

HONNAN FÚJ A SZÉL

avagy okosabb-e egy ötödikes, mint Sylvester Stallone?

Gróf Andrea

Karinthy Frigyes Gimnázium, Budapest

„Minden másképpen van.”

Karinthy Frigyes

Katasztrófális filmek

Egy középiskolás már mindenképpen okosabb. Ez az írás néhány példa segítségével azt mutatja meg, miként lehetséges a matematikai tárgyalást nagy mértékben leegyszerűsítve, de a lényegét mégis megőrizve magyarázatot adni számos olyan meglepő jelenségre, amelyet a Föld forgása okoz. A forgó Földön ugyanis valóban minden másképpen van. Mivel kevés hétköznapi tapasztalatra hagyatkozhatunk, a középiskolások fantáziáját éppúgy megragadják ezek a jelenségek, mint a filmforgatókönyv-írókét.

A filmirodalomban – környezetfizikai szempontból – a katasztrófafilmek kínálják a legtöbb csemegézni valót. Ennek ékes példája a *Holnapután* című film, amely gazdag tárháza a valós tények által ihletett, tudományosan hangzó sületlenségeknek.

Mivel most a Föld forgásával kapcsolatos jelenségek iskolai feldolgozásának szükségességét szeretném alátámasztani, egyetlen apró jelenetet említek példa gyanánt. Ebben tévémondó ismerteti a katasztrófa közeledtére utaló aggasztó jeleket. Mialatt elmondja, hogy trópusi hurrikánra emlékeztető hatalmas vihar alakult ki Kanadában, a háta mögött levő képen az óra járásának megfelelő irányban örvénylő felhőrendszer látható (nem is hurrikánhoz hasonlít, inkább a déli félteke mérsékelt övi ciklonjának felhőzete lehet, de efölött most nagyvonalúan szemet hunyunk).

A képet figyelmesen szemlélve még a középiskolások is tudnák, hogy rossz, hiszen ha egyáltalán létezik

A cikk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén, 2016. augusztus 25-én elhangzott előadás alapján készült.

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tanterv- és Pedagógiai Kutatási Programja támogatta.



Gróf Andrea 1991-ben szerzett matematika-fizika tanári diplomát az ELTE-n. Azóta a budapesti két tanítási nyelvű Karinthy Frigyes Gimnáziumban tanítja mindkét tárgyat angol nyelven. Az ELTE fizikatanári doktori programjának végzés előtt álló hallgatójaként azzal foglalkozik, hogy miként lehet a hagyományosan a földrajz tantárgy keretében tárgyalt jelenségek fizikai hátterét a középiskolai oktatásban bemutatni.

hetne Kanada fölött hurrikán, az biztosan nem a látott irányba csavarodna, hanem fordítva, mert az északi féltekén van. A tanulók általában jól emlékeznek földrajzóráról arra, hogy melyik féltekén merre forognak az alacsony nyomású légköri képződmények.

Ezért is szedi olyan könnyen áldozatait a lefolyó legendája. Fontos szerepe van például a *Szupercella* (*Escape Plan*) című filmben. A „Szupercella” itt nem hatalmas viharra utal, hanem szuperbiztonságos börtönre, ahol a fogvatartottak még azt sem tudják, melyik táján vannak a világnak. A főhős (*Sylvester Stallone*) megfigyeli a WC-ben örvénylő víz mozgását, ebből állapítja meg, hogy valahol az északi féltekén.

A *Simpson család Bart kontra Ausztrália* című epizódjában is a lefolyók viselkedéséből kerekedik diplomáciai bonyodalom. Ez azért különösen meglepő, mert nem véletlenül fedezhet fel a figyelmes néző rengeteg intellektuális humort ebben a rajzfilmsorozatban, főként, ha nem idegen tőle a matematika. A szerzőgárdában ugyanis szinte mindenkinek van tudományos fokozata matematikából vagy természettudományból (vagy mindkettőből). És még ők is... A történetben a nem épp észkombáján Bart Simpson nem akarja elfogadni, hogy északon mindig az óramutatóval ellentétesen örvénylik a lefolyó, mire húga, a szuperokos ötödikes Lisa figyelmezteti, legjobban, ha egyszerűen kipróbálja. Vagyis megfogalmazza, hogy elméletünk helyességének próbája a kísérlet! A szerzőknek azonban olyannyira kétségük sincs a kísérlet eredményét illetően, hogy ők maguk sem ellenőrzik, mi pedig azt láthatjuk, hogy a kísérletet elvégezve a lefolyók következetesen különböző irányban örvénylenek a két féltekén.

