

# GYAKORLATIAS FIZIKA

avagy: „A nagy teljesítmény titka: gyorsan és sokat.”

Gróf Andrea

Karinthy Frigyes Gimnázium, Budapest

„... sokan általánosságban elismerik ugyan tudományos tanításának szükségességét, de sokallják az időt, melyet a fiatalság reáfordít. Arra hivatkoznak, hogy a XIX. század életere hevesebben lüktet, mint a középkoré, hogy ma nemcsak testünk, hanem szellemünk is gyorsabban mozog bármely irányban, s a kor követelményeként hirdetik azt a tételöket, hogy erre az életre, amely oly gyorsan és nyomatékosan leckéztet, gyorsabban is kell elkészülnünk.”

*Eötvös Loránd* [1]

„Nincsen alkalmazott tudomány. Csak a tudomány alkalmazása.”

*Louis Pasteur*

A fenti idézetekből is kiviláglik, hogy a gyakorlatiaság, az azonnal aprópénzre váltható tanulmányok ígérete mindig is csábító erővel bírt. Ma is gyakran halljuk, hogy X felsőoktatási intézményben túlságosan elméleti a képzés, jelentkezzünk ezért inkább Y-ba, mert ott csak a hasznos dolgokat tanítják, és korunk kihívásai ezt kívánják tőlünk.

A legújabb (2012-es) *Nemzeti Alaptanterv* (NAT) fizika fejezete [2] új közműveltségi tartalmakkal gazdagodott. A tudomány társadalmi jellegének (túl?)

hangsúlyozása mellett megnövekedett a modern technikai, illetve a más tudományágakkal átfedő alkalmazások szerepe. Az új elemek jelentős része fűződik olyan jelenségekhez, amelyek hagyományosan és ma is megtalálhatók a földrajz tantárgy ismeretanyagában. Ilyenek például a különféle időjárás elemekkel, illetve a társadalom és a környezet viszonyából adódó globális kihívásokkal kapcsolatos tartalmak.

Mivel azonban a rendelkezésre álló idő nem növekedett, a földrajz felől megközelítve is felvethető a kérdés: Tanítványaink javára fordítjuk-e a kibővült tartalmat, vagy csak kitűzzük a kalapunk mellé, hadd irigykedjenek a földrajzos kollégák? Mennyiben tudunk és akarunk a diákoknak e téren többet nyújtani, mint a földrajzórá?

## Mit nyújt a földrajzórá?

A természetföldrajzot (angolul nem véletlenül „physical geography”), a középiskolások kilencedikben tanulják, így túlnyomórészt a fizika tantárgyat megelőzve tárgyalja a földrajzi jelenségeket. Nem is tehet mást, hiszen a tantárgy felépítése saját hagyományos belső logikáját követi, nem a fizikáét. Így sok fizikai jelenséggel a diák földrajzórán találkozik először. A földrajzi jelenségek hátterében levő fizikai folyamatokat azonban a középiskolai földrajzkönyvek felülete-

A címbeli idézet: Fizika kerettanterv, A változat: [http://kerettanterv.ofi.hu/3/\\_melleklet/\\_9-12/index/\\_4/\\_gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/3/_melleklet/_9-12/index/_4/_gimn.html), 5. oldal

sen tárgyalják. A fogalmak nem világosak, a magyarázatok túl tömörek és gyakran hibásak. A mélyebb megértéshez nélkülözhetetlen kvantitatív megfontolások a földrajztananyagban szinte egyáltalán nem szerepelnek. Így a tanulók természetföldrajzi ismereteik jelentős részét valójában nem értik.

Az alábbiakban ezeket az állításokat igyekszem példákkal alátámasztani, és levonni a fizika tantárgyat is érintő tanulságokat.

