FIZIKA ÉS FÖLDRAJZ HATÁRÁN – TANÍTHATÓ-E A CORIOLIS-ERŐ?

Szeidemann Ákos
Eötvös József Gimnázium, Tata

A Coriolis-hatás tanításának nehézségei

A címbeli kérdés kétértelmű, nem véletlenül. Egyrészt: szabad-e tanítanunk a tehetetlenségi erőket fizikaórán? Másrészről pedig felmerül: meg lehet-e tanítani a Coriolis-erőt mondjuk 9. évfolyamon? Elsőre egyáltalán nem egyértelmű a pozitív válasz. Korábban én is úgy gondolkoztam – ismerve az akkori tankönyvek szokásos gondolatmenetét a gyorsuló vonatkoztatási rendszerek témakörében –, hogy egyszerűbb ismeretek is nehezen adhatók át a diákoknak. Sokáig gondot okozott számomra az inerciarendszer fogalmának tanítása, illetve használata. Mindig úgy éreztem, többet kellene magyaráznom diákjaimnak a pontos megértéshez. Ma már tudom, hogy nem mindig szükséges a teljes precizitás, hiszen a diákok világképe hosszú idő alatt formálódik, de persze fontos rávilágítunk a nehézségekre.

A Newton-törvények megértése az egyik sarkalatos pontja a fizika tanításának. Az arisztotelészi kép erősen működik a gyerekekben, amit sokszor a dinamika tanulása közben sem lehet kellő szinten helyrerakni. Ez a jelenség elsősorban a tapasztalatoknak a nem adekvát fogalomrendszerrel való magyarázatára vezethető vissza. Az utóbbi években például egyre gyakrabban tapasztalom a kinematika tanítása közben, hogy a diákok „nagyszerűen” megtanulják az egyenletes mozgás út-idő összefüggését, de nem vesznek tudomást más típusú mozgásokról. Hosszú gyakorlás eredményeként lehet csak elérni, hogy változó mozgások esetén ne számoljanak az $s = v \cdot t$ képlettel [1].

A tehetetlenség törvényének értelmezése – látszólag – nem jelent gondot, hiszen az egyenes vonalú egyenletes mozgás jelenik meg benne, de a dinamika alaptörvényét csak mint begyakorolt matematikai formulát kezeli a legtöbb diák. A mennyiségek közötti logikai kapcsolat már nem tisztul le bennük, és zavaros számukra a vonatkoztatási rendszer szerepe is. Ezt nehezíti még az a tény, hogy a newtoni dinamika fogalomrendszerének „megszilárdulása” előtt más tantárgyból – alkalmazás szintjén – előkerülnek a forgó Földön tapasztalt áramlási jelenségek. A földrajz szaknyelve nem használja a vonatkoztatási rendszer és a gyorsulás fogalmát sem, így ott nem nyer értelmezést az erő és a sebességváltozás közötti szoros kapcsolat. Ezt tetézi az a – módszeres megfigyelések nélküli magyarázaton alapuló – tévképzet is, miszerint a fürdőszobai lefolyóban tapasztalt forgómozgást is a Föld forgása okozza.

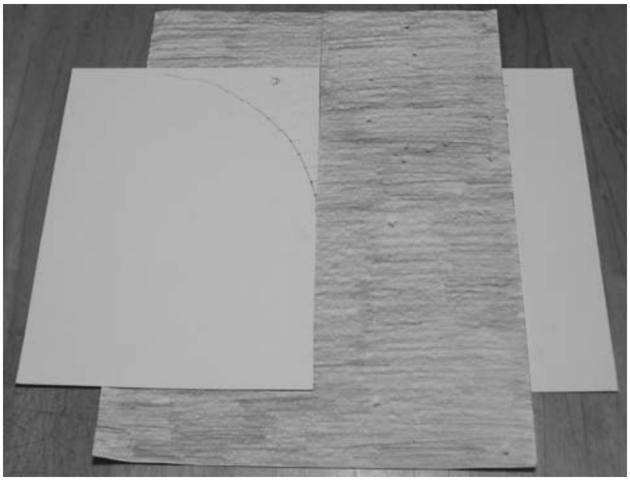
Tehát arra a kérdésre, hogy szabad-e tanítanunk a tehetetlenségi erőket, határozottan az a válaszom, hogy igen, sőt megkockáztatom: kell tanítanunk ezt a témát, hiszen így nyernek a fogalmak igazi értelmet, és ezáltal segítjük a természetföldrajz tanítását is. Nem pusztán arról van szó, hogy a földrajzórán hallottakat megerősítjük, magyarázzuk, hanem olyan módszert választunk, amely a fizikatanítás sajátja, és termékenyen hathat más tárgyak, jelen esetben a földrajz tanulására. Az ilyen értelemben vett komplex, egymásra épülő természettudományos oktatásnak látom értelmét. Ez is az oka, hogy – véleményem szerint – nem járna sikerrel egy komplex természettudományi tárgy bevezetése (a természettudományi érettségi már működik, ami persze nem mond ellent állításomnak). Rögtön adódik a kérdés: megvalósítható-e az integrált természettudományos szemlélet, ha például fizikaórán a tantermi fizikára korlátozódunk és megmaradunk a klasszikus kísérletek szintjén.

