

véletlenszerűen gomolyfelhők keletkeznek, a hidegfront pedig általában viharos szellőkéssekkel érkezik, és erős zivatarokat hoz. Ugyanakkor nyáron a tartósan meleg, télen a tartósan hideg és mindkét esetben gyakorlatilag felhőmentes időért az erős, nagykiterjedésű anticiklonok felelősek.

A fentiekben vázolt kép természetesen elnagyolt. Az időjárást rengeteg helyi tényező alakítja, a szárazföldek és vizek váltakozása, a hegységek elhelyezkedése mind-mind befolyásoló tényező, a mikroklímán akár egy faszor kivágása is változtathat.

A FIZIKA TANÍTÁSA

AZ ÖCSKÖS FELESÉGE

Az 1960-as évek elején egy néprajzkutató expedíció valamelyik esőerdő rejtett zugában egy kicsiny embercsoportra lelt, amely még hamisítatlan kőkorszaki állapotban éldegélt. Ugyan találtak már modern emberrel, de hagyományaikat, mentalitásukat romlatlanul őrizték. Az expedíció beszámolója szerint ismerték a házasság intézményét, sőt a házasságtörés intézményét is, az idevágó eseteket nem súlyos megtorlással, hanem ajándékokkal intézték el. Ami érdekes, az a következő. Az öcs távollétében a bátyja minden további nélkül „igénybe vehette” az öcs feleségét, ez nem számított bűnnek. Ennek a fordítottja azonban tiltva volt, a bátyja távollétében az öcs nem közeledhetett annak feleségéhez.

Kedves Kollégák, mindazok, akik jelen vannak, és azok is, akik egy felhő szélén ülve néznek most le ránk! Mostanában, a modern fizika megszületésével kapcsolatban, száz esztendő jubileumokhoz vagyunk szokva. Az első hazai középiskolai fizikatanári ankét nagyjából a közepére esik ennek az intervallumnak, s mint látni fogjuk, időpontja egy valóban rendkívüli fordulóponttal esik egybe. Ezért az első ankétig szálunk vissza gondolatban, s onnan pillantunk először hátra, azután előre.

A világ az 1957. évi fizikatanári ankét előtt

A visszatekintést már megkezdjük. Mit sugall a bevezető epizód? Csak egy magyarázat képzelhető el. (Az expedíció beszámolóját tekintjük most pedagógushoz illő jó szívvel hitelesnek.) Munkamegosztás még nincs, iskola, könyv nincs, a tudás letéteményese az életkor. A felidézett kép tehát nem fertő, inkább „idil-

A 2007 tavaszán Szegeden rendezett 50. Fizikatanári Ankétan elhangzott előadás.

Irodalom

1. Czelnai Rudolf: *Bevezetés a Meteorológiába I. Légkörtani alapismeretek*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
2. Czelnai Rudolf, Götz Gusztáv, Iványi Zsuzsanna: *Bevezetés a Meteorológiába II. A mozgó légkör és Óceán*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
3. Tasnádi Péter, Juhász András, Horváth Gábor: *Fizika körülöttünk*. Műzsák, Budapest, 1994.
4. W.J. Burroughs, B. Crowder, T. Robertson, E. Wallier-Talbot, R. Whitaker: *Meteorológia*. Trio, 2000. (angol eredeti: US Weldon Owen Inc., 1996.)
5. Mészáros Ernő: *A Környezettudomány alapjai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001.

Károlyházy Frigyes
ELTE Fizikai Intézet

likus állapot”: a Tudásalapú Társadalom eszményi megvalósulása.

A munkamegosztás kialakulása teret ad az egyéni képességek érvényesülésének. „Az ügy a fontos, nem az egyén” őskori vízióját háttérbe szorítja a dicsőség káprázata. Az önbecsülés alapja elsősorban az egyéni helytállás lesz és marad napjainkig.