A földrajzzal vont párhuzam azért szolgálhat tanulságokkal, mert a címben is idézett, központi kiadott *fizika kerettanterv A változatának* [3] témakörei sem a fizikai ismeretek hagyományos egymásra épülésének sorrendjében követik egymást, hanem – a gyakorlatiasság szellemében – életünk különféle területei köré csoportosítva. Sőt, a természettudományok iránti érdeklődés fokozásának reményében a tanterv az egyes témakörök tárgyalását sem az alapfogalmakkal és alaptörvényekkel kezdi, hanem „mindenki számára fontos témákkal, gyakorlati tapasztalatokkal, praktikus, hasznos ismeretekkel”, hogy bemutassa: a fizika ismerete gyakorlati előnyökkel jár. A heti kétórás órakerethez viszonyítva az alkalmazások olyan lehangoló mennyiségben sorjáznak, hogy ebbe szinte bele van kódolva a felületesség.

## A pontos fogalmak hiánya

A pontos fogalmak megalkotásának és következetes használatának igénye a természettudományos gondolkodáshoz elengedhetetlen, de nem fejlődik ki automatikusan. Két tipikus példa a fizikatanári praxisomból:

Dolgozatfeladatban az erő és a gyorsulás fogalmának felhasználásával kellett tömören megmagyarázni, miként menthet életet az autóban a légszák. Az egyik válasz szerint a légszák „felfogja (abszorbeálja) az erőt”. Mivel „tudományos” szavakkal megfogalmazta, mi történik, a válaszoló úgy érezhette, ezzel meg is magyarázta a jelenséget. Más alkalommal közös természettudományos projektjük témájául a gyerekek a csontok vizsgálatát választották, és csirkehúsból kioperált csontokkal kísérleteztek. Arra a kérdésre, hogy mit fog vizsgálni, az egyik tanuló annyit felelt, megméri, hogyan változik a csont hajlékonysága, ha ecetben áztatja. Nehezen értette

meg, hogy válasza értelmezhetetlen mindaddig, míg meg nem mondja, milyen fizikai mennyiséggel jellemzi a „hajlékonyságot”.

A földrajz sem segít abban, hogy pontos fogalmakra neveljük tanítványainkat. Ezt példázza az *1.a ábra* feladata, amely egy földrajzérettségire felkészítő feladatgyűjteményből [4] való. Először meg kell mondani, milyen mennyiségek változását ábrázolják az A és B görbék, ezután be kell jelölni, hogy mikor a legmagasabb, illetve legalacsonyabb a hőmérséklet, és be kell jelölni a grafikon azon részét, ahol a sugárzási egyenleg negatív.

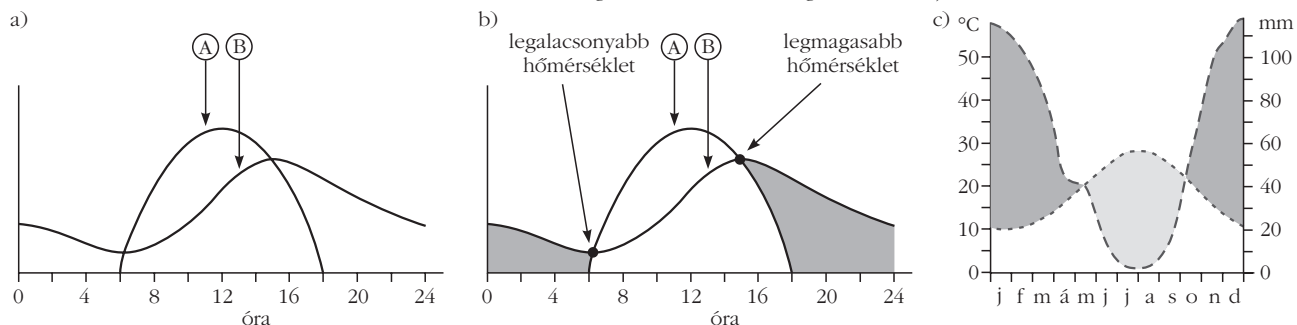
A hivatalos válasz (*1.b ábra*) magyarázata szerint A „a Nap járása (a besugárzás változása)”, B pedig „a hőmérséklet változása”. Ezen értelmezés alapján dimenzionálisan különböző mennyiségek egyenlősége jelöli ki a kérdéses pontokat. Ráadásul a metszéspontok éppen az egyik mennyiség szélsőértékeinek felelnek meg. Ha azonban például a hőmérsékleti grafikon – a skálaegységet megváltoztatva – függőlegesen megnyújtjuk, a metszéspontok már nem a szélsőértékeknek lesznek, sőt el is tűnhetnek. (A mértékegységek összehangolása még akkor is bonyolult feladat lenne, ha a tanulók ismernék a test hőmérséklete és a kisugárzott teljesítménysűrűség közötti kvantitatív összefüggést.)