Coriolis-hatás a földrajz tanításban és az érettségin

A magyarországi oktatási gyakorlat erőteljesen épít a tankönyvre, mint tanulást segítő eszközre [2], ezért érdemes áttekintenünk a vonatkozó tartalmakat. A természetföldrajz témáit tárgyaló tankönyvek több fejezetben is foglalkoznak a Coriolis-erő komoly ismeretét feltételező tartalommal. Három forgalomban lévő, 9. évfolyamnak íródott földrajz tankönyvet vizsgáltam a Coriolis-erő fogalmának megjelenése szempontjából. *Makádi Mariann* és *Taraczközi Attila* [3] nem használják könyvükben a Coriolis-erő kifejezést, hanem a következőképpen fogalmaznak: „A ciklonokban a levegő kívülről befelé áramlik, mert a közepén alacsonyabb a légnyomás, mint a környezetében. Ám az áramló levegő súrlódik a felszínnel, és a Föld forgásából származó tehetetlenségi erő eltéríti eredeti irányából. Ezért a felszín közelében a levegő befelé, az északi félgömbön az óramutató járásával ellentétes irányban áramlik.”

Nemerkényi Antal és *Sárfalvi Béla* [4] talán fölismerték azt a hiátust, amely a két tárgy tanítása közben fellép, ezért külön kiemelt részben foglalkoznak a Coriolis-erővel. A megértést segíti egy ábra is. Fontos azonban megjegyeznünk, hogy a kiemelt magyarázat is pusztán azt a szokásos gondolatmenetet használja, amely szerint az északi féltekén az É–D, illetve D–É irányú mozgást végző légtömegek „lemaradnak”, illetve „megelőzik” a Földet, vagyis jobbra térülnek el. Ebben persze rejtve benne van, hogy a forgó rendszerben mozgó test esetén kell figyelembe venni ezt a hatást, de mi történne például egy K–NY irányú áramlás esetén?

Arday István, Rózsa Endre és *Ütőné Visi Judit* tankönyvírók is említést tesznek a Föld forgásából származó hatásokról a légkörben és a vízburokban is, de



1. ábra. A papírlapos kísérlet.

a részleteket nem fejtik ki. A légnyomás és a szél – Ciklonok, anticiklonok című leckében [5] a következőt olvashatjuk: „A szél mozgása a valóságban nem egyenes irányú, azaz a levegő nem pontosan az alacsony légnyomású területek irányába mozog, ugyanis ezt a légmozgást több tényező is befolyásolja. Ilyen a Föld forgásából származó kitérítő- (Coriolis-) erő, az ugyancsak ebből eredő centrifugális hatás és a földfelszín közelében ható súrlódás, amely a magasabb légrétegekben már elhanyagolható. A szél a valóságban az említett erők közös eredőjének irányába mozog."

Láthatjuk, hogy a tankönyvírók mennyire különbözőképpen próbálják megoldani a problémát. Nincsenek könnyű helyzetben: szerintem nem az ő feladatuk a Coriolis-hatás bevezetése. Azt a szemléletet, amely szükséges lenne a megértéshez, mindenképpen fizikaórán kellene elsajátítani. A diákok számára zavaró lehet, hogy fizikából gimnáziumban nem tanulnak hidrosztatikát és a tehetetlenségi erők sem részei a törzsanyagnak. Nagyobb gondot okozhat viszont az, hogy a fizikában az erő fogalma a mechanikai kölcsönhatáshoz kapcsolódik. Ahogy már a centripetális erő is fogalmi zavarokhoz vezethet [1], úgy a tehetetlenségi erők bevezetés nélküli használata akadályozza a fogalomrendszer letisztulását.

