

# FIZIKAI SZEMLE

A Z E Ö T V Ö S L O R Á N D F I Z I K A I T Á R S U L A T L A P J A

Alapította Eötvös Loránd 1891-ben Mathematikai és Physikai Lapok néven

XV. évfolyam

5. szám

1965. május

## A természet könyvének nyelve\*

*Torricelli:*

Engedje meg, asszonyom, hogy bemutatkozzam. Evangélista Torricelli vagyok, Castelli apát tanítványa, és így, mint matematikus, tulajdonképpen Galilei unokája.

*Niccolininé:*

Szóval maga az a fiatalember, aki azt a lelkes hangú levelet írta, melyben önmagát kopernikánusnak és galileistának nevezi?

*Torricelli:*

Sokan vagyunk fiatalok, akik így gondolkozunk. Castelli apáttól hallottam arról az új munkáról, melybe a mester belekezdett és ezzel kapcsolatban szeretnék vele beszélni.

*Niccolininé:*

Nem tudja, hogy Galilei a szent törvényszék foglya? Csak a firenzei nagyherceg nyomatékos kérésére engedték meg, hogy a szokástól eltérően itt lakjék, férjem, a nagyherceg követének házában, házi őrizetben, azonban férjemnek ígéretet kellett tennie, hogy nem enged hozzá látogatókat.

*Torricelli:*

Nem látott senki, amikor bejöttem. Látogatásom titokban maradhatna.

*Niccolininé:*

Hát nem bánom, ez egyszer; de csak azért, mert azt hiszem, az öregúrnak jól fog esni, hogy olyannal beszélgethet, aki érti az ő gondolatait. Más hallgatóság hiányában nekem szokott magyarázni készülő munkájáról, de én bizony nem mindenben tudom őt követni. Ma egyébként is jó hangulatban van, mert hetek óta először az elmúlt éjszaka aludt jól. Jöjjön hát: ha valaki meglátná, azt fogjuk mondani, hogy rokonom és hozzám jött.

*Torricelli:*

Köszönöm, asszonyom, nagyon megtisztel ezzel.

\* Lerövidített változata a szerzőnek az Akadémiai Kiadó gondozásában (a „Korunk tudománya” sorozatban) rövidesen megjelenő „Dialógusok a matematikáról” c. kötete egyik dialógusának, amely 1965. április 13-án a KFKI Joliot-Curie Körében előadásra került.

*Niccolininé:*

Erre tessék. Galilei úr, vendéget hoztam, akinek örülni fog: Evangélista Torricellit.

*Galilei:*

De még mennyire örülök. Szép, hogy nem fél eljönni egy eretnek-gyanús vénemberhez.

*Torricelli:*

Én és barátaim az Ön dialógusát a két nagy világrendszerrel a bibliánknak tekintjük. Castelli apáttól hallottam, hogy most új munkán dolgozik, mely túl fogja szárnyalni mindazt, amit eddig a mechanikáról írtak. Azért jöttem, hogy erről halljak valamit.

*Galilei:*

Már régóta tervezem e munka megírását. Néhány hónappal ezelőtt végre hozzájutottam, hogy elkezdjem, de félbe kellett szakítanom, mert idecítáltak Rómába az inkvizíció elé. Amióta itt vagyok, még ahhoz sem jutottam hozzá, hogy egy sort leírjak. Pedig semmire sem vágyom úgy, minthogy befejezzem ezt a munkát, amelyben összefoglalom mindazt, amit a mozgásról tudok. Eddigi munkáimon mindenestre messze túl fog menni. De nagyon félek, hogy nem fogom tudni befejezni. Még ha győztesen kerülnék is ki ebből a harcból, melybe belekényszerítettek, ez pyrrhuszi győzelem volna, ha nem maradna már erőm a tervezett munka befejezésére.

*Torricelli:*

Nagyon szeretnék hallani valamit arról, hogy mi lesz ebben a műben.

*Galilei:*

A görög matematikusok bámulatos eredményeket értek el a matematikában és egyesek közülük — mint például Arkhimédész — ezeket az eredményeket fényes sikerrel alkalmazták különböző gyakorlati kérdésekre, azonban a mozgás matematikai leírásától a görögök visszariadtak és azóta sem végezte ezt el senki. Munkámban — ha valaha elkészül — a leglényegesebb a mozgás matematikai leírása lesz.

*Torricelli:*

Valóban érthetetlen, hogy a görögök ezt meg sem kísérelték. Mi lehetett ennek az oka?

*Galilei:*

A görög filozófusok sokat vitatkoztak a mozgásról: gondoljunk például Zenon paradoxonaira Akhilleuszról és a teknősbékáról, meg a nyílvezzőről, melyekkel azt akarta kimutatni, hogy a mozgás lehetetlen. Persze Zenon ugyanúgy tudta, hogy a természetben minden állandó mozgásban van mint Herakleitosz. Zenon valójában azt akarta mondani, hogy a mozgás fogalma logikailag ellentmondásos és ezért a mozgás matematikai módszerrel nem tárgyalható. Arisztotelész vitába szállt Zenonnal, és megpróbálta cáfolni paradoxonait, de ez a cáfolat nagyon lapos, hiszen csak azt bizonyítja, amit minden gyerek tud, hogy tudniillik mozgás van. Zenon paradoxonainak valódi cáfolata az, ha valaki megmutatja, hogy a mozgás igenis leírható matematikailag. Ezt Arisztotelész meg sem kísérelte. Az én munkám lesz — ha elkészül — Zenon paradoxonainak első igazi cáfolata. Arisztotelész tulajdonképpen ugyanazt mondta más indokolással, mint Zenon, amikor azt állította, hogy a mozgás tárgyalása nem is lehet a matematika feladata. Szerinte a természettudomány az önállóan létező, de változó dolgokkal foglalkozik, a matematika pedig a nemönállóan létező, de változhatatlan dolgokkal, míg a nemönállóan létező és változó dolgok — köztük például a mozgás — nem tartozhatnak semmilyen tudomány tárgykörébe. Ez az arisztotelészi vétó közel 2000 éven át elriasztotta a matematikusokat és filozófusokat a mozgás matematikai tárgyalásától. Arisztotelésznek ez a hamis tanítása azért is káros volt, mert mesterséges válaszfalat emelt a matematika és a természettudományok közé, amelyet csak kevesen mertek áthágni.