Tegyük hozzá, hogy az ábra megtalálható több középiskolai földrajzönyvben, és ott a B görbe megjelölése kisugárzás, nem pedig hőmérséklet. Csak hogy a be- és kisugárzásnak megfelelő fizikai mennyiséget (annak dimenzióját) már nem említik. E feladat alapján a besugárzást hőmérsékletként kellene elképzelnünk (vagy talán szöggként, hiszen a Nap járásán rendszerint a napsugarak felszínhez viszonyított hajlásszögét értik).

A fenti következetlenség nem egyedülálló: gyakran találkozunk például a 2011. májusi emelt szintű érettségi 7.d feladatához tartozó *1.c ábrához* hasonlókkal, ahol a csapadékgörbe és a hőmérsékleti görbe jelölik ki közösen a sátrózott tartományt. Itt még a két skála is fel van tüntetve, a metszéspontban tehát leolvashatjuk, hogy  $20\text{ °C} = 40\text{ mm}$ .

A földrajzi jelenségeket illetően is a fizikaóra hátrul tehát a feladat: ki kell alakítanunk a pontos fogalmak használatának igényét. Ezért fontos, hogy fizikaórán mindenképpen már a fogalmak és a törvények alapos ismeretében történjen a földrajzból hallottak

1. ábra. (a) feladat, (b) megoldás és (c) az érettségi feladat ábrája.



felidézése, hogy eloszthassuk a tévedéseket, elmélyíthessük az ismereteket. Ha már fizikaórán is elfogadottá és természetessé válik, hogy nem tudjuk, mi az, amiről beszélünk, hogyan legyen tanítványainknak bármi kifogása például a kézrátétellel átadott vagy tévéképernyőn át sugárzott „bioenergiával” kapcsolatban?

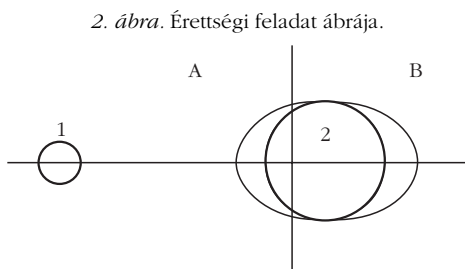
A fenti fogalmakat azonban az A változatú kerettanterv szerint haladó diák számára a fizikaóra sem világítja meg. A hagyományosan a hőtani ismeretek között tárgyalt elemek például nyolc tematikai egységben szétszórva jelennek meg, sorrendjük pedig megkérdőjelezi a pontos fogalomalkotás lehetőségét. A fejlesztési követelmények között már az elején szerepel ugyan „a hő fogalmának megértése, a hő és hőmérséklet fogalmának elkülönítése” de a hőmérséklet-fogalomhoz vezető útra nem derül fény. A hőtágulás jelensége csak érintőlegesen jelenik meg a nyolc tematikai egység közül a hatodikban (*Vízkönyvetünk fizikája*) a víz anomális viselkedése kapcsán. Az ideális gáz fogalma és a gáztörvények pedig, amelyek hagyományosan elvezetnek az abszolút hőmérséklethez, teljesen hiányoznak. (Az abszolút hőmérsékletről nem is esik szó.) Ha már a hőmérséklet sem világos, a többi fogalom szinte reménytelen.