Úgy tűnhet, nem így volt, amikor Nyugat-Európában az 1100 körüli évtizedekben viszonylagos hirtelenséggel megszilárdult a kereszténység. „Hajszál híján” megvalósult a társadalomnak a Tudás áhítatos tiszteletére alapuló „nagy egyesítése”. A Tudás itt az *isten i gazság* befogadását jelenti, amelynek a *kinyilatkoztatás* a forrása. „Vannak idők az emberiség történelmében, amikor a föld mintha hirtelen felmelegedne, vagy radioaktívvá válna” – írja *Kenneth Clark* erről a korszakról szólva. „Mondják (a krónikák), hogy a hívek maguk álltak be a kőszállító kocsik hámjába” – teszi hozzá, a székesegyházak építésével kapcsolatban.

1. ábra. Gislebertus: Három király



Mivel nem egy katedrális és szobor alkotójának nem ismerjük a nevét, fel-felbukkan az a nézet, hogy ez a művészek odaadó alázatának a megnyilvánulása. De még ha esetenként lenne is igazság ebben, bizonyos, hogy a lázadás is kezdettől fogva jelen van a túlzott mértékű önfeladás ellen.

Naiv hit, lefegyverző üdeség sugárzik az autuni székesegyház három királyokat ábrázoló oszlopfőjéből (1. ábra). Mégis jól ismerjük az oszlopfő (s vele az egész székesegyház) építőjének a nevét. A főkapu közepén, Krisztus lába alatt, öntudatos felirat (2. ábra) hirdeti: „Gislebertus hoc fecit.”¹

Abélard-tól a 20. század közepéig

Valamilyen hasonló, építve lázadó, mindig a nagy igazságok felé törekvő, de a kutatás szabadságáért, önállóságáért is harcoló szellem élte és tartotta a legnemesebb szolgálni valók között a tudományt Abélard-tól a 20. századig. Nem is annyira a tudnivaló, mint inkább a megismerésének a módja állt olykor a vita középpontjában. A kinyilatkoztatás elsődlegességéért síkraszálló vitapartnerekkel szemben a fényes hitvitázó Pierre Abélard 1122-ben ezt vallotta: „A kételkedés útja vezet a kérdésekhez, a kérdések útja pedig az igazsághoz.” Az igazság szenvedélyes keresése, forrásainak „önmardosó” elemzése örökül maradt az újkor évszázadaira.

A reneszánsz és a felvilágosodás korszakaiban a tudományos gondolkodás a *transzcendens* felől a (tapasztalattal és ésszel) *megfogható* felé mozgott, gyorsan gazdagodó eredményekkel.

De csakhamar megjelent egy újfajta „felfoghatatlanság”, legjobb példa az abszolút tér és idő fogalma. Különös ellentét: Az égi mechanika diadala az $ma = F$ mozgástörvény, valamint a gravitáció *minden testre kiterjedő* érvényéből fakad, mégis, éppen e miatt az általánosság miatt, nem lehetett semmi kézzelfoghatóra rámutatni azzal, hogy „ehhez képest értendő a testek gyorsulása”. Méltó viszonyítási alapot keresve *Newton* bevezette az abszolút tér és idő fogalmát. Ő maga is birkózott velük, de, hogy például a „minden anyagi folyamattól függetlenül telő abszolút idő” a tapasztalati megközelítés szempontjából *kísértetfogalom*, azt *Kant* (1724–1804) ismerte fel a legvilágosabban.

A sikeres elmélettel való természetlen szembefordulás helyett *Kant* óriási hatású lépést tett: a szóban forgó fogalmakat *a priori* (tapasztalatot megelőző, velünk született) *szemléleti forma* rangjára emelte. Megalkotta azt a koncepciót, hogy elménk a megismerés során csak bizonyos, *a priori* gondolatstruktúrák mentén haladhat, arról, ami ezeken kívül van, semmi biztosat nem mondhatunk.