Ha az elmúlt évek feladatsorait alapul véve megvizsgáljuk a földrajz érettségi követelményeit, akkor megállapíthatjuk, hogy majd minden évben van olyan megoldandó feladat, amely épít ezekre az ismeretekre. Példaként említem a 2012. év egyik középszintű [6] feladatát, amely egy meteorológiai térképen látható légköri képződményhez kapcsolódóan tesz föl kérdéseket többek között a levegő vízszintes és függőleges mozgásáról. Egy 2010. májusi emelt szintű feladatsor [7] pedig konkrétan a Coriolis-erő hatásaival foglalkozik. Sajnos nincs olyan adatbázis, amely az érettségi feladatonkénti megoldottságát magában foglalná, de érdekes lenne megvizsgálni, hiszen pontosabb képet kaphatnánk arról, hogy a fizikai ismereteket is igénylő feladatokat (napsugárzás hatásai, környezeti áramlások) vajon milyen szinten tudják a fiatalok megoldani, összevetve a teljes feladatsorban mutatott teljesítménnyel.

A Coriolis-hatás egy lehetséges bevezetése

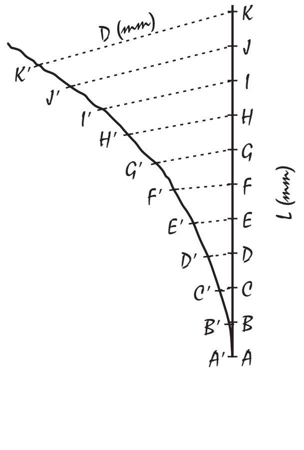
A tatai Eötvös gimnáziumban négy éve működő Környezetfizikai szakkörön lehetőségem volt olyan tananyagokkal foglalkozni, amelyek mind tartalmi, mind módszertani szempontból fejlesztették tanári munkámat. A környezeti áramlások témája kapcsán foglalkoztunk Foucault-inga modellel, ciklonok modellezésével, frontok laboratóriumi vizsgálatával is. Az itt szerzett tapasztalataim alapján a Coriolis-hatás bevezetésének legjobb és legegyszerűbb módszere a következő fizikai logikai gondolatmeneten alapul.

Demonstrációs kísérlet

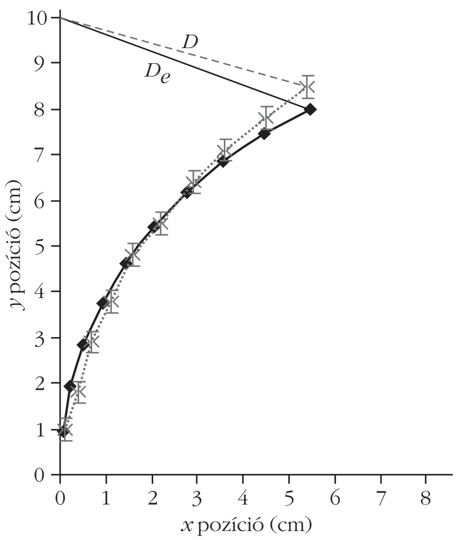
Vizsgáljunk egy egyenletes egydimenziós mozgást, amelyet egy papírlapra húzott szakasz fog reprezentálni! A papírlapot egyenletesen forgatva egyszerűen bemutathatjuk a Coriolis-hatást. Ehhez vegyünk két A4-es papírlapot (*1. ábra*). Az egyiket vágjuk be a hosszabbik oldalának felezőpontjától a rövidebbik oldallal párhuzamosan a papírlap közepéig. A másik lapon is végezzük el a műveletet úgy, hogy a rövidebbik oldal felezőpontjából indulunk ki. A demonstráció első lépéseként illesszük össze a két papírlapot a vágások mentén úgy, hogy középpontjuk összeérjen. Ezután húzzunk vonalat az alsó papírlapra a másik papírlap vágott éle, mint vonalzó mentén (egyenes a *2. ábrá*n). A következőkben pedig ismételjük meg a vonalhúzást úgy, hogy a mozgás pályájának rögzítésére használt lapot egyenletesen forgatjuk (görbe a *2. ábrá*n).

A kapott egyenesen, illetve görbén végezzünk méréseket, számításokat. A *2. ábrá*n látható módon az egyenesen (értsd: a mozgás inerciarendszerből szemlélt pályáján), illetve a görbén (értsd: a mozgás forgó rendszerből vizsgált pályáján) is tegyünk jelöléseket az időegységenként elért pontokhoz. Ezeket megkaphatjuk, ha a kiindulási pontból különböző nyílásszögű körzővel (1 cm, 2 cm stb.) körívezünk. A továbbiakban az így kapott *A*-*K* (az egyenes pontjai), illetve *A'*-*K'* (a görbe pontjai) pontsorozattal dolgozunk. Az egyenes egyes pontjainak *A*-tól mért távolságát *L*-lel, az összetartozó pontokból (például *BB'*) képzett szakaszok hosszát *D*-vel jelölve egy adattáblát készíthetünk. Mérjük meg az *L* és *D* szakaszok hosszát, és határozzuk meg a *D*/*L* hányadost, amit közelí-

2. ábra. A relatív eltérülés meghatározása.