## A törvények értő ismeretének hiánya

A fogalmak mellett a földrajzi jelenségek háttérben levő pontos fizikai törvények is homályban maradnak. Hat különböző, forgalomban levő középiskolai földrajzkönyvet tanulmányozva arra a meggyőződésre jutottam, hogy néha azért, mert a szerzők maguk sem értik a fizikai törvényeket, amelyekre hivatkoznak, és nincsenek tisztában a törvények érvényességi körével sem. Ennek tanulságos példája az árapály-jelenség tárgyalása:

A 2. ábra a 2006. májusi emelt szintű földrajzérettségi 2.b kérdéséhez tartozott: Az 1 és 2 égitestek megnevezése után azt kellett megmondani, mi okozza a jelenséget az „A”, illetve a „B” betűvel jelölt oldalon.

A hivatalos válasz szerint a Hold felőli dagálypúp oka a Hold tömegvonzása, míg a túloldali púpért a Föld–Hold-rendszer közös tömegközéppontja körüli keringés miatt fellépő centrifugális erő/tehetetlenségi erő a felelős. Kivételesen mindegyik földrajzkönyvben is ugyanez a hibás magyarázat szerepel, amely szerint a két dagálypúp két különböző okra vezethető vissza.



E magyarázat egyik hibája, hogy a vonzás tényére hivatkozik a vonzás távolsággal való csökkenése helyett. Dicséret illeti tehát azt a földrajzos kollégát, aki – érezvén, hogy itt valami nincs rendben – arra kért, magyarázzam el neki, miért nem tapasztal árapályt a levesestányérjában.

A másik hiba a centrifugális erőre való hivatkozás. A tantárgyak között láthatóan hiányzik az összhang, hiszen míg a földrajzban „Földhöz ragadtságukban” fel sem vetik a vonatkoztatási rendszer problémáját, magától értetődőnek veszik, hogy van centrifugális és Coriolis-erő, és ezekre az érettségin is rákérdeznek, addig a régi és új fizikatantervek – feltehetően a szűk időkeret miatt és a diákok összezavarását elkerülendő – nem is említik a tehetetlenségi erőket, noha a vonatkoztatási rendszer fontosságát általában hangsúlyozzák.

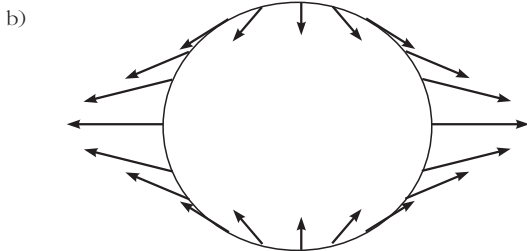
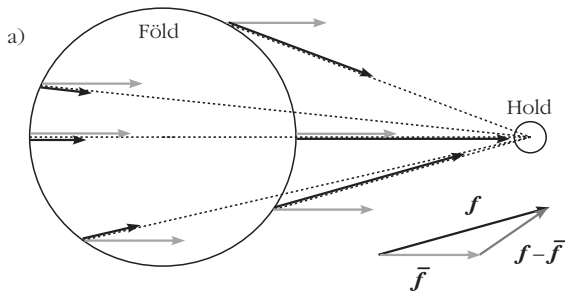
Mivel azonban a fizika kvantitatív összefüggésekkel dolgozik, a feladatmegoldás során kialakulhat a helyes szemlélet, hogy 1. mindig a testekre ható összes erő eredőjét kell tekinteni, 2. a rendszer viselkedését illető következtetéseink (hogy mi történik) nem függhetnek a vonatkoztatási rendszer megválasztásától. A centrifugális erő önmagában nem okozhat dagálypúpot, hiszen csak akkor van jelen, ha forgó rendszerben írjuk le a mozgást. Ha két púpot észlelünk, akkor az inerciarendszerben is két púp van.

Fontos tehát, hogy tanítványaink ne csak annyit halljanak tőlünk: az árapályt a Hold okozza (és főleg ne még egyszer a földrajzkönyvből ismert hibás magyarázatot). A deformáció mértékét is megadó kvantitatív tárgyalás – bár középiskolai matematikával is elvégezhető – nemigen fér bele a heti kétórás időkeretbe. Az erők összetevőkre bontása azonban mindennapos rutin a fizikaórán, és már ezzel a megértést erősítő, részben kvantitatív megközelítés érhető el.