Lefolyó-ügyben a mélypontot talán az *X-akták Kéz, amely sebez* című epizódja jelenti. Ebben még a rosszat is rosszul tudják, és okkult körítésekkel kísérve kijelentik, hogy az óra járásával ellentétesen forgó lefolyó a déli féltekére jellemző.

A lista messze nem teljes, de ahhoz talán elég ennyi, hogy tudatosítsuk, milyen tömegben ömlik a komolytalan tudomány a gyerekekre. Ők pedig meglepő részletességgel emlékeznek mindenre, amire nem kellene. (Amikor például fizikaórán először hallják a „fluxus” szót, azonnal előhozakodnak a fluxuskondenzátorral, pedig nem is éltek még, amikor a *Vissza a jövőbe* című film készült.)

Sok tennivaló vár tehát ránk, tanárookra: a mi feladatunk, hogy segítsünk tanítványainknak mindebben eligazodni. Kitől tudják meg, ha nem tőlünk, hogy honnan fúj a szél?

A szél iránya

A tanulók helyesen tudják földrajzból, hogy a levegő mozgását légnyomáskülönbségek idézik elő, és a légnyomás eloszlása szabja meg a levegőáramlásokat. Az interneten könnyen találhatóunk nyomástérképeket (*1. ábra*). Bár földrajzórán már szerepeltek izobárok, a gyerekeket először meg kell tanítanunk látni egy ilyen térképen, hiszen az absztrakt mezőfogalom még távol áll tőlük. Ha már valamelyest értik, megkérdezhetjük őket, milyen irányban fúj a szél Budapesten. Pontosabban, hogy milyen irányban fúj Budapest fölött nagy magasságban, amire ez az ábra is vonatkozik.

Az ábra Magyarország régiójában északnyugat-délkelet irányú vonalakat mutat, és balra lent vannak a nagyobb számok, jobbra fent pedig a kisebbek. Ezért hétköznapi intuíciónk alapján, amelyre a legtöbb földrajzkönyv leegyszerűsítő tárgyalása is ráerősít, többnyire azt válaszolják, hogy a szél a magasabb nyomás felől az alacsonyabb felé, vagyis délnyugatról északkelet felé fúj.

Csakhogy az összefüggés nem ilyen egyszerű: a hétköznapi intuíció hétköznapi tapasztalatokból táplálkozik, így nem számolhat a Coriolis-erővel.

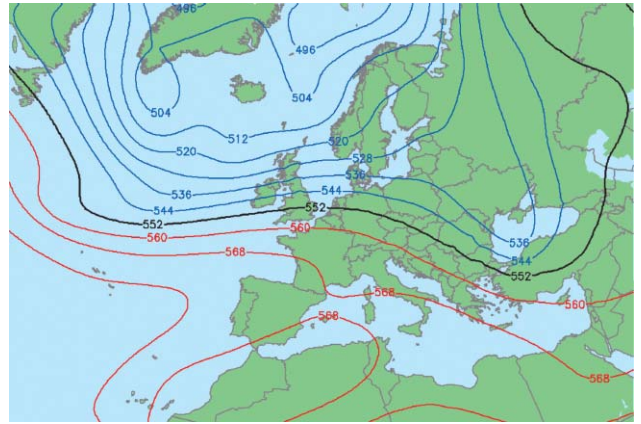
A Coriolis-erő több-kevesebb sikerrel elmagyarázható [2], a *Fizikai Szemle* is nem egy ízben foglalkozott már tanításának lehetőségeivel [3–6], ennek a részleteire ezért most nem térek ki. Ha rendelkezésre áll a Coriolis-erő, akkor még a szélesség nagyságát is ki tudjuk számolni a gyerekekkel. Nehézséget itt főként az jelent, hogy a jelenségek egzakt tárgyalásához kicsi a középiskolai matematikai eszköztár, hiszen a tanulókat nyilván nem lehet parciális differenciálegyenletekkel terhelni.

Tanárként feladatunk tehát többek között az, hogy amennyire lehet, a lényeg megőrzése mellett leegyszerűsítsük a problémát, és a gyerekek számára is emészthető matematikai megfontolásokkal úgy kapjunk helyes eredményt, hogy közben ne mondjunk valótlan. Most is arra törekszem, hogy ne nyújtózkodjak túl a középiskolai matematikán.

