Coriolis a lefolyóban?

Egy elterjedt tévhit iskolai vizsgálata probléma-, élmény- és kutatásalapú módszerrel

Bizonyára sokan ismerik azt a közkeletű vélekedést, hogy az északi féltekén a mosdókagylóban az óramutató járásával ellentétes irányban, balra örvényelve folyik le a víz, míg a déli féltekén ellenkező forgásiránnyal, jobbra a Föld forgásából eredő Coriolis-erő miatt. Azt már kevesebben tudják, hogy ez egy tévhit, ami egy egyszerű, de idő- és vízigényes házi kísérlettel igazolható. A Coriolis-erő ilyenkor annyira kicsi, hogy nem az, hanem a víztömeg kezdeti forgása és/vagy a kihúzott dugó által keltett, véletlenszerű eredeti forgásirány határozza meg a lefolyó víz örvényirányát. Ez otthon úgy ellenőriztethető a diákokkal, hogy megkérjük őket, a mosdókagylót töltsék meg vízzel, majd a dugó kihúzásával eresszék le a vizet és jegyezzék föl a lefolyó víz örvényirányát (balra vagy jobbra). Minél több diák és minél többször végzi el e kísérletet, annál bizonyosabban kijön a statisztikai eredmény, hogy közel 50 százalékban balra és 50 százalékban jobbra forog a vízörvény, vagyis véletlenszerűen, tehát nem a Coriolis-erő határozza meg a forgásirányt. Cikkünkben a lefolyóban örvénylő víz viselkedésének megfigyeléséről, a diákok eredményeiről és a téma tanórai feldolgozási módjáról írunk. Végül egy számszerű becsléssel kimutatjuk, hogy egy vízmolekula az Egyenlítőtől észak/délre 3 méterre lévő, 20 cm sugarú mosdókagylóban 1 m/s sebességű lefolyásakor jobbra/balra a (számítások (13) pontja alapján „a molekulabeli O és H atomok távolságának csak 1,4 százalékával térül el a Coriolis-erő hatására. Ez elhanyagolhatóan parányi a vízörvény forgásirányát meghatározó más, sokkal nagyobb erőhatásokhoz képest. Mindez meggyőzően leplezi le a Világhálón található egyik szemfényvesztő, hamis bemutatót, ami a Coriolis-erőnek a lefolyó víz örvénylésében állítólag betöltött szerepét próbálja meg szemléltetni.

Bevezetés

A tehetetlenség, a tömeg, Newton I. alapörvénye, a tehetetlenségi rendszerek és a relativitás elvének megértése elvont gondolkodást igényel. A tanterv szerint e fogalmakkal a tanulók 13−14 éves korukban találkoznak, mikor az elvonatkoztatásnak (absztrakciónak) e szintjére sokan nem jutottak még el. Azon gyermek képzelőereje fejlett, akinek elegendően sok olyan valóságos élménye volt, amit vele együtt értelmeztek. Ingerszegény környezetből érkezők vagy a magyarázatok nélkül hagyott észleléseken túllépők egyre jobban leszakadnak társaiktól.

Az utóbbiak miatt is érdemes megtalálni a módját annak, hogy a diákok megfigyeléseket végezzenek a gyakorlatban, keressék a válaszokat a jelenségekre és gondolkodásuk

fejlődjön. Olyan feladatokat kell keresni számukra, amelyek elvégzéséhez kevés előzetes tudás szükséges, esélye van, hogy megbirkóznak vele, s valami érdekességhez lehet kapcsolni őket. Érdeklődésüket fölkeltő, problémára alapozott, nyílt végű kérdésként megfogalmazott fölvetéssel közelítve hozzájuk, bevonhatók a közös kutatásba és válaszkeresésbe. Mivel épp e körben jellemző a tanulási motiváció, feladattudat és kitartás alacsony szintje, ezek fejlesztéséről is gondoskodni kell. A megfigyelési időszak végén pedig valamilyen katarzissal érdemes lezárni a folyamatot, de legalábbis a megerősítő visszajelzésig eljuttatni a bevont tanulókat, hogy kíváncsiságukat és kutatókedvüket megőrizzék.

Sok természettudományos lehetőség van, ami tartalma lehet a közös gondolkodásba való bevonásnak. Cikkünkben a lefolyóban örvénylő víz viselkedésének megfigyeléséről (amit tévesen a Coriolis-erővel szokás magyarázni), a diákok eredményeiről és a téma tanórai feldolgozási módjáról írunk. E téma szorosan kapcsolódik a tehetetlenségi (inercia-) rendszerekéhez, ami 7. osztályos tantervi anyag. Ennek keretében mi egy konyhai ételszállító kiskocsira ültetünk egy tanulót, aki ölében rajztáblát, azon pedig golyót tart, míg társa a kocsival egyenletes és változó sebességű, egyenes és változó irányú mozgásokat végez. Az osztály többi tanulója a közelben állva figyeli meg és mondja el a golyó mozgását, mely szóbeli leírást összehasonlítjuk a kocsin ülő tanuló beszámolójával, mozgásleírásával. Inerciarendszerben egyenes a golyó pályája, forgó rendszerben viszont a golyó sebességétől és a forgás szögsebességétől függően változó görbe vonalú. Mindez élményszerű, de csak egyszeri megfigyelés. A jelenségek értelmezésének igényét azonban csak úgy lehet kialakítani és tartóssá tenni, ha rendszeressé tesszük és vissza is jelzünk. Időigénye azonban jelentős e fejlesztési folyamatnak. Ezért otthon végezhető megfigyeléshez kerestünk egy jó témát.

