgyorsítja, vagy lelassítja a fogaskerék kapcsolat, és így a terepviszonyoknak megfelelően a kerekek gyorsabban, vagy lassabban forognak. Természetesen a fogaskerék az autókban és más gépi erővel működő járművekben is jelentős szerepet kapott.



12.1 ábra Archimédesz távolságmérője

Az ókortól kezdve az égbolton ismétlődő forgási jelenségek megfigyelése alapján végezték az idő mérését. Nem meglepő tehát, hogy az egyik legszélesebb körben elterjedt forgó gépezet az óra. A fogaskerék elvét Newton gravitációs törvényével egyesítve született meg a súlyokkal működő óra. A középkori városok óratornyaiban használták, de még ma is népszerű faliórákban.

A szerkezet egyszerű: egy felhúzó kulcs segítségével forgásba jön egy henger, amelyre feltekeredő zsinóron függ a súly. A súlyra ható gravitáció miatt a hengerről letekeredik a zsinór, és a henger tengelyén lévő fogaskerék-szerkezet átalakítja ezt a mozgást az óramutató járásává. Két különböző fogaskerék áttétel működteti a nagymutatót és a kismutatót különböző sebességgel. Némelyik óra további időskálával is

rendelkezik, például megmutatja a Hold fázisait, - ehhez összetett fogaskerék-rendszer szükséges.

Néhány toronyórába harangjátékot is szereltek, ehhez egy másik súly kell, rendszerint nehezebb, mint az időméréshez használt súly. Azután vannak kakukkos órák, melyekből időnként faragott kismadár bukkan elő, és még egy dallamot is elénekel. Erre a célra újabb súlyt használhatnak fel. E súly nagysága rendszerint a művelethez szükséges forgatónyomatéktól függ. Az európai városokban található harangjátékokat meglehetősen hosszú drótra felfüggesztett, nagyon nehéz súlyok vezérlik, hogy a figurák sokáig tartó tánca népszerű turista-látványosságot jelentsen.

Mivel a fogaskerekeket beépítik az órába, és azután már nem változtathatók meg, az óra pontosságát és hangolását egy inga segítségével valósítják meg, amely hasonló Foucault ingájához. Az inga hosszának változtatásával az óra pontossága beállítható. A pontos idő meghatározásához szükséges a fogaskerék-szerkezet finomítása és szabályozása, de ez látókörünkön kívül esik; számunkra az a fontos, hogy a forgómozgás lehetővé teszi az időmérést.

A karórák megjelenésével a technológia fejlődését az jelentette, hogy a gravitációs hatást egy torziós felhúzó rugó helyettesítette. Még a forgás irányította a szerkezetet akkor is, amikor elemmel cserélték fel a rugót. Úgy tűnik, csak a digitális órák megjelenésével szabadultunk meg az időméréshez szükséges forgómozgástól, de hány évszázad kellett ehhez! És

még ma is sokan kézzel húzzák fel a nagypapától örökölt karórájukat.

Miután az emberiség tudta mérni az időt, ideje volt, hogy a forgási jelenséget valóban munkára fogja. Életünkben talán a legfontosabb forgó gépezet az lett, amely elektromágneses alapon működik. Mindez akkor kezdődött, amikor 1820 körül egy dán fizikus, Hans Christian Oersted bemutatta, hogy egy egyszerű mágneses iránytű érzékeny az elektromos áramra. Akkoriban maga az elektromos jelenség is gyerekcipőben járt még, és Oersted megfigyelése – hogy a mágneses jelenséggel összekapcsolta – csodálatos világra nyitott ablakot.

Oersted 1777-ben született a dániai Rudkobingban. Apja gyógyszerész volt, és a fiatal Oerstedet lebilincselte a kémia. 1799-ben doktorált a Koppenhágai Egyetemen, ezután Németországban néhány évet további tanulmányokkal töltött, ekkor mélyült el érdeklődése a fizika iránt. Koppenhágába visszatérve egyetemi tanári állást kapott, és a következő évtizedeket kutatással és tanítással töltötte.

Ez a váratlan és véletlen felfedezése akkor történt, amikor egyik előadása előtt a kísérletet készítette elő, és az asztalon maradt egy iránytű. Oersted észrevette, hogy ha az iránytűt az egyszerű elektromos áramkör közelébe helyezi és bekapcsolja az elemet, akkor az iránytű elmozdul. Ha az elemet kikapcsolja, akkor az iránytű visszaáll eredeti helyzetébe, és a Föld mágneses mezeje által meghatározott északi irányba mutat. Úgy

tűnt, hogy a dróton átfolyó elektromosság saját mágneses teret hoz létre, amely felülírja a Földét.

Néhány évvel később egy angol fizikus, Michael Faraday feltételezte, hogy a fordított jelenségnek is léteznie kell. Faraday London egyik külvárosában született mintegy 25 évvel Oersted után, többgyermekes szegény családban. Ezért 14 évesen, az elemi iskola után könyvkötő tanonc lett, hogy szakmát szerezzen. Az inasévek 7 évig tartottak, ezalatt tudásvágyát követve Faraday számos fizikával és kémiával foglalkozó könyvet elolvasott. Mire kitanulta a szakmát, elég tudásra tett szert ahhoz, hogy látogathassa a Royal Society előadásait, melyekre egy jótékonysági szervezet szabadjegyeivel jutott be. Nem mindennapi pályakezdet egy tudós számára.

A szerencsés véletlen akkor is a segítségére volt, amikor asszisztensi állást kapott az ismert vegyész, Humphry Davy mellett, aki a biztonsági lámpáról lett híres, és akinek előadásait Faraday gyakran látogatta. Ez az állás lehetővé tette számára, hogy laboratóriumi munkában vegyen részt, és a saját kísérleteit is elvégezhesse.

Ezek egyike során fedezte fel, hogy a mozgó mágneses mező elektromos áramot hoz létre. A kísérletben egy telep nélküli egyszerű zárt áramkör volt, csupán egy mérőműszerrel. Faraday egy erős, permanens mágnest használt, amelyet a drót körül mozgatott. Az árammérő kimutatta az áramot.

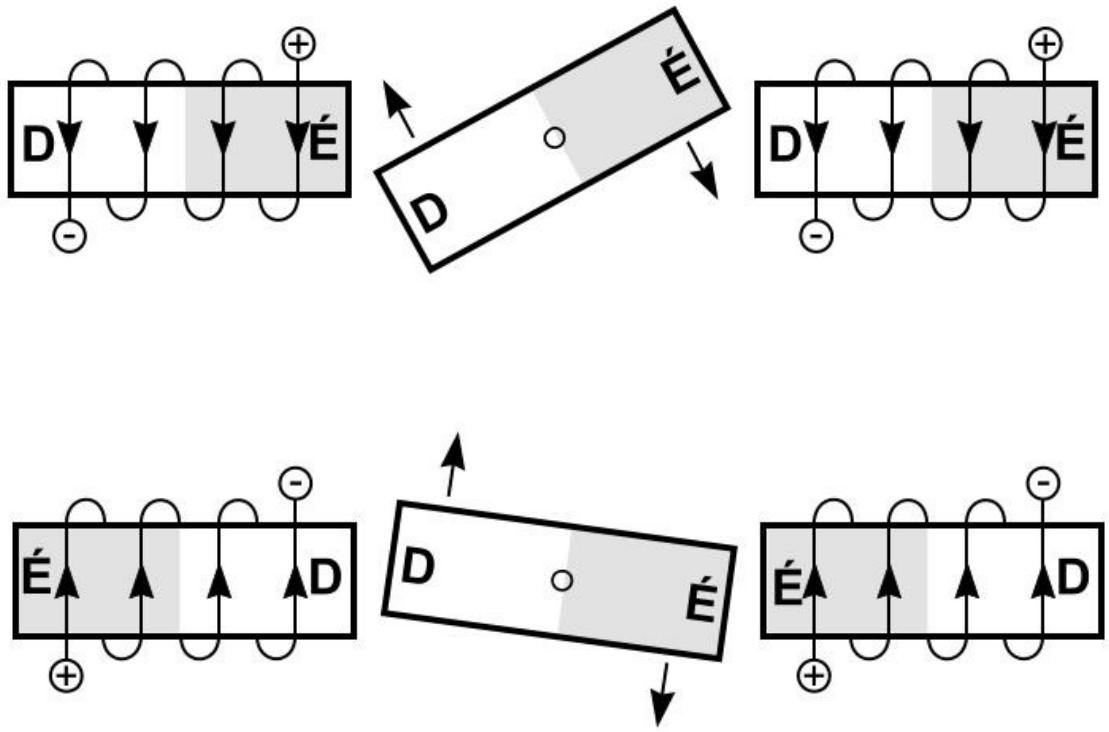
Oersted eredményével – hogy a mozgó elektromos mező mágneses mezőt hoz létre (elmozdítja az iránytűt)

– ezt összekapcsolva Faraday megalkotta az azóta szétválaszthatatlan elektromágneses párt, amely számos forgó berendezés alapja lett.