D (mm)	L (mm)	D/L
1,5	10	0,15
4	20	0,20
7	30	0,23
11,5	40	0,29
16,5	50	0,33
23	60	0,38
30	70	0,43
37	80	0,46
46	90	0,51
56	100	0,56



3. ábra. Az elméleti, illetve a szemléltető kísérletben kapott trajektóriák összevetése.

tőleg, mint relatív eltérülés értelmezhetünk. Megállapítható, hogy a D/L hányados függ L-től, mégpedig nagyobb L távolsághoz nagyobb D/L relatív eltérülés tartozik (a későbbiek során bebizonyítjuk az egyenes arányosságot). Ha a görbét az előzőtől különböző v vonalhúzási sebességgel, illetve ω forgatási szögsebességgel állítjuk elő, az új trajektória nem lesz fedésben az első rajzunkkal. Kisebb v, illetve nagyobb ω egyaránt nagyobb relatív eltérülést eredményez. A mért adatok kvalitatív elemzésével eljuthatunk a

$$\frac{D}{L} \sim \frac{L\omega}{v} \tag{1}$$

összefüggésig, hiszen fentiek alapján L és ω a számlálóban, v pedig a nevezőben kell, hogy szerepeljen. A dimenziók vizsgálatával könnyen látható, hogy akkor kapunk a jobb oldalon is dimenziótlan hányadost, ha L mellett ω és v is első hatványon szerepel.

A D/L hányados demonstrálja a Coriolis-hatás mértékét. Ha ez a hányados nagy, akkor az adott jelenségben a forgás trajektóriát befolyásoló hatása jelentős. (A hányados reciprokát Rossby-számnak nevezzük [8].)

Elméleti leírás

A ceruza hegyének mozgása inerciarendszerben egy egyenes vonalú egyenletes mozgás:

$$\begin{aligned} x &= 0 \\ y &= v \cdot t = L. \end{aligned} \tag{2}$$

A ceruza hegye alatt azonban elforgatjuk a papírlapot, ezért a mozgó papíron kirajzolódó pálya egy forgó vonatkoztatási rendszerben érvényes pályát jelöl. Az origóból indulva az inerciarendszerbeli mozgás és a papír szögsebességének mínusz egyszeresével mozgó egyenletes körmozgás összege adja a görbült pályát, amit a diákok a mozgó papíron saját maguk kirajzolnak. Ez jó demonstrációja a forgó Földön eltérülő trajektóriáknak, azaz a Coriolis-hatásnak.

A forgó rendszerben a (origóból induló) ceruza mozgása így írható le:

$$\begin{aligned} x' &= v \cdot t \cdot \sin\omega t, \\ y' &= v \cdot t \cdot \cos\omega t. \end{aligned} \tag{3}$$

Ezen egyenletekből adódó mozgás trajektóriáját ábrázoltuk a *3. ábrá*n. A kísérletben kapott adatokat is – vékony keresztekkel – berajzoltuk ugyanerre az ábrára, a 3 mm mérési pontosságot feltüntetve. A sebesség- és a szögsebesség-paramétereket próbálgatással határoztuk meg úgy, hogy a mérési eredményekhez legjobban illeszkedjenek, és 2,9 m/s valamint 0,18 1/s-nak adódtak. A két ponthalmaz kielégítően fedi egymást. A kísérletben meghatározott D távolságok csak kicsit térnek el a (3) egyenletekből kapott elméleti pontok alapján számolt D_e távolságoktól.

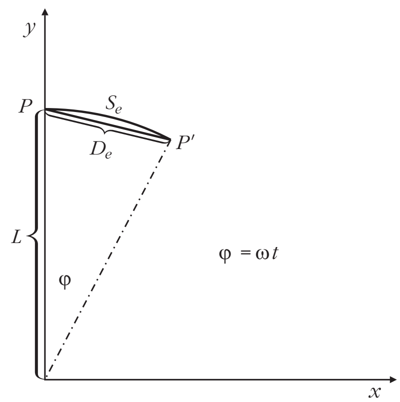
A relatív eltérülés linearitásának vizsgálata

