

# Akhilleusz, a teknősbéka meg a rendszerváltozás

FÁY LÁSZLÓ

*Több mint négy évtized után is hálásan gondolok Messik Béla bácsira, aki vezetőtanárként elindított pedagógusi pályámon. „Próbatanításom” témája a határozott integrál volt, amit a parabola alatti terület kiszámításával, a négyzetszámok összegezésével kellett bemutatnom. Persze, kifutottam az időből és átszellemült magyarázatom kellős közepén megszólalt a csengő. Sosem szerettem, ha a tanár elrabolja a tízpercet, ezért letettem a krétát: „A következő órán folytatjuk” – szoltam és kifelé indultam. Ekkor felállt egy diákom az első padból: „Olyan érdekes volt, tanár úr, tessék befejezni”.*

Ez az élmény egész életutamat elkísért. A későbbiekben szerzett tapasztalataimmal együtt arról győződtem meg, hogy a *differenciál- és integrálszámítás igenis tanítható a középiskolában* és nem igaz az a gyakran hangoztatott nézet, miszerint a tanulók „nem tudják felfogni a határérték lényegét”.

Mire elkezdődött középiskolai tanári pályafutásom, már más szelek fujdogáltak. Az új, vastkos tankönyv „Légy mászkál a hőmérőn” fejezetcímmel vezette be a negatív számot és regényes stílusban próbálta megértetni a matekot. A baj csak az volt, hogy a gyerekek inkább valódi regényeket olvastak a matekkönyv helyett, a tankönyvtől pedig azt várták (volna), hogy az órán *elhangzott magyarázatot összefoglalja* és gyakorlati útmutatást adjon a feladatmegoldásokhoz. E kézenfekvő igényük azonban kielégítetlenül maradt.

## „Harc a formalizmus ellen”

A Péter Rózsa – Gallai Tibor féle tankönyv (mert erről van szó) nemigen csinált titkot abból, hogy a dialektikus materializmus értékrendjének megfelelően óhajta megreformálni a matematika-oktatást. Ennek jegyében tilos volt leírni a másodfokú egyenlet gyökképletét, mivel ez egy húron pendült a kapitalista formalizmus többi termékével: *Bartók* zenéjével, *Chagall* festményeivel, *Babits* és *Kosztolányi* verseivel. Tilos volt a szögek megjelölésére görög betűket használni, mert „aki görög betűt használ, az az ellenséggel paktál”. Maradt tehát az egyíves, kétíves és a fekete vitorlás szög.

A másodfokú egyenletet több hétig nyúztuk, végigcsinálva a teljes négyzetté való kiegészítés minden változatát. Amikor azután a diákok az egyetemre kerültek (történetesen hozzám) persze nem ismerték a megoldóképletet.

## Cavalieri és a centripeta

De a legfőbb botránykő a differenciál- és integrálszámítás maradt. Hogy miért, azon rengeteget töprengtem Kossuth-díjas akadémikus főnökömmel együtt, de nem tudtunk rájönni a dolog nyitjára. Csak jóval később, a Marxizmus-Leninizmus Esti Egyetemen

\* Köszölkök Fáy László cikkét és a vele néhány kérdésben vitázó Törös Róbertét is. A tárgyban szívesen fogadunk Olvasóinktól további hozzászólásokat

folytatott filozófiai tanulmányaim alatt derült fény a Párt analízis-ellenességének okára. A megoldás megtalálható *Lenin: Materializmus és empiriokritizmus* című könyvének (fordította Czóbel Ernő, Szikra kiadás Bp. 1949) 315-ik oldalán: „Hermann Cohen, aki, mint láttuk, elragadtatással üdvözlöi az új fizika szellemét, odáig megy, hogy szót emel a *felső matematikának az iskolákba való bevezetése mellett – avégből, hogy a gimnazistákba beoltsák az idealizmus szellemét.*” (Kiemelés tőlem F. L.)

Tehát innen fúj a szél. A felső matematika, azaz az analízis az idealizmus szellemét oltja a jobb sorsra méltó gimnazistákba; a hithű kommunistának így az a kötelessége, hogy megakadályozza ezt a kútmérgezést. Ezért kellett rögtön hatalomra kerülésük után eltörölni a gimnáziumban a felső matematika oktatását.

Ezzel visszajutottunk a *Newton* és *Leibniz* előtti időkbe, a matematika preklasszikus korába. A gömb térfogatának képletét a *Cavalieri*-elvel tanítottuk, úgy látszik ő még nem esett az idealizmus csapdájába.

Az analízis ideológiai okok miatti kiiktatásával megbomlott a századforduló óta fennálló tantárgyi egyensúly a matematika és a fizika között. A differenciál- és integrálszámítással szinte megkoronázták korábbi fizikai tanulmányaikat a tanulók: egyszerre világossá vált a sebesség és a gyorsulás fogalma; a négyzetes úttörvény pedig egyenesen „kipotyogott” ezekből. A matematika és a fizika harmóniája a maturandus számára a természet szépségének részévé vált.

Mi történt ezzel szemben a kommunista hatalomátvétel után? Ad hoc módszerek színterévé vált úgy a matematika – mind a fizika oktatás. A Péter Rózsa – Gallai Tibor féle tankönyv háromszög szerkesztésekre helyezte a hangsúlyt: szerkesszünk háromszöget a súlyvonalból, az oldalfelező merőleges egy pontjából és a toronyóra aranyláncának hosszából. Ez a tendencia csaknem napjainkig fennmaradt, háttérbe szorítva a matematika fejlődésében oly nagy szerepet játszó általánosítást, az általánosan használható módszerek iránti igényt. Ezért volt tilos a másodfokú egyenlet megoldóképlete és ezért kellett az elemi geometria oktatását a tükrözési axiómákra felépíteni; ezekkel ugyanis a feladatmegoldások rejtvényjellege még nyilvánvalóbbá vált. Gyula öcsém, aki Péter Rózsaék irányzatának grasszálását gimnazistaként élte át, „A háromszög százegy féle szerkesztése” címmel kézikönyvet (a szó szoros értelmében, kézzel írva) szerkesztett, melyben összegyűjtötte valamennyi elképzelhető, pihent agyakból kipattanható elemi geometriai feladványt. Feladványt, mert akár a sakkban, itt is célszerű megkülönböztetni a sakkjától a feladványszerzőt, sakktól a feladványt, mely utóbbi önálló műfaj és az előbbihez alig van köze. Főnököm pl. saját bevallása szerint „nem feladatmegoldó típus” – de ettől még nemzetközileg elismert matematikus.