*Torricelli:*

Alig várom, hogy e munkát olvashassam. Szégyen és gyalázat, hogy a mestert mindenféle nevetséges vádakkal zaklatják és megakadályozzák abban, hogy dolgozzék ezen a munkán, amely pedig új korszakot nyitna a tudományban. De engedjen meg egy kérdést: miért jött tulajdonképpen Rómába, ahelyett, hogy ezen a munkán dolgozna valahol, ahol nem háborgathatják?

*Galilei:*

Mit tehettem, ha az inkvizíció megidézett?

*Torricelli:*

Megszökhett volna valahová, ahová az inkvizíció keze nem ér el.

*Galilei:*

Amikor Rómába jöttem, még bíztam abban, hogy sikerül meggyőznöm az egyházat arról, hogy a Föld mozgásának a kérdése nem hitkérdés, hanem ténykérdés, amelynek eldöntését át kell, hogy engedjék a tudmánynak. Úgy éreztem, kötelességem nemcsak a tudománnyal, de az egyházzal szemben is, hogy megmagyarázzam: ha az egyház a ptolemauszi rendszer mellett foglal állást, abba a helyzetbe kerül, mint aki süllyedő hajóra száll. Dialógussal is ezt próbáltam megmutatni, és úgy gon-

doltam, hogy ha alkalmam nyílik személyesen elmondani érveimet, sikerül elérnem, hogy az egyház megváltoztatja álláspontját a kopernikuszi tanítással szemben. Biztos voltam abban, hogy sikerül meggyőznöm a pápát, akit régebben, amikor még csak Maffeo Barberini bíboros volt, barátomnak tudtam, aki velem szemben annyi jelét adta megbecsülésének és elismerésének — talán hallotta, hogy egyszer még verset is írt hozzám, — akit mindig úgy ismertem, mint a tudományok barátját, aki azzal kezdte pápai működését, hogy a szerencsétlen Campanellát kiszabadította a börtönből. Azt hittem, hogy ha alkalmam van vele beszélni, meg tudom őt győzni arról, hogy az egyház érdeke is azt kívánja, hogy szabad kezet engedjen a kutatásnak a Föld forgásának kérdésében. De ebben a várakozásomban súlyosan csalódtam: a pápa hallani sem akar rólam. Ellenségeim elhitették vele, hogy dialógusomban az együgyű Simplicio személyében tulajdonképpen őt akartam nevetségessé tenni, és most a régi barátság gyűlöletté és bosszúvágygá változott. Talán igaza van, hogy nem lett volna szabad Rómába jönnöm, de most már késő ezen bánkódni.

*Torricelli:*

Én azt hiszem, még most sem késő. Beszélhetek nyíltan?

*Galilei:*

Niccolininé asszony előtt nincsenek titkaim; nála igazabb barátom nincs. Azt, hogy dialógusom egyáltalán megjelenhetett, ő eszközölte ki nagybátyjánál, Páter Riccardinál. Most, hogy itt lakom, úgy bánik velem, mint anya a gyermekével, még a széltől is óv és állandóan azon töri a fejét, hogyan tudna engem megvigasztalni, mivel tudna belém erőt önteni azoknak a megpróbáltatásoknak az elviselésére, amelyeket ősz fejemmel el kell szenvednem. Ő előtte nyugodtan beszélhet.

*Torricelli:*

Nem így gondoltam: abból, hogy Niccolininé asszony lehetővé tette, hogy Önt meglátogassam, megértettem, hogy őbenne megbízhatom. Azonban manapság a falaknak is füleik vannak.

*Niccolininé:*

Ebben a házban nyugodtan beszélhet.

*Galilei:*

Ezt elhiheti, fiatal barátom. Niccolininé asszony éppen a napokban bocsátotta el egyik szolgáját, mert kiderült, hogy az inkvizíciónak kémkedik, de, hogy engem ne nyugtalanítson, nekem egy szót sem szólt az ügyről. Így volt Caterina?

*Niccolininé:*

Hát ha úgyis kitalálta, akkor bevallom. A többi emberemben megbízom; mind firenzeiek és kipróbált emberek. Szóval, beszélhet nyugodtan; amit mond, hármunk titka marad.

*Torricelli:*

Én és barátaim, akik galileistáknak nevezzük magunkat, már mindent előkészítettünk a mester

*Helyreigazítás: Lapunk ez évi 3. számában sajnálatos módon hibás, a nyomdai munkák során összekeveredett szövegrész jelent meg.*

*Kérjük kedves olvasóinkat, hogy a 3. szám 81. oldalán a 4. bekezdést az alábbi szövegrésszel átragasztani szíveskedjenek.*

*Szerkesztőség*

Michelson kísérlete az interferométer karjainak irányában terjedő elektromágneses hullámok fázisfelületeinek oda- és visszafutási idejéről ad felvilágosítást. Nevezetesen kimutatja, hogyha oly módon állítjuk be az interferométert, hogy az  $l_1$  és  $l_2$  hosszúságú karok mentén a  $T'_1$  és  $T'_2$  az oda-visszafutási idők egyenlőek, azaz



megszöktetésére. Először Velencébe vinnénk, ott egy időre biztonságban volna az inkvizíció elől, mert a köztársaság semmi körülmények között nem adná ki. De ha jobbnak látja, onnan hajóval elmehetne mondjuk Hollandiába, ahol azután teljesen zavartalanul dolgozhatna és új művét is kinyomathatná. Minden részletet átgondoltunk, csak a meszternek kellene kimondania az igent, és akkor rögtön az időpontban is megállapodhatnánk.

*Galilei:*

Házigazdáim kezességet vállaltak értem, szökésselmel őket hoznám bajba. Minden egyébtől eltekintve már csak ezért sem tehetem ezt meg.

*Torricelli:*

Erre is gondoltunk. Úgy gondoltuk, hogy legközelebb, amikor kihallgatásra átszállítják a Szent Hivatalba, útközben, az utcáról szöktetnénk meg, tehát az inkvizíció kezéből ragadnánk ki, ezért Niccolini követ úrnak senki nem tehetne szenrehányást. Van néhány megbízható emberünk, akik könnyűszerrel elbánnának az őrökkel.