Ezzel *Kant* mentőövet dobott, nem is annyira az égi mechanikának, mint inkább a 19. századi, különösen annak második felében a mikroszkopikus kölcsönhatásokkal foglalkozó fizikának. Az anyag belső szerke-



2. ábra. Az autuni székesegyház főbejáratának részlete.

zetével kapcsolatos jelenségek körében sehogy sem sikerült konzisztens, imponáló képet kialakítani. (Egyáltalán nem csoda, hogy *Ostwald*, a neves kémikus, még 1902-ben is kijelentette, hogy „aki a vegyületeket atomokkal kívánja magyarázni, ugyanolyan ostobaságot beszél, mint ha a gőzmozdony működését azzal akarná magyarázni, hogy egy ló van benne elrejtve”.). De hogy lehetett így élni? Nos, a belenyugvás abba, hogy az érzékelésünk számára nem közvetlenül hozzáférhető mikrovilágból hiányzik az összkép, a fejlődés záloga volt, s ehhez a „kibúvót”, a biztonságérzetet a grandiózus kanti tanítás adta meg elménk rendező erejéről. (Ez a tan még 1960-ban is élt idős koponyákban!)

Szélesebb körben mindez egyszerűen a „józan ész” és a köznapi szemlélet iránt érzett bizalmat jelentette. Ezzel függ össze, hogy az elektromos és mágneses *mező* fogalma alig szerepelt az iskolában. Másfelől az ipari forradalom után a nagy horderejű alkalmazások is segítettek (kezdetben igencsak lassan!) fenntartani a fizika tekintélyét.

Fizikatanítás 1945 előtt

Az elmondottak alapján elképzelhetjük, milyen lehetett nálunk a fizikatanítás a második világháború előtti és alatti években. Némelyek számára ez az időszak még személyes emlék, számos pedagógiai megoldás máig él.

- Az anyag bőséges. A csillagászathoz (is) kapcsolódó matematikaanyagban a gömbháromszögtannal találkozhatunk.

- A tárgyalás alapos. Ha egyszer a súlypont fontos fogalom, akkor a helyét viszonylag komplikált alakú testek esetében is meg kell tudnunk határozni.

- Az elemzés nem mély („nem kukacoskodik”). Az alapokat kár elvileg firtatni, megérteni az alapok további következményeit kell. (Ez csapott át az ellentétébe a 70-es években a nagy reformtervek során.) Az Atwood-féle ejtőgépet aggály nélkül használták, ami pedig a reformlendület idején elmondhatatlan bűn lett volna (talán mint kollégánk feleségének elcsábítása?), hiszen tisztázatlan marad, hogy pontosan mi gyorsít mit.

¹ Ezt Gislebertus készítette.

• A 20. század elején végbement „forradalom a fizikában” viszont kimarad a tananyagból, mintha csak álom lett volna! Pedig 1940-ben a Planck-törvény már 40 éves, a fotoeffektus értelmezése vagy a relativitáselmélet alig fiatalabb!

Mi ennek a némaságnak a magyarázata?

Válasz: Az új fizika legelső megállapításai – és pedig éppen a leglényegesebbek – egyáltalán nem bonyolultnak, hanem nagyon is világosan áttekinthető *képtelenségnek* tűnnek. Például: Elindítunk egy fényjelet, majd egy idő után, amikor már messze jár, utána eredünk. *A fény hozzánk viszonyított sebessége nem változik meg attól, hogy üldözőbe vettük.* Vagy: A fénykvantum – „köznapi” nevén a foton – a legegyszerűbb esetben egy atomból bújik ki, és már az igen korai megfigyelések szerint is elérheti a másfél méteres hosszúságot, mielőtt „elszakad” az atomtól. De hát akkor hogyan jön ki? Fél foton nincs, az viccelődés lenne a kvantum fogalmával. Egyszerre kipattan? Akkor mit jelent az, hogy rezgés kelti?

A 20. század első évtizedeiben az úttörő kutatók is forrongva és tapogatózva álltak az új fizika misztériumával szemben. Szó sem lehetett arról, hogy az iskolában a modern fizika alapjait a szokásos módon, „lépésenként építsék rá” a korábbi ismeretekre. (Egyszerű tények megjelentek ugyan hőszugárzásról, radioaktivitásról, de csak szelídített oroszlánként.) *Nem-bogy az iskola, a tágabb tudományos világ sem érezte át a sok „fából vaskarika” jelentőségét.*

Fordulatokra korábban is volt példa a tudomány történetében. Mi teszi egyedülállóvá a 19. és 20. század fordulóját?