Bizonyára sokan hallották már a vélekedést, hogy az északi féltekén a mosdókagylóban az óramutató járásával ellentétes irányban, balra forogva, örvényelve folyik le a víz, míg a déli féltekén ellenkező örvényiránnyal, jobbra. Ez egy tévhit, ami egy egyszerű, de idő- és vízigényes házi kísérlettel igazolható, ellenőrizhető. A Coriolis-erő ilyen körülmények között annyira kicsi (lásd számszerű becslésünket cikkünk végén), hogy nem az, hanem a víztömeg kezdeti forgása és/vagy a kihúzott dugó által keltett, véletlenszerű eredeti forgásirány határozza meg a lefolyó víz örvényirányát. Ez otthon úgy ellenőriztethető a diákokkal, hogy megkérjük őket, a mosdókagylót töltsék meg vízzel, majd a dugó kihúzásával eresszék le a vizet 50−100-szor (innen e kísérlet vízigényessége), és jegyezzék föl a lefolyó víz örvényirányát (balra vagy jobbra). Minél több diák és minél többször végzi el e kísérletet, annál bizonyosabban kijön a statisztikai eredmény, hogy közel 50 százalékban balra és 50 százalékban jobbra forog a vízörvény, vagyis véletlenszerűen, tehát nem a Coriolis-erő határozza meg a forgásirányt.

Egy korábbi fölmérés

A *Természet Világa* folyóirat II. megfigyelési versenyében, 2000 áprilisában szerepelt a lefolyó víz örvényirányával kapcsolatos következő feladat (*Radnai* és *Horváth*, 2000):

> „Mosdóban vagy kádban a dugó kihúzása után a lefolyó víz örvényleni kezd. Széles körben elterjedt vélekedés szerint azt, hogy jobbra vagy balra forog-e a vízörvény, a Föld forgása miatt fellépő Coriolis-erő határozza meg. Ha ez így lenne, az északi féltekén mindig az óramutató járásával ellentétesen (balra), a déli féltekén pedig kivétel nélkül az óramutató járásával megegyező irányban (jobbra) kellene forognia a vízörvénynek. Figyeljük meg, tényleg így van-e. Eresszük le a vizet több alkalommal a mosdókagylóból, vagy végezzünk egyszerű kísérleteket (például egy

tölcsér segítségével) és figyeljük meg az örvényképződést. Készítsünk statisztikát arról, hogy az esetek hány százalékában, milyen irányban forgott az örvény. Függ-e az örvény forgásiránya a mosdóban lévő víz mélységétől, valamint a dugó kihúzásának módjától (például kézzel nyúlunk a vízbe s azzal húzzuk ki a dugót, vagy a dugóra rögzített lánccal)?"

Az olvasók által beküldött megfigyelési leírások szerint (*Radnai* és *Horváth*, 2000):

– Bakó András (Nyíregyháza) a kísérletet tölcsérrel végezte, amiben megvárta a víz nyugalomba kerülését. 40 leeresztésből 18 alkalommal balra, 22-szer pedig jobbra örvénylett a víz.
– Benke Noémi (Székesfehérvár) 6-szor eresztette le a vizet a mosdókagylóból, ami 5-ször jobbra, 1-szer balra forgott. A fürdőkádjában pedig mindig jobbra forgott a lefolyó víz.
– Görbe Márk (Budapest) lánccal 6-szor húzta ki a dugót a vízzel teli mosdókagylóból. 2-szer balra, 4-szer jobbra forgott a vízörvény.
– Kurgyis József (Gomba) egy mosdóban, egy kádban és két mosogatóban vizsgálta a lefolyó vizet. Utóbbiak közül az egyikben a lefolyó nyílása a kagyló jobb felső sarkában volt, a másikban a bal felső sarkában. A mosdóban 32 leeresztésből 12-szer az óramutató járásával ellentétesen, 15-ször megegyezően forgott a víz. A mosogatóban és a kádban 5 alkalommal a víz a lefolyása közben megváltoztatta forgásirányát, egy esetben kétszer is.
– Pélyi Erika (Siófok) 7 leeresztése közül 5-ben a víz az óramutató járásával ellentétesen örvénylett, 2-ben azzal megegyezően.
– Szalontai Enikő (Tiszaújváros) 12 leeresztése mindegyikében az óramutató járásával ellentétesen forgott a víz.

E kísérletek hiányossága volt, hogy csak kevés számú ismétlés történt, és néha módszertani hibákkal is terhesek voltak (például nem ügyeltek arra, hogy a kísérletet mindig csak nyugvó vízzel végezzék el, vagy a lefolyó nem mindig a mosdókagyló közepén volt).