*Galilei:*

Nem is tudom elmondani, milyen jól esik nekem, hogy maguk fiatalok meg akarnak engem szabadítani. De bármilyen szép is a terv, már csak azért is kivihetetlen, mert nem viselném el az utazás fáradalmait. Talán hallotta, hogy súlyos betegségen estem át és még ma sem vagyok egészséges.

*Torricelli:*

Erre is gondoltunk és az utazást úgy készítettük elő, hogy az a lehető legkevésbé legyen fárasztó. Egyik barátom, aki orvos, az Ön kísérői között volna és vigyázna egészségére. Az útiterv pontosan ki van dolgozva. Rómától Velencéig minden napra gondoskodtunk megfelelő szállásról megbízható embereknél. Elismerem, hogy útközben nem tudnánk olyan kényelemről gondoskodni, mint amit ez a ház nyújtani tud. De gondoljon arra, hogy bármikor átszállíthatják a Szent Hivatal börtönébe. Azt hiszem, ha választania kell egy becsületes kecskepásztor kunyhója és a börtön között, nem lesz nehéz a választás.

*Galilei:*

Azt hiszem, fiatal ember, hogy minden jó szándéka ellenére sem tudja beleképzelni magát egy öreg ember helyzetébe. De hagyjuk ezt a kérdést. Tegyük fel, hogy kibírnám az utazás viszontagságait. De hát azt még meg sem kérdezte, hogy egyáltalán akarok-e megszökni?

*Torricelli:*

Az előbb azt mondta, hogy belátta, nem volt helyes Rómába jönnie; én ezt úgy értettem, hogy ha alkalma nyílik rá, akkor kész megszökni. Nem így van?

*Galilei:*

Nem. Úgy érzem, hogy nem hátrálhatok meg, ezt a harcot végig kell harcolnom, még ha az esé-

lyeim sokkal rosszabbak is, mint hittem, amikor Rómába jöttem. Ha elszöknék, ellenségeim diadal-maskodnának és a tudomány szabadságának végképp befellegzene Itáliában. Éppen maguk miatt, a fiatal generáció érdekében nem futamodhatom meg.

*Torricelli:*

Nem értem, mester. Hiszen az előbb mondta, hogy csalódott abban, hogy számíthat a pápa támogatására. Kiben bízik hát? Tudom, hogy például a jezsuiták között vannak, akik jól tudják, hogy Önnek igaza van, de csak nem képzelem, hogy Önnek merne szegülni a pápával? A napokban beszéltem Grienberger atyával, és nyíltan feltettem neki a kérdést, mit gondol az Ön dialógusáról.

*Galilei:*

És mit válaszolt a jó atya?

*Torricelli:*

Látszott rajta, hogy egyszerre szeretne hű lenni a tudományos lelkiismeretéhez is, meg az egyházhoz is. Azt mondta, hogy ő nagyra értékeli az Ön kristálytisztá logikáját és páratlan tudását, és bár úgy érzi, hogy Ön néhány nem elég körültekintéssel megfogalmazott mondatával sajnálatos módon ürügyet szolgáltatott ellenségeinek arra, hogy félremagyarázzák írását és ezáltal Ön ellen hangoljanak egyes magasállású személyeket, ő maga egy percig sem kételkedett az Ön tiszta szándékában és érvelését akkor is rendkívül figyelemreméltónak tartja, ha úgy érzi, hogy Önt elragadta a lendület és ha neki magának komoly fenntartásai vannak is.

*Galilei:*

Hát, ez valóban diplomatikus válasz: mindenki azt olvassa ki belőle, amit akar. Abban persze igaza van, hogy az ilyen óvatos barátoktól nem sok támogatást várhatok. Mondott még valamit?

*Torricelli:*

Igen, valamit, ami esetleg fontos lehet: azt mondta, hogy Önt jó katolikusnak tartja.

*Galilei:*

Pater Grienberger persze nagyon jól tudja, hogy itt nem a vallásról van szó. Ne tévessze meg, fiam, hogy ellenségeim a vallás védőinek köntösében lépnek fel ellenem. Igaz, hogy kezdettől fogva ezt a taktikát követték és most, több évtizedes ügyeskedés után, sikerült is ellenem — és a tudomány ellen — hangolniuk az egyházat, valójában azonban itt egészen másról van szó.

*Torricelli:*

Kik hát az Ön igazi ellenségei és miért gyűlölik Önt?

*Galilei:*

Valódi ellenségeim: ostoba és tehetségtelen kollegáim, az Arisztotelészt szajkózó áltudósok, akik nem hajlandók belenézni a távcsövembe, nehogy

revideálniok kelljen hamis tanításaikat. Azért gyűlölnék engem, mert irtóznak a tudomány valódi módszerétől. Szerintem a filozófia célja a természet törvényeinek megismerése és ez csak gondos megfigyelésekkel, jól átgondolt kísérletekkel és ezek elemzésével érhető el és ezek a törvények csak a matematika segítségével fejezhető ki. Ők ezzel szemben filozófián azt értik, hogy Arisztotelész-idézeteket vagdosnak egymás fejéhez.

*Torricelli:*

Én nem tudom megérteni, hogy aki valóban a természetet akarja megismerni, hogyan utasíthatja el a tudományos módszert. Hiszen ami Arisztotelész tanításában helytálló, azt Arisztotelész — vagy ha nem is ő, de előtte más görög tudósok — lényegében ugyanezzel a módszerrel érték el.

*Galilei:*

Így van, és ha Arisztotelész ma élne, ő is a szavain lovagoló áltudósok ellen fordulna. De ne felejtse el, hogy ezek az emberek nem a természetet akarják megismerni, őket nem érdekli maga a tudomány, csak az, hogy a tudós köntösében tetszelegjenek és ezért jó fizetést húzzanak. Ezért ellenem való áskálódásaik engem egyáltalán nem lepnek meg — már megszoktam, hogy bármit írok vagy mondok is, abba megpróbálnak belekötni. Ezek az emberek jobban szeretnek intrikálni, mint kutatni, és ehhez jobban is értenek. A baj csak az, hogy intrikáikkal engem is megakadályoznak abban, hogy dolgozzam. Legjobb éveimet arra kellett pazarolnom, hogy védekezzem gyanúsításaikkal, hazugságaikkal szemben és most itt állok, mint öreg ember és az a művem, amit évtizedek óta tervezek, még mindig nincs megírva.

