

A KOPERNIKUSZI FORDULAT

A tudomány működésének szemléltetése a csillagászat történetén keresztül

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

Az alábbi írás a holland De Driestar Keresztény Főiskola (Gouda), a Károli Református Egyetem Tanítóképző Főiskolai Kara (Nagykőrös) és az ELTE Tanárképző Főiskolai Kara¹ (Budapest) együttműködésével 2001–2005-ben folyó Innováció a pedagógusképzésben című közös fejlesztési program egyik terméke.

A holland oktatási minisztérium finanszírozásával zajló projekt három fő téma körül koncentrált:

- Reflektív tanulás és tanári kompetencia.
- A tantervi koherencia javítása, témák köré csoportosítás (A tanítás művészete).
- Az elmélet és a gyakorlat közti kapcsolat fejlesztése egy Oktatásfejlesztési Központ létrehozásának segítségével.

A jelen cikkben bemutatott példánk a *tanításművészetnek* nevezett didaktikai módszerhez kapcsolódik, melynek fő elemei röviden a következőképp foglalhatók össze:

– Valamilyen nagy horderejű, az emberiséget érintő téma legyen a feldolgozás középpontjában: esetünkben a heliocentrikus világkép kialakulása.

– Genetikus megközelítés. Történeti: ahogyan az emberek, majd később a tudósok megismerték az adott dolgot, esetünkben a heliocentrikus rendszert.

– A mindennapi dolgokra csodálkozzanak rá a gyerekek.

– Nyitott kérdések feltétele, melyet szókratészi kérdéses módszernek is neveznek. A gyerekek egymással is beszélgetnek a témáról. Ehhez jó, ha úgy ülnek, hogy lássák egymást, például félkörben. Először a saját szavakkal írják le az éppen tárgyalni kívánt jelenséget, csak utána következik a szaknyelv. Érzelmi oldalról is megközelítik a témát. Természetesen a beszélgetés közben hibázni is lehet!

– Dramaturgiai elemeket is tartalmaz, a feldolgozás jelenetekre oszlik.

Ajánlott témánk feldolgozása 6–8 tanítási órát vehet igénybe a 8–9. évfolyamon. De erdei iskola keretében is feldolgozható néhány eleme a 6–7. évfolyamon úgy, hogy a gyerekek megfigyeléseket végeznek, illetve eljátszák az egyes tevékenységekben ajánlottakat.

A téma feldolgozása széleskörű lehetőséget nyújthat a dramaturgiai megközelítésekhez is, így a drámapedagógiát tanító kollegákkal való együttműködésre is lehetősé-

get ad. További kapcsolatteremtés lehetséges még a következő tantárgyakkal: földrajz, történelem, rajz és művészettörténet, technika, irodalom.

A jelen cikk szerzője által kifejlesztett tanításművészeti példa témája a *mai világképünk kialakulásához vezető* hosszú és rögös út néhány jellemző, érdekes részletének feldolgozása. Írásunkban a csillagászati vonatkozásokra koncentrálnak, mégpedig azért, mert az e tárgykörben felhalmozódott ismeretanyag tette végül is lehetővé a természet törvényeinek kvantitatív, kauzális kapcsolatokon alapuló megragadását.

A tudományos elméleteknek minden korban, így napjainkban is, be kell ágyazódniuk az adott korszak fő gondolkodási áramlataiba, amely sajátos ideológiai környezetet jelent. Az elmúlt évszázadokra visszatekintve mi már inkább csak azokat az elméleti rendszereket ismerjük meg, amelyek sikeresek voltak az adott korszakban, és továbbfejleszhetőnek bizonyultak a későbbiekben is. Az iskolai oktatásban szinte kizárólagosan csak ezekről esik szó. *Kopernikusz* elméletével is ez a helyzet. A jelen írásunkban ajánlott feldolgozás során a gyerekek megismerhetnek olyan elméleti rendszereket is, amelyek ugyan uralkodónak számítottak egy adott korban, ma viszont már nem fogadjuk el azokat. Ez egyben rávilágít a tudomány, a tudományos rendszerek változására is, s napjaink történéseinek elemzéséhez is segítséget jelenthet.