Az elv alapján működő gépek közül a legfontosabbak az elektromotor és az elektromos generátor. Az elektromotorban Oersted kísérletéhez hasonlóan mechanikai energia keletkezik a változó elektromos mező hatására. A 12.2 ábra az egyszerű elektromotor elvét vázolja. Kívül két elektromágnes látható, középen pedig egy permanens mágnes alkotja a forgó részt. A gyakorlatban a motorok több ilyen részből állnak, de az elv ugyanaz.

A külső (álló)részben rendszeresen megváltozik az elektromos áram, ez a motor belső (forgó)részében forgómozgást hoz létre. Az állórész áramköreiben megváltozó áram váltakozó mágneses mezőt indukál. A mező vagy vonzást gyakorol a forgómágnesre, ahogy az ábra felső részén látható, vagy pedig taszítja az ábra alsó részén a mágneses pólusok elhelyezkedése szerint.

A forgó rész egyik oldalon meghosszabbított tengelyéhez a motor burkolatán kívül egy használati eszköz csatlakoztatható. A konyhában számos, elektromotorral működő forgómotoros berendezés található.



12.2 ábra Az elektromotor elve

Érdemes megjegyezni, hogy ezen gépek mechanikai működése is a forgáson alapul. Minden keverő, daráló és mixer forgó mozgás segítségével keveri, darálja és mixeli a megfelelő alapanyagot.

Ugyanezt az elvet használják fel a kéziszerszámaink. A széles körben használt kézi fúrók (a félelmet keltő fogászati fúrót is beleértve) és a körfűrészek mind azt igazolják, hogy a körmozgás egyedülállóan alkalmas egy objektumból valamely anyagmennyiség eltávolítására. Még azoknál az eszközöknél is, amelyeknél egyenes vonalú mozgásra van szükség, mint egy felületcsiszoló eszköz esetében, az elektromotor forgó mozgását egy fogaskerék-áttétel teszi át egyenes vonalu mozgássá.

A forgó berendezések következő osztályát az ipari gépek jelentik. Az esztergagépek és marógépek manapság bonyolult, számítógéppel vezérelt, többszörös, szabályozható tengelyű rendszerek. Ennek eredménye a nagy pontosságú és rövid idő alatt elvégzett automatizált, precíz megmunkálás. A gyáriparban túlsúlyban vannak a forgó gépezetek.

Különféle forgó gépek a centrifugális erőt is kihasználják. Az egyszerű háztartási mosógép forgásakor a centrifugális erő segítségével távolítja el a vizet a ruhából. A tudósok fejlettebb centrifugákban a keverékeket összetevőikre választják szét, a különböző sűrűség, azaz a tehetetlenség alapján. Azután vannak a nukleáris anyag tisztítására használt centrifugák, amelyek az emberiség jövője szempontjából fontos energiaellátásban kaphatnak főszerepet.

Az elektromágneses jelenség fordított megnyilvánulása, az elektromos generátor, mely egy külső forrásból nyert mechanikai energiát alakít át elektromos árammá. A külső forrás bármilyen természetes erőforrás lehet, például a szél, vagy az áramló víz.

Az évszázadok óta ismert szélmalmokban egy szabadon forgó tengelyre rögzített, egyszerű lapátokat használnak fel, amelyek a szél nyomása alatt forgásba jönnek. Játékváltozata a papírforgó - melyet a futás közben keletkező szél-áram forgat - bizonyítja, hogy az elv működik. A középkorban, az elektromosságot megelőzően a szélenergiából nyert forgási energiát más célra használták, például vízikerék segítségével emelték ki a vizet.

Itt érdemes megemlíteni, hogy a korábban említett jet stream a tudósok szerint a jövőben felhasználásra kerülhet mint szélenergia. Még nincs megfelelő technológiánk, de úgy becsülik, hogy a jet stream kis százaléka képes fedezni az egész Föld energiaigényét. A jövő remélhetőleg meghozza azt a módszert, mellyel ez a biztos energiaforrás kiaknázható lesz.

A modern szélmalmokban a forgó tengely benyúlik a generátorban lévő álló rész tekercsei közé. A forgórész végén lévő mágnesek elektromos áramot indukálnak az álló rész tekercseiben. Kalifornia sivatagjától a skandináv tengerpartokig a világon sokfelé vannak ilyen szélkerekek.

A vízikerék segítségével történő vízmerítés elve a másik természetes erőforrásra, az áramló vízre hívja fel a figyelmet. Az ősi berendezés fordított változatánál a vízikerék a folyó vagy patak vizétől hajtva szabadon forog a tengelye körül. A tengely másik végén már a középkorban őrlőkövek forogtak, ez az eszköz minden mezőgazdasággal foglalkozó korai társadalomban megjelent.

Modern változatában a vizet egy gát fogja fel, és a vízikerék utódja, a vízturbina egy alagútba van beépitve. Az alagútban folyó víz ereje forgatja a forgó tengelyre szerelt turbina-lapátokat. A turbina generátor-oldalán a fent kifejtett elektromotor-jelenség fordítottja állítja elő az elektromosságot.

Mindkét eszköz, a szélmalom és a vízturbina is a bőségesen rendelkezésre álló természetbeni mechanikai energia segítségével állít elő drága elektromos energiát. Az emberiség egyre növekvő energiaigényének kielégítéséhez „zöld” utakat kell találni. Ezért a jövő legígéretesebb energiaforrása a víz és a levegő mozgásának erejéből nyert forgási energia.

A forgási jelenség egy másik rendkívül fontos megnyilvánulása a szállítás. Már messze vagyunk a kerék első alkalmazásának korától, de a kerék bizonyos utódai még mindig nagy hatást gyakorolnak életünkre.

13. fejezet

Örvénylő propellerek

Eddig főleg körkörösen szimmetrikus forgó objektumokat vizsgáltunk, de ez a szimmetria nem feltétlenül szükséges. A propellerek, amelyek a kerék után az emberiség legfontosabb eszközei, álló helyzetben nem kör alakúak. Speciális alakú lapátjaik vannak, és gyakran egy hengeres hajtótengelyhez csatlakoznak. Elrendezésük pedig egyenlő szögtávolságra történik.

A propeller lapát forgó mozgást végez valamilyen közegben, vízben vagy levegőben, és egy erőt gyakorol a tengelyre. Ez az erő mozdítja előre a hozzá csatlakozó járművet (csónakot vagy repülőt) a megfelelő közegben. Természetesen Archimédesz zseniális csavar-elve lép működésbe itt is, mivel előrehaladása közben a propeller spirális mozgást végez a közegben. A propeller ú. n. lejtése az a szög, melyet a forgás síkjával a csavarszárny bezár.

A lapát alakja vízben és levegőben különbözik egymástól, de ezt most elhanyagoljuk, mivel csak a forgási jelenségre fókuszálunk. Egy kissé előtérbe helyezzük a hajókat a történelmi jelentőségű vízikerék és az archimédeszi csavar iránti tiszteletből (valamint a szerző saját elfogultsága miatt).