Röviden: *A tudományos gondolkodás végérvényesen kinőtte az idegrendszer ösztönös tudását.*

Már a kutyanak is van valamilyen „képe” (szakszerűbben: *az evolúció során az idegrendszerében kiépült modellje*) a világról. Félreugrik a feléje hajított kő elől, jelezve, hogy „tisztában van Newton első axiómájával”. Az ember esetében ösztönös tudáson, lazán szólva, éppen azt a *velünk született* (ma hozzátesszük: „illetve a születés utáni gyors kialakításra előkészített”) szemléleti alapot érthetjük, amelyre Kant felhívta a figyelmet. Korábban ez az alap elég szélesnek mutatkozott ahhoz, hogy a tudományos spekulációkat hordozza, ezért is tűnt véglegesnek. Kant még nem, de 1900 táján – évtizedekkel *Darwin* után – a fizikusok már „gondolhattak volna rá”, hogy *ez a szemlélet is evolúciós termék*, igenis (évmilliós) tanulás eredménye, így meghaladható – éppen ez következett be a fizika forradalmában. Amíg ez a tanusz nem esett le, az új fizika felfoghatatlannak tűnt. De ahhoz, hogy leessen, először annak az *átérzésére* lett volna szükség, hogy *a biológiának egyáltalán valami köze lehet a fizikához, aminek épp az ellenkezője élt a köztudatban.* Ezért az egységesebb nézőpontra – a kutatók egy szűk körét leszámítva – még fél évszázadot kellett várni.

Ma már tudjuk: a rafinált műszeres megfigyelés közvetítésével megragadott új világ *nem abszurdum, csupán „képtelenség”.* Az új tapasztalat rendezéséhez

a bennünk élő szemléleti képeknél *átfogóbb érvényű,* tehát *elvontabb,* matematikai ízű alapfogalmak szükségesegek, amilyen például a *téridő, tér és idő* helyett, vagy a *valószínűségi amplitúdó,* valószínűség helyett. Ami lehetetlen, az nem a megértés, hanem csupán az új ismeretek beillesztése a velünk született („millió év alatt megszokott”) szemlélet keretei közé. (A fizikatanítás egén maradt egy kis felhő: az, hogy minden gyerekek *velünk született szemlélettel* születik.)

1957: „Összeomlott a klasszikus fizika”

1945. atombomba;

1948. a tranzistor születése;

1952. a szupravezetés magyarázata;

1953. hidrogénbomba;

1953. a DNS kettős hélix szerkezete, aminosavak keltése „ősatmoszférában”;

1957. a szputnyik fellövése;

A lista önmagáért beszél. A háború utáni 12 év átörölte a falat a korábbi közgondolkodás és a „tojásfejűek (elmélettel bíbelődő tudósok) zártkörű társasága” között. A modern fizika egyrészt becsületet szerzett az addig bizalmatlan rokon tudományok berkeiben, másrészt ellenállhatatlanul benyomult a mindennapok világába. Végül 1957-ben „túlhevített folyadékként” robbant (elsősorban az USA-ban, de Nyugat-Európában is) a felismerés: *Kell az $E = mc^2$, és kell a kvantummechanika!* A „társadalom egészének felrázása” elsősorban az első és az utolsó tételhez kapcsolható, a tudományos világ számára inkább *Watson és Crick* hőstette volt a döntő motívum. (A szupravezetés az elméleti fizikusok kedvéért szerepel a listán: a kvantummechanika nélkülözhetetlenségét bizonyította „nagyon bonyolult” rendszerekre is.) Mindenki számára *érzékelhetővé* vált, hogy a relativitáselmélet vagy a kvantummechanika újszerű igazságait, ha nem is értjük világosan, komolyan kell venni.

A világ az 1957. évi fizikatanári ankét után

Az 1957-től 1965-ig tartó periódus méltó folytatást jelentett.

1960. lézer;

1963. kvazárok;

1964. kvarkok;

1965. kozmikus háttérsugárzás;

Mindezek a felfedezések, egymást erősítve, valóságos „eufóriás lökeshullámot” indítottak el az 1960-as évek derekán a tudósok világában (s velük együtt az érdeklődő, művelt nagyközönség soraiban). A tudás ugyanolyan szent egységét ígérték az úrkorszak emberének, mint amilyenért a 11. és 12. század fordulóján lelkesedtek az emberek.