A javasolt feldolgozás fő lépései

Feladat

Figyeljék meg a gyerekek az eget egy szép, derűs éjszakán! Keressék meg a különböző ismert csillagcsoportokat, figyeljék meg a Holdat! Írják is le megfigyeléseiket! Ha lehetséges, akkor több napon keresztül végezzék a megfigyeléseket körülbelül azonos időben! (Például erdei iskola.)

Alternatív lehetőségek

Rajzolják le, hogy miként képzelik el a Világegyetemet, benne Földünket!

Rajzolják le a Napot, a Holdat, a csillagokat különböző napszakokban!

Egymás rajzait megnézik, majd beszélgetés következik azokról. (Szókratészi beszélgetés)

A megfigyelések eredményei körülbelül a következők lehetnek: Hosszabb megfigyelés alapján az látszik, hogy az egyes csillagcsoportok és a magányos csillagok is változtatják helyüket az égbolton az éjszaka folyamán, mint-

¹ Az ELTE szerkezeti átalakulása után a Tanárképző Főiskolai Kartól az ELTE Pedagógiai és Pszichológiai Kar vette át a program szakmai irányítását.

1. táblázat

A Hold–Föld–Nap rendszerbeli t távolságok és D átmérők arányainak ma elfogadott és az ókorban becsült értéke				
	D_H/D_F	D_N/D_F	t_{HF}/D_F	t_{NF}/D_F
Mai	0,27	108,9	30,2	11726
Arisztarkhosz (–270)	0,36	6,75	9,5	180
Hipparkhosz (–150)	0,33	12,33	33,66	1245
Poszeidóniosz (–90)	0,157	39,25	26,2	6500
Ptolemaiosz (150)	0,29	5,5	29,12	605

ha elfordulna az éggömb. Van azonban néhány csillagszerű, halvány objektum és a Hold, amelyek mozgása más, mint a csillagoké. Naponta változik helyzetük az égbolton.

Megfigyelésünk eredményei alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a csillagok, a Nap, a Hold és a bolygók mintha a Föld körül körben mozognának. Ez volt a megállapítása az évszázadokkal ezelőtt élt megfigyelőknek is. (Genetikus elem)

Máris megfogalmazzuk a természettudományos megismerési módszer fő elemeit: megfigyeléseket végzünk, következtetéseket vonunk le, illetve elméleteket állítunk fel.

Amennyiben nem áll módunkban megfigyeléseket végezni, akkor az alternatív kérdésre adott válaszokat, rajzokat lehet elemezni. Idősebb gyerekek esetében nagy valószínűséggel a heliocentrikus elképzelés jelenik meg. Ekkor úgy folytatjuk a feldolgozást, hogy a későbbiek során ennek az elképzelésnek a kialakulását tekintjük át.

Az ókori csillagászat fejlődésének tetőpontját *Görögországban* érte el.

Probléma

Észrevették, hogy a Mars pályának iránya időnként megváltozik és keletről nyugati irányba mozog a csillagokhoz képest. Ezt a mozgást retrográd mozgásnak nevezték el.

Az egyik ókori görög filozófus, a számoszi *Arisztarkhosz* a Kr. előtti 3. században érdekes elképzeléssel állt elő. Nem a Föld, hanem a Nap van nyugalomban, a Világmindenség középpontjában. A Föld és az akkor ismert öt többi bolygó kering kör alakú pályán a Nap körül, miközben a Föld forog a saját tengelye körül. Akkor ez az elképzelés abszurdnak tűnt, így elvetették.