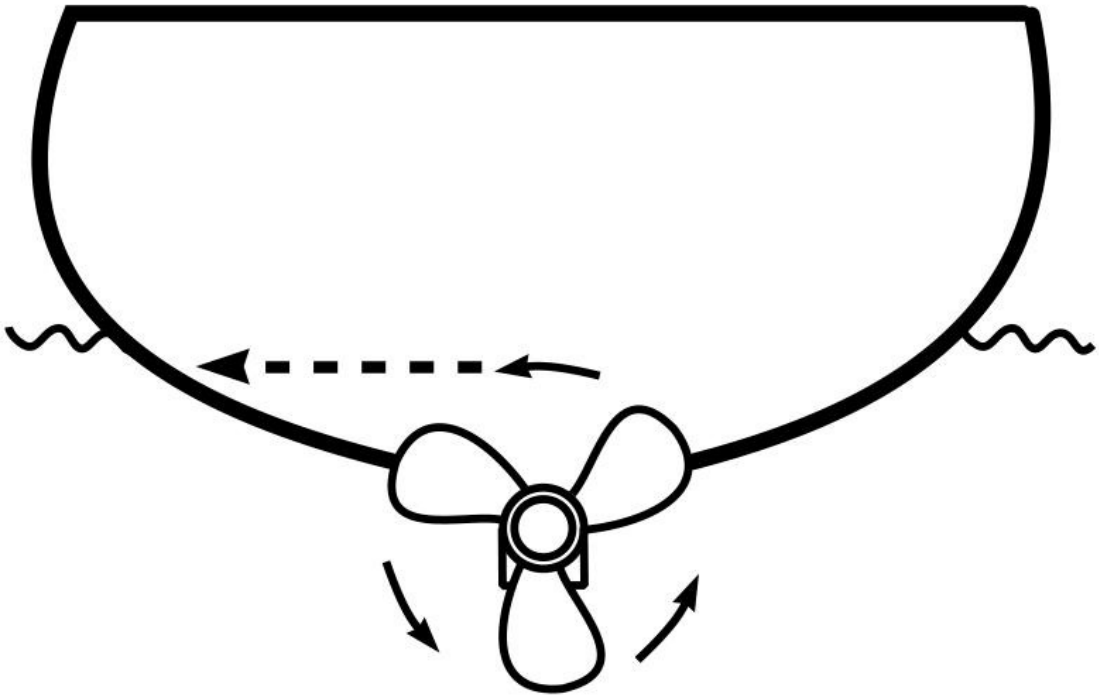
A legtöbb hajópropelleren a lapátok száma három vagy négy. A híres, de szerencsétlenül járt Titanicon két háromlapátos és egy négylapátos propeller működött. A

modern tengerjáró hajók és tankerek meghajtórendszere több tengellyel és többszörös lapátokkal rendelkezik.

A propellereknél természetesen ugyanazt a forgási jelenséget figyelhetjük meg, amit a korábbi fejezetekben megismertünk. A jelenséget létrehozó erők fontos szerepet játszanak, mivel a propellerek igen nagy forgási sebességet érhetnek el. Az erők eredője aszimmetrikus lehet a haladás irányára, vagy a forgástengelyre nézve.

Egy úszó hajó szabadon elmozdul a nemkívánatos irányú összetevő hatására, és ez különféle mozgásokat hoz létre. Például a hirtelen oldalirányú kitérés a propellerről leszakadó áramlás eredménye, ahogy a 13.1 ábrán a vízszintes nyíl mutatja. Hogy ezt elkerüljék, a legtöbb modern hajónál iker-propellerek működnek, melyek forgása ellentétes irányú, ezáltal kiküszöbölik ezt a nemkívánatos hatást.

Egyébként a hajók három leggyakoribb nem kívánt elmozdulása is bizonyos forgásként írható le. Az előbb említett oldalcsúszás megfelel a hajótest függőleges tengely körüli elfordulásának. A hajó himbálózása, amely a tengeribetegséget okozza, nem más, mint a hajó forgása a hosszanti tengely körül. Végül a hajótest bukdácsolása, a hullámhegyek és hullámvölgyek közötti fel-le mozgása úgy képzelhető el, mint egy a hosszanti tengelyre merőleges tengely körüli forgás.



13.1 ábra Hajó meghajtás

Azt is érdekes megemlíteni, hogy a valódi archimédeszi csavar típusú hajó-meghajtókat külső hengeres fal nélkül is építettek. Ezek igen népszerűek voltak és a 19. század közepén felvették a versenyt a lapátkerékkel. Később már a csavar típusú meghajtókat propeller típusú meghajtókra cserélték fel. Napjainkban újra felbukkantak, a modern verseny csónakok vízsugármeghajtása valójában nagyon emlékeztet az eredeti archimédeszi csavarra. Úgy tűnik, hogy a mérnöki tudomány története is ciklusokban megismétli önmagát.

A propellerek forgási sebességének nagyon nagy a jelentősége. Ha egy propeller túl gyorsan forog, akkor a

lapát körüli víznyomás annyira lecsökkenhet, hogy az adott hőmérsékleten a víz elpárolog. Amikor a párabuborékok összeesnek, olyan nyomáshullámok keletkezhetnek a vízben, amelyek a lapát felületét károsítják, ez a félelmetes kavitációs jelenség. A szárnyakban komoly kár keletkezik, és ilyen körülmények között a propeller hatékonysága csökken.

Figyelembe véve a propeller érzékenységét a forgási sebességre, egy másik szempont is említést érdemel. Ez az a tény, hogy a propeller álló helyzetből indul és forgási sebessége fokozatosan gyorsulva éri el a működési, vagy optimális sebességet. E folyamat közben az eddig állandónak tekintett szögsebesség nagysága változik. Ezt Leonhard Euler, a 18. század egyik óriása ismerte fel.

Euler a svájci Bázelban született 1707-ben, és mint csodagyereket, 13 éves korában felvették a Bázeli Egyetemre. 16 éves korára Bachelor fokozatot ért el, és további három év alatt megszerezte a doktorátust is. A Szentpétervári Akadémia matematika tanszékén kapott előadói katedrát, és egy évtizedes németországi tartózkodását leszámítva Oroszországban élte le életét.

Jelentős matematikai munkássága szerteágazó: kezdve az e számtól híres képletéig, amelyben ezt és a másik alapvető számot, a π-t kapcsolja össze. Őt tekintjük a modern gráfelmélet megalkotójának és számos alkalmazott matematikai felfedezés is az ő nevéhez fűződik. Ez utóbbi érdeklődése vezette a fizika és a mechanika irányába, ahol ő oldotta meg elsőként a tengelyesen terhelt gerendák kihajlási jelenségét, azóta

is Euler-gerenda a nevük. Az a felismerése, hogy a szögsebesség változása, azaz a szöggyorsulás egy újabb erőt hoz létre tette teljessé a forgási jelenség leírását.