Mindezzel nem akarom Péter Rózsa tudományos érdemeit kisebbiteni, azt azonban határozottan állítom, hogy pedagógiai irányzata mérhetetlen károkat okozott az oktatásnak. Annak ellenére teszem ezt, hogy jól tudom: a matematikai diákolimpiákon számos sikert hozott a feladatmegoldás-orientált oktatás. Csakhogy: más a velencei Arany Oroszlán és megint más a kasszasiker a filmszakmákban. Hiába csillognak ideig-óráig az aranycsapat focistái, ha nincs utánpótlás, előbb utóbb kifulladás a magyar futball. A matematikai diákolimpikonokkal szemben itt van a tagonként négyzetgyökvonók derékhada, a törtek nevezőjét összeadó serege. Belőlük sohasem lesz műszaki fejlesztő, akárcsak a falusi focicsapatból NB I-es együttes, a művészfilmek szerzőinek pedig annyi díjat adhatnak, amennyit csak akarnak a zsűri, a TV nézők 99%-a mégis lezárja a készülékét ha ilyen van műsoron. Egyszóval: hiányzott és talán még ma is hiányzik a „jó középszer” a fociból, a filmből és a matek-oktatásból, pedig ebből nőtt ki *Czukur György*, *Kandó Kálmán* és talán az aranycsapat is.

A középiskolai matematika-oktatásnak ugyanis *nem kizárólagos feladata a matematikus utánpótlás biztosítása*, bár ennek fontossága is vitán felül áll. De legalább ugyanilyen fontos a *műszaki fejlesztés, a természettudományos kutatás leendő szakemberei matematikai tudásának megalapozása*; ehhez pedig nem a háromszögszerkesztéseken át vezet az út. A matematikai apparátust biztos kézzel kezelő, de alkotó hajlamait egyéb területen kiélni szándékozó reálértelmiség nélkül reménytelen a csúcstechnológia fejlesztésébe való bekapcsolódásunk.

A fizikaoktatás talán még a mateknál is siralmasabb helyzetbe került az ötvenes években, és félt, hogy ezt csak hosszú idő múlva fogja kiheverni. Kezdő tanárként értetlenül forgattam a kezembe nyomott új fizikatanácskönyvet, melyben ez állt:

az erő: kölcsönhatás.

Sokáig képtelen voltam felfogni, hogy miért kellett az erő középiskolában jól bevált definícióját: „*erőnek nevezzük azt az okot, mely a testek mozgási állapotát megváltoztatja*” ilyen ostobaságra cserélni, végül erre is megkaptam az ideológiai választ. „Az erő korábbi definíciója metafizikus (!) volt, nem sugározta a materializmus szellemét. Az új definícióból kitűnik, hogy az erő csak az anyaghoz köthet forulhat elő” (mintha ezt bárki is vitatta volna), továbbá: „a régi erődefiníció a klerikális reakció malmára hajtja a vizet, mivel Aquinoi Szent Tamás azt írta Summa Theologica c. munkájában, hogy 'minden mozgás legfőbb oka: Isten', és azt is, hogy 'mindazt, ami mozog, valami mozgatja (quisquis movetur ab alia movetur)'”.

Az új erődefiníció – ideológiai okok miatt – kiiktatta a fizikaoktatásból a centrifugális erő szemléletes fogalmát; helyette centripetális erő lett az új módi. A centrifugális erő ugyanis – tehetetlenségi jellegénél fogva – gyanús, és „ideológiai csapdát” rejt. Budó Ágoston akadémikus szerint (Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Bp., 1978, 83. old.) „a centripetális erő ellenerejét sokan 'centrifugális erőnek' hívják” (t. i. a józan ész alapján, F.L.) „mi azonban ezt a sajnálatos módon háromféle értelemben is előforduló elnevezést” (?) „arra az esetre tartjuk fenn, amikor a mozgást ... forgó koordináta-rendszerre vonatkoztatjuk.” Ha elfogadjuk Budó akadémikus professzor érvelését,\*\* a háztartási centrifugát centripetának kellene neveznünk, és ellentétbe kerülünk az egész viágon elfogadott szóhasználatl.

Budó Ágoston szerint ugyanis „a centripetális erő ellenereje” (melyet az ideológiailag képzetlenek nem áttalának centrifugális erőnek nevezni, F.L.) „nem a körmozgást végző testre hat” (!), hanem „arra a testre, amely a körmozgást végző testre a centripetális erővel gyakorolja” (!) Tessék ezt megmagyarázni egy gimnazistának; pl. a legkézenfekvőbb, kekről lefröccsenő sár esetén.

Mindehhez képest csak bagatell, hogy az ideológiailag elfogadható új erődefiníció értelmében erőtér nem létezik, hiszen ennek éppen az a lényege, hogy akkor is van, ha üres, azaz ha nincs benne pl. „próbatest”. Lehet, hogy ezért kellett megváltoztatni a századforduló óta polgárjogot nyert „erőtér” elnevezést „mező”-re?

## Zénon apóriája

Bár a Péter Rózsa – Gallai féle tankönyv nem volt hosszú életű, maga az irányzat évtizedekig megmaradt, káros következményeit pedig még sokáig viselnünk kell. A kirakatpolitika, mely a magyar filmek nézettségének ijesztő arányú csökkenését, a magyar futball leértékelődését eredményezte, hazánk műszaki fejlődésének hanyatlásához is elvezetett. A középiskolai matematika-oktatás elvesztette minden kapcsolatát a gyakorlattal; felvételi vizsgáztatóként tapasztalnom kellett a műszaki felsőoktatási intézményekbe jelentkezők matematika és fizikai ismerethiányait. Ezek pótlására az egyetemeken alig volt lehetőség; akadémikus főnököm még 30 év után is emlegeti azt a csinos hallgatólányt, aki szigorlaton egy törtet színusszal „egyszerűsített”. Mások szóról-szóra bemagoltak levezetéseket (például a kettős integrál transzformációját) anélkül, hogy egyetlen szót is megértettek volna belőle. Nyilvánvaló, hogy ezek a hallgatók végzett vegyész-mérnöként is megmaradnak a hármasszabálynál, mivel más matematikai apparátust nem tudnak kezelni. Akadémikus főnököm ezért magunk között gyakran tanonciskolának becézte kenyéradó felsőoktatási intézményünket.

Egykori leggyengébb tanítványaim közül nem egyet láttam viszont a képernyőn vezető beosztású nyilatkozóként: „amit nem tanult meg Jancsi, nem tudja azt János” alapon alig várható el tőlük, hogy a műszaki fejlesztés elengedhetetlen részét képező matematikai

\*\* Forgó koordináta-rendszer már csak azért sem használhatunk, mert ebben – az általános relativitáselmélet értelmében – a természeti törvények alakja megváltozik az inerciarendszerbelihez képest. (V.ö.: „Csak ülök és mesélek” c. szakasz.)

modell (pl. a tímfejdgyári feltárás vagy ülepítés területén) szükségességét belássák. Nem egyiküktől hallottam már, hogy ez csak „pityke a kalap mellé”, ahogyan a háromszög-szerkesztés faramuci adatokból is az.

A csúcstechnológia ma már csaknem azonos a matematikai modellezéssel és a számítógépes szimulációval; mindez pedig a differenciál- és integrálszámításra épül. Bár az utóbbi években ennek középiskolai oktatása terén öröndetes javulás tapasztalható, még mindig nem ritkák azok a gimnáziumok, ahol az analízis a tananyagcsökkentés áldozatává válik. Ameddig ez lehetséges, addig nem számíthatunk a hön óhajtott áttörésre műszaki fejlődésünk, iparunk versenyképessége és exportnövekedése területén.