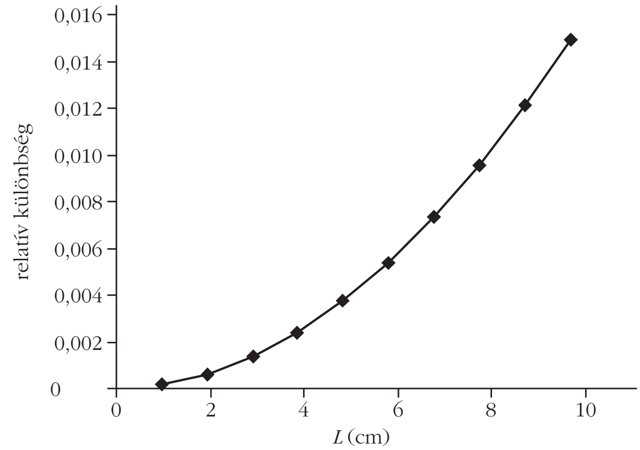
A *4. ábrá*n szemléltetjük a t idő alatt L radiális elmozduláshoz tartozó φ szögelfordulást. A PP' ívhossz itt könnyen meghatározható az egyenletes forgás alapján: $S_e = L\cdot\varphi = L\cdot\omega\cdot t$. Az origótól való távolodás is egyenletes: $L = v\cdot t$. A két egyenletet egymással elosztva kapjuk az (1) egyenlet jobb oldalán is szereplő tagot:

$$\frac{S_e}{L} = \frac{L\omega}{v}. \tag{4}$$

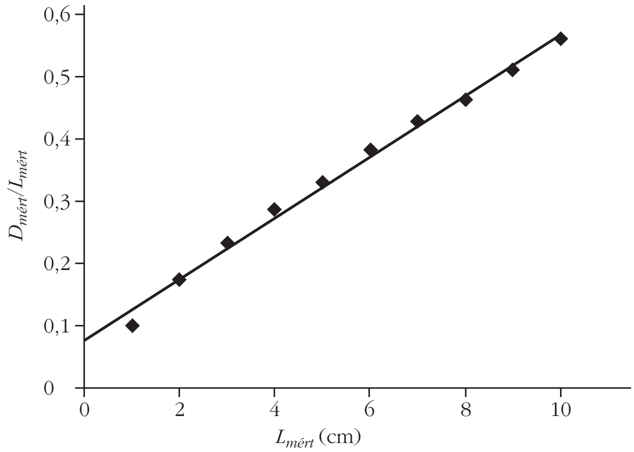
Az (1)-ben szereplő könnyen mérhető D/L érték helyett itt az S/L szerepel. A kettő közötti különbség (a vizsgált kis elfordulástartományban) elhanyagolható. Módszertani szempontból meg kell jegyeznem, hogy a tanítási gyakorlatban is gyakran alkalmazunk elhanyagolásokat számítási feladatokban, de ritkán járunk utána, hogy a közelítő számítás az adott esetben befolyásolja-e a következtetést. Nézzük meg, hogy a kísérlethez kapcsolódó elméleti számítás milyen eredményt ad e tekintetben (*5. ábra*), tudniillik, hogy a forgó rendszerben kapott görbéhez tartozó S_e/L hányados (ahol S_e az elméleti számítással kapott ívhossz) mennyire tér el az általunk használni kívánt D_e/L hányadostól (ahol D_e a *4. ábrá*ról könnyedén

4. ábra. A forgás miatti eltérülés meghatározása.





5. ábra. Az $|S_e - D_e|/D_e$ relatív különbség L-függése.



6. ábra. A D/L relatív eltérülés L radiális elmozdulástól való függése a kísérletben.

leolvasható, az (5) egyenlet alapján számított forgásból származó elmozdulás).

$$D_e = \sqrt{x^2 + (L - y)^2}\,.$$

Az *5. ábrá*n látható, hogy a demonstrációs kísérletben az $S_e(L)$ és a $D_e(L)$ függvények között 2%-nál kisebb a különbség (ez nagy elfordulások vizsgálata során természetesen megnő). Így az (1) egyenletben megfogalmazott egyenes arányosság bizonyításának teljes gondolatmenete az alábbiakban foglalható össze.

$$\frac{D}{L} \cong \frac{D_e}{L} \cong \frac{S_e}{L} = \frac{L\omega}{v}.$$

Látható, hogy így már nem pusztán egyenes arányosságról van szó, hanem egyenlőségről, amiből egyébként a Coriolis-gyorsulás képletében szereplő 2-es faktor is – itt nem részletezett módon – kijön. A D/L hányados L-lel való egyenes arányosságát a mért adatok is mutatják. A kísérleti adatainkból (*2. ábra*) a *6. ábrá*n látható egyenest kapjuk, amelynek meredeksége természetesen v-től és ω-tól függ. Az egyenes a vonalhúzás indítása és a forgatás indítása között eltelt idő miatt nem az origóból indul. A fenti, két egyenletes mozgás összetevésén alapuló modell ezért jól írja le a kísérletet. Bár a kísérleti pontatlanságok teljesen nem küszöbölhetők ki (például a távolságmérések), a vonalhúzás és a forgatás sebessége is a tapasztalat alapján állandónak tekinthetőek, ezáltal a demonstrációs kísérlet jól használható.