Amikor Francis Crick a kollégák közé betoppanva hírül adta, hogy „megfejtettük az élet titkát”, bizonyára át is élte, amit mondott. A ködös találgatásokhoz képest arról, hogy hogyan bújik meg a leendő almafa az alma-magban, a DNS szerkezete szédületes ugrást jelentett.

Hasonlóképpen, a 19. században tulajdonképpen azt sem tudtuk megmagyarázni, hogy miért van éjszaka sötét (Olbers-paradoxon), semmilyen racionális elképzelésünk nem volt a Világegyetem múltjáról. A *görbült tér* „nem semmi” koncepciója és az *ősrobbanás kísérleti bizonyítéka* (a háttérsugárzás) joggal kelthetett olyan érzést, hogy *megfejtettük a kozmosz titkát*.

A kvarkok bűbajos vonásai pedig azt sugallták: végre igazán belelátunk a mikrovilágba.

Új típusú nevelés

Az eufóriával párhuzamosan a hidegháború, a nukleáris fenyegetettség világszerte ráterelte a figyelmet a tudósok felelősségére, „az emberiség felnőtté válásának” a szükségességére.

Ennek a felbuzdulásnak két pedagógiai hajtása támadt:

1. A *korai* természettudományos szemléletre, gondolkodásra való nevelés ideája, hogy a kisgyerekkori fogékonyság ne maradjon kihasználatlanul, s a felnővekvő generáció nyitott, gyorsan alkalmazkodni képes tudás birtokában kerüljön szembe a különféle kihívásokkal.

2. Az *átfogó összefüggések, elvek* felmutatásának, sőt középpontba állításának a jelszava – mivel a gyerekek számára a *gondolkodtatás* az igazi kihívás, ami a betokosodás ellen óv –, más szóval a *mély megértés* programja.

A mozgalom 1958-ban Franciaországban indult, néhány év alatt átterjedt az USA-ra, onnan Kanadára. 1970-ben eljutott a Szovjetunióba s innen hazánkba.

A túlaradó kezdeti lelkesedés ellenére, sőt talán éppen ezért, ez a kombináció hibás, a hiba a koncepcióba *automatikusan beépülő erőltetés*, ami inkább bénít, mint ösztönöz.

Néhány példa.

Az általános iskola 3. osztályos tanulói számára a 70-es évek végén írt Környezetismereti Munkafüzetben bekeretezve áll a következő intelem:

„Jegyezd meg!

A fény és az átlátszatlan tárgyak kölcsönhatásának következménye az árnyék.”

És egy másik helyen:

„Jegyezd meg!

A változás időrendje megfordíthatatlan!”

A mai szülő talán legyint: „Ilyen apróságok becsúszhatnak, meg sem érintik a gyereket.” Akkor hát még egy példa, a halról szóló fejezetből:

„Egy nagy befőttes üveget töltsetek meg vízzel! Egyszerre ejtsetek le egy-egy darab 1 Ft-ost úgy, hogy az egyik a vízben, a másik a levegőben essen az üveg aljával azonos pontig. Melyik 1 Ft-os ér le hamarabb? Miért? Hogyan alkalmazkodott a hal alakja a vízben való élethez, mozgáshoz?”

Tessék átgondolni, az elvonatkoztatások és általánosítások milyen láncolatát kívánja ez a feladat a 8 éves gyerektől!

Nem pellengérré állítás a célom. A munkafüzet szerzőire nem felháborodással, hanem mélységes

együttérzéssel gondolok. Dehogyan akartak ők tudálékoskodni – amivel pedig megvádolták őket az elkésredett gyerekektől kiborult szülők és tanító néni –, éppen ellenkezőleg, a lehetőleg egyszerű felé igyekeztek „önfeláldozó erőfeszítéssel”. Igenis a kedves, a gyermeki felé igyekeztek –, de, hogy honnan? Hát a szigorúan tudományostól (annak véltől), mert a hirtelen támasztott „jött éve csodáknak...” mámor üdvöztető célként jelölte meg a kinyíló gyereklélekben a természettudományos világnézet megalapozását, s őket ez a mámor magával ragadta. (Tartozunk az igazságnak azzal a megjegyzéssel, hogy a túlzásoknak e konkrét formái a – szintén túlfeszített – gimnáziumi tantervből sugároztak át a környezetismeret lankáira.)