Két és fél évezreddel ezelőtt még problémát okozhatott az emberiségnek a határérték fogalma. Zénon szerint a gyorslábú Akhilleusz soha nem érheti utol a teknőst, ha az már valamivel megelőzte; napjainkban azonban ezen már nem akadunk fenn. A probléma számos általánosítása ismert manapság, kezdve a nyulat üldöző kutyától a rakétaelhárító rakétáig, mely utóbbinak *Norbert Wiener* vetette meg az elméleti alapját. Zénon apóriája alkalmas lehet a gimnazisták határérték-fogalmának megalapozására is. Ha Akhilleusz tízszer gyorsabban fut, mint a teknős, de utóbbinak tíz lépés előnye van, akkor még a leggyengébb tanuló is fel tudja állítani a

$$10x = 10 + x$$

egyenletet, ahol  $x$  a teknősbéka lépéseinek számát jelenti.

Az egyenlet megoldása azt mutatja, hogy a teknősbéka  $10/9$  lépést tett meg azalatt, amíg Akhilleusz utolérte; utóbbi pedig  $10$ -szer ennyit. Ez tíz békaléppel több, mint a teknősbéka lépéseinek száma, mivel  $10 \frac{10}{9} = 10 + \frac{10}{9}$ . Ha elvégezzük a kijelölt osztást,

akkor a megoldás tizedestört alakjából fény derül Zénon aggodalmának okára, egyúttal alaptalan voltára is. Az ógörög bölcs szerint ugyanis mire Akhilleusz ledolgozza tíz békalépés hátrányát, a teknős egy lépést megy előre; mire Akhilleusz ezt az egy lépést is megteszi, a teknős  $\frac{1}{10}$  léppel ismét előbbre jut és mire Akhilleusz ezt a békaléppést is

megteszi, addigra a teknős megint továbbhaladt  $\frac{1}{100}$  léppel, s eddig igaza is van Zénonnak. De téved, amikor azt gondolja, hogy a teknősbéka, Akhilleusz, vagy bárki más

*akármilyen messzire eljuthat*, ha egymásután következő lépteit tizedeli. A megoldásul kapott  $\frac{10}{9}$ -nyi teknősbékalépés ugyanis nem más mint  $1,1111\dots$ , (végtelen szakaszos tize-

destört) azaz  $1 + \frac{1}{10} + \frac{1}{100} + \frac{1}{1000} + \dots$  pontosan eddig jutott el a teknősbéka, amikor utolérte Akhilleusz, aki ezalatt  $10$  békaléppel többet tett meg nála.

Ezzel – a gondolom elég könnyen követhető okoskodással – lehet bevezetni a határérték fogalmát, mely itt az egyenlet megoldásából adódott; a végtelen geometriai sor ismertetése azután elmélyítheti ezt a tudást. Akhilleusz és a teknősbéka versengését egyébként számítógép képernyőjén is szemléltethetjük.

## A számítógép és az analízis

Vannak, akik azért ellenzik a differenciál- és integrálszámítás középiskolai oktatását, mert „az analízis ki fog menni a divatból”. Azzal érvelnek, hogy „a számítógép nem szereti a végtelent”, – ami igaz is. Ehhez még a természeti folyamatok időbeli lefutásának kérdéses volta is járul. A fűrdőkád  $20$  Celsius hőfokú vizébe helyezett  $80$  Celsius hőmérsékletű vasgolyó néhány óra alatt felveszi a közös hőmérsékletet, a hővezetés *Fourier*-féle differenciálegyenletének megoldásából azonban ez az idő végtelen nagyra adódik, bár kétségtelen, hogy a számított és a mért illetve a „termosztatikából” (ez lenne a helyes kifejezés a „termodinamika” helyett, mely utóbbi viszont irreverzibilis vagy nem egyensúlyi termodinamikának szokás nevezni) adódó hőmérsékletek közötti eltérés értéke jóval a mérési hibahatáron belül van. Hasonló a helyzet a hővezetéssel teljesen analóg

diffúzió esetében is, ezért egyesek e két jelenség leírására a jelenlegi parabolikus egyenlet helyett hiperbolikusot javasolnak.

Mindez még nem ingatja meg az analízis, jelesül a parciális differenciálegyenletek alkalmazhatóságába vetett hitünket, legfeljebb a természeti törvények matematikai megfogalmazásának esetleges revízióját tartja időszerűnek. Ennél nagyobb dilemmát okoz a diszkrét és a folytonos felfogás közötti évszázados ellentét. Eredete nyilván az atomos és a kontinuumfelfogás közötti szemléletbeli különbségre vezethető vissza; az előbbihez a diszkrét, (algebrai) utóbbihoz az analízis módszerei passzolnak.

Diszkrét módszer volt például a mátrixmechanika, melyet a hullámmechanika váltott fel; utóbb kiderült, hogy a kettő ekvivalens. Nem teljesen ekvivalens, de csaknem azonos célokat szolgál a lineáris programozás *Dantzig* – és a nemlineáris többváltozós függvények feltételes szélsőértékének meghatározására szolgáló *Lagrange*-féle multiplikatőr módszer. A differenciálegyenletek numerikus megoldására szolgáló eljárások csaknem kivétel nélkül diszkrét módszerek, így kézenfekvőnek látszik az a törekvés, hogy a természeti törvényeket már eleve diszkrét alakban fogalmazzuk meg. Erre lehetőséget kínál egy tétel, mely kimondja bizonyos folytonos és diszkrét algebrai struktúrák izomorfiaját.

A magam részéről azonban nem hiszem, hogy erre belátható időn belül sor kerül. Azt gondolom, hogy úgy leszünk ezzel, mint az inverzor nevű szellemes eszközzel, mely matematikailag helyesen, ám túl komplikáltan rajzol egyenest. (A vonalzóról el kell hinnünk, hogy egyenes; a körzővel nem ez a helyzet, mert az utóbbi a definíciónak megfelelően rajzol. Az inverzor ellenben a körre vonatkozó tükrözés – inverzió – alapján bizonyos esetekben kört egyenesbe visz át, így ez a mechanikus eszköz elvileg helyesen működő „vonalzó”) *Poceuillet* találmánya a gyakorlatban mégsem terjedt el, mert komplikált felépítése és kezelése miatt továbbra is a megbízhatatlan, ám egyszerű vonalzóra hagyatkozunk.

*Neumann János* első gyakorlatban is használható számítógépe az ENIAC nevet viselte, mely az Electronic Numerical Integrator And Calculator rövidítése. Ez a gép tehát elsősorban differenciálegyenletek numerikus megoldására készült, bár maga a feltaláló is tisztában volt a várható elméleti és gyakorlati nehézségekkel. Ezek főleg a kerekítési hibák halmozódásából származnak (ún. numerikus stabilitási problémák); egy újabbekezdű, – az ún. véges elem – módszer azonban jórészt kiküszöbölni látszik ezeket a nehézségeket. Így erről az oldalról talán nem fenyegeti közvetlen veszély a csúcstechnológiában oly nagy szerepet játszó parciális differenciálegyenletek számítógépes megoldását; ez azonban nem az egyedüli nehézség. „Evés közben jön meg az étvágy” – alapon ugyanis egyre bonyolultabb matematikai modellekre van igény, melyek már parciális differenciálegyenlet-rendszerekhez vezetnek; itt pedig a leggyorsabb számítógép is lassúnak bizonyul. Így a magam részéről nem tartom kizártnak, hogy visszatér a műszaki életbe a jelenleg tetszhalottnak látszó analóg számítástechnika, esetleg a megfelelő digitális eszközökkel kombináltan. Talán ez az út vezet el a plazmaerőművek gyakorlati alkalmazásához, kiküszöbölve a vitatható biztonságú atomreaktorok és légszennyező hőerőművek létesítését.