*Torricelli:*

Ha elfogadná a tervünket, akkor megírhatná ezt a művet, amelyet mindenki, akit valóban érdekel a tudomány, már régóta vár. Nem értem, miért nem akar megszabadulni ebből a méltatlan helyzetből? Ellenségeitől semmi jót nem várhat, barátai nem képesek bármit is tenni érdekében. Miben bízik hát még?

*Galilei:*

Én már csak egyben bízom: az igazságban. Ha egyszer alkalmat kapok arra, hogy kinyissam a számat, azt hiszem az egész ügy állását megfordíthatnám!

*Torricelli:*

És ha erre alkalma nyílna, mester, mit mondana? Bebizonyítaná nekik, minden kétséget eloszlatva, hogy Kopernikusz tanítása az egyedüli igazság?

*Galilei:*

Boldogan tenném meg ezt, fiam, ha képes volnék rá, mert meg vagyok győződve arról, hogy ez így van, de sajnos ezt nem tudom minden kétséget kizáró módon bebizonyítani. Bebizonyítani csak annyit tudok, hogy Kopernikusz tanítá-

sa összhangban van az összes rendelkezésünkre álló tényekkel, annak semmilyen ismert tény nem mond ellent, a látszólagos ellentmondások mind könnyen megmagyarázhatók. Azt bebizonyítottam, hogy ha a Föld mozog, mi, akik rajta vagyunk és vele együtt mozgunk, nem vehetjük a mozgást közvetlenül észre, tehát a kopernikuszi elméletet a mindennapos tapasztalásaink nem cáfolják. Ugyanarról van itt szó, mint a Föld gömbalakját illetően. Ezt is nehezen fogadták el az emberek; Dante korában még azt mondták erre, hogy ellentmond a józan észnek, ezzel szemben is a mindennapos tapasztalatra hivatkoztak, azt mondták, hogy ha a Föld gömbölyű volna, a túlsó oldalán az emberek fejfelé lógnának és leesnének. Mennyi zagyvaságot összehordtak az antipódákról! Ma már ezt a vitát mindenki elfelejtette, és az emberek megbarátkoztak azzal a gondolattal, hogy a Föld gömbölyű. Mit is tehettek volna mást, amikor látták, hogy a hajók, amelyek kelet felé elhajóznak, egy idő múlva nyugatról érkeznek haza. Most van tizenegy éve, hogy Magellán „Győzelem” nevű hajója visszaérkezett földközi útjáról. Ilyen kézzelfogható és látványos bizonyítékot a Föld mozgására ma még nem ismerünk, ezért olyan nehéz a helyzete annak, aki az igazságért küzd. Bebizonyítani csak azt tudom, hogy mindaz, amit Kopernikusz ellen eddig felhoztak, félreértésen vagy tudatlanságon alapszik. Be tudom bizonyítani, hogy a Nap, a Hold, a bolygók látszólagos mozgása egyszerűbben magyarázható meg a kopernikuszi hipotézis alapján, mint a ptolemeuszi rendszerben. A Jupiter holdjai, a Szaturnusz gyűrűje, a Vénusz sarlója és még egy sereg más olyan jelenség, amelyeket felfedeztem, alátámasztani látszik a kopernikuszi elméletet, de egyik sem bizonyítja azt be. A kihallgatás során elhangzott ellenem az a vád, hogy dialógusomat azért írtam, hogy azzal bebizonyítsam Kopernikusz igazát. Amikor erre a vádra válaszolva kijelentettem, hogy a dialógust nem ezzel a szándékkal írtam, valóban igazat mondtam. Csak azt hallgattam el, hogy csak azért nem ezzel a szándékkal írtam meg a dialógust, mert sajnos, a döntő bizonyítékok még nincsenek a kezemben. Látom, most azon gondolkodik, hogy tulajdonképpen érdemes volt-e annyi bajt zúdítanom a fejemre, ha a kérdést úgysem tudtam véglegesen eldönteni. Nem, ne is tiltakozzék, tudom, hogy ez a gondolat megfordult a fejében; ez természetes, én is sokszor gondolkoztam az utóbbi hónapokban azon, nem lett volna-e helyesebb várni egy pár évet, hátha rátalálok a döntő bizonyítékokra. Alapos meggondolás után nemmel feleltem magamnak erre a kérdésre. Én már öreg ember vagyok, nem várhatok sokat, lehet, hogy a döntő bizonyíték felfedezését meg sem érem. Úgy éreztem viszont, hogy amit mondani tudok, az — ha nem is zárja le a kérdést — elég fontos ahhoz, hogy elmondjam. Úgy éreztem, hogy kötelességem elmondani, amit tudok, márcsak azért is, mert ezzel elősegíthetem, hogy valaki más rátaláljon a döntő bizonyítékokra. De attól félek, ettől még távol vagyunk. Hiszen maga a kopernikuszi hipotézis is még tökéletesí-

tésre szorul, mert a bolygók látszólagos mozgását nem írja le teljesen pontosan: az eltéréseket az elmélet és a megfigyelések között még nem sikerült megmagyarázni.

*Torricelli:*

Kepler azt állítja, hogy ha a bolygók pályájáról feltételezzük, hogy olyan ellipszis, amelynek a Nap az egyik gyújtópontjában áll, és feltesszük, hogy a bolygók nem egyenletes sebességgel mozognak, hanem úgy, hogy a sebesség és a gyújtópontból a sebesség irányára bocsátott merőleges szakasz szorzata állandó, akkor jobb egyezést kapunk.

*Galilei:*

Valóban mondja ezt Kepler? Ez meglep engem, ez eddig elkerülte a figyelmemet. De nem is hiszem, hogy ezekre a hipotézisekre szükség volna. Miért éppen ellipszis pályán mozognának a bolygók? Nem emlékeztet-e ez túlságosan azokra az epikloisokra, amelyekkel a ptolemeuszi rendszert próbálják toldozni-foldozni? Az a hipotézis, hogy a bolygók körpályán mozognak, egyenletes sebességgel, az egyetlen, amelyet meg tudok magamnak mechanikailag magyarázni és ez egyben a legegyszerűbb is.