Arisztarkhosz meghatározta a Hold–Föld–Nap viszonylagos nagyságait és távolságait. Kimutatta, hogy a Hold nem sokkal kisebb a Földnél, a Nap ellenben jóval nagyobb. Továbbá, hogy a Nap jóval távolabb van a Földtől, mint a Hold. Így arra a következtetésre jutott, hogy a Földnek kell a Nap körül keringenie.

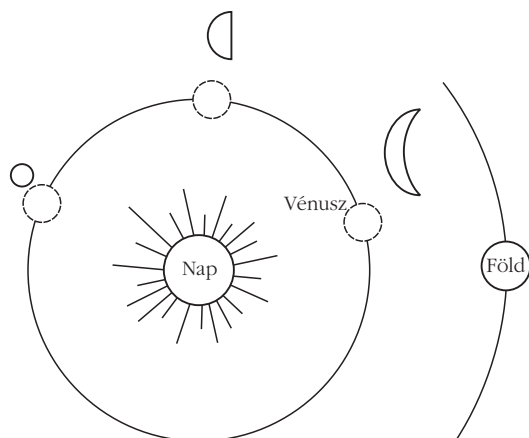
Az 1. táblázatban összefoglaljuk a ma elfogadott, továbbá Arisztarkhosz és későbbi csillagászok által kapott értékeket, melyek rendkívül tanulságosak. Látható, hogy a mérések egyre finomodtak. Azt gondolhatnánk, hogy egyenes út vezetett a mai értelemben is elfogadható világméretű kialakulásához, de nem ez történt.

A mai értelemben is tudományosnak mondható megközelítésmóddal párhuzamosan az ógörög filozófiában született egy olyan elképzelés, amely élesen szembeállította egymással az égi és a földi világot. *Platón* tanítása szerint az összes égitest a kristályszférákhoz van rögzítve, melyek mozgása egyenletes és tökéletes. Ezen az egyenletes körmozgást értette, melynek még nagy szerepe volt a későbbi évszázadok során. Tanítása szerint minden égi dolog örök és változatlan. Ezt az elképzelést tette magáévá *Arisztotelész*, a világhódító *Nagy Sándor* nevelője is.

Ptolemaiosz geocentrikus világméretű képét a Kr. előtti 2. században alkotta meg. Ebben magyarázatot próbált adni a Naprendszer akkor ismert bolygóinak, a Vénusznak, a Marsnak, a Jupiternek és a Szaturnusznak az égbolton megfigyelt mozgására. Elképzelése Platón és Arisztotelész nyomdokain halad. Szerinte a Világegyetem középpontjában a mozdulatlan Föld áll, amely körül az összes többi égitest mozog. Minden bolygóhoz, a Naphoz és a Holdhoz egy földközéppontú átlátszó kristálygömb (szféra) tartozik. A csillagok a legkülső szférán helyezkednek el. Elképzelése szerint az összes bolygó kisebb-nagyobb sugarú körpályákon mozog a Föld körül. A kisebb, külső kört a bolygó epiciklusának nevezik, míg a belső, nagyobb sugarú és földközéppontú körnek deferens a neve. Ez az elképzelés jó egyezésben volt az abban az időben rendelkezésre álló mérési adatokkal, és még a retrográd mozgások magyarázatára is alkalmas volt az epiciklusok segítségével. A Hold és a Nap pályájához nem tartozott epiciklus. A modell elég jól előre tudta jelezni a bolygók helyét az égbolton. Ez valójában a Földről mérhető látószögeket jelentett csupán, hiszen ebben a modellben a távolságoknak nem volt szerepe.