A plazmareaktorok működésének szimulálásához (= számítógépen történő utánczás) ugyanis szükség van a modern műszaki fizika teljes arzenáljára: a *Maxwell*, a *Navier-Stokes*, a *Fick*-féle ún. diffúziós, valamint a *Fourier*-féle hővezetés parciális differenciálegyenletekre, utóbbiak nemlineáris forrástagokkal (például a *Stefan-Boltzmann* féle sugárzási törvény negyedfokú kifejezésével) súlyosbítva. Ezek az ún. magnetohidrodinamikai egyenleteket írják le ugyanis a plazma fizikáját; enélkül reménytelen vállalkozás lenne a plazmareaktor kutatása és fejlesztése.

## Pedagógiai és műszaki haladás

„A materialista világnézet alapja a természettudományos műveltség”; negyven éven át hallottuk ezt a jelszót. Az eredmény műszaki fejlődésünk több mint húsz éves elmáradása, a magyar reálokztatás leértékelődése.

El kellene végre oszlatni azt a tudatosan terjesztett legendát, hogy „nyugaton tárt karokkal várják a magyar műszaki-tudományos szakembereket” és hogy itthon hamarosan

„agylecsapolás” áldozatai leszünk, ha sürgősen nem teszünk valamit az állami-akadémiai kutatóhálózat „megmentéséért”. Az igazság az, hogy nemigen van itt lecsapolni való. *Neumann, Szilárd, Wigner, Teller, Bay Zoltán* generációjánál ez még igaz volt, de *Gombás Pál* már csalódottan visszajött; akik kint maradtak, azok nagy része nem elit egyetemre került, vagy ha mégis, sokan kollégáikénál lényegesen alacsonyabb fizetéssel kénytelenek beérni. A BME Folyamatszabályozási Szakán végzett, nemzeti iparágunk országos irányító szervénél dolgozó mérnök nem felel meg az ALCAN (Aluminum Company of Canada) felvételi vizsgáján; az 1949-ben átszervezett MTA egyik alapító tagjának és matematika professzornak egyik, illusztris szakfolyóiratunkban megjelent cikkéről így referál a *Mathematical Reviews*: „a dolgozatban közölt tételek egy része triviális, a többi hamis”. Bár statisztikai adatok nincsenek, annyit nyugodtan kijelenthetünk, hogy a magyar reál-oktatás-, és tudomány nyugati elismeréséről szóló – olykor tendenciózus – híreszteléseket erős kritikával kell fogadnunk.

A rendszerváltozásnak ki kell terjednie a reál-oktatásra is; itt a szemléletváltáson kívül szükség van tematikai és módszertani változtatásokra is. Közülük néhányra részletesen is érdemes kitérni.

## Hogyan (ne) tanítsunk fizikát?

A „krétafizika” veszélyeire sokan és sokszor felhívták már a figyelmet. A természettudományok középiskolai oktatásának a kísérlet nélkülözhetetlen részét képezi, és ezt figyelmen kívül hagyta az elmúlt korszak feladatmegoldást erőltető, túlterheltséget eredményező, felvételi vizsgaközpontú oktatáspolitikája. Változás csak akkor várható, ha majd az egyetemre „beiratkoznak” nem pedig „felvételt nyernek” a hallgatók. Veszélyei azonban nemcsak a krétafizikának vannak, mivel a fizikaoktatásnak a természettudományos világkép megismertetése is célja. Megismertetése, nem pedig a tanulókra erőszakolása; nem hiszem, hogy „a rossz fizikatanítás következménye lenne a természettudományos világképet elutasító felfogás”. Egyoldalú és elfogult az a nézet, amely megpróbálja valamiféle értékrendbe sorolni a világnézeteket: a „jobbak”, a jó matekosok és a fizikát kedvelők privilégiuma a természettudományos világkép; a többinek nem jut osztályrészül ez a kiváltság. Ők kénytelenek beérni holmi tudománytalan „kolduskotyvalékkal”, melyben az irracionalizmustól kezdve az agnoszticizmusig minden megtalálható.

A kísérlet és a megfigyelés, azaz a tapasztalat vezet el a nyugati civilizáció egyik alappilléréül, de nem dogmájául szolgáló természettudományos világképhez. A tudománynak ugyanis a dogmatizmus a halála. „Felismerni és elfogadni azt az álláspontot, hogy a világ megismerhető” évszázadunk huszas éve óta már nem lehet célja semmiféle fizikaoktatásnak, mivel ez dogma. Olyan dogma, ami jelenleg ráadásul még ellentétes is a kvantummechanika, például az ötvenes években nagy ideológiai vihart kiváltott *Heisenberg*-féle határozatlansági reláció néven jól ismert egyik eredményével. *Rudas László* akadémikus és ejtőernyős professzor (Moszkvából pottyantották a nyakunkba) szerint a világ megismerhetőségének és térben-időben végtelen voltának marxista dogmáját a határozatlansági reláció valamint az Einstein egyenlet *de Sitter*-féle megoldásának és az ezt alátámasztó *Hubble-Humason* féle ún. vöröseltolódás jelenségének ellenére azért kell elfogadnunk, „mert ez a munkássztály ideológiája” (Nem szó szerint idéztem).

*David Bohm* ismert angol-amerikai (egyesek szerint erdélyi magyar származású) fizikus-filozófus az ún. „rejtett parémier-elméletével” megpróbálta összebékíteni a határozatlansági relációt a világ megismerhetőségének – valljuk be tetszetős – dogmájával. Mivel azonban ez az elmélet pusztán spekuláció minden bizonyíték nélkül, a világ ismert fizikusainak túlnyomó többsége elutasította Bohm elméletét.

Kádárék nyugatra nyitások érdekében elásták a csatabárdot és az ELTE díszdoktorává avatták *Werner Heisenberget*. Ezzel az aktuussal a határozatlansági reláció a „tiltott” kategóriából a „tűrt”-be került, jómagam pedig – minden eshetőségre készen – gondosan megőriztem az ünnepélyes eseményre szóló meghívót.

A világ megismerhetőségét kimondó dogmához szorosan kapcsolódik a dialektikus materializmus egy másik dogmája, mely szerint „a világ megérthető”. Vannak, akik a gimnáziumi oktatás kudarcának tartják, ha tanítványainkban „elvész ez a biztos meggyőződés”.