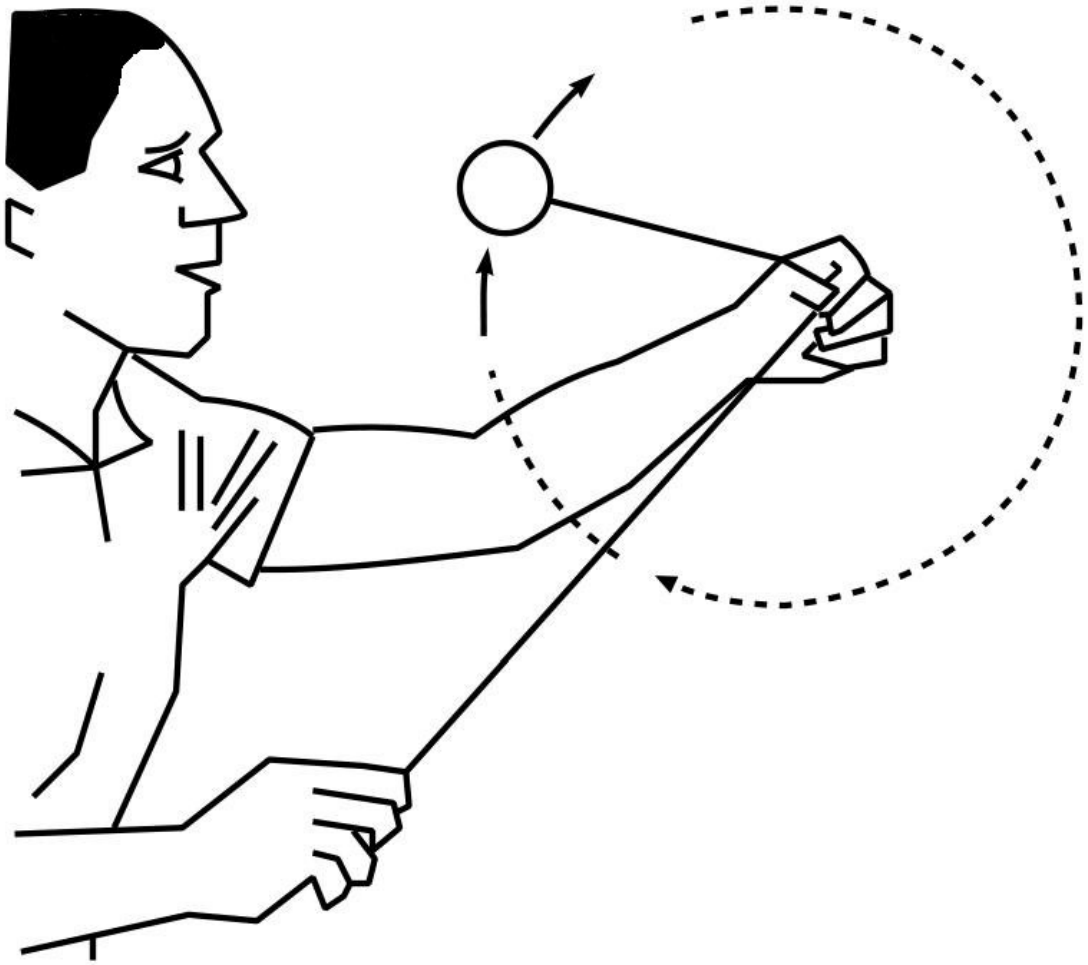
Az Euler-erőnek nevezett erő nagysága:

$$m\,(d\omega/dt)\,r$$

ahol $d\omega/dt$ a szöggyorsulás, és r az m tömegű tárgy távolsága a forgástengelytől.

Az Euler-erő is egy tehetetlenségi erő, amely azt fejezi ki, hogy a forgó objektum ellenáll a forgás gyorsulásának, vagy lassulásának. A 13.2 ábrán látható egyszerű kísérlettel a legkönnyebb szemléltetni: egy zsinórhoz rögzített labdát forgatunk.

A forgatás kezdetén az Euler-erő miatt a labda kissé lemarad a kéz forgó mozgásától. Egy idő után egyensúly jön létre, amikor a kéz és a labda szögsebessége megegyezik. Együtt haladnak, mialatt a kéz megtesz egy teljes kört, a labda is befejez egy teljes kört. A megfelelő kerületi sebességük $v = r\omega$ természetesen különböző. Bár a szögsebesség azonos, a labda nagyobb sugarú kört ír le, mint a kéz.



13.2 ábra Az Euler-erő

Képzeljük el, hogy a kéz forgása fokozatosan lelassul. Ekkor a labda, ismét az Euler-erő hatása miatt ugyanolyan sebességgel forog tovább, és megelőzi a kéz forgását. Ez végül egy instabil állapothoz vezet és mire a kéz megáll, a labda valószínűleg leesik a körpályáról.

Ha lehetséges, az Euler-erő iránya és orientációja még bonyolultabb, mint a Coriolis-erőé. Az erő a forgás síkjában hat, azonban iránya a forgást követve

folyamatosan változik. Ezért néha azimutális erőnek nevezik. Az azimutális szög a forgó rendszerekben használt különleges vonatkoztatási szög.

Régen ezt a szöget a tengerészek használták helymeghatározásra a nyílt tengeren. A szöget úgy kapjuk meg, hogy egy csillag helyzetét a horizontra vetítjük, és megmérjük ennek az iránynak az északi iránnyal (ezt a Sarkcsillag, később a mágneses iránytű jelölte ki) bezárt szögét. Egy kiválasztott csillag helyzetének sorozatos megfigyelése egyszerű navigációs eszköz volt évezredeken át. Ma már főleg GPS (global positioning system) alapú navigációs rendszereket használunk a tengeren, sőt a szárazföldön is.

Ahogy az azimutális szög változik a forgó Földön haladó hajó számára, úgy változik egy forgó rendszerben levő objektumra ható Euler-erő iránya. Másrészt az Euler-erő orientációja a szögsebesség változásának előjelétől függ. Ha a forgás gyorsul, akkor a körmozgás irányába, előre mutat. Abban az esetben, ha a forgás lassul, az Euler-erő hátrafelé, a forgással ellenkező irányba mutat, ahogy a labdaforgató kísérletben láttuk.

Ez a jelenség hozzájárul a nehéz forgó gépezetek (gondoljunk a képletben szereplő tömegre) lehetséges instabilitásához. A felgyorsítási illetve leállítási folyamat alatt fellépő kiegyensúlyozatlanság eredménye az ú. n. vissza és túlpörgés. Az előbbi azt jelenti, hogy a forgó rész lemarad a tengely szögsebességétől, az utóbbi pedig az ellenkezője, mindkettőt a forgási tehetetlenség okozza.

Az azimutális szög a csillagászatban megőrizte jelentőségét. Ha nem vennénk figyelembe az azimutális szöget, a forgó Föld, vagy a forgó Naprendszer különböző pontjairól nézve nem tudnánk meghatározni az álló csillagok helyzetét. Ezzel nézzünk újra az égbe, és kutassuk tovább a forgás jelenségét.

14. fejezet

Galaktikus forgások

Az előző fejezetekben bemutattuk a forgási jelenség földi életünkben betöltött számos szerepét. Most nézzük meg, hogy ezek a szerepek kiterjeszthetők-e galaktikus méretekre.

Eléggé különös, hogy Naprendszerünk bolygói egy közös síkban keringenek. Miért van ez így? Ez a kérdés Newtont is zavarba hozta, amikor felismerte, hogy a bolygók a gravitáció miatt keringenek a Nap körül. Az uralkodó teremtéselméleten alapuló magyarázat szerint Isten helyezte egy síkba a bolygókat.

A francia Pierre Simon Laplace kísérletet tett egy tudományos magyarázat megalkotására. Laplace mintegy száz évvel Newton után született egy normandiai kisvárosban, családja nem volt nemesi származású. 1784-ben a hadseregben szolgált, itt rövid ideig tanított egy Napoleon Bonaparte nevű, 16 éves korzikai kadétot. Laplace belekeveredett a 18. század végi turbulens politikai életbe veszélybe és a francia forradalom viharos eseményei során családjával együtt alig tudott elmenekülni a párizsi lázadó tömeg elől.