Kopernikusz ismerte Arisztarkhosz elképzeléseit, mivel abban a korban kezdték ismét felfedezni az ókori görög gondolatokat, a ptolemaioszi „körkörös” modell is túl bonyolultnak tűnt már sokak szemében, ezért Kopernikusz elméletében ismét a Nap lett a Világmindenség központja, míg a Föld csupán a bolygók egyike, amely a Nap körül kering és forog a tengelye körül. Híres könyve 1543-ban jelent meg, amely dátumot gyakran a modern természettudomány születési évének is nevezik. Elméletében ő is körök, epiciklusok és deferensek segítségével írja le a bolygók mozgását. Célja saját bevallása szerint is csupán annyi volt, hogy alkalmasan újraprendezze a köröket. Kopernikusz idejében is csak a körmozgás volt az elfogadott lehetőség az égi mozgások leírásához, egyedül a körmozgást tekintették természetes mozgásnak. Napközéppontú modellje végül is egyáltalán nem volt egyszerűbb, mint a ptolemaioszi, de azt csak kevesen ismerték. Amit ismertek, és napjainkban is erre hivatkoznak, az az egyszerűsített modell, melynek középpontjában a Nap található, és igazából ez az, amelyik hatott a későbbi korok tudósaira.

Az elmélet több jelenséget megmagyarázott, például a retrográd mozgást is. Többen is tudták, Kopernikusz is, hogy az új elmélet nem ad pontosabb előrejelzéseket, mint Ptolemaioszé. Kopernikusz idejében még nem ismerték a távcsövet, ezért abban a korban, a 16. században, *mindkét elmélet megfelelő volt a megfigyelések magyarázatára.*



1. ábra. A Vénusz fázisai

Ellenben az új elmélettel kapcsolatban több kérdés is felmerült:

- Hogyan mozog a Föld?
- Mi tartja mozgásban a Földet?
- Hogy lehet az, hogy nem esnek le a tárgyak a forgó Föld felszínéről?

Ezekre a kérdésekre a választ, csak évszázadokkal később, a newtoni fizika adta meg. De a kopernikuszi rendszer kidolgozása fontos állomás volt ahhoz, hogy kibontakozhasson a modern természettudomány, ezért szokták kopernikuszi forradalomként is emlegetni.

Dramaturgiai jelenet

Gondolatban visszautazva az időben, a reneszánsz idejébe képzeljük magunkat. A tanár beöltözik Kopernikusznak. Behoz két papiroost az osztályba. Az egyikre a ptolemaioszi modellt, míg a másikra az arisztarkoszi modell van felrajzolva, melyet nemrég találtak meg. Megmutatja ezeket a gyerekeknek, és kéri, hogy ők is gondolkozzanak el a következő kérdésen: *Melyik modell írhatja le jobban Világunkat?* Sorakoztassanak fel mindkét elképzeléssel kapcsolatban érveket, és ellenérveket! Mit magyaráz meg az egyik és mit a másik modell? Milyen kérdések jelennek meg stb. (Szókratészi beszélgetés)

Feladat

Magyarázzák meg a gyerekek, hogy mit jelent az a kifejezés, hogy felkel a Nap

- a) a kopernikuszi modell szerint,
- b) a ptolemaioszi modell szerint.

Hetven évvel Kopernikusz halála után Galilei kezdte el használni a távcsövet az égi jelenségek tanulmányozásához. A maga szerkesztette távcsövön keresztül tisztán látta a Hold hegyeit, észrevette a Nap foltjait, felfedezett négy, a Jupiter körül keringő holdat, észrevette, hogy a Tejútrendszer csillagokból áll. Ezek a megfigyelések akkor óriási szenzációt keltettek, és nem csak a művelt világ, de az utca embere is erről beszélt. Mindezek azt bizonyították, hogy az égi és a földi jelenségek nem különböznek egymástól, mint azt Arisztotelész hitte, és ahogy az ebben a korban a hivatalos ideológia alapját képezte. A fizikának, a tudományoknak tehát társadalmi hatása volt már abban az időben

is. Ugyanakkor érdekes tény, hogy Galilei még mindig az egyenletes körmozgást tekintette alapmozgásnak.

Galilei gondolkodásmódját jellemzi, ahogy a sok-sok jelenségben kereste, és nem egy esetben sikeresen megtalálta és kiválasztotta azt a tényezőt, amelyet fel tudott használni az általa megfogalmazott elmélet igazolására.