Első beszélgetés: a tanulók tájékoztatása a Coriolis-projektelemről

A diákokkal folytatott első beszélgetésünk célja elmagyarázni a Föld forgása miatt ébredő Coriolis-erő lényegét és természetbeli megnyilvánulásait, mint például a meteorológiai ciklonok és anticiklonok örvénylésének irányát, amit tényleg a Coriolis-erő határoz meg. Ha a földrajz szakos kollégánk már megtette ezt, akkor csak hozzá kell kapcsolni a tehetetlenséggel történt ismerkedésünkhöz. Vannak diákok, akik megnézték a „Szupercella" című akciófilmet (angolul: *Escape Plan*, Motion Picture Artwork 2013©, Summit Entertainment), aminek két híres főszereplője Arnold Schwarzenegger és Sylvester Stallone. A filmben szerepel, hogy a szuperbiztos és -titkos börtönhajó földrajzi elhelyezkedését, pontosabban azt, hogy a Föld északi vagy déli féltekéjén tartózkodik-e (amit fontos volt tudni a szökéshez), úgy határozták meg, hogy a mosdókagylóban az óramutató járásával ellentétesen örvénylett a lefolyó víz, vagyis a börtön az északi féltekén volt. (A filmben van még egy tanórai feldolgozásra való mérés, a földrajzi szélesség meghatározása az északi Sarkcsillag horizont fölötti szögtávolsága alapján egy házilag barkácsolt szekesztánssal. Erre is építhetünk egy kis feladatcsokrot, bevonva a technikát tanító kollégát is.)

Ezután megkérdezzük, kinek van kedve részt venni egy otthoni házi kísérletben, ami a lefolyó víz örvénylési irányát kívánja meghatározni. Személyes megszólítással érdemes bátorítani a tanulókat. Órámon nyílt végű kérdésként fogalmaztam meg a megfigyelési

feladatot, tehát nem árultam el, hogy 50−50 százalékos bal (pozitív), illetve jobb (negatív) forgásirány várható. A diákoknak az 1. táblázat szerinti mérési jegyzőkönyvet adtam ki, amit hazavittek. A körülmények változatosságát azzal biztosítottam, hogy a diákok kereshették az örvényirányt befolyásoló tényezőket. Volt, aki arra gondolt, hogy a mágneses mező befolyásolhatja a víz forgásirányát. Ötletének alapja az a korábbi tanórai kísérlet volt, amiben egy megdörzsölt üvegrúd elektromos mezőjének hatására egy vízsugár eltérült a függőleges iránytól. Mások a forgásirány hőmérséklettől vagy az edény alakjától való függését vetették föl. Ezért szerepel a jegyzőkönyv fejlécében minden mérésnél a körülmény jelzése. A diáknak végül föl kell jegyeznie, hogy a forgásirány az óramutató járásával megegyező (mínusz, -) vagy azzal ellentétes (plusz, +).

1. táblázat. Mérési jegyzőkönyv a mosdókagylóban lefolyó víz forgásirányát vizsgáló megfigyelések följegyzéseihez

forgásirány	Végzi: ..... (neved) Megfigyelés időpontja: 2016. ..... hónap, ... nap, ... óra Helyszín (húzd alá): konyhai mosogató, fürdőkád, mosdókagyló, strand-medence Lefolyóedény paraméterei (mérete, anyaga, lefolyónyílás mérete, alakja): .... ……. Víz jellemzői: hőmérséklet: ……..... ^{o}C, térfogat ……..... dm^3 (liter) Egyéb: (pl. mágnes a közelben) .....
–	
+	

Második beszélgetés: a Világhálón talált kapcsolódások közös értelmezése

Egyik tanulónk rábukkant egy ausztrál fiatalember nemzetközi méréssorára: https://www.youtube.com/watch?v=cNyto7gRTfU. E honlap gyűjti az északi és déli féltekén lefolyó vizek forgásirányának adatait.

Egy másik diák egy kisfilmet talált (https://www.youtube.com/watch?v=-MyZ-WNwjZV0), ami az ecuadori Egyenlítőnél bizonyítani véli, hogy az északi féltekén pozitív, a délin pedig negatív a lefolyó víz forgásiránya. Ekkor már szükség volt arra, hogy eláruljam, mi az igazság. Ez volt az a pont, ahol az addigi mérési eredményeket összegeztük. Elkértem a jegyzőkönyveket, és megszámoltuk, hány + és hány – örvényirányt észleltek. 9-en végeztek megfigyelést, összesen 66 alkalommal. Ebből 50 alkalommal az óramutató járásával egyező (–) forgásirányt észleltek, 15-ször + irányról számoltak be, s egy alkalom nem volt egyértelműen megítélhető. Ezen eredményeket a 2. táblázat mutatja.

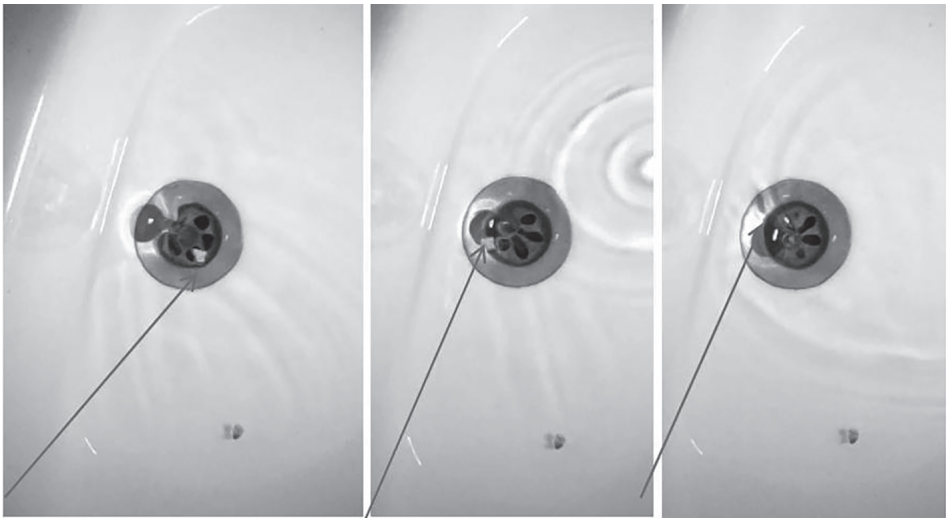
2. táblázat. Első összesítés a diákok vízforgási megfigyeléseiről