Ha feltesszük, hogy a levegő nem most kelt útra, hanem már beállt a stacionárius állapot, akkor (mivel nagy magasságban a viszkozitásból adódó fékezőerő elhanyagolható) a Coriolis-erő egyensúlyt tart a nyomáskülönbségből eredő, a nyomáscsökkenés irányába mutató erővel.

(Egyensúlyról természetesen csak akkor beszélhetünk, ha azt is feltesszük, hogy a levegő nem kanyarodik nagyon. Nem nyilvánvaló, hogy mit is jelent a „nagyon”: ha a lefolyó ügyét kívánjuk tisztázni, akkor épp azt kell megmutatnunk, hogy ott bizony, nagyon kanyarodik a víz. Ennek érdekében fontos nemcsak paraméteresen, hanem konkrét számértékekkel is kiszámolni az eredményeket, a gyerekek számára csak így válik világossá, hogy mi fontos és mit lehet elhanyagolni.)

Ha kicsiny Δx távolságon a nyomáskülönbség Δp , akkor két, rá merőleges A felület közötti V térfogatban levő levegőre ható erő



1. ábra. Nyomástérkép részlete, a számok 10 m egységekben értendők [1].

$$F_p = -A \Delta p = -A \Delta x \frac{\Delta p}{\Delta x} = -V \frac{\Delta p}{\Delta x}. \quad (1)$$

Egyensúly esetén ez egyenlő nagyságú és ellentétes irányú a Coriolis-erővel:

$$V \frac{\Delta p}{\Delta x} = 2 m v \Omega \sin \varphi,$$

ahol Ω a Föld forgási szögsebessége, φ pedig a földrajzi szélesség. Innen a szélesség

$$v = \frac{1}{2 \rho \Omega \sin \varphi} \frac{\Delta p}{\Delta x}.$$

A Coriolis-erő oldalirányban hat, a mozgás tehát a nyomáscsökkenés irányára merőlegesen történik, vagyis éppen az izobárfelületek mentén.

A nyomásfelületek domborzata

A szél irányáról nemcsak azért volt fontos említést tenni, mert a gyerekeknek már ez is meglepő, hiszen – *Karintyval* szólva – egy újszülöttnek minden vicc új. Csak kicsit kell mélyebben tanulmányoznunk a légnyomás eloszlását, és meg tudunk magyarázni további érdekes dolgokat is, amelyek már biztosan nem szerepeltek földrajzórán. (Sőt, matematika-fizika szakos tanárjelöltként én annak idején egyetemen sem tanultam róluk.)

Térjünk vissza a nyomástérképekhez. Ha közelebbről megvizsgáljuk az interneten fellelhető térképeket, láthatjuk, hogy izobártérképeket csak a talajszinten szoktak rajzolni. A magasabb légrétegek nyomásviszonyait ábrázoló térképeken ehelyett az azonos nyomású felületek magasságának eloszlását adják meg. Az izobárfelületek szintvonalait a meteorológusok izohipszáknak nevezik [7]. Az *1. ábra* is ilyen izohipszatérkép: a vonalak nem azonos magasságban egyenlő nyomásintervallumonként vannak feltüntetve, hanem az adott nyomású felületre vonatkozóan egyenlő magasságonként. Ezen az ábrán például az 500 hPa értékhez tartozó magasságok görbéi láthatók. A vonalakra úgy lehet gondolni, hogy szintvonalas domborzati térképet készítettünk

arról a felületről, amely felett a levegőnek pontosan a fele található.

Ekkor a nyomáskülönbségből eredő (1) erő okozta gyorsulás

$$\begin{aligned} \frac{F_p}{m} &= -\frac{V}{m} \frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta z} \frac{\Delta z}{\Delta x} = \\ &= -\frac{1}{\rho} (-\rho g) \frac{\Delta z}{\Delta x} = g \frac{\Delta z}{\Delta x}, \end{aligned}$$