*Szent Ágostontól Jaspersig* sokan kétségbe vonták már a világ megérthetőségét. Előbbi a híres, neki tulajdonított kagylóhasonlattal (egy tengerparton játszadozó kisgyermek egy üres kagylóval akarja kimerni a tengert, ami nyilván ugyanúgy lehetetlen, mint ahogy véges emberi elménkkal sem tudjuk felfogni a végtelent) szemléltette ezt, Jaspers szerint pedig a világ rejtjeleinek megfejtése nem vezet feltétlenül egyértelmű eredményhez, mivel nem bizonyos, hogy a dekódolás jó volt. Úgy gondolom, hogy érettségi előtt álló fiatalok már képesek arra, hogy felfogják a fizikának és a filozófiának ezeket az alapvető problémáit, melyek „szőnyeg alá söprése” több kárral jár, mint amennyi hasznot hoz.

## Csak ülök és mesélek

Sokan panaszoznak, hogy a modern elméleti fizika két tartópilléréről: a relativitáselméletről és a kvantummechanikáról úgyszólván semmit sem hallanak a középiskolás diákok. Való igaz, hogy ezek a tudományágak nem taníthatók a gimnáziumban az általuk alkalmazott matematikai apparátus miatt. Ez azonban nem jelenti azt, hogy beszélni sem lehet róla. Einstein *Annalen der Physik*-beli első idevágó publikációja, a *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*s óta számos népszerűsítő dolgozat jelent meg e témából: egyikük magának Einsteinnek a tollából. Ezek a „művelt nagyközönség”, azaz érettségizett érdeklődők számára íródtak és a négyzetgyökvonásnál „magasabb” matematikai eszköztárat nem igényelnek. Hasonló a helyzet a kvantumelmélettel is.

Úgy gondolom, ezekre támaszkodva *említést lehetne tenni* a fizikaórákon is e két diszciplína főbb eredményeiről, anélkül, hogy a tanár számonkérné a diáktól a hallottakat. Az ilyen, tudománytörténeti és filozófiai érdekességeket ismertető, az éppen tanult anyag-részhez kapcsolódó „mesék” – ha érdekesen tálaljuk – jó hatást szoktak kelteni az osztályban; persze egy-egy alkalom 10-15 percnél nem tarthat tovább. A hang, illetve a fény terjedési sebességéhez kapcsolódva rá lehet mutatni a kettőjük közötti lényeges különbségre: míg a hangnak szüksége van valamilyen közegre, addig a fény terjedéséhez ez nem kell. A XIX. század végéig még azt hitték a fizikusok, hogy a fénynek is kell közeg a terjedéséhez; *Michelson* és *Morley* pedig megpróbálták kimutatni ennek az éternek nevezett feltételezett valaminek a létezését. Amde kísérletük sikertelenül végződött, amiből Einstein arra következtetett, hogy az egész fizika hibás: *Newton* hallgatólagosan feltételezett éterhipotézisének bukása alapjaiba rengette meg ezt a tudományt. Ezek után fel lehet írni a *Lorentz*-transzformációt és össze lehet hasonlítani a Galilei-féllével. A kontrakció, a tömegváltozási és az energia-ekvivalencia formulájával lehet befejezni a speciális relativitáselmélet ismertetését, megemlítve annak gyakorlati vonatkozásait is (atomenergia). Mindez eddig is megtalálható volt a tankönyvekben és a függvénytáblázatban is; az más kérdés, hogy többnyire a tananyagcsökkentés áldozatául esett.

Más a helyzet az általános relativitáselmélettel, ennek ugyanis jelentős filozófiai következményei is vannak. Míg az éterhipotézis bukása csak *Jánossy Lajos* akadémikusnál okozott konfliktust, addig az előbbi politikai tilalmi listára került és sokáig ott is maradt. Napjainkban azonban már érdemes lenne a középiskolai fizikaoktatásban is – természetesen a népszerűsítő irodalom szintjén – említést tenni róla. Ha egy tanár rászánja magát erre, akkor szerintem az erről szóló ismertetést célszerű a súlyos és tehetetlen tömeg azonosságával kezdeni: egy szabadon eső liftben utazók a súlytalanság állapotában vannak. Itt talán nem árt egy kis kitérőt tenni a technika felé: vakrepülésnél a pilóta nem hagyatkozhat súlyzetetére, mivel azt a fellépő gyorsulások (emelkedés, süllyedés, kanyarodás) jelentősen torzítják; a mesterséges horizont nevű műszer kiküszöböli ezt a hibát. (Ha valaki bejut egy pilótafülkébe, ott a műszerfalon lát egy kis repülőgépet, mely hátulról nézve mutatja a gép mindenkori helyzetét; ez a mesterséges horizont.) Működési elve a *Schuler*-ingán alapszik: ez olyan fizikai inga, melynek redukált hossza a Föld sugarával egyenlő. A *Schuler*-inga mindig a Föld középpontja körül leng, így érzéketlen a gyorsulásokkal szemben; lengésideje kb. 84 perc, ezért nyolcvannégyperces ingának is nevezik. *Fleurier* tökéletesítette ezt az ingát és alkalmassá tette repülési célokra; jelenleg a mesterséges horizont egy pörgettyű, melynek precessziója vette át a *Schuler*-inga funkcióját.

E kis kitérő után rátérhetünk *Eötvös Lóránd* érdemének méltatására, melyet a kétféle tömeg azonosságának kísérleti igazolásával szerzett: Einstein a reá való hivatkozással állította fel elméletét. Magáról az általános relativitásról annyit célszerű elmondani, hogy az kiterjeszti a speciális elmélet érvényességét egyenesvonalú egyenletes mozgásról tetszőlegesen; kísérletileg elsősorban *Eddington* igazolta az 1919-es napfogyatkozás alkalmával; további bizonyítékai között megemlíthetjük még a Merkúr bolygó perihéliummozgását, melyet később a többi bolygóra is kimutattak.

Nem maradhat ki az ismertetésből Einstein gravitációs elmélete márcsak a „miért és hogyan” problematikája miatt sem: *Arisztotelész* szerint a testek a „helyüket keresik”, a nehezeké lent, a könnyűeké fent van. Ez egyfajta válasz a „miért” kérdésre, melyre Newton nem felelt, mindössze a „hogyanra” adott elképzelést a távolba ható erő feltételezésével. Einstein visszatért a „miérthez”: a tömegvonzás oka a geodetikus vonal pályamódosulása a tömegek közelében.

Így Einstein gravitációs elméletével együtt beszélnünk kell a négydimenziós tér-idő kontinuumról, melynek geodetikus vonalai mentén történik az „egyenesvonalú” mozgás. A *Minkowski*-féle négydimenziós világnál tehetünk egy kis kitérőt a *Beltrami*-féle felületlakók irányába; ez érdekes színtörténet lehet „mesénk”-nek. Elmondhatjuk például azt is, hogy e felületlakók számára a kör „zárt”; ha elektromágnessel vasreszeléket juttatunk kívülről egy kör belsejébe, az okos felületlakó tudni fogja, hogy ez a számára felfoghatatlan harmadik dimenzió keresztül történt. Ugyanígy lehetne bejutni egy lezárt szobába a negyedik dimenzió keresztül.

Az általános relativitáselmélettel kapcsolatban megemlíthetjük még az óra (vagy iker) paradoxont is, végül fejtegetéseinket az Einstein-egyenlet de Sitter-féle dinamikus megoldásának és a vöröseltolódás Hubble-Humason állandójának mérésére vonatkozó eredmények ismertetésével zárhatjuk.