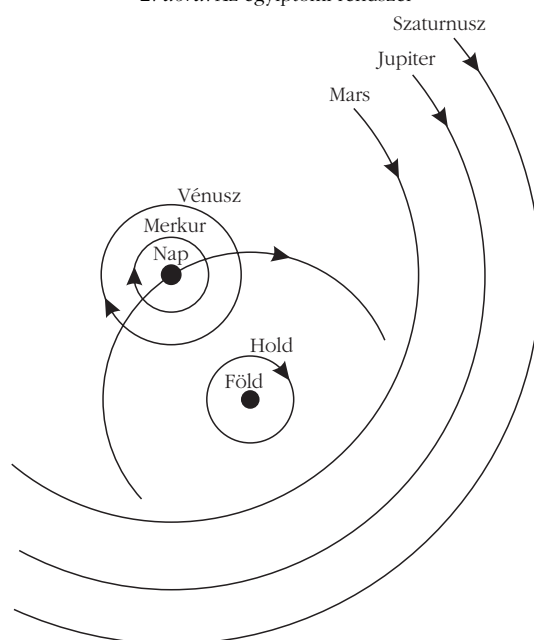
A Vénusz fázisai

Galilei többek között a Vénuszt is megfigyelte és észrevette, hogy hasonlóan a Holdhoz, különböző fázisai figyelhetők meg (1. ábra). Ez egyben azt is jelentette, hogy nincs saját fénye, hanem a Nap világítja meg, és amit mi látunk, az a bolygóról visszaverődött napfény. A Vénusz fázisai azonban a ptolemaioszi elmélettel is magyarázhatóak voltak, kivéve egyet közülük, a teljes fázist. Ezt csak a kopernikuszi elmélet tudta előre jelezni Galilei szerint, és ő megfigyelte ezt! (Ezt is el lehet játszani, egy lámpával és egy gömbölyű testtel modellezni.)

A tele-Vénusz azonban valójában csak annak bizonyítéka, hogy a Vénusz a Nap körül kering. Arról semmit sem mond, hogy mi van az egész rendszer középpontjában. A megfigyelt jelenségek nemcsak a kopernikuszi modellel magyarázhatóak, hanem a Tycho Brahe által használttal is, mely a geocentrikus és a napközéppontú modellek „keverékének” tekinthető. A középpontban a Föld áll és a Nap kering körülötte, az összes többi bolygó pedig a Nap körül kering. Galilei korában inkább ezt a modellt fogadták el. Egyiptomi rendszernek is nevezik, melyet a görög Herakleitosz konstruált meg az ókorban (2. ábra).

Tehát a Vénusz fázisváltozásai nem jelentenek döntő érvet a kopernikuszi rendszer mellett. A Jupiter holdjai periódusának meghatározásában elkövetett hibák okának feltárása viszont már igen. Galilei a megfigyeléseket a Földről végezte, azt tekintette – megszokásból – a Jupiter-pálya középpontjának. Ha a Napra helyezte a pálya középpontját, akkor megfigyelésével azonos eredményeket kapott! Ez az, ami meggyőző bizonyíték lehetett volna már akkor is.

2. ábra. Az egyiptomi rendszer



Az arisztotelészi tanok buzgó hívei közül nem egy azonban egyszerűen nem is akart olyan tapasztalatokat szerezni, amelyek ellentmondhattak azoknak. Akadt, aki még belepillantani sem tartotta érdemesnek Galilei távcsövébe, hiszen amit az égen látni lehet, az úgyszólván olvasható Arisztotelésznél. Amiről viszont ő nem írt, az nem is létezik. De így voltak ezzel mások is. Ha beleillett az új felfedezés a világmindenségről alkotott elképzeléseikbe, akkor elfogadták, ha nem, akkor többnyire nem is látták azt.