Módszertani mérés

Alapfeltevésem az volt, hogy a Coriolis-erő bevezetése [9] nélkül is megvilágítható a jelenségkör lényege. Módszeremet eddig hat 9. évfolyamos csoportban próbáltam ki. Három csoportban saját diákjaim tanulnak, a többi hármat két másik tatai iskolából választottam ki. Ahhoz, hogy a módszertani hatást mérni tudjam, készítettem egy négy kérdésből álló tesztet, amelyet az óra elején, majd az óra végén is kivetítettem a diákoknak. A tanulók füzetükbe rögzítették az általuk helyesnek gondolt választ, amit az óra utolsó két percében összesítettem. A mérést a tanév végén végeztem, amikorra a résztvevők már foglalkoztak földrajz órán a ciklonokkal, és fizikából pedig terítékre került a teljes mechanika.

Kísérletezési tapasztalatok

A papírlapos kísérletet a tanulók párban, esetleg hármasával egyszerűen el tudták végezni. A pályák megrajzolása után a diákok máris láthattak egy alapvető tapasztalatot, tudniillik hogy a mozgás leírása több nézőpontból is elvégezhető, és nem vezet azonos eredményre. A kapott görbe arra is utal, hogy a forgó rendszerből szemlélve a mozgást van gyorsulás. A párok, csoportok rajzait összehasonlítva azt is – szinte trivialitásként kezelve – megállapították a diákok, hogy a kapott trajektóriák nem feltétlenül egyformák: az egyenestől való eltérés mértéke függ a vonalhúzás v sebességétől és a forgatás ω szögsebességétől. Mért adataikból minden tanuló láthatta, hogy a D/L relatív eltérülés nő az L távolsággal. Motivált csoportban – akár házi feladatként is – az egyenes arányosság is megállapítható.

Coriolis-hatás becslése hétköznapi jelenségekben

Az órán közösen nagyságrendi becslést adtunk az $(L\omega)/v$ hányadosra néhány – a megértés szempontjából fontos – mozgás esetén (*1. táblázat*), ahol L a mozgásra jellemző távolság, v a mozgó objektum sebessége, ω pedig a Föld forgási szögsebessége. Alapvető célunk az volt, hogy a diákok a demonstrációs kísérlet során a relatív eltérülésre kapott összefüggés segítségével megállapíthassák, hogy a mindennapi életben előforduló Coriolis-hatás mennyire jelentős.

Az *1. táblázat*ban öt – közelítőleg vízszintes síkban történő – jelenséget vizsgálunk meg, ami a mozgás karakterisztikus hosszának 7 nagyságrendjét fogja át. Mindben körülbelül a 45. szélességi foknál tekintjük a mozgást és a Föld forgása az eltérülés okozója. Ezért $\omega_{Föld} \cdot \sin\varphi = \omega_{függőleges} = 5 \cdot 10^{-5}$ 1/s szögsebességet használtunk, ami az adott helyen a Föld szögsebességének

1. táblázat

A Coriolis-hatás jelentőségének meghatározása néhány mozgás esetén

jelenség	L (m)	$\omega_{45°}$ (1/s)	v (m/s)	Coriolis-hatás, $(L\omega)/v$ fontossága	relatív fontos	abszolút értékben érzékelhető
kádlefolyóban a víz	10^{-1}	$5\cdot10^{-5}$	0,03	$1{,}7\cdot10^{-4}$	nem	nem
Foucault-inga (Párizs)	10	$5\cdot10^{-5}$	1,25	$4\cdot10^{-4}$	nem	nem (fél periódus alatt!)
Pars Krisztián kalapácsvető dobása	10^2	$5\cdot10^{-5}$	30	$1{,}7\cdot10^{-4}$	nem	igen
Falkland-szigeteki csata	10^4	$5\cdot10^{-5}$	350	$1{,}5\cdot10^{-3}$	nem	igen
ciklon	10^6	$5\cdot10^{-5}$	10	5	igen	igen