Mesélni lehet még az entrópiáról is, megemlítve, hogy a rendezetlenség mértékének növekedési tétele\*\*\* ellentmond a biológia evolúciós törvényének. Semmiképpen sem árthat, ha itt felhívjuk tanítványaink figyelmét arra, hogy milyen következtetésre jutott ebből *Bergson: Teremtő fejlődés* valamint *Teilhard de Chardin: Az emberi jelenség* című munkájában.

Az anyag hullámtermészetéről szóló „mesénket” célszerűen a sugárzási formulák történetének ismertetésével kezdhethetjük. „Planck arra a kérdésre kereste a választ, hogy az ún. abszolút fekete test (ilyen pl. egy belül kormos gömb, melyen egy kicsiny lyuk van; a lyuk az abszolút fekete test) által kisugárzott energia hogyan oszlik el az egyes rezgésszámok között. Ez az eloszlás például „normális” az emberek testmagassága esetében (felrajzolhatjuk a táblára a harang-görbét) „az ábrán azt láthatjuk, hogy hány olyan ember él Budapesten, akiknek a testmagassága 169 és 170 cm közé esik. Planck azt kereste, hogy milyen alakja van egy ilyen tulajdonságú ún. sűrűségfüggvénynek különböző hőmérsékletű abszolút fekete testek esetén. Támpontja több is akadt: a *Stefan-Boltzmann*, a *Rayleigh-Jeans* valamint a *Wien*-féle törvény. Planck olyan függvényt keresett, amely mindezeket magában foglalja. Az általa alkotott függvényben, mely a frekvenciát és a hőmérsékletet tartalmazta független változókként, felvett még egy mennyiséget, melyet *h*-val jelölt; tudni kell, hogy a differenciálszámításnál a független változó növekményét nemcsak *dx*-szel, hanem *h*-val is szokás jelölni. Plancknak az volt a terve, hogy ezzel a *h*-val nullához fog tartani: ámdé kiderült, hogy így visszakapja a felsorolt egyik, már ismert törvényt, mely a tartománynak csak egy részét írja le helyesen. Amikor azután az atomok által sugárzott fény természetéről olvasott, hirtelen az az ötlete támadt, hogy nem kell a *h*-val nullához tartania, mert annak egy jól meghatározható, kicsiny számértéke van. Ez a felismerés vezetett az energia atomos szerkezetének megállapításához. A *h*-val jelölt – ma már Planck féle állandónak nevezett – mennyiség univerzálisnak bizonyult a természetben, mely a *Bohr*-féle atommodellben és a spektroszkópiában is alapvető szerepet játszik.

Volt azonban az energia atomos szerkezetével egy nagy bökkenő. Az, hogy a fény, hő, rádió stb. ún. elektromágneses sugárzás terjedésekor hullámként, kibocsátás illetve el-

\*\*\* A véges világegyetem zárt, így a tétel alkalmazható.

nyelés során viszont részecskeként viselkedik. Newton még kétszáz évvel korábban csakugyan azt gondolta, hogy a fény kis golyócskákból áll, ámde Huygens az optikai rács segítségével kimutatta, hogy a fény interferenciára képes, tehát hullám. Most tehát itt volt a nagy dilemma: hullám-e vagy részecske a fény? Nemsokára kiderült, hogy nemcsak a fényvel, az anyaggal is baj van: Bohr *nem tudta*, hogy az általa felállított atommodellnek az akkori (ún. klasszikus) fizika törvényei szerint akkor is sugározni kellene, ha az atomot nem „gerjesztik” fényvel, és így az atommag körül keringő elektronnak bele kellene zuhannia az atommagba. Ha azonban feltesszük, hogy az elektron is hullám, azaz nemcsak a fénynek van kettős (anyagi és hullám) természete, hanem az anyagnak is, akkor a hullámnak már nem kell beleesnie az atommagba. Tehát nemcsak a fénynek, hanem az anyagnak is kettős természete van.

Az anyag hullámtermetése bizonyossággá vált, amikor *Debye* és *Scherer* kimutatta, hogy anyagi részecskékké is létre lehet hozni interferenciát, azaz két kis „golyó” képes kölcsönösen megsemmisíteni egymást. Anyaghullámmal vált lehetővé például az elektronmikroszkópia.

A fény és az anyag kettős természetének felfedezése, akárcsak az éterhipotézis eljéteése alapjaiban rázta meg a klasszikus fizikát; *Drude*, ismert fizikus öngyilkos lett miatta. Ezek után még pár szóval ismertetni lehet szerintem a határozatlansági relációt annak ismeretelméleti következményeivel együtt, megemlítve természetesen, hogy mint minden fizikai törvény, az idők folyamán ez is változhat. „Majd szólok, ha ez bekövetkezik” – zárhatjuk le a kvantumelmélet gimnáziumban szokásosnál részletesebb, mesészerű ismertetését.

Hasonlóképpen beszélhetünk az okság elvéről is a kinetikus gázelmélet, rádióaktív bomlás stb. tananyaga kapcsán. Itt elmondhatjuk, hogy „ha testünk valamennyi részecskéje Brown-féle mozgása során egyszer csak egy irányba kezdene mozogni, felemelkednénk a földről. Ez nem lehetetlen, csak rendkívül valószínűtlen esemény. Kant német filozófus szerint „okság a természetben nincs, csupán a mi fejünkben van.”

A tanár nemcsak saját elhatározásából mesélhet. Tanárjelölt koromban a már említett Messik Béla bácsi óráján (akkoriban még nem vált szét a matematika és a fizika vezető tanári feladatkör; én nem is vagyok híve sem ennek, sem az egyszakos tanárképzésnek) egy tanuló megkérdte tőlem, hogy mi okozza a víz anomáliáját, azaz hogy 4 °C-on a legsűrűbb, fagyáskor pedig kiterjed. Persze egyikünk sem tudta a választ, szerencsére a következő fizika óráig sikerült megkeresnünk a polihisztorságáról jólismert *Neugebauer* professzort, aki a gömbvillámtól kezdve a lepkeszárnyak szintulajdonságáig mindent tudott. A víz anomáliájával kapcsolatban is elmondta nekünk *Kossel* és *Kikuchi* alig 1-2 évvel korábbi, erre vonatkozó kutatásainak eredményeit. Mint az ma már jól ismert, a két tudós röntgendiffrakciós vizsgálattal kimutatták egyes folyadékok – köztük a víz – kvázikristályos szerkezetét. Ez a szerkezet (amit úgy kell elképzelnünk mint szögeket egy zsákban) alakul át azután 4 °C-nál, akárcsak a kvarc és a tridemit. Úgy gondolom, hogy a diákok megértették ezt a magyarázatot; napjainkban mindez még kiegészíthető a műszaki alkalmazásokkal (folyadékkristályos kijelző egyes számítógépeknél és esetleg ilyen elven működő TV).