diák	*+ irány*	*– irány*	*nem egyértelmű*	*összes*
Csanád		10	1	11
Gergő		21		21
Dorina	2	1		3
Fanni	1	1		2
Anna	7	4		11
Norbert	2			2
Ádám		2		2
Anita		6		6
János	3	5		8
összes	15 (22,75 %)	50 (75,75 %)	1 (1,5 %)	66 (100 %)

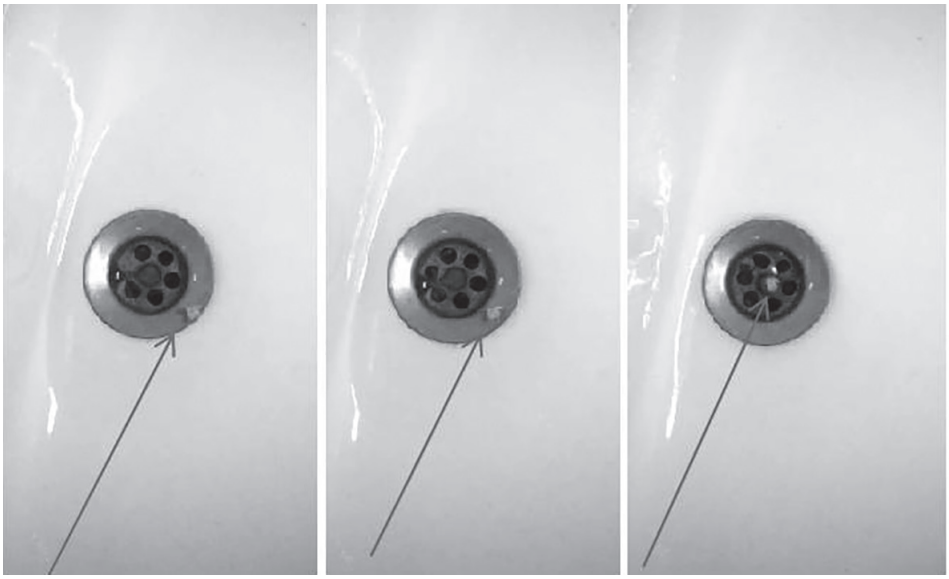
Azt hogy a közkeletű tévhit szerint az északi féltekén + a vízlefolyás forgásiránya, nem támasztják alá a 2. táblázat adatai. De a helyes 50 százalék + és 50 százalék – várakozást sem! Az azonban érdekes, hogy milyen sok – irányt észleltek a diákok. A 76 százalék – és 23 százalék + forgásirány nagyon eltér a várt 50−50 százaléktól. Valamilyen szisztematikus hiba volt a kísérletben. A fő probléma az lehetett, hogy egy fiú 21-ből 21 mínusz forgásirányt rögzített, ami a 66 megfigyelés majdnem egyharmada volt. Vélhetőleg e kísérlet volt a ludas...

Mindezek után a diákok, újra megnézve az ecuadori kisfilmet (https://www.youtube.com/watch?v=MyZ-WNwjZV0), már könnyen megállapították, hogy e demonstráció nem más, mint egy szemfényvesztő trükk. Jól látszik például, hogy az Egyenlítőn kezdetben nem forgott a mosdókagylóban a beleöntött víz, de mikor leeresztették, a végén az óramutatónak megfelelő, negatív irányban örvénylett, amit viszont letagadott a demonstrátor. Továbbá mind a víz beöntésének irányát, mind a víz forgásirányának megfigyelését segítő faleveleket kézzel is terelgette. A közönség befolyásolása is nyilvánvaló volt: a demonstrátor a sok és gyors beszédével meggyőzte a nézőket, hogy pont az Egyenlítőn nem örvénylik a lefolyó víz, pedig a végén szemmel jól láthatóan az óramutató járásával megegyező irányban örvénylett. Az Egyenlítőtől délre úgy öntötte a téglatest alakú kagylóba a vizet (a kagyló jobb oldalára, hogy így jobbra forogjon a víztömeg), hogy már kezdetben az óramutató járásával megegyezően forogjon, így persze a végén is arra forgott, mint az elméleti jóslat. Az Egyenlítőtől északra pedig úgy öntötte a vödörből a vizet a mosdóba (annak bal oldalára, hogy így balra forogjon a víztömeg), hogy kezdetben az óramutatóval ellentétesen forogjon, miáltal a végén is arra örvénylett. Az egész egy csalás, mert a Coriolis-erő elhanyagolhatóan kicsi a vízforgást ténylegesen meghatározó egyéb környezeti hatásokhoz képest, amint azt számszerűen is kimutatjuk cikkünk végén. Így, habár az Egyenlítőt átlépve ellentétesre változik a Coriolis-erő iránya, roppant kicsi volta miatt mégsem képes érdemben befolyásolni a vízörvény forgásirányát, ellentétben a manipulált kezdeti forgásiránnyal. A demonstrátornak meg kellett volna várnia, hogy megnyugodjon a mosdóba öntött víz, majd csak utána kihúzni a dugót. E mutatvány nyilvánvalóan egy turisztikai bűvészkedés, semmi más. Arra, hogy véletlenszerű a lefolyó vízörvény forgásiránya, nyilván nem lehet turistáknak szánt látványosságot építeni.