a Föld érintősíkjára merőleges komponense. (A Falkland-szigetek – ahol az I. világháború és egyben a történelem utolsó tengeri ütközete zajlott, amely tisztán hadihajók közti tüzérségi párbajból állt – a déli szélesség 52. fokánál találhatók, de ez a nagyságrendi becslést nem befolyásolja.) A kád és a mosdó lefolyójában haladó víz sebessége egyre nagyobb, az utolsó 10 cm-t körülbelül 2-3 s alatt teszi meg egy úszó szappanbuborék. Ezzel alulról becsültük a haladási sebességet. A párizsi Pantheonban felállított történelmi Foucault-inga hossza 67 m, periódusideje 16 s volt. 5°-os kitéréssel számolva a kétszeres amplitúdó körülbelül 10 m-nek adódik, az ingatest átlagsebessége egy fél periódusból számolva 1,25 m/s. A táblázatban felsorolt 3–4. jelenség jellemző sebességét a ferde hajítás maximális távolságának formulájából számoltuk a dobás és a lövés távolságából kiindulva. Mindkét esetben a Coriolis-eltérülés nagysága az elvben mérhető tartományba esik. A ciklonok átmérőjét a meteorológiai adatok alapján 1000 km-nek, a benne áramló levegő sebességét egy erős szél sebességével becsültük (ebben az esetben az elméleti leírásunk eredményeként adódó (1) arányosság már semmiképpen sem igaz).

Kérdőíves hatásvizsgálat

A hatásvizsgálathoz készített teszt kérdéseit és a lehetséges válaszokat a *2. táblázat* tartalmazza, amelyben föltüntettem azt is, hogy a válaszadók (összesen 136 fő) hány százaléka jelölte az adott választ az óra elején, illetve az óra végén. Ha a változás az eredeti érték 20%-nál nagyobb mértékben nőtt, vagy csökkent, azt szignifikáns változásként értékeltem, és ↑, illetve ↓ nyíllal jelöltem.

2. táblázat

A Coriolis-teszt eredményei hat gimnáziumi osztály összesítésében

<table>
<tr><td colspan="12">1. Hogyan folyik le a kádban a víz? Melyik a helyes válasz?</td></tr>
<tr><td colspan="3">A) A Föld forgása miatt az óramutatóval megegyező irányba forogva.</td><td colspan="3">B) A Föld forgása miatt az óramutatóval ellenkező irányba forogva.</td><td colspan="3">C) Attól függ, melyik féltekén vagyunk az A vagy B válasz igaz.</td><td colspan="3">D) A Föld forgása nem meghatározó tényező.</td></tr>
<tr><td>9,6%</td><td>↓</td><td>4,4%</td><td>5,9%</td><td>↓</td><td>3,7%</td><td>70,6%</td><td>↓</td><td>53,7%</td><td>14%</td><td>↑</td><td>38,2%</td></tr>
<tr><td colspan="12">2. Lehetséges-e, hogy a Föld forgása miatt egy ágyúgolyó ne találjon célba? Melyik a helyes válasz?</td></tr>
<tr><td colspan="3">A) Igen, az északi féltekén a céltól jobbra ér talajt a lövedék.</td><td colspan="3">B) Igen, a déli féltekén a céltól jobbra ér talajt a lövedék.</td><td colspan="3">C) Nem, mert a lövedék túl gyorsan mozog.</td><td colspan="3">D) Nem, a Föld forgása egyáltalán nem befolyásolja a lövedék pályáját.</td></tr>
<tr><td>5,9%</td><td>↑</td><td>26,5%</td><td>6,6%</td><td>↑</td><td>11,8%</td><td>44,1%</td><td>↓</td><td>35,3%</td><td>43,4%</td><td>↓</td><td>26,5%</td></tr>
<tr><td colspan="12">3. Lehetséges-e, hogy a Föld forgása a kalapácsvetés dobótávolságát befolyásolja? Melyik a helyes válasz?</td></tr>
<tr><td colspan="3">A) Igen, ezt figyelembe is veszik.</td><td colspan="3">B) Igen, de nem veszik figyelembe.</td><td colspan="3">C) Nem, a körülbelül 80 méteres dobásnál kimutathatatlan a hatás.</td><td colspan="3">D) Nem, a sportszer túl gyorsan mozog.</td></tr>
<tr><td>7,4%</td><td>↓</td><td>5,9%</td><td>26,5%</td><td>↑</td><td>42,7%</td><td>50,7%</td><td>↓</td><td>38,2%</td><td>15,4%</td><td>≈</td><td>13,2%</td></tr>
<tr><td colspan="12">4. Hogyan folytatódik az állítás? Melyik a helyes? A ciklonokban a levegő…</td></tr>
<tr><td colspan="3">A) az északi féltekén az óramutatóval ellentétes irányba forog.</td><td colspan="3">B) akkor is forogna, ha a Föld nem végezne forgómozgást.</td><td colspan="3">C) gyorsabban forogna, ha a ciklon kisebb átmérőjű lenne.</td><td colspan="3">D) a kisebb nyomású hely felől a nagyobb nyomású felé áramlik.</td></tr>
<tr><td>25,0%</td><td>↑</td><td>38,2%</td><td>11,8%</td><td>↓</td><td>8,1%</td><td>11,8%</td><td>↑</td><td>28,7%</td><td>51,5%</td><td>↓</td><td>25,0%</td></tr>
</table>