Mind a ptolemaioszi, mind a kopernikuszi rendszer valójában matematikai konstrukció. Az egyház problémája Galileivel kapcsolatban éppen az volt, hogy Kopernikus elméletét teljes igazságként állította be, és nem csak mint egy lehetséges hipotézist tárgyalta. Abban az időben a csillagászok már nem hittek ténylegesen a kristályszférákban, mégis nyugodtan dolgoztak velük, mivel kielégítően írta le az égitestek megfigyelhető helyzetét.

A Galilei által teljes igazságnak beállított kopernikuszi modell igazolásához abban az időben hiányoztak a döntő jelentőségűnek tartott tapasztalatok. Amennyiben a Föld kering a Nap körül, akkor a csillagok helyzetének periodikusan változni kell. Ez, persze, így van, de abban a korban még nem voltak olyan érzékenyek a szögmérések, hogy ezt meg lehetett volna figyelni. A Föld tengelyforgását igazoló, úgynevezett Foucault-féle inga csak a 19. század közepén készült el. (Mint az közismert, az inga megtartja a lengési síkját. Ellenben, ha az ingát egy forgó testre helyezük, a forgó koordináta-rendszerben ez nem így látszik. Ezt a jelenséget 1851-ben a párizsi Pantheonban egy 67 m hosszú és 28 kg tömegű ingával mutatták be.)

Vagyis Galilei nem tudott ellenfelei számára meggyőző, minden kritikus szemlélő számára megfelelő kísérleti bizonyítékot szolgáltatni elmélete alátámasztásához. Ezért utasította arra az inkvizíció, hogy elméletét csak mint egy lehetséges hipotézist emlegetheti.

Feladat

Beszélgetés a Galilei perről, annak lehetséges okairól. Esetleg *Németh László Galilei* című drámájának megtekintése, egyes részeinek eljátszása.

Menjünk egy kicsit visszafelé az időben!

3 évvel Kopernikus halála után született Tycho Brahe dán csillagász, aki húsz éven keresztül szisztematikusan megfigyelte a bolygók, a Hold és a Nap elhelyezkedését az égbolton. Ugyan távcső nélkül, de korának legpontosabb megfigyelési adatait rögzítette. Azt gondolta, hogy ezen a módon el lehet majd dönteni, hogy melyik elmélet írja le pontosabban a megfigyelhető égi világot. Az eredmény megdöbbentő volt. *Egyik akkor használatos elmélet sem bizonyult helyesnek!*

Brahe adatai szolgáltatták a kulcsot Kepler számára a Világegyetem titkainak megfejtéséhez. A két tudós másfél évet dolgozott együtt, amikor is Brahe meghalt. Kepler ez után jutott hozzá a mérési adatokhoz. Különösen a Marsról felvett adatok okoztak komoly nehézségeket. Kepler, miután a napközéppontú világegyetemben, a kopernikuszi modellben hitt, átszámolta a földi megfi-

gyelés adatait úgy, mintha a Napról figyelnék meg azokat. Hogyan is látnánk a bolygót a Napról? Négy évet töltött el ezzel a számolással. Majd következett a megfelelő pályagörbe megtalálása.

Feladat

E téma megbeszélése közben sor kerülhet *Madách Imre Az ember tragédiája*, Prágai szín megjelenítésére.

Jellemző volt Kepler egész gondolkodásmódjára, hogy a pálya meghatározását nem egyszerű geometriai problémaként kezelte, ahogy addig mindenki, hanem fizikai erőkkal kapcsolatos magyarázatot keresett. A Nap központi helyre való állításában is kifejeződött ez, mert Kepler már a tömegvonzásra is gondolt. *Új fogalmi rendszerbe illesztette a problémát, másképp látta, mint azt elődei tették.* Brahe példájából látható, hogy hiába végez valaki rendkívül pontos megfigyeléseket, csupán a mérési adatokból nem tud törvényszerűségeket kiolvasni. *Koestler* igen szellemesen a következőt írja: „Tudni kell használni az észleleteket; a nehézséget az okozza, hogy mikor vigyük figyelembe az egyiket, s mikor a másikat.”