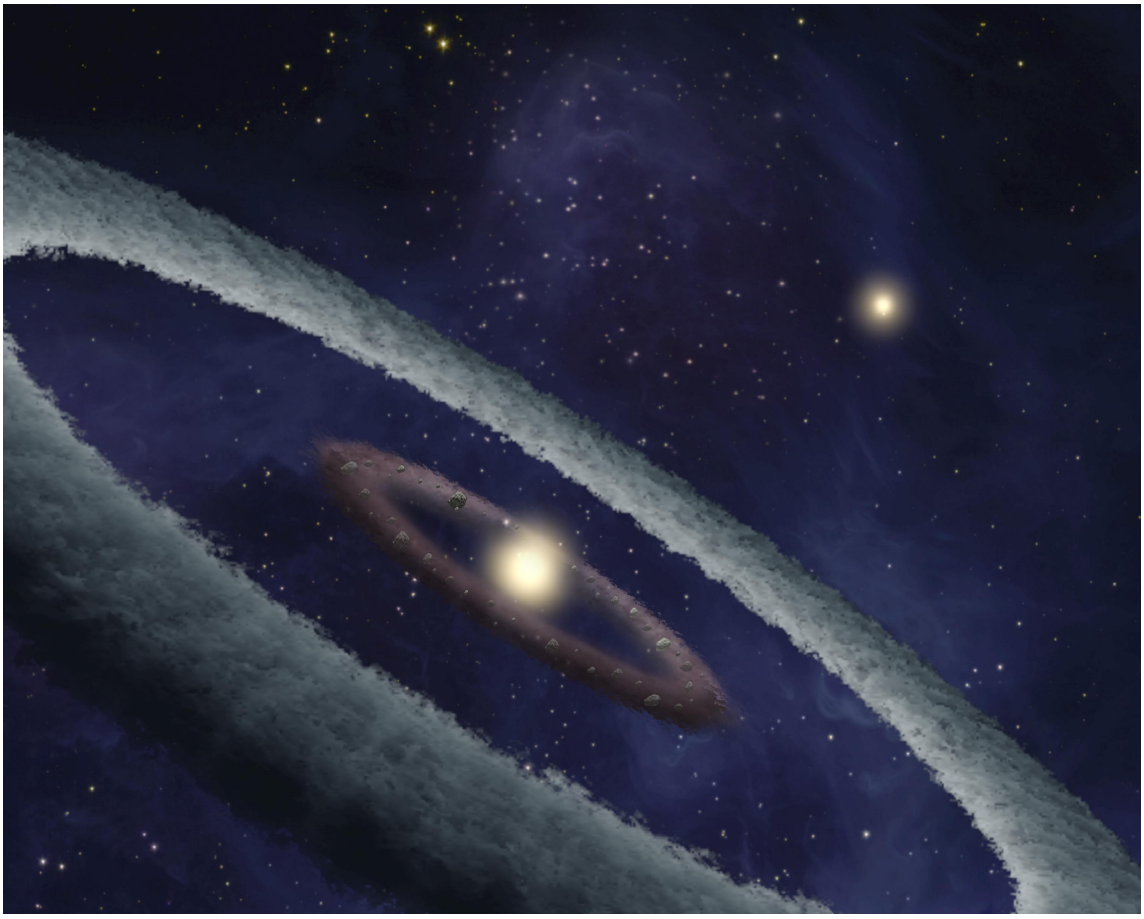
Végül vidéken keresett menedéket és önkéntes száműzetése alatt megszületett öt kötetből álló monumentális műve, a Mécanique céleste, az Égi mechanika. A könyv 1799-ben jelent meg, szó szerint a

francia történelem legviharosabb évszázadának utolsó napjaiban, és ebben végül Laplace magyarázatot ad arra, hogy miért ugyanabban az irányban, és főleg a Nap egyenlítői síkjában kering minden égitest. Ennek eredeteként egy forgó korai naprendszert tudott be.

Laplace feltételezte, hogy egy gázfelhő, és a benne lévő szilárd részecskék forgása miatt jött létre a megfigyelt rendszer. Ha elég nagy a sűrűség, és a forgási sebesség, a felhő részecskéi gravitációs vonzást gyakorolnak egymásra, és nagyobb darabokká egyesülnek. A folyamat során a felhő egyre gyorsabban forog, ahhoz hasonlóan, amikor a korcsolyázó forgása felgyorsul, ha karját a testéhez behúzza.

Az eredetileg gömb alakú felhő egyre jobban ellaposodik, és a legnagyobb darabok (a leendő bolygók) a korongban keringenek tovább. Mivel az eredetileg szabálytalan alakú részekre tehetetlenségi erők hatnak, forgásba jönnek. Ez a forgás tovább formálja a darabokat és végül gömb alakú bolygók alakulnak ki, ahogy a 14.1 ábrán látható.

Ezt a hipotézist ma általánosan elfogadják. Amikor a csillagászok fiatal csillagokat figyeltek meg, számos ilyen csillagot korong alakú részecske- és gázfelhő vett körül. Nyilvánvalóan nem tudjuk megfigyelni, hogyan alakul ki egy bolygórendszer, mivel ez az égi időskálán évmilliókba telik, de úgy tűnik, hogy az elképzelés érvényes.



14.1 ábra A bolygók születése

Bár csak rövid időre, de a 19. században Napoleon visszatért a hatalomba, aminek a vége a waterloo-i vereség lett. Laplace ebben az időben Napoleonnak dedikálta az égi mechanikáról szóló kötetét. Ahogy a történet elmeséli, Napoleon, miután átlapozta a könyvet, hiányolta, hogy Isten nem szerepel benne, talán ez volt az első ilyen megjegyzés a témát övező történeti eszmecsere során. Laplace később a királyi Bourbon-család támogatója lett, és X. Károlytól nemességet, majd 1827-ben márki címet kapott.

Érdemes megemlíteni, hogy Laplace már az 1700-as évek végén írt a hidrodinamika örvény-egyenleteiben

bizonyos erőkről. Ezeket az akkor még meg sem született honfitársa, Coriolis által leírt, a forgó rendszerekben fellépő erők előfutáraként tekinthetjük.

Mivel úgy tűnik, hogy Laplace elképzelése az univerzum milliónyi helyén működik, valószínű, hogy nagyon sok, a miénkhez hasonló naprendszer alakult ki az elmúlt évmilliárdok alatt. A kikerülhetetlen konklúzió az, hogy kifejlődhetett földönkívüli intelligencia is. Sőt lehetséges, hogy korábban egyesek látogatást tettek a Földön, de ez a téma kívül esik jelenlegi látókörünkön.

Tehát megállapítottuk, hogy Naprendszerünk kialakulásában a forgás alapvető szerepet játszott. Most tekintsük a Tejútrendszert, amely otthont ad a mi Naprendszerünknek, és lássuk a forgás szerepét ezen a szinten. A Tejútrendszer is meglehetősen lapos, koronghoz hasonló és több, érdekes spirálkarja van. Az alakja arra utal, hogy itt is szerepet játszott valamilyen forgás.

A Tejútrendszer-galaxis a miénkhez hasonló további 100 milliárd napnak és naprendszernek ad otthont. Galaktikus szomszédságunkban a két legközelebbi naprendszer a Sirius és az Alpha-Centauri. Galaxisunk átmérője körülbelül 140000 fényév, a legvastagabb középső részén a „dudor” átmérője körülbelül 20000 fényév. A galaxisban milliárdnyi meteoroid és aszteroida, valamint csillagcsoportok százai találhatók.

A múlt század elején a csillagászatban is szerepet kapó rádióhullámok és Röntgen-sugarak modern megfigyelési módszerei sokkal hatékonyabbak voltak, mint Galilei 300

évvel korábbi kézzel készített látcsöve. Jan Oort Hollandia fríz vidékén született, és a híres Groningeni Egyetemen tanult. Főleg a csillagászat érdekelte, különösen a távoli csillagok, és úttörő munkát végzett az onnan érkező rádióhullámok felfedezésével.

1925-ben, miközben a Tejútrendszerben lévő nagyon távoli objektumokról érkező rádióhullámokat figyelte meg, Oort észrevette hogy néhány csillag mozgása elmarad a Nap mögött, mások pedig megelőzik. Felismerte, hogy ez hasonló a mi Naprendszerünkben a belső illetve a külső bolygók mozgásához. Ezt közvetlen bizonyítéknak tekintette a Tejútrendszer forgására, bár mások nem fogadták el azonnal.

Ma már cáfolhatatlan bizonyítékkal rendelkezünk, hogy a Tejútrendszer forgásban van. Kisérteties a hasonlóság a 14.2 ábrán látható számítógéppel generált Tejútrendszer ábrázolás és a 10.3 ábrán lévő hurrikán képe között. Nagyon valószínű, hogy Naprendszerünket is azok a forgási erők befolyásolják, amelyeket mára úgy tűnik megértettünk: a centrifugális és a Coriolis-erő, valamint az Eötvös-hatás és az Euler-erő.

A Tejútrendszer további vizsgálata során három fő spirális kar jelenlétét állapították meg: ezek a Sagittarius-, az Orion- és a Perseus-kar, galaxisunk középpontjától távolodó sorrendben, tehát a Perseus-kar van a legtávolabb.

14.2 ábra A Tejút

Több kisebb kar is látszik, és úgy tűnik, hogy ezek egy eredeti fő spirális karról szakadtak le.