A feladatunk, hogy megmagyarázzuk, miért és milyen irányban lejt a vízfelszín a helyi „vízszintes” irányhoz (azaz a földi gravitációs mező ekvipotenciális felületéhez, vagyis a geoid alakhoz – ez is benne van a földrajzkönyvben) képest.

Az egyszerűség kedvéért érdemes egy hipotetikus, egész Földet beborító óceánt tekinteni. (A partokon ténylegesen megfigyelhető árapály ennél bonyolultabb, sok tényezőtől függ.) A Hold által az adott helyen levő egységnyi tömegre kifejtett  $\vec{f}$  gravitációs erő (azaz a gravitációs térerősség) felírható két erő, egy átlagos  $\vec{f}$  erő (amely mindenütt ugyanaz, ezért nem okoz deformációt), valamint az átlagtól vett  $\vec{f} - \vec{f}$  eltérés összegeként: ez utóbbit nevezik általában árkeltő erőnek (3. ábra, a Holdat aránytalanul közel mutatva).

Ha inerciarendszert használunk, akkor  $\vec{f}$  a centripetális erő (a tengelyforgás most nem számít!), amely a Föld pontjainak a közös tömegközéppont körüli azonos sugarú körpályákon való keringéséhez szükséges. Ha pedig a Föld a közös tömegközépponthoz rögzített forgó rendszerben egyensúlyban van, akkor minden pontban ugyanekkora centrifugális erő  $\vec{f}$  hat [5]. A deformációért mindkét tárgyalásban az  $\vec{f} - \vec{f}$  felelős.



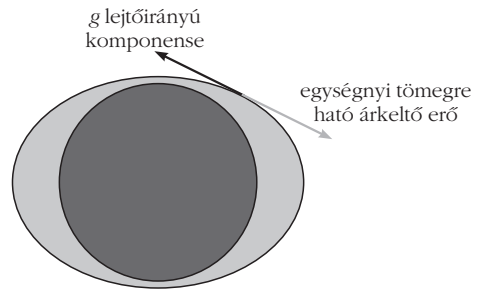
3. ábra. a) A gravitációs erő összetevőkre bontása. b) Az  $f - \bar{f}$  árkel-tő erő.

Olyan lejtésű vízfelszín alakul ki, ahol ezen árkel-tő erő tangenciális komponensét ellensúlyozza a földi nehézségi erő lejtőirányú, vagyis a vízfelszín irányába eső komponense (4. ábra). (A normális komponensét pedig a folyadék belsejében ébredő erők.)

A földrajzkönyvek gyakran hibás fizikai szemlélete az árapály mellett az áramló közegek viselkedésének – a szél és a tengeráramlások – tárgyalásából tűnik ki legjobban. A zűrzavart azonban elsősorban nem a Coriolis-erőre való hivatkozás, vagyis a tehetetlenségi erő fogalma okozza, hanem az erő és a mozgás közötti alapvető összefüggés nem értése. A fizikatanítás kudarca jelenik itt meg, legalábbis a leendő földrajz-könyv-szerzők esetében.

Minden erőfeszítésünk ellenére tanítványaink jelentős része láthatóan megmarad az arisztotelészi világképnél: a test abban az irányban mozog, amerre az erő hat. Ezt példázza a következő idézet [6]: „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 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.” A legtöbb tankönyv egyszerűen kijelenti, hogy a levegő mindig a magasabb légnyomású hely felől az alacsonyabb légnyomású hely felé áramlik, és ettől az iránytól az eltérítő erő hatására kicsit eltér. Egyetlen könyv mondja helyesen, hogy a szél az izobárokhoz közel párhuzamosan fúj, de magyarázatot nem ad. Pedig magyarázat gyanánt elég lenne például az 5. ábra.

A megértés hiányában a nehézségek tovább fokozódnak, amikor a tankönyvek a ciklonok és anticiklonok forgásirányát kísérlik meg néhány mondatban elmagyarázni. Ha a tanuló azt hiszi, hogy a mozgás az



4. ábra. Erők egyensúlya a lejtős vízfelszínen.