Nem arról van tehát szó, hogy a tapasztalásnak, a megfigyelésnek, az észlelésnek, a mérésnek ne lenne nagyon fontos szerepe a megismerésben. Mindössze azt mondjuk: ahhoz, hogy valamire rátaláljunk, kell, hogy legyen róla valamilyen előzetes elképzelésünk. Olyan adatokat kell keresni, figyelembe venni, amelyek a vizsgált hipotézist alátámaszthatják vagy cáfolhatják, amelyek így lehetővé teszik az előzetes elképzelések ellenőrzését.

Kepler a Mars pályájával kapcsolatos kérdését már eleve egy modell keretei között fogalmazta meg, nevezetesen a kopernikuszi modellt választotta. A Föld és a többi bolygó keringési idejének is csak ebben a modellben van értelme. A pályák alakjára vonatkozóan különböző hipotézisei voltak. Ilyen volt az addigi modellekben kizárólagosan szereplő kör. Megpróbálkozott tehát a kiválasztott észlelési adatok alapján kapott pontoknak körre való illesztésével. És ez a hipotézis nem vált be. Újat kellett keresni. Végül rátalált az ellipszisre.

Térjünk ismét vissza a Galilei perhez, és nézzünk meg néhány évszámot!

1616. Galilei első megintése,

1633. a per, majd házi őrizete élete végéig,

1609. Kepler I. és II. törvénye megjelenik (Astronomia nova),

1619. Kepler III. törvénye megjelenik (Harmonices mundi).

Kepler és Galilei ismerték egymást, bár személyesen sosem találkoztak. Néhány levelet váltottak, kölcsönösen tisztelték egymást. Általában a prágai toszkán nagyköveten keresztül üzentek egymásnak, küldték el egymásnak munkáikat. Elvileg tehát Galilei ismerhette volna Kepler első és második törvényét már azokban az években is, amikor oly vehemensen kiállt és abszolút igaznak tekintette a kopernikuszi elméletet. De a Kepler-törvényekkel Galilei nem is foglalkozott. Szerinte a kopernikuszi modell volt az egyetlen igaz valóság, melyben körök szerepeltek. A Kepler által kínált ellip-

szis valószínűleg elképzelhetetlen volt az ő számára, így nem is vette tudomásul ezt a lehetőséget.

Ez a tény nagyon érdekes az oktatás számára is. Világosan mutatja, hogy ha valaki egy adott világgépet, elképzelérendszerrel birtokol, akkor abból rendkívül nehezen tud kilépni. Hiába találkozik esetleg annak ellentmondó tényekkel, azokat egyszerűen figyelmen kívül hagyja, nem foglalkozik vele. Ezért is annyira fontos, hogy világosan lássuk, hogyan is gondolkodnak a gyerekek egy adott témáról a feldolgozás kezdetén. Ahhoz, hogy a tanár meg tudja tervezni az ismeretszerzés menetét, látnia kell, hogy mit kell lebontani, majd újra, másképp felépíteni, illetve mi az, ami valószínűleg problémamentesen tud integrálódni az előzetes elképzelések közé. Továbbá a gyerekeknek is világosan kell látniuk saját elképzeléseik és az új, megtanulandó gondolatrendszer közötti különbségeket, illetve esetleges hasonlóságokat. Melyek azok a pontok, ahol másképp gondolkodnak, mely esetekben mond mást a tudomány, mint ahogyan ők eddig gondolkodtak az adott dologról. Ezért nagyon fontosak a beszélgetések, a szókratészi módszer, ahol éppen az előzetes elképzelések felszínre hozása történik meg. Ezt nem szabad elvesztegetett időnek tekinteni, a tanulási folyamat fontos részét képezi!