ahol z magasságot jelöl. Ebből már látszik, hogy miért jobb $\Delta p/\Delta x$ helyett $\Delta p/\Delta z$ és $\Delta z/\Delta x$ szorzatát írni: a hidrosztatikából emlékszünk arra, hogy adott helyen a nyomásnak a magassággal való csökkenése az ottani sűrűséggel arányos, amely helyről helyre más lehet, ezzel a módszerrel viszont ki tudjuk küszöbölni a sűrűséget a számolásból. Δz leolvasható a görbékről, Δx lemérhető a térképről, rajtuk kívül csak g -re van szükségünk. A nyomásfelület meredekségéből kiszámolt vízszintes gyorsulást a Coriolis-gyorsulással egyenlővé téve kapjuk a sebességet:

$$v = \frac{1}{2\Omega \sin\varphi} \frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{1}{2\Omega \sin\varphi} g \frac{\Delta z}{\Delta x}. \quad (2)$$

Amikor a vízszint sem vízszintes

Hasonló megfontolást a vizekre is alkalmazhatunk. A tengereken létezik egy természetadta kézzelfogható izobárfelület is: a vízfelszín maga, ahol légköri nyomás uralkodik. Az eddigiek alapján ez azt jelenti, hogy az erőegyensúlyban levő áramló vízhez döntött felület tartozik.

A gyerekek is ismerik a Golf-áramlást. Az egyszerűség végett tekintsük azt a szakaszát, ahol észak felé halad Florida partjainál, $\text{É}30^\circ$ földrajzi szélességen. Az áramlat szélessége körülbelül 100 m, sebessége 1 m/s nagyságrendű. Ezekből az adatokból nagyságrendileg tudjuk becsülni a tengerfelszín döntöttségének mértékét, ha a felszín meredekségét (2)-ből kifejezzük a sebességgel:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{\Delta x} &= \frac{2\Omega \sin\varphi v}{g} = \\ &= \frac{2 \cdot 7,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 1}{10} = 7,3 \cdot 10^{-6} \approx 10^{-5}. \end{aligned}$$

Az eredmény 100 km-enként körülbelül 1 méter emelkedést jelent nyugatról kelet felé, ami jó egyezést mutat a műholdas mérésekből ismert értékekkel.

Fantom-akadályok

Ha egy folyadékban (akár a levegőben, akár a vízben) a sűrűség állandónak tekinthető, vagyis nem változik a magassággal, akkor a felszín bármelyik pontjában a függőleges mentén felfelé haladva ugyanolyan ütem-

ben csökken a nyomás, a nyomásfelületek ezért párhuzamosak, mindenhol ugyanannyira lejtnek. Ebből az következik, hogy a függőleges mentén a vízszintes irányú sebesség is végig ugyanannyi.

(Ha nem akarunk a nyomásfelületek szintvonalaira áttérni, úgy is fogalmazhatunk, hogy kicsivel nagyobb magasságban pontosan ugyanoda kell rajzolni a térképre az izobárokat, csak éppen mindegyikre pontosan ugyanannyival kisebb nyomást kell ráírni. A nyomás megváltozása egységnyi vízszintes távolságon ugyanannyi, mint lejjebb, ezért – mivel a sűrűség is ugyanannyi, mint lejjebb – a vízszintes sebesség is ugyanannyi kell, hogy legyen.)

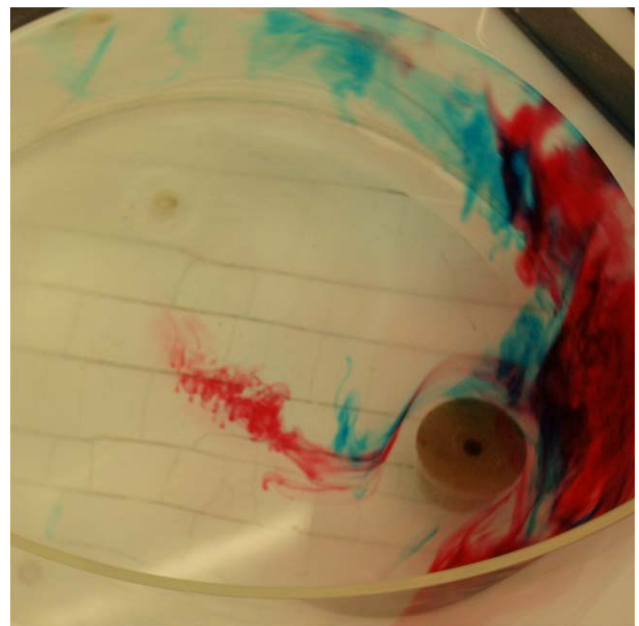
Ne felejtjük el, hogy homogén folyadékról van szó, amely elég gyorsan forog ahhoz, hogy a Coriolis-erő meghatározó legyen!