Vajon mi hol vagyunk ebben a forgó galaktikus rendszerben? Oort kiszámította, hogy a galaktikus középpont tőlünk 30000 fényévre lehet. A Tejútrendszer középpontja körül forgunk az egyik spirális karon, pontosan az Orion-kar egy parciális karján, melynek neve Orion-nyúlvány. A korong fősíkjától is körülbelül 15 fényévre vagyunk.

A galaxis középpontja körül megközelítőleg 234 km/sec sebességgel forgunk. Ezzel a sebességgel haladva körülbelül 250 millió évig tart egy teljes körbefordulás, a jelenleg 13.7 milliárd évesnek tartott univerzum

életkorához viszonyítva csupán percekig. Naprendszerünket körülbelül 4,6 milliárd évesnek becsülik, így a mi Napunk 18 teljes körbefordulást tehetett már meg.

Néhány csillagász feltételezi, hogy Naprendszerünk megszületésekor valószinűleg 10 százalékkal messzebb volt, a középponttól kb. 33000 fényévre, a Tejút fősíkjától pedig kb. 200 fényévre. Úgy tűnik, mintha Tejút gravitációs középpontja felé (ahol most egy fekete lyukat sejtünk)mozognánk egy olyan spirális forgásvonalon, mint a Coriolis-erő hatása alatt lévő galaktikus hurrikán. A spirálkarok óramutató járásával megegyező iránya azt is jelentheti, hogy egy kissé jelképesen szólva a galaxis „déli féltekéjén” vagyunk.

Természetesen a miénken kívül más galaxisok is léteznek. Úgy becsülik, hogy az univerzum 100 milliárd galaxisból áll. A Tejút egy kb. 30 galaxisból álló csoport, a Lokális Galaxiscsoport egyik tagja. Legközelebbi szomszédaink a Magellán-felhő és az Androméda-köd, ez utóbbi okozott némi fejtörést, ahogy később látni fogjuk. Biztosan feltehetjük, hogy a forgási jelenség alapvető szerepet játszott, amikor azok kialakultak. Ez bizonyíthatja, hogy az intergalaktikus térben és végül az univerzumban is alapvető a forgási elv.

Végül is, ha a Tejút alakja hasonlít egy hurrikánra, azaz a forgó Föld atmoszférájában a levegő mozgására, akkor ebből az alakból az is következhet, hogy a Tejút is egy forgó univerzumban mozog.

15.fejezet

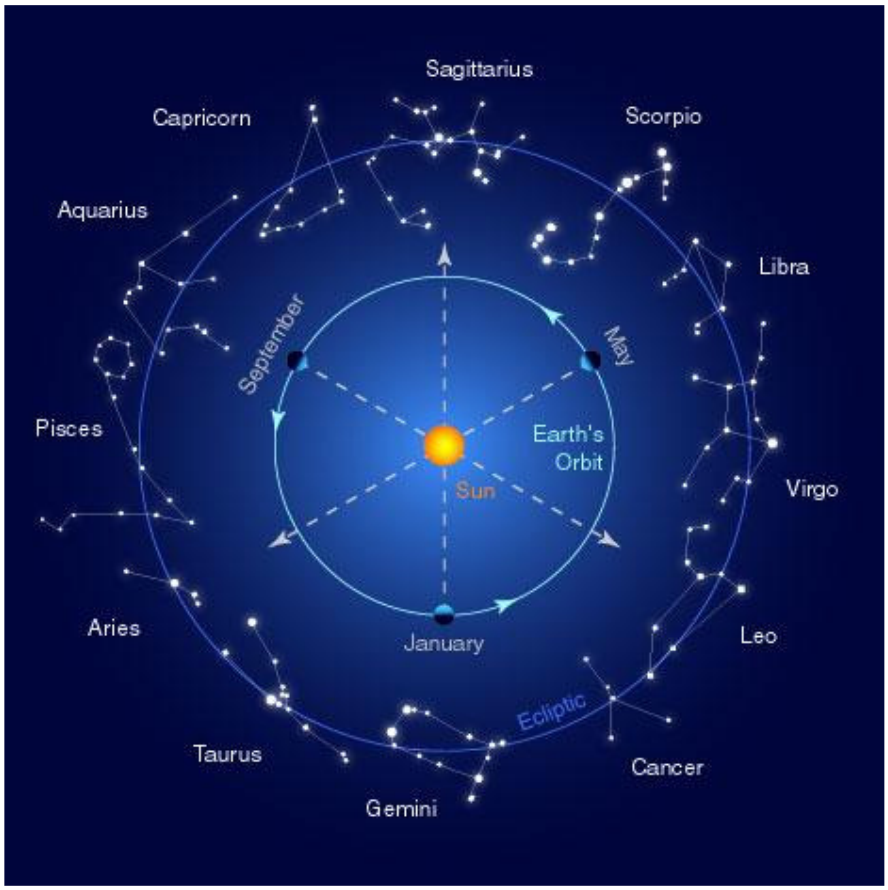
Égi kerekek

Ptolemaiosz és Kopernikusz óta az univerzum térképét az ú. n. állócsillagok határozták meg. Az ókori csillagászok a világegyetemben elfoglalt helyzetünket ezekhez az ismert konstellációkhoz viszonyítva próbálták meghatározni. Ez a nagy égi kerék, a jó öreg Zodiákus, vagyis az állatövi jegyek képe a 15.1 ábrán látható. A középkori csillagászat egyik ága az asztrológia a Zodiákuson alapult. Napjainkban legjobb esetben pszeudotudománynak tekintik, de éppúgy mint a lapos Földnek, ennek is sok követője akad.

Az asztrológia alapja az volt, hogy bizonyos emberi tulajdonságokat rögzítettek a 12 fő konstelláció érzékelhető feltűnéséhez; ezek a Nyilas, Skorpió, Mérleg, Szűz, Oroszlán, Rák, Ikrek, Bika, Kos, Halak, Vízöntő és Bak csillagképek. Az év bizonyos szakaszait sorban megfeleltették egy-egy állatövi jegynek, és aki abban az időszakban született, feltételezhetően örökölte a jellemző általános személyiségjegyeket. A horoszkóp felállítása nem más, mint ezen asztrológiai alapelvek személyre szabott alkalmazása, egy bizonyos személy születési ideje alapján.