Az 1. ábra az egyik tanulóm videofelvételeinek három képét mutatja, amin egy parafaszemcse mozgása mutatja a vízörvény forgásirányát. Másik diákom vízben oldódó festékkel színezte a vizet a vízforgás jobb megfigyelhetősége érdekében.



1. ábra. Gudmon Olivér filmkockáin a nyilakkal mutatott parafaszemcse által láthatóvá tett vízörvény az óramutató járásával azonos (negatív) forgásirányú.



2. ábra. Gudmon Olivér filmkockáin a nyilakkal jelzett parafaszemcse örvénylés nélkül, sugárirányban haladva éri el a lefolyónyílást.

A saját ötlete alapján egy erős hangszóró-mágnest alkalmazó kislány arról számolt be, hogy a mágneses mező nem befolyásolta a lefolyó víz forgásirányát. Korábban ugyanis abból indult ki, hogy egy megdörzsölt üvegrúd elektromos mezeje eltéríti a csapból kifolyó vízsugarat a függőlegestől.

Ezek után ideje volt megnéznünk a következő filmet: https://www.youtube.com/watch?v=oZCeecYJAzA. Ezen oktatófilm két percben elmagyarázza és szemlélteti a Coriolis-erő hatását a Földön. Diákjaimmal kiemeltük e film lényegét: Csak nagy rend-

szerekben érzékelhető a Coriolis-erő hatása. Korábbi órákon úgy készítettem elő a megbeszélést, hogy a diákoknak a nem tehetetlenségi rendszerekről is legyenek ismereteik és kísérleti tapasztalataik (lásd a Bevezetésben említett konyhai ételszállító kiskocsis kísérletet). Ezután arra kértem a gyerekeket, hogy a saját vízleeresztési kísérletükben a dugó kihúzása előtt hagyják megnyugodni a vizet, nehogy ugyanazt a hibát kövessék el, mint az ecuadori filmben a demonstrátor.

Ismét megnéztük a https://www.youtube.com/watch?v=cNyto7gRTfU ausztrál felhívást, ugyanis most már érdekelt engem, hogy eltérnek-e majd diákjaim újabb megfigyelési eredményei a 2. táblázatbeli korábbiaktól. Meg akarnak-e felelni a képzelt elvárásoknak: elmozdul-e a vízörvény általuk regisztrált forgásiránya a + irány felé most, hogy tudják, „merre kellene forognia”? Elbizonytalanítottam őket. Egyrészt megtanulták, hogy az északi féltekén a + forgásirány a jellemző. Másrészt tisztáztuk, hogy ez csak a nagy rendszereknél valósul meg (ciklonok több száz/ezer km-es nagyságrendje). Tudományos, egyúttal 12−14 éves korosztály számára is jól érthető ismeretterjesztő tanulmány segített nekünk ebben. Tél Tamás (2006) *A Coriolis-erő és a modern környezetfizika: A lefolyótól a ciklonokig* című cikkében találtunk meggyőző magyarázatot arra, hogy a lefolyóban az örvénylés irányát miért nem befolyásolja érzékelhetően az északi féltekén jobbra, a délin balra eltérítő erő. Tél (2006) érvelése a Coriolis-hatás távolságfüggésén alapul. Példája szerint közepes földrajzi szélességen 10 m méretű mérőasztalt és 1 m/s tipikus sebességet föltételezve csak 0,05 százalék relatív hibát követünk el, ha a Coriolis-erőt elhanyagoljuk. Arra is példákat mutatott, milyen jelenségek értelmezéséhez szükséges az eltérítő erő ismerete: (1) a nagy folyók aszimmetrikus partmosása, (2) a szélnek a nyomásból következően várható iránytól való eltérése, és (3) az óceáni áramlások aszimmetriája ennek az erőnek köszönhető. Mindez helyesen a köztudatba került, de sajnos sokan tévesen a lefolyóban kialakuló örvényt is ezzel magyarázzák. A lefolyóban ébredő Coriolis-erő annyira kicsi (lásd számszerű becslésünket cikkünk végén), hogy hatását felülmúlják a mosdókagyló nem teljesen hengerszimmetrikus geometriája miatt fellépő erők, valamint a dugó kihúzásakor kialakuló forgó áramlás hatása.