A forgatott homogén folyadéknak ezt a meglepő, oszlopos szerkezetet – azaz függőleges eltolásra való invarianciát – mutató viselkedését, az ELTE Környezeti Áramlások Kármán Laboratóriumában kézzelfogható módon be is mutatják az érdeklődő iskolásoknak. Egyszerű eszközökkel számos légköri és óceáni jelenséget tudnak a laborasztalon modellezni, még a klímaváltozást is [8], a kutatómunka mellett azonban a Kármán Laboratórium ismeretterjesztő tevékenységet is folytat, amelyet jó lenne, ha több fizikatanár megismerne és hasznosítana.

Az egyik demonstrációs kísérletben [9] forgatott kádban levő vízbe egy kevés festéket fecskendeznek. Álló tartályban ugyanez a befecskendezett festék háromdimenziós turbulenciát mutató felhő formájában gomolyogna. A forgatott tartályban viszont minden másképpen van, a festék függőleges felületek mentén terjed szét, függőnyszerű alakzatot formázva (2. ábra).

Az áramlás kétdimenzióssá válásának legérdekesebb következményét pedig akkor figyelhetjük meg,

2. ábra. Homogén, forgatott folyadékban kialakuló áramlás demonstrációja a Kármán Laboratóriumban.





3. ábra. Kármán-féle örvényút Guadalupe szigete felett [12].

ha a tartály fenekére akadályt helyezünk. Ez látható a 2. ábra képen is. Noha az akadály sokkal kisebb a vízmélységnél, a festékfüggönyök mégsem csak ott kerülnek meg, ahol beleütköznenek, vagyis alul, hanem fölül is, ahol már nincsen semmi akadály. Az akadály fölül nem folyik a festék, inkább az egész fantom-oszlopot megkerüli.

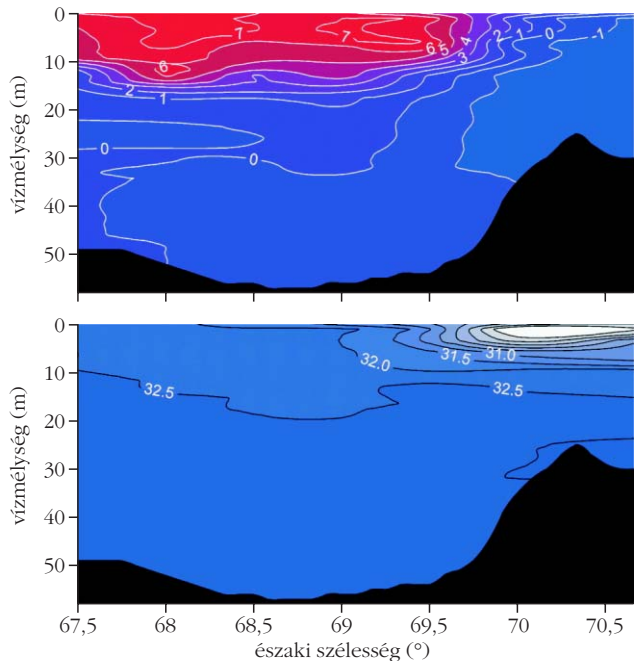
A természetben is meg lehet figyelni [10] mind a függőyszerű viselkedést, mind az akadály fölött nyugalomban maradó folyadékoszlopot, a Taylor-oszlopot. A sarki fényt ionizált gázok bocsátják ki a magaslégtérben. Ha a sűrűség homogénnek tekinthető, az egymás fölötti gázrészecskének azonosan kell mozogniuk, ezért függőyszerűen oszlanak el (mint például a [11] videón, vagy lásd e szám címlapját).

A 3. ábrán a Csendes-óceánban, Mexikó vonalában található Guadalupe szigete látszik. A felhők sokkal magasabban vannak, mint a sziget, mégis mutatják, hogy a szél kikerüli a szigetet, és az áramlás két-dimenziós szerkezete szépen kirajzolja a jól ismert Kármán-féle örvényutat.