A helyes válasz dőlttel kiemelve. Az óra elején, illetve végén mért válaszok szignifikáns, 20%-nál nagyobb eltérése nyíllal jelölve.

A táblázatból egyértelműen látható, hogy a diákok a lefolyóval kapcsolatban tévhittel rendelkeztek (1.C válasz az óra elején 71%), illetve hogy a levegő áramlásával kapcsolatban hiányosak az alapvető fizikai ismereteik (4.D válasz az óra elején 51%). Noha az óra végén sem mindenkor a helyes választ jelölték meg a legtöbben, de mind a négy kérdés esetében korábbi tanult tudásukat mérhetően pontosították a diákok. A módszer hatékonyságát az igaz válaszok százalékának változása jól mutatja, ezek rendre +24%, +21%, +16%, +13%.

Az óra elején minden kérdésnél a legtöbb diák egy hamis választ látott jónak (ami tovább növeli a téma tanításának fontosságát). Az óra végén azonban mind a négy esetben csökkent ez az arány: −18%, −16%, −12%, −26%. A 3., illetve 4. kérdésnél ezzel az igaz válasz lett a leggyakoribb. A 2. kérdés esetén az alapjelenség megértését az A és a B válasz megjelölése adja vissza (a kettő közötti különbség az irányszabály, amire nem fektettem hangsúly). Az ezekre összesen adott válaszok aránya 12%-ról 38%-ra nőtt, miközben az egyértelműen hibás D válasz a kezdeti 43%-ról, 26%-ra esett. Sajnos az 1. kérdésnél a leggyakoribb válasz a tévhit maradt.

A 4. kérdés C válaszát talán azért jelölték meg az óra végén többen, mert nem elég egyértelmű a kérdés, de ráéreztek a válaszadók, hogy az eltérülés mértéke és az L méretparaméter között van összefüggés.

✧

Írásomban elsősorban arra mutattam rá, hogy a Coriolis-hatás az erő fogalma nélkül is bevezethető a középiskolában egyszerű, szemléletes és interaktív módon. Így a tehetetlenségi erők megértésének nehézségeit [10] megkerülve adhatunk mélyebb magyarázatot a légköri és óceáni áramlásokkal kapcsolatos néhány jelenségre.

Ez az egyszerű fizikai kísérlet, kiegészítve más laboratóriumi kísérletekkel [11] és terepi megfigyelésekkel jó példa arra, hogyan illeszthető a természetföldrajz tanítása a természettudományok közvetlen tapasztalatokon alapuló megismerési metodikájához.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőm, *Horváth Ákos* a cikk finomra hangolásához nyújtott hasznos tanácsait.

Irodalom

1. Radnóti K.: Használjuk-e a centripetális erő fogalmát? *A Fizika Tanítása XVIII/4,* MOZAIK Oktatási Stúdió, Szeged, 8–13.
2. www.oh.gov.hu/letolt/okev/doc/timms/timss_2007_osszefoglalo_jelentes.pdf
3. Makádi M., Taraczközi A.: *A Föld, amelyen élünk, Természetföldrajz 9.* Mozaik Kiadó (2003)
4. Nemerkényi A., Sárfalvi B.: *Általános természetföldrajz*. Nemzeti Tankönyvkiadó (2002)
5. Arday I., Rózsa E., Ütőné Visi J.: *Földrajz I. középiskoláknak*. Műszaki Könyvkiadó (2003)
6. http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2012tavasz/kozep/k_fldrma_12maj_fl.pdf (II. vizsgarész 4. oldal, 4. feladat)
7. http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2010tavasz/e_fldr_10maj_fl.pdf (7. oldal, 4. feladat)
8. http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Janosi-Tel_kornyaram.pdf
9. Budó Á.: *Kísérleti fizika I.* Tankönyvkiadó (1978) 182. és 187.
10. Hraskó P.: Elmélkedés a Coriolis- és a centrifugális erőről. *Fizikai Szemle 63/5* (2013) 168–169.
11. Tasnádi P. (szerk.): *Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan*. ELTE TTK (2011) ISBN: 978-963-284-224-0, 632.