Mesélni nemcsak fizikaórán lehet. Pithagorasz tételével kapcsolatban említést tehetünk a pithagoraszi számokról; szakkörön esetleg ezek generálásáról is a megfelelő diofantikus egyenlet megoldásával. De el lehet mondani azt is, hogy a múlt század óta többször felmerült már az a javaslat, hogy a Föld felületén ki kellene világítani egy óriási Pithagorasz-tétel ábrát (a derékszögű háromszög oldalaira rajzolt négyzetekkel) hogy a földön kívüli esetleg értelmes lények így szerezzenek tudomást rólunk és esetleg kapcsolatba lépjenek velünk.

Megemlíthetjük még a pitagoraszi számokhoz kapcsolódva a Fermat-tételt is: ha a kivető nagyobb, mint kettő, nincs egészszámú megoldás; nincsenek pithagorasz-szerű köbszámok stb.

Ugyancsak megemlíthetőnek tartom a Bolyai illetve a szférikus geometria létezését, előbbinél a pszeudoszférikus modellel együtt. (párhuzamosok axiómája, háromszög szögösszege) Azokban az osztályokban, ahol a komplex számfogalom és egyes tételek (*Möivre*) is tananyag, megemlíthetőnek tartom az *Euler*-féle relációt valamint a hiperbolikus

és trigonometrikus függvények kapcsolatát is. Úgy vélem, hogy a tanulók későbbi gondolkodására nagy hatást gyakorol, ha látják a „másságot”, mely íme a száraznak és unalmasnak kikiáltott matematikában is megnyilvánul. Már-már misztikusnak is felfogható az olyan távoli területek, mint a komplex számok és a Bolyai féle hiperbolikus trigonometria összefüggései. (Teilhard de Chardin szerint annak is kell tekintenünk azokat).

Kossuth-díjas akadémikus főnököm abban a gimnáziumban tanított, ahová én is jártam. Tanítványai rajongtak érte, mert az órákon „mesélt”; ez persze nem jelentette azt, hogy nem kellett tanulni nála.

„Meséi” rendszerint saját kutatásaihoz kapcsolódtak; ezt úgy tudta tálalni, hogy tizenéves hallgatósága is megértette. Azt hiszem, örömmel tanított. Amikor *Erdey-Grúz Tibor* miniszter és akadémiai főtitkár elvtárs elbocsájtással fenyegette, mert könyvét egy feketelistán lévő – jőnevű – nyugati könyvkiadónál jelentette meg, azt mondta nekem: „visszamegyek gimnáziumi tanárnak, talán oda még jó vagyok”. De aztán megszünt a prémiummegvonással.

*Balmer, Ohm, Kármán Tódor* gimnáziumi tanárok voltak hosszú ideig. Szocialista átszervezése előtt a *Magyar Tudományos Akadémián*ak több gimnáziumi tanár tagja is volt. A kommunista hatalomátvétellel ez a helyzet gyökeresen megváltozott: tudós csak az lehetett, akit a Párt erre méltónak talált. Szövönőből és kárpitossegekből lett akadémikust igen, *Hamvas Bélát* nem; belőle könyvtárraktáros lett. A pedagógusoknak eleinte tanítás előtt Szabad Nép félórán kellett résztvenniük, igaz, számomra némi színfoltot jelentett, hogy pedellusból lett párttitkárunk fonetikusán olvasta az akkori francia miniszterelnök nevét (*Pinay*). Még ma is fülembé cseng a gépirólányok kuncogása.

*Geőcze Zoárd, Kacsóh Pongrác* matematika-fizika szakos tanárok nevét egykori működésük színhelyén emléktábla őrzi; mindketten iskolájuknak is köszönhetik sikereiket. Kacsóh Pongrác daljátékát először középiskolás diákjai adták elő, itt figyelt fel rá egy – ma így mondanánk – menedzser vagy impresszári. Kacsóh egyébként elméleti fizikából doktorált.

Geőcze Zoárd felületelméleti vizsgálatainak eredményét a gimnázium értesítőjében publikálta; tanártársa *Babits Mihály* felkérte, hogy vezesse be a felsőbb matematika „rejtelméibe”. A Horthy-rendszerben csaknem minden patikusnak volt valamilyen saját – háziszerezhető – receptje: gyógycukorka, kézkenőcs stb. Hasonló volt a helyzet a matematika tanárokkal is: sokan saját módszerükkel végeztek pl. a négyzetreemelés; a másodfokú egyenlet megoldást nem a szokványos úton, hanem a Tschirnaus-transzformációval tanították és volt, aki a szögfüggvények addíciós tételét saját levezetésével oktatta. Mindez növelte a tanár tekintélyét, így nem kényszerült a pálya elhagyására az, akinek alkotói hajlamai voltak.

Az ún. „Fordulat Éve” után gyanús lett az a tanár, aki ilyesmiben sántikált. Szabadidejében tyúkot oltani, gyapotot szedni, gumipityangot ültetni küldte a Párt, de kiélhette alkotóhajlamait úgy is, ha csasztuskát írt a termelésben élenjáró dolgozók felköszöntésére. Kitüntetésként még be is taníthatta és előadhatta tanítványaival iskolakezdes előtt a megtisztelt dolgozó lakása előtt. De jó pontot szerzett az is, aki építőtáborban, gyümölcszedésen vett részt diákjaival. A tudományos munkát az Akadémia „koordinálta” és ebben nem maradt hely a középiskolák tanárainak.

Elismerem, hogy a napi gondokkal küszködő, másod- és harmadállást vállaló, nyáron kabinosi, télen hólapátolói „tisztet” betöltő tanárnak ma sincs energiája továbbképzésre. Ez a helyzet azonban nem tekinthető tartósnak és előbb az elitiskolákban, később másutt is újra becsülete lesz a „tudós tanárnak”. A szemünk előtt lejátszódó műszaki fejlődés ehhez jó alapot szolgáltat. A ma már egyre jobban hozzáférhető számítógépekkel nemcsak ügyviteli feladatokat lehet megoldani; jól felhasználhatók ezek a tudományos munkában is. Új, numerikus-gépi módszerek létrehozása és kipróbálása például a műszaki tudományoknál fontos szerepet játszó parciális differenciálegyenletek és rendszerek megoldásában, új programozási eljárások kidolgozása, szoftverfejlesztés tudományos célokra stb. Mind-mind megannyi lehetőség ambíciózus, de a pályán maradni kívánó pedagógusok számára. A Párt irányításától és az akadémia gyámkodásától megszabadult magyar tudományos élet pedig jele visszafogadni az eddig méltatlanul kirekesztett pedagógustársadalmat. Ennek első jele lesz, ha középiskolák is kapnak OTKA támogatást.