*Torricelli:*

Az, hogy valami egyszerű, nem jelenti, hogy igaz is. Hiszen éppen a mester tette nevetségessé azokat, akik nem hajlandók elfogadni, hogy a Holdon hegyek vannak — annak ellenére, hogy ha benéznek a távcsőbe, akkor világosan láthatják ezeket a hegyeket —, mert hogyha a Holdon hegyek vannak, akkor a Hold nem pontosan gömbalakú és így nem tökéletes.

*Galilei:*

Ez persze nevetségesebb érv és még nevetségesebb az, amivel Clavius próbálta menteni a Hold gömbalakját: hogy a Hold völgyei egy láthatatlan anyaggal vannak kitöltve és így annak ellenére, hogy hegyeket látni rajta, a Hold mégis csak pontos gömbalakú. Szánalmas erőlködés ez. Hiszen ugyan ennyi joggal állíthatom én, hogy Claviusnak tulajdonképpen számárfülei vannak, csak hogy ezek a fülek olyan tökéletesen átlátszó és finom anyagból vannak, hogy azok nem láthatók, nem tapintathatók és semmilyen más módon nem észlelhetők. Ami Kepler ellipsziseit illeti, persze ezt a hipotézist is meg kell alaposan vizsgálni. Ha a kutatás szabadságát nem korlátozzák, akkor idővel erre is sor fog kerülni. A mai helyzetben én azt tartottam a legfontosabbnak, hogy kiharcoljuk, hogy az egyház ne kösse gúzsba a tudományos kutatás szabadságát a föld mozgásának kérdésében és minden egyéb, a természetre vonatkozó kérdésben. Azt mondják, hogy dialógusom a kopernikuszi rendszer mellett hitvallás; erre azt válaszolom, hogy dialógusom fő célja: kiállítás a tudományos kutatás szabadsága mellett. Ezért írtam meg a dialógust; mindazt az üldöztetést, amit ezzel a munkámmal kiváltottam, ezért szenvedem el. Kopernikusz tanítását nem félttem: az igazság előbb utóbb ki fog derülni. De

nagyon félek attól, hogy ha ebben a perben nem sikerül kiharcolnom a magam igazát, akkor hosszú időre meg lesz bénítva a kutatás, legalább is nálunk Itáliában. Mit segít ezen, ha én magam elmenekülök Hollandiába? Eltekintve attól, hogy nehezen tudom elképzelni, hogy én öreg fejjel máshol új életet kezdjek, ez annyit jelentene, hogy feladtam a harcot, még mielőtt elbuktam volna. Amíg a reménynek a legparányibb szikrája él bennem, addig ezt nem fogom megtenni. Kérem, adja át üdvözetemet barátainak is, igazán jól esett nekem, hogy még vannak olyanok, akiknek az a legfőbb gondja, hogy segítsenek rajtam.

*Torricelli:*

Rám és barátaimra mindig és mindenben számíthat: ami tőlünk telik, azt meg fogjuk tenni. Félek azonban, hogy ha soká halogatjuk tervünk megvalósítását, akkor már késő lesz. Viszontlátásra, mester, és üzenjen nekem, ha megváltozott a véleménye a tervünkről, vagy bármi másban segítségére lehetek.

*Galilei:*

Viszontlátásra, kedves barátom; köszönöm, hogy eljött és köszönöm mindazt, amit értem tenni akart. Viszontlátásra!

*Niccolininé:*

Majd én kikisérem... Kedves fiatalember ez a Torricelli... Kóstolja meg, Galielei úr, ezeket a mosolygó firenzei barackokat, ha az ember rájuk néz, elfelejti a gondjait... Nagy élvezettel hallgattam a beszélgetésüket, bár nem mindent értettem meg teljesen. Ha egyszer ráér, megkérem, hogy magyarázzon el nekem egyet-s-mást.

*Galilei:*

Legnagyobb örömmel, akár most rögtön. Szeretek magának magyarázni, Caterina, mert egészséges, friss esze van, amit nem rontott el a skolasztikus tudáskosság.

*Niccolininé:*

Nem akar inkább pihenni? Nem fárasztotta ki a beszélgetés?

*Galilei:*

Egyáltalán nem, csak felkavart kissé. Teljesen friss vagyok és szívesen beszélgetek magával, amiről csak akar. Csak mondja el, mi az, amire kíváncsi.

*Niccolininé:*

Azt nem értem, hogy Kopernikusz tanáról azt mondja, meg van győződve arról, hogy igaz, de mégsem tudja bebizonyítani. Hát ha nem tudja bebizonyítani, akkor miért van meggyőződve az igazáról? Ha meg jó oka van erre, akkor minek a további bizonyítás?

*Galilei:*

Ez bizony fogas kérdés, amire nem lehet egy-két szóval válaszolni. Ahhoz, hogy válaszoljak, el kell magyaráznom, mi is a tudományos kutatás mód-

szerének a lényege. — Aki a természet titkait kutatja, a megfigyelések alapján hipotézist állít fel: ezt megpróbálja gondosan megtervezett kísérletekkel ellenőrizni. Nem elég a természet elejtett szavait ellesni, hanem keresztkérdések alá kell vetni a természetet. Ha a kísérlet nem azzal az eredménnyel jár, amit a hipotézis alapján várunk, akkor a hipotézis meg van cáfolva. De ha azzal az eredménnyel jár, ami a hipotézis alapján várható, ezzel még a hipotézis nincs bebizonyítva, mert a kísérletezőnek fel kell tennie a kérdést: nem lehet-e az eredményt másképpen is magyarázni? Ha találunk ilyen magyarázatot, vagyis egy olyan, másik hipotézist, amellyel a kísérlet eredménye szintén megmagyarázható, akkor újabb kísérletet kell kieszelnünk, amely más eredménnyel jár aszerint, hogy az első vagy a második hipotézis igaz. Ha ennek az újabb kísérletnek az eredménye megint csak összhangban van az első hipotézisünkkel, de ellentmond a második hipotézisnek, akkor ez utóbbit el kell ejtenünk, vagy legalábbis módosítanunk kell.