Befejezésül álljon itt egy tengeri példa. A Csukcs-tenger a Bering-szorostól északra terül el Szibéria és Alaszka partjai között, északi természetes határa a kontinentális self pereme. Az egész egy nagyjából sík plató körülbelül 50 m mélyen, amelyből körülbelül 20 méterre kiemelkedik a Herald-zátony (4. ábra, felül) [13]. Nyáron a Csukcs-tenger jégtakarója felolvad, főként a Bering-szoros felől érkező, melegebb vizet szállító áramlat hatására. Kutatók azt vizsgálták, hogyan változik a jégtakaró határa az idővel [14, 15].

Három egymást követő év mérései közel azonos eredményre vezettek, a jégtakaró visszahúzódása tehát rendszeresen ugyanúgy zajlik. Sőt, már 19. századi bálnavadászhajók naplójában is szerepel a megfigyelés, hogy a Herald-zátony mindkét oldalán előrenyúlik egy-egy meleg nyelv, a zátonyt mintegy megkerülve. Két oldalt, sőt a zátonyon túl is felolvadt már a jég, miközben a zátony feletti vízoszlop még sokáig hideg és jégfedte marad.

Nem az a meglepő, hogy a zátonyba mint akadályba ütközve a melegebb víz némileg irányt változtat, az az érdekes, hogy a zátony teteje fölé sem folyik a meleg víz (4. ábra, középen). A zátony melletti vizek



4. ábra. A Csukcs-tenger [13] a Herald-zátonnyal (felül), a tengervíz hőmérséklete (középen) és sótartalma (alul) a vízmélység és az északi szélesség függvényében a nyugati hosszúság 170°-a mentén, a zátony közelében [15].

hőmérsékleti profilja csaknem függőleges frontot jelez, és ugyanilyen markáns frontra utalnak a sótartalom-mérések is. A zátony fölött még mindig meglévő jégtakaró alatt van a kisebb sótartalmú, hidegebb, régi víz, távolabb pedig a sósabb, újonnan érkezett, melegebb víz (4. ábra, alul).

Mérések szerint a Csukcs-tenger vize gyakorlatilag homogén sűrűségű, a rendszer minden egyéb paraméterének értéke is megfelelő az oszlopos természetű áramlás kialakulásához, tehát minden bizonnyal itt is Taylor-oszlop létrejöttének lehetünk tanúi.

Összefoglalás

A légkör és a tengerek fizikai folyamatait napjainkban intenzív tudományos érdeklődés övezi. A környezetfizikai tartalmak a jelenlegi középiskolai oktatásban döntően a földrajz tantárgy keretébe tartoznak. Ott azonban a fizikai háttér nem kap elég hangsúlyt, és többnyire nem is fogalmazódik meg pontosan. A Föld forgásával kapcsolatos jelenségek kapcsán is megmutatkozik tehát: a fizikaoktatásra hárul a feladat, hogy felkeltse a tudományos magyarázat igényét, és meg is adja a magyarázatot.

Irodalom

1. weatheronline.co.uk
2. A. Gróf: Carousels to Coriolis. What did you learn in geography? In: *Teaching Physics Innovately*. Konferenciakiadvány, szerk: A. Király, T. Tél, ELTE, Budapest 2015., 119., parrise.elte.hu/tpi-15/proceedings.php
3. Tél T.: A Coriolis-erő és a modern környezetfizika: a lefolyótól a ciklonokig *Fizikai Szemle* 56/8 (2006) 263.

4. Hráskó P.: Elmélkedés a Coriolis- és a centrifugális erőről. *Fizikai Szemle* 63/5 (2013) 168.
5. Szeidemann Á.: Fizika és földrajz határán – Tanítható-e a Coriolis-erő? *Fizikai Szemle* 63/10 (2013) 352.
6. Woinarovich F.: A földfelszín forgása egy általános pontban. *Fizikai Szemle* 64/6 (2014) 203.
7. meted.ucar.edu;
8. M. Vincze: Modelling climate change in the laboratory. In: *Teaching Physics Innovately*. Konferenciakiadvány, szerk: A. Király, T. Tél, ELTE, Budapest 2015., 107. o. parrise.elte.hu/tpi-15/proceedings.php
9. Gyüre B., Jánosi I., Szabó K. G., Tél T.: Környezeti áramlások. Szemelvények a Kármán Laboratórium kísérleteiből, 2. rész: Kísérletek forgatott folyadékokkal. *Légkör* 51/2 (2006) 6.
10. Jánosi I., Tél T.: *Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába*. ELTE, TTK, Fizikai Intézet, Budapest 2011.
11. www.youtube.com/watch?v=1DXHE4kt3Fw
12. earthobservatory.nasa.gov
13. <http://ak.audubon.org/conservation/arctic-marine-synthesis-atlas-chukchi-and-beaufort-seas>
14. S. Martin, R. Drucker: The effect of possible Taylor columns on the summer ice retreat in the Chukchi Sea. *Journal of Geophysical Research* 102/C5 (1997) 473.
15. J. Zhao, J. Shu, M. Jin, C. Li, Y. Jiao, Y. Lu: Water mass structure Chukchi Sea during ice melting period in the Summer of 1999. *Advances in Earth Science* 25/2 (2010) 154.