Miután megbeszéltük, hogy a Coriolis-erő hatása nem befolyásolja a lefolyóban kialakuló vízörvény forgásirányát, a 11 gyermekből csak 2 volt, aki továbbra is több negatív irányt regisztrált. Mindkét diák autonóm személyiség, így elképzelhető, hogy ők ’csak azért is’ kitartottak korábbi álláspontjuk/elképzelésük mellett. Asch (1969) vizsgálta, hogy a többségi vélemény miként befolyásolja a kisebbség véleményét. Eredményét ismerve nem lepett meg a diákjaim által észlelt forgásirányok arányában bekövetkezett változás. Kiderült az is, hogy Tél (2006) cikkéből megértették a lényeges gondolatot: a Coriolis-erő nagy távolságokon érvényesül, ahol már nem tekinthető inerciarendszernek a vizsgált terület. Hogy mi okozta az első kísérletben a sok negatív forgásirányt? Jelentős részben az a szisztematikus hibával terhes kísérlet, amiben egy diák 21 negatív forgásirányt figyelt meg, de a gyerekek egymás közt folytatott beszélgetései is módosíthattak a számokon

Tél (2006) cikkének megbeszélése során hangsúlyoztam, hogy érzékelhetetlenül kicsi a Coriolis-erő hatása az általunk vizsgált mosdó kicsi méretei miatt. Diákjaim elbizonytalanodtak abban, mit is várjanak. Az északi féltekén egy domináns irányban kellene forognia a lefolyó vízörvényének, vagy 50−50 százalék a várható arány? Nem mindegy, mit várnak! Bizonytalanságukat fokozta, hogy Tél (2006) cikkéből megismertünk két sikeres kísérletet a Coriolis-erőnek a lefolyóban kialakuló örvényre gyakorolt hatásáról. Bár olvastuk, hogy csak gondosan megtervezett kísérletekben tudták az előzetes várakozásnak megfelelő örvénylést létrehozni, de újabb megfigyelésre késztetett az új ismeret.

Kíváncsian vártam, mennyire változik az új eredmény, miután diákjaim megismerték az elméleti várakozást. Az új eredményeket a 3. táblázat tartalmazza, aminek tanulságai a következők. A tudományos eredmények megismerése előtt összegyűjtött eredmények jelentős mértékben megváltoztak. A 23 (+) : 76 (–) százalék-arány (2. táblázat) 50 (+) : 50 (–) százalékra (3. táblázat) módosult. Négy tanuló megfigyeléseinek sorozatában a megbeszélést követően megváltozott a + és – forgásirányok előfordulásának gyakorisága. A behódolás (konformitás) jelensége jól ismert (*Csepeli*, 1997): észlelésünket befolyásolják a várakozásaink. Jól mutatják ezt a 3. táblázat vastag, dőlt aláhúzással kiemelt adatai: Miután megbeszéltük, hogy a Coriolis-erő hatása nem befolyásolja a lefolyóban kialakuló vízörvény forgásirányát, a 11 gyermekből csak 2 volt, aki továbbra is több negatív irányt regisztrált. Mindkét diák autonóm személyiség, így elképzelhető, hogy ők ’csak azért is’ kitartottak korábbi álláspontjuk/elképzelésük mellett. Asch (1969) vizsgálta, hogy a többségi vélemény miként befolyásolja a kisebbség véleményét. Eredményét ismerve nem lepett meg a diákjaim által észlelt forgásirányok arányában bekövetkezett változás. Kiderült az is, hogy Tél (2006) cikkéből megértették a lényeges gondolatot: a Coriolis-erő nagy távolságokon érvényesül, ahol már nem tekinthető inerciarendszernek a vizsgált terület. Hogy mi okozta az első kísérletben a sok negatív forgásirányt? Jelentős részben az a szisztematikus hibával terhes kísérlet, amiben egy diák 21 negatív forgásirányt figyelt meg, de a gyerekek egymás közt folytatott beszélgetései is módosíthattak a számokon.

3. táblázat. Második összesítés a diákok vízforgási megfigyeléseiről

diák	*+ irány*	*– irány*	*nem egyértelmű*	*összes*
Csanád	0	10+***3***	1	14
Gergő	0	21		21
Dorina	2+***1***	1+***1***		5
Fanni	1	1		2
Anna	7+***8***	4+***5***		24
Norbert	2+***5***			7
Ádám	0+***1***	2+***0***		3
Anita	0+***6***	6+***6***		18
János	3+***5***	5+***3***		16
Józsi	***4***	***14***		18
Kata	***2***	0		2
a megbeszélésig	15 (22,75 %)	50 (75,75 %)	1 (1,5 %)	66 (100 %)
megbeszélés óta	***32 (50 %)***	***32 (50 %)***	0	64 (100 %)
összesen	47 (36 %)	82 (64 %)	1	130