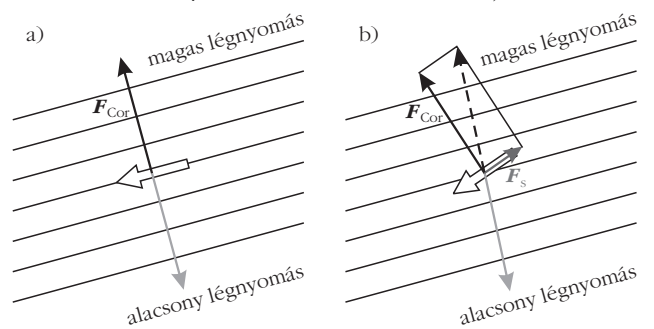
erő irányában történik, majd azt olvassa, hogy a ciklonban a befelé haladó levegő a Coriolis-erő hatására kicsit eltérül, és tudja, hogy északon az erő jobb felé hat, akkor nem fogja érteni, hogy miért is kanyarodik a levegő a ciklonban balra. Csakúgy, mint a 6.a ábra [7] szerzője, aki a szövegben helyesen említi a forgásirányt. Máshol a 6.b ábrához [8] hasonló ábrát kísérő szöveg [9] jelenti ki, hogy: „Az eltérítő erő hatására azonban a levegő a ciklonban az északi félgömbön jobbra, a délin balra felé áramlik befelé.”

Vegyük észre, hogy a 6.b ábra sem felelhet meg a valóságnak: nagyítsuk ki a 6.b ábra bal alsó részén futó nyilat, és az 5. ábrához hasonló módon rajzoljuk be az egyik ponthoz a nyíl irányában mozgó levegőre ott ható súrlódási, Coriolis- és nyomásgradiens-erőket (6.c ábra). A vektorok hossza nem is számít, hiszen ilyen irányú erők hatására semmiképpen nem mozoghat a levegő a nyílnek megfelelően. A mozgásirány tehát valójában nem ilyen szögben metszi az izobárokat.

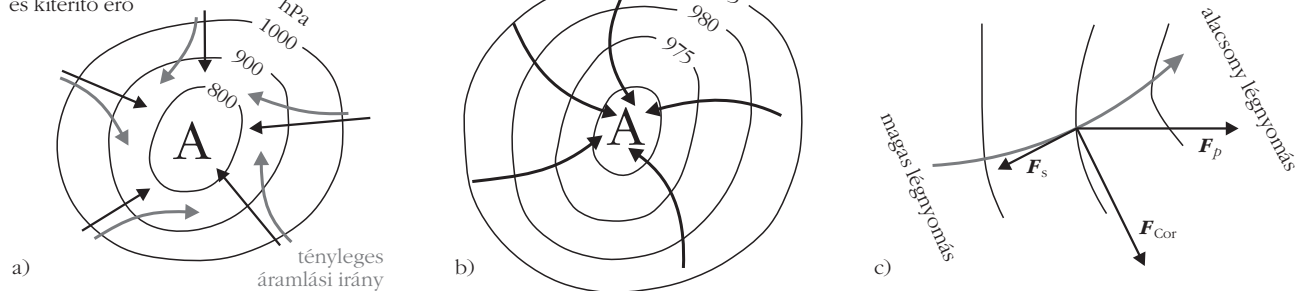
Félő, hogy a fizikaóra sem orvosolja a fenti bajokat, ha az A tanterv formabontó tematikai felépítését követi, hiszen a meglepő helyeken felbukkanó anyagrések nem tesznek lehetővé a jelenségek megnevezésénél sokkal mélyebb tárgyalást. Például a *Tömegvonás* című tematikai egységhez tartozik a közegellenállási erő, illetve a lendület fogalma is, pusztán azért, mert az üresközök szempontjából ezek fontosak. Ugyanakkor az árapály nem itt, a gravitációs jelenségek között van felsorolva, hanem elsősorban hullámjelenségként tartják számon (noha említést kap „a Hold és a Nap szerepe”).

A nem hagyományos feldolgozási sorrend folytán tehát (a bevezető szerint bevallottan) hiányozhat az adott jelenség megértéséhez szükséges természettörvények ismerete és a fogalmi megalapozás. A *Hasznosítható energiák* fejezet tárgyalásában megjelenik

5. ábra. Szélirány a) súrlódás nélkül; b) súrlódás jelenlétében.