*Niccolininé:*

De hát ennek az eljárásnak se vége, se hossza. Hiszen mindig lehet találni olyan nyakatekert magyarázatokat, amelyek megmagyarázzák az összes addig végzett kísérletek eredményeit. Azt jelenti ez, hogy a természetre vonatkozó hipotézist legfeljebb csak megcáfolni lehet, de tulajdonképpen sohasem lehet bebizonyítani?

*Galilei:*

Nem jelenti azt. Persze, hogy minden egyes ellentmondó kísérlet eredményének megmagyarázására lehet a helytelen hipotézist úgy módosítani, úgy csúrní, csavarni, hogy az ellentmondást látszólag kiküszöböljük. Azonban nem mindegy az, hogy egy egyszerű és természetes hipotézissel számos egymástól független kísérlet eredményét előre lehet látni, vagy hogy a kísérletek által megcáfolt hipotézis megmentésére utólag erőltetett módosításokat eszközöl valaki azon. Minden újabb kísérlet, amely azzal az eredménnyel jár, amit a hipotézisünk alapján előre láttunk és aminek az ellenkező hipotézissel való összeegyeztetése csak az utóbbi toldozása-foldozása útján lehetséges, megerősít abban, hogy a hipotézisünk igaz. Sok ilyen egybehangzó kísérlet kialakíthatja bennünk azt a szilárd meggyőződést, hogy hipotézisünk igaz, még ha tulajdonképpen nem is rendelkezünk döntő bizonyítékkal.

*Niccolininé:*

Kezdem már érteni. Ha látom, hogy egy régi, elnyútt inget hiába foltozok meg, az rögtön kiszakad valahol máshol, akkor belátom, hogy azt nem érdemes tovább foltoztatni, hanem kikéldobni. De még nem válaszolt arra a kérdésemre, hogy hát ezek szerint soha nem lehetünk abban tökéletesen biztosak, hogy egy a természetre vonatkozó hipotézisünk igaz?

*Galilei:*

Tulajdonképpen egy, a természetre vonatkozó fizikai hipotézist soha nem lehet úgy bebizonyítani,

ahogy egy matematikai tételt bebizonyítunk, vagyis bizonyos alapfeltevésekből, axiómákból logikus következtetések sorozatával vezetünk. A természetre vonatkozó hipotézisek ugyanis tulajdonképpen axiómák, és az axiómákat a matematikában sem bizonyítják. A geometria axiómáit sem lehet bizonyítani, helyes voltukat csak azon keresztül láthatjuk be, hogy az axiómákra épülő geometria helyesen írja le a teret, amelyben élünk. A fizikai hipotéziseket általában szintén nem lehet tapasztalatilag közvetlenül ellenőrizni. Csak azt tehetjük, hogy a hipotézisekből következtetéseket vonunk le a megfigyelhető, kísérletileg ellenőrizhető jelenségekre vonatkozóan és ezen következtetéseket ellenőrizzük. A hipotézisek következményeinek levezetése viszont a matematika módszerével történik, úgy, hogy hipotézisünket axiómaként kezeljük és abból matematikai szabadsággal következtetünk.

*Niccolininé:*

Most már kezdem érteni, hogy miért kell a matematika a természet vizsgálatához.

*Galilei:*

Amiről eddig beszéltem, csak az egyik ok, amiért a matematika nélkülözhetetlen a természet megismeréséhez. Van egy másik, ennél mélyebben fekvő ok is: maguk a természet alapvető törvényei nem is fejezhetőek ki másképpen, mint matematikai alakban, számokkal jellemezhető fizikai mennyiségek közötti matematikai összefüggések alakjában. Másszóval a természet nagy könyvében csak az tud olvasni, aki ismeri azt a nyelvet, amelyen e könyv írva van, és ez a nyelv: a matematika. Akik csak fecsegnek a természetről, ahelyett, hogy megfigyelnék és kísérletekkel kényszerítenék megszólalásra, azok sohasem fogják a természetet igazán megismerni. De ha sikerül megszólaltatnunk a természetet, akkor az a matematika nyelvén szólal meg, és ha e nyelvet nem értjük, akkor hiába is szólaltattuk meg, nem érthetjük meg, amit mond. És nem elég az, hogy valaki — ilyenek sajnos sokan vannak — csak felületesen ismeri ezt a nyelvet, mert akkor könnyen előfordulhat, hogy teljesen félreérti, amit a megszólaló természet mond neki, és ha saját gondolatait akarja a matematika nyelvén elmondani, abból származó dadogás lesz. Sokan vannak a természet kutatói, a filozófusok között, akik a matematikáról furcsa — mondhatnám barbár — nézeteket vallanak. Azt ma már nem tagadhatják, hogy a matematikára szükség van, de azt hiszik, hogy ahhoz, hogy valaki a természet vizsgálatára felhasználja a matematikát, nem kell abban alaposan elmélyednie. Az ilyen szűklátókörű emberek azt mondják, hogy nekik csak a kész eredmények kellenek, a bizonyításokkal, a tételek pontos megfogalmazásával nincs idejük, s türelmük vesződni. Éppen olyan ostobaság ez, mintha valaki azt mondaná: „vágjuk le a fa gyökereit, vágjuk le a leveleit, hiszen nekünk csak a fa gyümölcsére van szükségünk”. Pedig a matematika szerves egészet alkot és aki élvezni akarja a



gyümölcsseit, annak ezt — akár tetszik neki, akár nem — tudomásul kell vennie.

*Niccolininé:*

Nem értem, hogyan lehetséges az, hogy valaki használni akarja a matematikát és mégis értetlenül és ellenségesen áll szemben annak szellemével. Én ugyan igazán kezdő vagyok a matematikában és csak annyit tudok, amennyit Galilei úr nekem beszélgetéseink során elmondott, és így szerénytelen-ség volna, ha ilyen komoly kérdéshez hozzászólnék, de valamit én is észrevettem, azonban nem akarom ezzel untatni, hiszen Galilei úr úgyis jobban tudja mindazt, amit mondani tudnék.