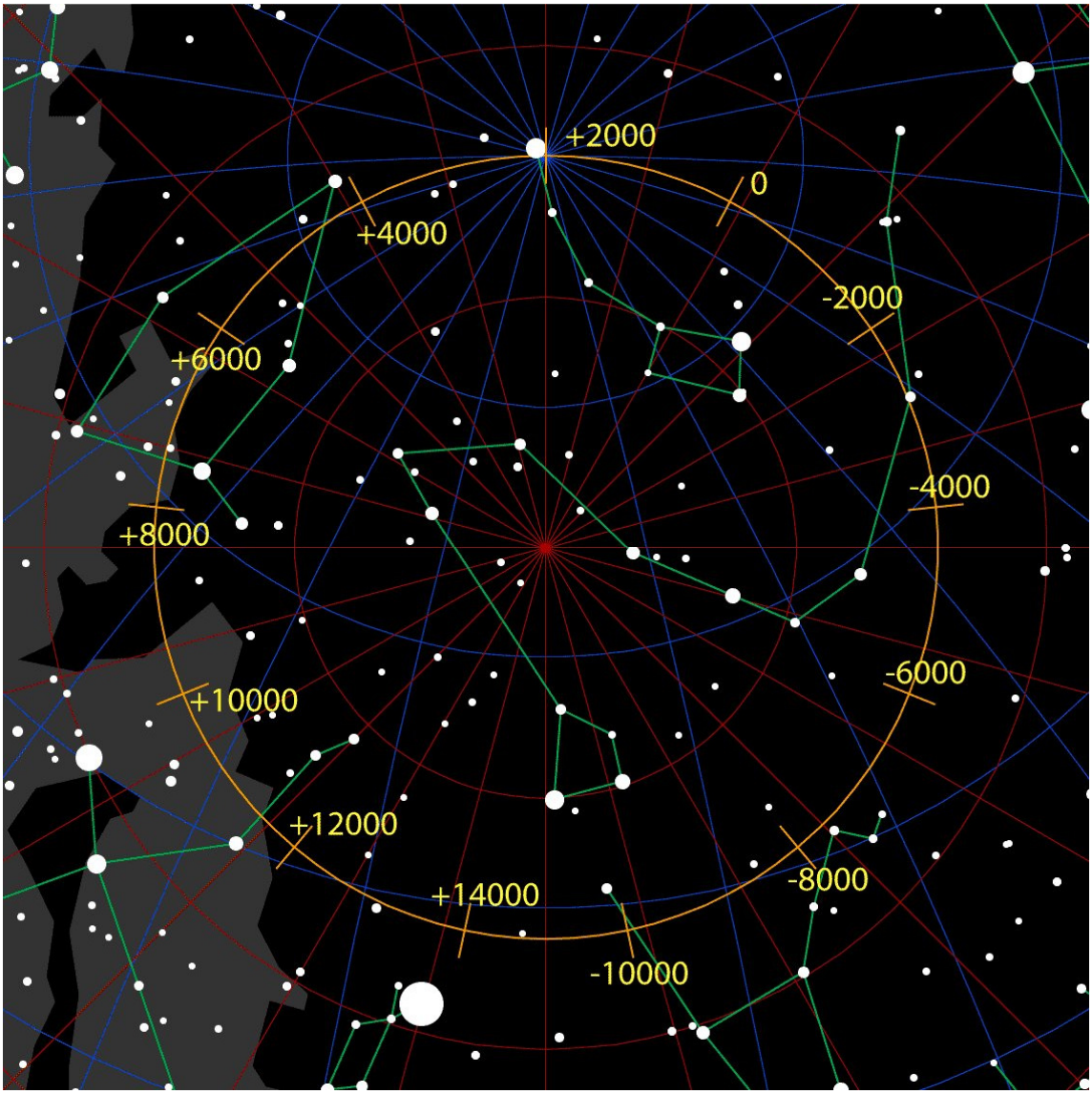
Felhasználták az életciklusok magyarázatára is a születéstől a felnőttkoron át a halálig, és ujra a születendő gyermek saját ciklusaihoz. Sőt ennek egy vadhajtása is keletkezett: a szinkronicitás, amely bizonyos égi eseményeket összekapcsol a tényleges

földi történésekkel. Ez már a spekulációk birodalmába vezet, ezért nem folytatjuk ezt a gondolatot.



15.1 ábra Az állatövi jegyek

Térjünk vissza a csillagászati részhez és vizsgáljuk meg újra a korábban bemutatott Föld-tengely precessziós ciklust. A 26000 éves precessziós ciklus egy még hatalmasabb égi kereket képvisel, amely a 15.2 ábrán látható. Az ábrán a 2000-es szám a 2000. naptári évet jelenti, a jelenlegi csillagászati északot ezen a hatalmas égi keréken. A teljes ciklus: visszafelé 10000 év és előre kb. 16000 év tesz ki a teljes precessziós időt.



15.2 ábra A precessziós kerék

A precessziós ábrán a pontok mérete a csillagok relatív fényességét mutatja meg. A 2000. év jelölésétől balra lévő meglehetősen fényes csillag a Polaris, mely a jelenlegi Sarkcsillag. Ugyanez az elv a déli féltekén is alkalmazható. A déli félgömbön a sarki irány, vagyis a Dél Csillaga a Sigma csillagképben található.

A kép alján a legfényesebb csillag a Lyra csillagképben található Vega. 14000 év múlva a Vega lesz megint a Sarkcsillag. A Polaris legközelebb kb. 25700 év múlva, vagyis i. sz. 27800-ban lesz újra Sarkcsillag, feltéve, hogy addig nem változik meg a naptári számításunk. Nem lehetünk biztosak benne, lesznek-e emberek akkor a bolygónkon, akik megfigyelhetnék ezt, de minden arra utal, hogy a Nap akkor is éltetni fogja bolygónkat.

Mivel ez az égi kerék az emberi élethez, sőt az emberi kultúrákhoz mérten is túl lassan fordul, nem érthetjük meg igazán, hogyan hat életünkre. E kerék forgása kb. 10 ezer évenként jégkorszakokat hoz létre, köztük pedig természetes felmelegedési időszakokat. Ez mai társadalmunkban extrém kulturális és politikai vitákat kiváltó téma, de egyre jobban bebizonyitott, hogy mi maximum csak egy kis zavart okozhatunk az univerzumban, nem tudjuk jelentősen befolyásolni.

Az emberi kutatás következő hatalmas lépését elsőként 1924-ben Edwin Hubble tette meg: kilépett a galaxisunkból. Hubble 1884-ben született Missouriban, egy farmon és ahogy híres elődje, Galilei, ő is apja kedvéért választotta meg első tanulmányai tárgyát. Hubble esetében ez a jogot jelentette, de igazából a csillagászat érdekelte. A Rhodes-ösztöndíj egyik első nyertese lett, és 1910-ben Oxfordba ment, ahol a csillagászat iránti vonzalma elmélyült.

A tudományos áttörés Pasadenában történt, a Wilson-hegyi csillagvizsgálóban. Miután sok-sok éjszakán át szorgalmas megfigyeléseket végzett a hűvös hegytetőn, felismerte, hogy az Androméda-köd túl messze van

ahhoz, hogy a Tejútrendszer része legyen, így ez egy önálló galaxis. Ez a felfedezés lerombolta az egyetlen galaxisról vallott korabeli nézetet. Kimutatta, hogy az univerzumban sok galaxis létezik, és azt is valószínűsítette, hogy ezek láthatóan távolodnak egymástól. Az univerzum tágul!

Az univerzum tágulása nem zárja ki azt a lehetőséget, hogy a galaxisok forognak, az előző fejezetben a Tejútrendszerrel kapcsolatban ezt a tényt nagyon is elfogadhatónak tartottuk. Ebből kifolyólag az univerzum forgó vonatkoztatási rendszerében a fizika valóban egyetemes méretekben megmagyarázhatja a centrifugális és a Coriolis-erő, az Eötvös-hatás és az Euler-erő, valamint a gravitáció földi jelenségeinek bizonyos megnyilvánulásait.

De úgy tűnik, hogy a forgó galaxisoknál látszólag eltérés van a fényességen alapuló tömegbecslés és a mozgáshoz szükséges tömeg között. Beavatott tudósok jelenleg elfogadott magyarázata szerint az eltérés annak az anyagnak tulajdonítható, mely nem ad fényt, tehát láthatatlan, ez az ún. sötét anyag. Ahogy a csillagászatban sok más, alapvetően új elgondolást, ezt is csak vonakodva fogadják el. Bár közelítő magyarázatot ad azokra a legújabb megfigyelésekre, ahogy bizonyos csillagok más galaxisokon belül mozognak, nincs konkrét bizonyítékunk a létezésükre.

Az égen elképzelt szabályosan forgó rendszert néha megzavarja valami. Érdekes módon az Andromeda galaxis, melyet Hubble figyelt meg, úgy tűnik, hogy a Tejútrendszerrel ütközési pályán halad. Ez

természetesen lehetséges, végülis saját Naprendszerünkben is vannak rendellenesen mozgó égitestek. Mivel ezek dacolnak az általános forgási elrendezéssel, az intergalaktikus térben is lehetnek kóbor galaxisok.

Ahogy a körhintás kísérletben, majd később a Föld és a Naprendszer esetén, mindig használtunk egy külső vonatkoztatási rendszert, amihez a forgási jelenséget viszonyitottuk. Azonban ha az univerzum végtelen, ahogy sok tudós állítja, akkor rajta kívül semmi sem lehet. Akkor nem lenne külső vonatkoztatási rendszer, így az univerzum nem foroghatna.