Visszatérve a Kepler-törvényekre, azok valójában sokkal többet jelentenek, mint az ismert adatok egyszerű leírása. Az elméletet felhasználva újszerű megfigyelésekre is lehetőség nyílt, melyek nem voltak ismertek Kepler számára. Például új bolygók felfedezésére adott lehetősé-

get, amikor eltérések mutatkoztak a Kepler-törvényektől (Uránusz, Neptunusz, Plútó).

Kepler törvényei további fejlődési lehetőséget jelentettek a tudomány számára. *Newton* nem tudta megalakítani dinamikáját Kepler törvényei nélkül. *Newton* egyesítette a földi és az égi fizikát, melyekről addig azt gondolták, hogy különböző törvényszerűségeknek engedelmeskednek. *Newton* eredményei nélkül pedig lehetetlen lett volna a fizika további fejlődése. Az elektromosság, a hőtan, a sokrészecske rendszerek leírásához elengedhetetlen a dinamika ismerete. A modern fizika pedig végképp nem alakulhatott volna ki, mely pedig mindennapi életünk alapjait jelenti.

Irodalom

- J.D. BARROW: *A fizika világgépe* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1994.
J.D. BERNAL: *A fizika fejlődése Einsteinig* – Gondolat Kiadó, Budapest, 1977.
H.C. BERG, T. SCHULZE: *2 Lehrkunst, Lebrbuch Didaktik* – Berlin, 1995. Die Himmelsuhr
A. HOBSON: *Physics. Concepts and Connections* – Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999.
A. KOESTLER: *Alhajárók* – Európa Könyvkiadó, Budapest, 1956/1996.
MIKONYA GY.: *A tanítás művészete* – Oktatás-módszertani kiskönyvtár, Gondolat Kiadó, Budapest, 2003.
Nemzeti alaptanterv 2003.
RADNÓTI K.: *Az induktív módszer zavarai az oktatásban* – Iskolakultúra 10 (2000. október) 34–44
SIMONYI K.: *A fizika kultúrtörténete* – Gondolat Kiadó, Budapest, 1986.
VEKERDI L.: *Így él Galilei* – Typotex Kiadó, Budapest, 1997.
NÉMETH L.: *Galilei*
MADÁCH I.: *Az ember tragédiája*

GLOBE AT NIGHT

– Mi is részt vettünk a felmérésben

Napjainkban számos újságcikk, rádió- és tévéműsor foglalkozik a környezetvédelemmel. Főleg ezeknek köszönhető, hogy egyre több figyelmet szentelünk a szabadba kerülő vegyi anyagoknak, veszélyes hulladékoknak, és egyre több olyan élelmiszert fogyasztunk, amelyek előállításakor kerülték a szintetikus növényvédő- és tartósítószeres használatát.

Még a környezetünkre tudatosan odafigyelő emberek némelyike számára is ismeretlen fogalom a *fényszennyezés*. Mi is ez tulajdonképpen, és miért kell küzdenünk ellene?

A fényszennyezés (1. ábra) nem más, mint az esti égbolt mesterséges fényforrásokkal történő *felesleges* megvilágítása. Idetartoznak az egymást túlharsogó, az eget pásztázó reklámfények, a helytelenül megtervezett vagy kivitelezett közvilágítás, vagy az idegenforgalmi nevezetességek átgondolatlanul megvalósított díszvilágítása.

A fölfelé irányított fény szóródik a felhőkön, a légköri párán és a lebegő porszemcséken. Ezzel nő az égbolt háttérfényessége, csökken a látható égitestek száma, illetve romlik a látvány minősége. Azt hihetnénk, hogy ez csupán a csillagászattal foglalkozók problémája, valójá-

ban azonban sokkal többről van szó. A túlzott kivilágítás megzavarja az éjszakai állatok tájékozódását, életritmusát, megváltozik a vándormadarak vonulási útvonala, madarak ezrei, rovarok milliói *esnek áldozatul* az égre irányított reflektoroknak.

1. ábra. Esti kivilágítás, tipikus fényszennyezés.