áramlási irány, ha nem lenne sűrűlódás és kitérítő erő



6. ábra. a) és b) Ciklon két földrajzkönyvben. c) Az erők iránya.

például az atomenergia a tömegdefektussal, atomerőmű-típusokkal csakúgy, mint a radioaktív hulladékok elhelyezésének problémája. Mindez bárminemű magfizikai előképzettség nélkül.

## A kvantitatív megfontolások háttérbe szorítása

Tudománynpszerűsítő könyvek előszavában a szerzők gyakran ünnepélyesen megígérik, hogy az olvasó egyetlenegy képlettel fog találkozni, a 178. oldalon. Vagy még ott sem. Erre emlékeztet az, ahogyan az A tanterv szakítani igyekszik a hagyományos számítási feladatokkal, amelyeket „sokszor öncélúnak” tart. Mivel kivételt jelentenek azok az esetek, „amikor a számítás elvégzése a tananyag mélyebb megértését szolgálja”, akár meg is nyugodhatnánk, hiszen mindig azt szolgálja. (Van persze rossz tanár és van rossz vagy valóban felesleges feladat, de ezek nem a hagyomány szükségyszerű velejárói.) Valahonnan azonban csak el kell venni a rengeteg alkalmazás felsorolásához szükséges időt.

A fenti példák is mutatják, hogy kvantitatív tárgyalás híján a hibás fizikai szemlélet nem lepleződik le, a diák nem szembesül azzal, hogy voltaképpen nincs tisztában a fogalmakkal, illetve törvényekkel. Mivel sok mindenről szó esett, tájékozottnak érezheti magát, miközben éppen a lényegről maradt le.

Richard Feynman szavaival: „Azoknak, akik nem ismerik a matematikát, nehézséget okoz keresztüljutni a szépség valódi érzéséhez, a legmélyebb szépséghez, a természethez... Ha a természetről akarsz tanulni, méltányolni akarod a természetet, ahhoz szükség van arra, hogy értsd a nyelvért, amelyen szól hozzád.”

Végül, amint Eötvös Loránd szavaival kezdtem, őt idézem befejezésül is [10]: „javulást a tudományos színvonalnak nem alábbszállítása, hanem fölemelése eredményezhet.”

## Irodalom

1. Eötvös L.: Az egyetem feladatáról. *Természettudományi Közlöny* 23/266 (1891) 505–514.
2. Nemzeti Alaptanterv. *Magyar Közönlöny* 2012/66, 10751–10754, 10763–10765.
3. Fizika kerettanterv, A változat: [http://kerettanterv.ofi.hu/3/\\_melleklet\9-12/index\4\gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/3/_melleklet\9-12/index\4\gimn.html)
4. Ütőné Visi J.: *Földrajz érettségi feladatgyűjtemény*. 35. oldal, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2005.
5. Thurman, H. V.: *Introductory Oceanography*. 247–276. oldal, Merrill PC, Columbus, Ohio, 1985.
6. Arday I., Rózsa E., Ütőné Visi J.: *Földrajz I. középiskolásoknak*. 74. oldal, Műszaki Kiadó, Budapest 2010.
7. Makádi M., Taraczközi A.: *A Föld amelyen élünk*. 73. oldal, Mosaic Oktatási Stúdió, Szeged, 2001.
8. Jónás I., Kovács L-né, Vízvári A-né: *Földrajz 9*. 102. oldal, Mosaic Kiadó, Szeged, 2011.
9. Kereszty P., Nagy B., Nemerkenyi A., Sárfalvi B.: *Lakóbelyünk a Föld*. 74. oldal, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2008.
10. Eötvös L.: Rektori beszéd az egyetem újjáalakításának ünnepén, 1892, *Természettudományi Közönlöny* 24/274 (1892) 296–301.

## Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

Most Társulatunknak lenne szüksége egyletmentő ötletekre!



Ezek az ötletek nem vesznek el, ha a <http://forum.elft.hu> linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.