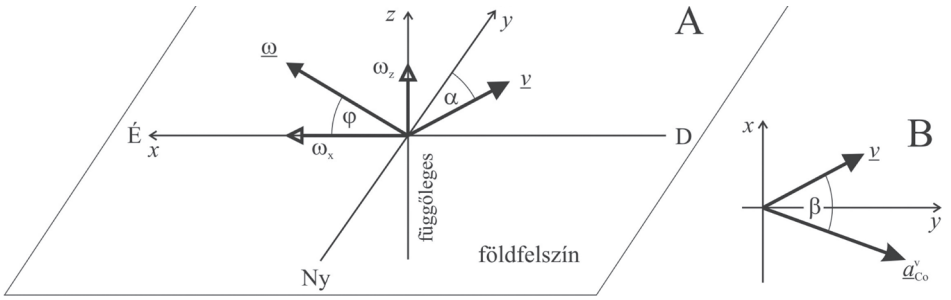
Harmadik beszélgetés: A Foucault-inga

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma által kiírt, *A matematikai, a természettudományos, a technikai, a digitális, valamint a szakmatanuláshoz szükséges kompetenciák erősítése a köznevelési intézményekben* című pályázati felhívásra készített, *Heuréka* című pályázatunkban kutató laboratóriumi látogatást is vállaltunk. Az ELTE Környezetoptika Laboratóriumára esett a választásunk. Az angol nyelvű Wikipédia mindössze egyetlen magyarországi Foucault-ingát ismer (pedig hazánkban több helyen is van rövidebb-hosszabb ilyen inga), azt, amelyik állandó helyet kapott az ELTE TTK lágymányosi északi (fizika) épülettömbjében (https://hu.wikipedia.org/wiki/Foucault-inga). A 20 tehetséggondozott tanuló Környezetoptika Labor-beli látogatásakor megnéztük a lágymányosi fizika épületben a Foucault-ingát működés közben. Mivel ezen inga mozgása szorosan kapcsolódik a Coriolis-erőhöz, ezért a Foucault-ingával kapcsolatos tapasztalatok gazdagítják és mélyítik a vízlefolyós megfigyeléseket végzett diákok tudását is. Közös megbeszélést tartottunk a tehetségpályázatba bevont 15, valamint a vízlefolyós kísérleteket végzett 9 tanulóval. Számunkra különösen érdekessé tette a Foucault-ingát, hogy Foucault kísérletét 8 évvel követően végezte Perrot a zavaró hatások kiküszöbölésével a lefolyóban észlelhető Coriolis-erőre vonatkozó sikeres megfigyelést (*Tél*, 2006).

Számszerű becslés egy egyenlítői vízlefolyóban ébredő Coriolis-erő hatására

Becsüljük meg számszerűen, hogy a fönt említett ecuadori egyenlítői demonstrációs kísérletben (https://www.youtube.com/watch?v=MyZ-WNwjZV0) mekkora hatása van a Coriolis-erőnek. Az Egyenlítőtől mért φ földrajzi szélességen a forgó Föld szögsebességvektorának összetevői a 3A ábra koordináta-rendszerében (ahol az *x* tengely Északra, az *y* tengely Keletre, a *z* tengely pedig a földfelszínre merőlegesen, helyileg fölfelé mutat) a következők:

$$\underline{\omega} = \left(\omega\cos\varphi, 0, \omega\sin\varphi\right). \tag{1}$$



3. ábra. Az ecuadori egyenlítői demonstrációs kísérletben (https://www.youtube.com/watch?v=MyZ-WNwjZV0) a Coriolis-erő hatásának számításához

Legyen a mosdókagylóban lefolyó víz sebességének nagysága *v*, vízszintes (vagyis *x*-*y* síkbeli) iránya pedig α szögű az *y* tengelytől (3A ábra). Ekkor a víz sebességvektorának komponensei:

$$\underline{v} = v(\sin\alpha, \cos\alpha, 0). \tag{2}$$

Egy $\underline{v}$ sebességvektorral folyó vízmolekulára ható Coriolis-erő által okozott gyorsulás így számítható:

$$\underline{a}_{\mathrm{Co}} = 2\underline{v} \times \underline{\omega} = 2\begin{pmatrix} v_{\mathrm{y}}\omega_{\mathrm{z}} - v_{\mathrm{z}}\omega_{\mathrm{y}} \\ v_{\mathrm{z}}\omega_{\mathrm{x}} - v_{\mathrm{x}}\omega_{\mathrm{z}} \\ v_{\mathrm{x}}\omega_{\mathrm{y}} - v_{\mathrm{y}}\omega_{\mathrm{x}} \end{pmatrix} = 2v\omega\begin{pmatrix} \cos\alpha \cdot \sin\varphi \\ -\sin\alpha \cdot \sin\varphi \\ -\cos\alpha \cdot \cos\varphi \end{pmatrix}. \tag{3}$$

E Coriolis-gyorsulásvektor vízszintes összetevője:

$$\underline{a}^{\mathrm{v}}_{\mathrm{Co}} = 2v\omega(\cos\alpha \cdot \sin\varphi, -\sin\alpha \cdot \sin\varphi, 0). \tag{4}$$

A Coriolis-gyorsulásvektor vízszintes összetevőjének a vízmolekula $\underline{v}$ sebességvektorára merőleges komponensének nagysága:

$$a^{\mathrm{v}\perp}_{\mathrm{Co}} = a^{\mathrm{v}}_{\mathrm{Co}} \sin\beta = \frac{\left|\underline{v} \times \underline{a}^{\mathrm{v}}_{\mathrm{Co}}\right|}{v} = 2v\omega\sin\varphi, \tag{5}$$

ahol β a $\underline{v}$ és $\underline{a}^{\mathrm{v}}_{\mathrm{Co}}$ vektorok közti szög (3B ábra). Az L sugarú kör alakú mosdókagyló közepén legyen a vízlefolyó lyuk, ami felé sugárirányban v sebességgel tartson a vizsgált vízmolekula. Mivel a Coriolis-gyorsulás igen kicsi, ezért úgy tekinthetjük, hogy e molekula gyakorlatilag állandó v sebességgel t idő alatt teszi meg a lefolyóig tartó L sugárirányú távolságot, vagyis $L = vt$, ahonnan kapjuk:

$$t = L/v. \tag{6}$$

Ha a vízlefolyó az R egyenlítői sugarú Föld Egyenlítőjétől h merőleges távolságra van bármelyik földrajzi hosszúsági vonalon, akkor a földrajzi szélesség:

$$\varphi = h/R. \tag{7}$$

Miközben vízmolekulánk a sugárirányú L távolságot a lefolyóig t idő alatt megteszi, e sugárra merőlegesen S távolságra térül el a vízszintes $\underline{a}^{\mathrm{v}}_{\mathrm{Co}}$ Coriolis-gyorsulásvektornak a molekula $\underline{v}$ sebességvektorára merőleges $\underline{a}^{\mathrm{v}\perp}_{\mathrm{Co}}$ komponense miatt. (5), (6) és (7) alkalmazásával S így számolható:

$$S = \frac{a^{\mathrm{v}\perp}_{\mathrm{Co}}}{2} t^2 = \frac{\omega L^2}{v}\sin\varphi = \frac{\omega L^2}{v}\sin\left(\frac{h}{R}\right) \approx \frac{\omega L^2}{v} \cdot \frac{h}{R} = \frac{\omega h L^2}{vR}, \tag{8}$$

ahol a $\sin\varphi \approx \varphi$ közelítéssel élhetünk, ha $h << R$. Az ecuadori demonstrációs filmben (https://www.youtube.com/watch?v=MyZ-WNwjZV0) a (8)-beli paraméterek numerikus értékei a következők:

$v = 1$ m/s, $h = 3$ m, $L = 20$ cm $= 0.2$ m. (9)

A Föld forgásának szögsebessége és egyenlítői sugara:

$\omega = 2\pi/(1 \text{ nap}) = 7.272 \cdot 10^{-5}$ s^{-1}, $R = 6.378137 \cdot 10^{6}$ m. (10)

(8), (9) és (10) fölhasználásával kapjuk:

$S = 1.368 \cdot 10^{-12}$ m. (11)

A vízmolekulában az oxigén- és hidrogénatomok távolsága:

$d = 95.84 \cdot 10^{-12}$ m. (12)

S és d aránya:

$S/d = 0.01427 = 1.427$ %. (13)

Tehát (13) szerint egy vízmolekula az Egyenlítőtől észak/délre 3 méterre lévő, 20 cm sugarú mosdókagylóban 1 m/s sebességű lefolyásakor jobbra/balra a molekulabeli O és H atomok távolságának csak 1,4 százalékával térül el a Coriolis-erő hatására. Ez elhanyagolhatóan parányi a vízörvény forgásirányát meghatározó más, sokkal nagyobb erőhatásokhoz képest.

Berkes István (1999, 46–47. o.) *A mindennapok fizikája. Miért unjuk a fizikát?* című könyvének 9. fejezetében egy másik számszerű becsléssel találkozunk:

> „Toinette repülőgépét eltérítették. Az utasokat, akiknek fogalmuk sincs arról, hol szálltak le, egy szállodába vezetik. Toinette megfürdik lefekvés előtt, és eltöprenkedve nézi, hogyan folyik le a fürdőkád vize. »Alighanem átléptük az egyenlítőt« – jelenti ki bajtársainak. Mi vezette Toinette-et erre a következtetésre, és vajon igaza volt-e?”

Berkes (1999) egy számszerű becslés alapján adja meg a választ: A kádvíz sugárirányú áramlása lassú, $v \approx 0.1$ m/s. Ha Toinette szállodája a 45. szélességi körön fekszik, a Coriolis-gyorsulás 10^{-5} m/s^2, hat nagyságrenddel kisebb a nehézségi gyorsulásnál. Elég, ha a kád kifolyónyílásának lejtése kissé excentrikus, mondjuk 10^{-4} fok, a nehézségi gyorsulás vízszintes összetevőjének aszimmetriája már egyenlő a Coriolis-gyorsulással. Ha figyelembe vesszük a fürdőkád gyártási eljárását, a kifolyónyílás aszimmetriája legalább 1000-szer nagyobb erőhatást eredményez, mint a Coriolis-erő. A fürdőkád örvénye tehát bármilyen irányban foroghat, akár Budapesten, akár Sydneyben.

Zárszó

Összességében elmondható, hogy a vízlefolyós megfigyeléssorunk és kísérletünk egy komplex, több tantárgyat érintő, érdeklődést fölkeltő, további ismeretszerzésre ösztönző, élményt biztosító, már általános iskolásoknak is nyugodtan kiadható kutatómunka, ami részét képezheti az iskolai módszertani fejlesztéseknek.

Irodalomjegyzék

Asch, S. E. (1969): A csoportnyomás hatása az ítéletek módosulására és eltorzulására. In: Pataki Ferenc (szerk.): *Csoportlélektan*. Gondolat, Budapest. 180−192.

Berkes István (1999): *A mindennapok fizikája. Miért unjuk a fizikát?* Springer Orvosi Kiadó Kft.

Csepeli György (1997): *Konformitás és machiavellizmus*. Az OTKA által 1995 és 1998 között támogatott, T-O128243 számú kutatás. http://www.c3.hu/~jelkep/JK993/csepeli/csepeli.htm

Radnai Gyula és Horváth Gábor (2000): Ki mit vesz észre? A Természet Világa II. megfigyelési versenye. *Természet Világa*, **131**. 330−332.

Tél Tamás (2006): A Coriolis-erő és a modern környezetfizika: a lefolyótól a ciklonokig. *Fizikai Szemle*, **56**. 263−267.

Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna

Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola

Horváth Gábor

Biológiai Fizika Tanszék, Fizikai Intézet, ELTE