Ez a feltételezés, hogy az univerzum mindent körülvesz, mozdulatlan és végtelen – magyarázatot kíván az anyag eredetére ebben az egyszeri világegyetemben, a különböző helyeken keletkezett gáz- porfelhőkre és arra, hogy a galaxisok forgását a központi tömegek irányítják. Bár nem általánosan elfogadott, a jelenlegi eredet-magyarázat az, hogy egy végtelen kicsi és végtelen sűrű anyagi ősleves előzte meg a Big Bang-nek nevezett ősrobbanást. Úgy tűnik, hogy Hubble megfigyelése a táguló világegyetemről támogatja ezt a hipotézist, de nagy adag hit is kell hozzá, mivel nem ismerjük azokat a fizikai törvényeket, amelyek a jelenséget irányították.

Az ősanyag keletkezésének témáját nem szabad összetéveszteni a csillagok és a bolygók kialakulásával. Ezek közül sok jelenség vitathatatlan, sok pedig még csak feltételezés. Ez a tárgykör sokkal mélyebbre vezet, amennyire fizika, annyira filozófia is. Mindenesetre, ha

az univerzum véges, és lenne egy hiper-univerzum körülötte, akkor a mi univerzumunk foroghatna a hiper-univerzumban definiált tengely körül. Ez lenne az égen a legnagyobb kerék, minden kerék ősanyja.

Jelenleg folynak kísérletek az univerzum forgásának mértékének meghatározására. A jelenlegi feltevés szerint extrém lassú a forgása, kb. 60000 milliárd év egy teljes fordulat. Ez az ún. univerzum vorticity megfelel kb. 10^{-12} fok/év szögsebességnek. A kérdés csak az, hogy mihez képest? A válasz erre a kérdésre komoly következményeket rejt magában.

Úgy tűnik, nagyon jól megértettük Naprendszerünk működését, amely a galaxisra és az ismert univerzumra is vonatkozik. De ezeken túl már olyan kíváncsiságra van szükség, melyet nem elégít ki a Big Bang-magyarázat. A hipotézis szerinti feltűnően egyedülálló kezdet más elméleteknek is teret hagy, és az univerzum forgásának lehetséges bizonyítéka a keletkezésre vonatkozóan ma még ismeretlen tényeket hozhat napvilágra.

Ha az univerzum forgástengelye egy hiper-univerzumban helyezkedik el, akkor a forgás rendkívüli hatásai egy még magasabb szinten működhetnek. Ez a gondolat megnyitja azt a lehetőséget, hogy univerzumunk ebben a hiper-univerzumban keletkezett. Hogy ez egy magasabb isteni erő segítségével történt-e, vagy egy fizikai-kémiai folyamat volt-e, avagy intelligens tervezés eredménye, lényegtelen. A lényeg, hogy az univerzum keletkezésének magyarázatához a hiper-univerzumban van helye a teremtés fogalmának.

Természetesen valamiféle teremtést már a létezésünk is bizonyít. Bármik voltak is az eredeti anyagi összetevők, és bárhogyan is történt a létrejöttük – ha nem lettek volna jelen a keletkezéskor, ma nem lehetnénk itt. Egyet azonban biztosan állíthatunk: a forgási jelenség az amely a múltban, a jelenben és a jövőben is a fizikai univerzum alapvető meghatározója.

Az égi kerekek örökké forognak!

Utószó

Bemutattuk a történelem egyik legnagyobb eposzát, ahogy az emberiség egyre jobban megértette a forgás jelenségét, és annak működését Naprendszerünkben. A történet hemzseg kulturális viszályoktól és vallási ellentétektől, a tudósoknak erős egyéniségre és fizikai bizonyítékra volt szükségük, hogy mindezt legyőzzék.

A forgási jelenségnél a nagyságrend is nagyon fontos, különösen ha galaxisunkban forgó mozgást végző földönkívüli objektumokat vizsgálunk. Az ember mérete a méter nagyságrendjébe esik, a legtöbb ember 1,5-2 méter magas (5-6 láb). Kozmikus horizontunkon a jelenleg - természetesen nem vizuálisan – látható távolság kb. 10^{26} méter, ezt mindennapi szóhasználattal ki sem tudjuk fejezni. Azt mondhatjuk, hogy az emberiség látóhatárát saját méretéhez képest 26 nagyságrenddel tágította ki. Megdöbbentő, szinte felfoghatatlan, de igaz.

És hol tart a belső horizont? Befelé, a testünkbe, a minket és a világot felépítő anyagra tekintve újabb érdekes utazást tehetünk. Ez az út is különböző forgási jelenségeken át vezet, kezdve az első részletes, bolygókhoz hasonló atom-modelltől. Ebben a modellben az atommag körül körpályákon keringenek az elektronok, furcsa hasonlóságot mutatva a Naprendszerrel.

Ez később finomodott azzal a felismeréssel, hogy az elektronok pályái bizonyos energia-állapotoknak felelnek

meg, és amikor pályaugrás történik, akkor új részecskék repülnek ki. Létrejött a különböző sugárzások, úgy mint az alfa- és gamma-sugarak elve. Még érdekesebb, hogy a keringő elektronok nemcsak a mag körüli pályához tartozó forgási energiával rendelkeznek (hasonlóan a Nap körül keringő Föld forgási energiájához), hanem felismerték az elektron pördületet (ez is hasonló a Föld saját tengely körüli forgásához). A párhuzamok még feltűnőbbek, ha figyelembe vesszük, hogy ez a jelenség kb. 10^{-16} méter nagyságrenden játszódik le.

Nagyon valószínű, hogy még nem értünk a végére, ahogy az egyre újabb elemi részecskék felfedezése bizonyítja. Mivel kifelé a 26 nagyságrendet ezer év alatt léptük át, de a befelé hatoló 16 nagyságrendet főleg az utolsó száz évben, nyilvánvalóan ebben az irányban sok tanulnivalónk van még. Szubatomi szinten csak kezdetleges tudásunk van a fizikáról. Talán a következő száz évben egyformán birtokba vesszük az isteni játszótér külső és belső pályáit is.

Tartalomjegyzék

Előszó a magyar kiadáshoz

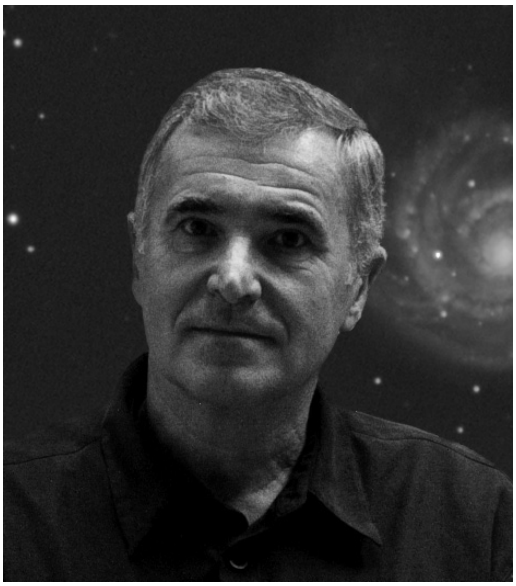
Előszó

1. Körbe-körbe
2. Gömbölyű Föld
3. Gördülő körök
4. Forgó világ
5. Elliptikus pályák
6. Repülő bolygók
7. Pörgő Föld
8. Centrifugális érzés
9. Karneváli forgatagok
10. Földi spirálok
11. Torziós hatások
12. Forgató gépezetek
13. Örvénylő propellerek
14. Galaktikus forgások
15. Égi kerekek

Utószó

Hátsó boritó

Ennek a könyvnek a témája a forgási jelenség. A könyv leirja a jelenség megismerésének a fejlődését, a kerék feltalálásatól kezdve, az őskori csillagászati megfigyeléseken keresztul egészen a mai gyakorlati alkalmazásokig. A szerző meggyőződése, hogy a forgás az életünk egyik legfontosabb fizikai jelensége.



A szerző, Dr. Komzsik Lajos, a Budapesti Műszaki Egyetem végzettje. Harminc éve Amerikában él és mérnök-matematikusként az iparban dolgozik. Számos nemzetközileg elismert, angol nyelven írt matematikai és mérnöki tárgyú könyv szerzője, melyek közül néhány idegen nyelven (kínaiul, japánul és magyarul) is megjelent. Legutóbbi magyar kiadásu könyve Három a világ cimmel jelent meg a Novum kiadó kiadásában.