*Galilei:*

Csak mondja el bátran, nagyon is érdekel, hogy mit vett észre. A maga elfogulatlan szeme gyakran észrevesz olyan dolgokat, ami sok tudós kol-légám figyelmét elkerüli.

*Niccolininé:*

Azt vettem észre, hogy egy matematikai tételt nem is értek meg igazán addig, amíg a bizonyítást nem emésztettem meg teljesen. Sőt, már az is előfordult, hogy csak akkor értettem meg teljesen egy tételt, amikor Galilei úr egy második, az elsőtől teljesen különböző bizonyítást mutatott meg. Amikor először fordult elő, hogy több bizonyítást mondott el egy tételre, beval-lom, nem értettem, hogy miért van erre szükség, miért nem elég egy bizonyítás. De azután ész-revettem, hogy ez valóban hasznos. Egy szobrot sem elég egyetlen szemszögből szemügyre venni, ha-nem meg kell nézni több oldalról is. Persze, azt meg-értem, hogy a nehéz bizonyításoktól visszariad va-laki, hiszen engem is gyakran megijesztett az érvek-nek az a hosszú és bonyolult láncolata, amelyet lé-pésről-lépésre végig kellett követnem. Úgy éreztem magam gyakran, mint a sziklamászó, aki életveszé-lyes szakadékok fölött kúszik fel a csúcsra, úgy, hogy közben csak a lába elé néz és arra vigyáz, hogy el ne csússzék. Hanem amikor felértünk a csúcsra és végigtekintettem nemcsak az utat, amelyet megtet-tünk, hanem az egész előttem kitérülő panorámát, ez mindig kárpótolt a fáradságért. Eleinte csak ennek a látványnak a reményében vállalkoztam a fáradságos bizonyítások megértésére, azonban az utóbbi időben azt vettem észre, hogy a bizonyítások meglepő és szellemes fordulatai is élvezetet okoz-nak nekem, valami olyan örömet, mint a szép mu-zsika. Azt hiszem, a sziklamászókkal is ez a helyzet: eleinte csak a szép kilátás reményében vállalkoznak a fáradságos próbákra, de amint gyakorlatot szerez-nek, maga a sziklamászás, az akadályok legyőzése, új fogások kitalálása is örömet okoz nekik.

*Galilei:*

Nem is tudja, milyen boldoggá tett azzal, amit mondott. Kevés tanítványom volt hosszú életem-ben, aki ennyire megértett engem és a matematika igazi szellemét. Ezért szeretek magának magyaráz-ni. Amikor valami újat mondok el magának, min-dig a szemét nézem. Azt lesem, mikor csillan fel a szeme, mert tudom, hogy ez azt jelenti, meg-

értette a lényegét. A tanításban egész életemben ez jelentette számomra a legnagyobb örömet: a szemek-nek ez a felcsillanása. Olyan ez, mint amikor a tűz a kályhában, miután soká csiholtuk és élesztgettük, egyszerre fellobban. Vannak, akik úgy próbálják a matematikát tanítani, hogy a szabályok memori-zálására és begyakorlására, gépies rutin kialakí-tására helyezik a fő hangsúlyt. Szerintem ezek kontárok, az ilyen tanítás nem sokat ér. Az igazi tanár elsősorban a „miért”-re, a megértésre helye-zi a hangsúlyt, az önálló gondolkodásra nevelésre törekszik. Aki a matematika igazi megértése he-lyett csak recepteket tanul, az még ezeket a recep-teket sem lesz mindig képes helyesen alkalmazni, mert jól számolni is csak gondolkodva lehet. Aki gondolkodás helyett számol, az legtöbbször túl bo-nyolultan számol és gyakran nem is azt számítja ki, amire szüksége volna, és így, még ha számításában nincs is hiba, az eredmény fabatkát sem fog érni. Ahhoz, amit mondott, csak két dolgot akarok hoz-zátenni. A matematika valóban hasznos — sőt, egyenesen nélkülözhetetlen, akár a természetet akarja megismerni valaki, akár a természet erőit gépek építésével a maga szolgálatába állítani —, de emellett a matematika érdekes és szép is: az emberi gondolat izgalmas és szép kalandja. Mármost én azt tartom, hogy a matematika szépsége nem valami mellékes, járulékos dolog, hanem a mate-matika lényegéhez tartozik. A valódi igazság mindig szép és a valódi szépség mindig igaz. A régi görö-gök ezt nagyon jól tudták. Mármost azok, akikről azt mondtam, hogy barbár nézeteket vallanak a mate-matikáról, éppen ezt nem értik; vagy botfűlűek a matematika szépségéhez és nem is jutnak el odáig, hogy azt meglássák, vagy ha meg is látják, gyanak-vással szemlélik a matematika szépségét. Azt hi-szik, hogy a szépség: luxus, ami nélkülözhető, és amikor elzárkóznak előle, azt hiszik, hogy ezzel kö-zelebb kerülnek a valósághoz. A gyakorlati ember szerepében tetszelegnek maguknak és gőgösen lené-zik azokat, akik a matematika igazi szellemébe be-hatoltak: ezeket a fellegekben élő fantasztáknak gúnyolják. Pedig semmi sem olyan indokolatlan, mint eza a góg, ami valójában nem más, mint a sa-ját tehetetlenségük leplezése. Ugyanaz a góg ez, mint Nagy Sándoré, aki kardjával vágta el a gordiuszi csomót tehetetlen dühében, hogy nem volt képes annak titkát megfejteni. A keleti barbár zsarnokok fényűző udvarában a művészet és a tudomány va-lóban csak luxus volt. A régi görögöknél azonban a művészet és a tudományegaránt az élet szerves részét alkotta, és más — más eszközökkel, de ugyan-annak a célnak a szolgálatában állt: hogy általuk az ember megismerje és megértse önmagát és a világot, amelyben él. Kétezer év után végre újból eljutottunk oda, hogy folytassuk ott, ahol a görö-gök abbahagyták. Ott kell folytatnunk, ahol Arkhimédész abbahagyta.

*Niccolininé:*

Igaza van, a mi korunk művészei is ezt teszik. De azt mondta, hogy két megjegyzése van ahhoz, amit mondtam; mi a másik?