EXOBOLYGÓK MINDEN SZINTEN

Horváth Zsuzsa
Kosztolányi Dezső Gimnázium, Budapest

A jelenlegi csillagászati kutatások egyik legeredményesebb ága az exobolygó-kutatás. A legújabb tudományos eredményeket általában nehéz megismertetni tanulóinkkal, de ez alól kivételt jelentenek az exobolygók. Napjainkban már nemcsak azt tudjuk, hogy vannak Napunkon kívül más csillagok körül is bolygókísérők, exobolygók, hanem több mint 3500 exobolygó sok tulajdonságát is ismerjük (például keringési idejét, tömegét, méretét, sűrűségét, hőmérsékletét) [1]. Így azt is látjuk, hogy léteznek a mi Naprendszerünkhöz hasonló és attól különböző bolygórendszerek is. Galaxisunk változatos, sokszínű exobolygórendszereinek megismerésén túl azt is szeretnénk tudni, hogy vannak-e máshol is Földhöz hasonló helyek, amelyek megteremtik az élet kialakulásának lehetőségét. A Föld ikertestvérét ugyan még nem ta-

lálták meg, de több exobolygó sok jellemzőjében hasonlít bolygónkra. Diákjaink filmekben, számítógépes játékokban találkoznak a földön kívüli (értelmes) élettel, így az is érdekli őket, hogy egyedül vagyunk-e a Világegyetemben.

Ezekről a kérdésekről a fizikaórákon is beszélhetünk. A fizika kerettanterv új tartalmi elemeinek egyike az exobolygók kutatása és a földön kívüli élet keresése, amit – a csillagászat egyéb más témái között – mindkét gimnáziumi fizika kerettantervi változat a 11. évfolyamon tárgyal. Az *A* változat *Az űrkutatás hatása mindennapjainkra* tematikus egységben az exobolygók kutatását, az élet feltételeinek tér- és időbeli korlátait, sőt az értelmes élet kutatását is megemlíti [2]. A *B* változatban a *Csillagászat és asztrofizika elemei* tematikai egységben kapott helyet a földihez hasonló élet, kultúra esélye és keresése, valamint az exobolygók kutatása [2]. Ezekből a megfogalmazásokból jól látszik, hogy mindkét változat összeköti az exobolygók témáját a földön kívüli (értelmes) élet keresésével. Logikus ez a kapcsolódás, hiszen először a megfelelő helyeket kell megtalálni, ahol majd további vizsgálatokkal esetleg életjeleket is felfedezhetünk. Csak a földi életformákat ismerjük, ezért vizet keresünk az Univerzumban, hiszen erre minden földi élőlénynek szüksége van. Így olyan exobolygók után kutatunk, amelyek csillaguk lakhatósági zónájában keringenek, azaz felszínükön tartósan jelen lehet a víz. A földrajz kerettanterv is fontosnak tartja ezt a témát, már a 9. évfolyamon *A Föld kozmikus környezete* tematikus egységben szerepelnek a Naprendszeren kívüli bolygók kutatásának új eredményei [2].

A cikk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén, 2016. augusztus 25-én elhangzott előadás alapján készült.

A cikk elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta.

Köszönöm a munkám során nyújtott segítséget *Érdi Bálintnak* és *Tél Tamásnak*.



Horváth Zsuzsa a budapesti Kosztolányi Dezső Gimnázium matematika-fizika szakos tanára. Az ELTE TTK Fizika Doktori Iskola – Fizika Tanítása Program keretében a csillagászat tanítását kutatja, azon belül is főleg az exobolygók témájának oktatásával foglalkozik. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a Magyar Asztronautikai Társaság tagja.