## Megjegyzések Fáy László cikkéhez

*Jelenlegi kiegészítésünkben néhány olyan kérdésben mondjuk el véleményünket, amelyben Fáy Lászlótól eltér. Az ellenvélemény megfogalmazása nemcsak azért fontos, mintha féltő volna teljesen egyetérteni a cikkel, hanem azért is, mert a tananyagra vonatkozó jelenlegi kötetlenség lehetővé teszi, hogy viták és próbálkozások során választódjon ki az a célirányos tananyag, amely egyrészt az általános műveltség kialakításához, másrészt a továbbtanuláshoz szükséges ismereteket tartalmazza.*

1) A cikkben történő első kiemeléssel az analízis középiskolai taníthatóságáról egyetértünk. Nem fogadjuk el azonban azt a magyarázatot, amely a marxista ideológia alapján *Lenin*-idézetből próbálja származtatni az analízis ezen száműzését. Ha ez a száműzés ideológia következménye lett volna, akkor az egyetemi tananyagból is kihagyták volna (na még csak az hiányzott volna pl. a természettudományos kurzusokról!) az analízis oktatását. Ez pedig – szerencsére! – nem történt meg. A középiskolásokba az idealizmus szellemét nem olthatjuk bele, ugyanez a főiskolán már megengedhető lenne? Ez következtelen és *Lenin* sem gondolhatta így. Inkább elfogadom a reform okaként azt a jóval praktikusabb magyarázatot, amely a pedagógusok anyagilag sohasem megbecsült helyzetével függ össze. Minden új tananyag kidolgozása új kereseti lehetőség, így akkor is érdemes cserélni, ha periodikusan ismétlődve kerül újra sorra. Lehet, hogy ez nagyon rosszízű vélemény, mindenesetre a megoldás ez esetben a méltányos anyagi megbecsülés, nem pedig a tananyag reformigényű, de gyakorlatilag változtatott felcserélgetése (analízis igen-nem, kombinatorika igen-nem stb.).

2) Szeretnénk hangsúlyozni, hogy *Péter Rózsának* nemzetközi híre van, a magyar matematika kitérőségei között tartjuk őt nyilván. Támadott pedagógiai-felfogása – elég magas szemszögből nézve – a második világháború elvesztéséből ered; utána mindent másoltunk, utánoztunk, külpolitikánkat, gazdasági rendszerünket, véleményeinket társadalomról, politikáról, gazdaságról, Istenről, Istenzáról, családról, természetesen kultúráról is, így tananyagok minőségéről és kommentálásáról. Példaként idézem néhai *Fényes Imre* professzorom és tanítómesterem tréfásan megdöbbentő jegyzőkönyve dokumentumát, amely a debreceni *Kossuth Lajos Tudományegyetem* (ott ő tanszékvezető egyetemi tanár volt, és így tájékozott) pártkezdeményezése alapján (1950-es évek eleje) rögzíti az oktatási ütemtervet a következő fogalmazásokkal: „Az első félévben a tömegpont és a pontrendszerek mechanikáját tanítjuk *versenyben*, a második félévben a merev és deformálható (rugalmas, plasztikus) testek mechanikáját oktatjuk *versenyben*” – kiemelések tőlünk. Némi túlzással olyan ez, mint a közkeletű vicc, amely szerint a Szovjetunióbeli munkaverseny győztese egy karmester lett, aki három és fél perc alatt elvezényelte Beethoven kilencedik szimfóniáját. A kis kitérével *Péter Rózsáról* mondjuk azt, hogy a hivatalos álláspont tendenciájába ő így állt be, hiszen valahogyan kötelező volt.

3) A fizikaoktatás is elkövetett hibákat; Fáy László kollégánk nagyon jól idézi az erő elhibázott definícióját és a szabatos definíciót is: „az az ok, amely a test mozgásállapotát megváltoztatja”. Hadd tegyük hozzá, hogy a jól idézett, de hibásra tömörített definíció is jó lenne, ha részletesebben, pontosabban fogalmaznák: így: a kölcsönhatás – energiaátadás (energiaáramlás). Az energia átadását rendszerint kíséri még valamilyen más megmaradó mennyiség átadása is; amikor ez a másik mennyiség történetesen az impulzus, akkor az impulzus árama (idő szerinti deriváltja) az erő. Ha történetesen kémiai anyagkomponens a másik átadott szubsztancia, akkor párolgás sebesség a megfelelője az erőnek. Ha elektromos töltés az átadott szubsztancia, akkor feltöltődési-kisülési áram az erő megfelelője. Ha nincsen más átadott szubsztancia az energia mellett – ez a kölcsönhatás a hőhatás –, akkor inkább bevezetünk, definiálunk egy olyan mennyiséget – az entrópiát –, és már mondhatjuk, hogy az energia átadása mellett az entrópia is átadódott.

4) Tegyük hozzá a jó alkalomkor idézett szóláshoz is – „amit nem tanult meg Jancsi, nem tudja azt János” – a kiegészítésünket, tehát nem az ellenvéleményünket. Valóban, a meg nem értett anyag tudatlanságot hagy meg. Így keletkezik a folyamatot sematizáló, egyszerűsítő matematikai modellezéséről alkotott „pityke a kalap mellé” című becsmérlő lekcisíjlys. Amikor a műszaki fejlesztésre szánt összeg nem tartalmazza a létesítéshez elegendő összeget, akkor a matematikai modell és a kapcsolt kutatási munka nem tud gyümölcsözővé válni, így a szűklátókorú, kegyetlen minősítés feleslegesnek találja a modellt is. Márpedig a beruházásokat egészen más személyes anyósági érdekeltsgű körök szabályozták, ezért a modellezésből levonható prognózist nem vették igénybe, így nem fejlesztettek ki semmit se, tehát nem is fejlődött semmi.

5) Szeretnénk megjegyezni, hogy a termostatika és termodinamika szabatos, Fáy László által is említett elnevezések – sajnos nem fognak megvalósulni, úgy látszik a termodinamika és irrever-

zibilis termodinamika elnevezés fut be a közlés többségi döntésével. Nem nagy baj, hiszen a hőmérő sem hőt mér, a lóerő sem a ló ereje, hanem a teljesítménye, még csak nem is jó közelítéssel.

6) A termikus jelek a *Fourier-féle* hővezetési elmélet szerint végtelen sebességgel terjednek, amit a fizikusok nem fogadnak el. Pontosabb megfogalmazást adni az irreverzibilis termodinamika sem tud, csak az úgynevezett *extended irreversible thermodynamics* (kiterjesztett irreverzibilis termodinamika) fogalmazta meg a hővezetés olyan egyenletét, amely hiperbolikus típusú. Ez véges sebességű jelterjedést ad. A termosztatika azonban sokszor megdöbbentően pontos tud lenni, ezért nem fog az elavult elméletek sorsára jutva eltűnni, hanem olyan megvilágításba kerül, hogy a jó, de bonyolult elmélet helyett kényelmi okokból az elég pontos, de mégis elvileg hibás egyenletet célszerű használni. A hiperbolikus hővezetést sokan támadják kiinduló egyenletének empirikus jellege miatt.

7) A mesterséges horizont elnevezést nem hallottuk, a cikkben szereplő műszert műhorizont néven tanultuk.

8) A modern fizika szemléletmódjának, eredményeinek mesészerű oktatásával nagyon egyetértünk. A modern természettudományos világkép kialakítása fontosabb a nem reál területre készülő diáknak, mint az egyenletek biztonságos alkalmazása példák megoldásában. Felvetjük azonban azt a kérdést, hogy nem szakkörben tanítandó-e ez, vagy talán a szakkör legyen a kvantitatív fizika gazdája.

Zárószóként megismételjük: Fáy László kolléga javaslatait a cikkünkben felsorolt kiegészítésekkel nemcsak megfontolandónak, hanem követendőnek is tartjuk.

TÖRÖS RÓBERT