*Galilei:*

A másik megjegyzésem nagyon szorosan kapcsolódik az elsőhöz. Eddig a matematika szépségéről beszéltem, arról az örömről, amely nagyon közel áll ahhoz az örömhöz, amelyet a művészet, a tiszta szépség vált ki az emberben, arról az örömről, amit az igazi megértés okoz és amit a szemek felcsillanása jelez. Azonban ezt az örömet nem adják ingyen; keményen meg kell dolgozni érte. A maga hasonlatát a hegymászóval azért találtam annyira sikerültnek, mert ezt is megvilágítja. Komolyszellemi erőfeszítés nélkül a matematikában senki sem juthat messzire. Aki azonban megízlelte a tiszta megismerés örömét, a matematika szépségét, az ezért hajlandó lesz komoly erőfeszítéseket is tenni. A matematika tanításának egyik legfőbb célkitűzése az kell, hogy legyen, hogy ezt az örömet megismertesse a tanulni vágyókkal, és ránevelje a fegyelmezett, logikus gondolkodásra, a koncentrált szellemi erőfeszítésre, ami nélkül a matematikában senki sem boldogulhat. Ugyanakkor, aki a matematikán keresztül elsajátította a logikus gondolkodás művészetét, annak az élet minden területén hasznát veszi.

*Niccolininé:*

Szóval nem ért egyet azokkal, akik azt mondják: nem vezet jóra, ha mindenki a saját fejével gondolkodik, ebből csak zűrzavar támad és jobb, ha az emberek inkább a tekintélyeket követik.

*Galilei:*

Egész életem más sem volt, mint harc az ilyen nézetek ellen: hiszen most is ezért állítottak a vádlottak padjára. Csak egy példát mondok: Arisztotelész azt hitte, hogy a mozgás fenntartásához erőre van szükség. Pedig ez tévedés: készülő munkám legsarkalatosabb megállapítása, amit rengeteg megfigyelés igazol, éppen az, hogy csak a mozgás sebességének megváltoztatásához van szükség erőre; ha a mozgó testre semmilyen erő nem hat, az megtartja változatlanul a sebességét. Abban, hogy ezt az egyszerű tényét észrevegyék — pedigenélkül a felismerés nélkül a mozgás lényegét nem lehet megérteni — az embereket közel 2000 éven át az akadályozta meg, hogy jobban hittek Arisztotelész tekintélyének, mint a saját szemüknek. Én azonban mindig a saját fejemmel igyekeztem gondolkodni, és ha valamit elértem, azt kizárólag ennek köszönhetem. De ez nemcsak a tudományban nélkülözhetetlen, hanem az élet minden területén! Szerintem az emberek nem birkák, akiket ugató kutyákkal kell a jászolba terelni. Az embereket elsősorban az különbözteti meg az állatoktól, hogy képesek gondolkodni. Akik nem akarják, hogy az emberek a saját fejükkel gondolkodjanak, állatokká akarják őket lealacsonyítani. De úgy látom, nagyon elkalandoztunk beszélgetésünk eredeti tárgyától. Nem tudom, tulajdonképpen megválaszoltam-e a kérdését?

*Niccolininé:*

Még mindig nem értem teljesen, mire gondolt,

amikor Torricellinek arról beszélt, hogy még nem találta meg a döntő bizonyítékot a kopernikuszi hipotézis mellett. Abból, amit az előbb elmondott, az következik, hogy döntő bizonyíték tulajdonképpen nem képzelhető el.

*Galilei:*

Ebben téved, asszonyom. Elképzelhető olyan bizonyíték, amely végkép megcáfolja azt a hipotézist, hogy a Föld mozdulatlanul áll a világegyetem közepén és a Nap a Föld körül kering. Amikor a kopernikuszi elmélet döntő bizonyítékáról beszéltem, egy olyan megfigyelést vagy kísérletet értettem ezen, amely a ptolemeuszi világgéppel semmi ésszerű módon nem egyeztethető össze. Én mindig egy ilyen bizonyítékot kerestem. Hogy megértse, miért olyan nehéz a kérdés, gondoljon a következő kísérletre. Képzeld el, hogy egy hajón van egy zárt, ablaktalan fülkében. Ha éjjel felébred, nem tudja megállapítani, hogy a hajó áll-e vagy egyenes sebességgel egyenes vonalban halad, ugyanis e két állapot közötti különbséget a fülkében maradvankor sem tudja észlelni, ha műszerek, kísérleti berendezések állnak rendelkezésére. Ha például leejt egy tárgyat, az ugyanúgy fog leesni, akár áll a hajó, akár pedig halad. Azt persze észreveszi, hogy ha a hajó mozgása megváltozik — akár irányát, akár a sebességét illetően. De amíg a hajó egyenesen egyenes vonalban halad, azt nem lehet észrevenni a fülkéből. Persze, ha a fülkének van ablaka, akkor, ha látja a partot, az ablakon át meg tudja állapítani, halad-e a hajó a parthoz képest. Ha azonban kinn van a nyílt tengeren és az ablakon kinézve csak egy másik hajót lát, és azt veszi észre, hogy a hajó, amelyen van, a másik hajóhoz képest állandóan elmozdul, megint nem tudja megállapítani, azért történik-e ez, mert az a hajó halad, amelyen tartózkodik, vagy azért, mert a másik hajó halad, vagy esetleg, mert mindkettő halad.

*Niccolininé:*

Ezt értem, de hát a kopernikuszi elmélet szerint a Föld nem egyenesvonalú mozgást végez a Nap körül, hanem kering körülötte. Nem olyan ez, mint amikor a hajó változtatja az irányát, amit, mint mondta, még a zárt fülkében is észre lehet venni?

*Galilei:*

Azt is nehéz észrevenni, ha a hajó nagyon lassan változtatja irányát, csak a hirtelen irányváltozást érezzük. A Föld egy év alatt kerüli meg a Napot, és így néhány óra alatt a mozgásának az iránya alig változik. Ez teszi nehezzé a megfigyelést.

*Niccolininé:*

Hát a Földnek a saját tengelye körüli forgásával, hogy állunk? Ha jól értettem, Kopernikusz szerint a Föld egy nap alatt tesz meg egy teljes fordulatot. Nem lehetne ezt a forgást valahogy közvetlenül észlelni?