A tudomány nagyszerűségében hinni nem bűn. Hadd iktassam ide annak a fülszövegnek egy részletét, amely *Italo Calvino Kozmikumédia* című humorosan népszerűsítő könyvének nálunk 1972-ben megjelent magyar fordításához készült, s amely ma is vállalható:

„Az emberiség a lehetőségeknek az önmagunk elpusztításától az úrkorszak felépítéséig terjedő határai között saját kezében tartja a sorsát. A nagyobb szabadság közvetlenül nem felszabadulás-élménnyel jár, sokkal inkább *a megnövekedett felelősség nyomasztó terhét* érezzük.

Biológusok egy állatkísérletben két majmot rendszertelenül jelentkező áramutéseknak tettek ki. (Ha jött egy áramütés, az mindkét majmot érte.) Az *egyik* majom keze ügyébe gombot helyeztek, amelynek nyomogatására az áramutések kimaradtak (mindkét majomra vonatkozólag). Ha a nyomogatás abbamaradt, az áramutések egy idő után újra jelentkeztek. Mindig *az a majom pusztult el előbb*, amelyik a gombhoz hozzáférhetett.

Az emberiség számára a védekezés módja világos. Fel kell nőnünk szellemileg sokkal magasabbra, hogy a csillagsátor is olyan meghitté váljék, mint kétszemélyes druszája a nyári táborozáskor. A »nevelés« egyik legfontosabb lépése a természettudományos világnézet közkinccsé tétele. Akinek kijut a megismerés és a megértés gyönyöréből, annak nincs szorongása.”

A hit, tudjuk, hegyeket mozgat meg. De olykor ártatlan gyerekeket is, mint például az 1212. évi kereszties hadjáratban. A tapasztalat megmutatta, hogy a megértés gyönyörének az erőltetéséből keserűség és könny fakad.

Permanens forradalom

Akkor hát vissza a közvetlenül szemlélhető, egyszerűen átadható tudáshoz? *Nem lehet!*

A tudás beteljesülésének 1965 után fellobbanó euforikus hangulatán átrohant az idő.

A *kettős spirál = élet titka* szentencia úgy naiv, ahogy *Descartes* örömteli meglátása annak idején: „Az állatok gépek.” Csak egyetlen példa: Hamarosan kitűnt, hogy a fontos életműködések a különböző gének be- és kikapcsolódásának megszerveződésén múlnak, egy olyan rendkívüli – és jelenleg ködbeve-

sző – összjátékon, amely a DNS-lánc alapstruktúráján messze túlmenő vizsgálni valók légióját kelti folyamatosan életre.

Ugyanezt látjuk a tudomány minden területén. Kozmológia, részecskefizika (és az egymáshoz való viszonyuk), atomfizikai szintű belemélyedés komplex rendszerekbe stb.: *új titkok és eredmények* „naponta”, s immár mind *a velünk született szemléleten túli oldalról!*

Ráadásul két, előre ki nem található körülmény:

a) A tudósok *nem félnek többé* a szemléletellenestől, inkább *tozódznak benne* (bébiuniverzumok, féreglyukak, kognitív tudományok).

b) Az internet (stb.) révén *mindenki mindenről* hall, „minden poén le van löve”.

(A régi világban inkább „szerényen visszahúzódnó” tudósok esetén „metamorfózis” nem véletlen. Kezdetben – 1960 táján – katonai és gazdasági jelentősége miatt a kormányok „fenntartás nélkül” támogatták a modern fizikára támaszkodó tudományt, de az „túl-nötte önmagát”, egyre több pénz kell, ehhez viszont az, hogy az eredmények a nagyközönségnek s azon keresztül a politikusoknak is imponáljanak. Ezért az információáramnak olykor még szenzációhajhász jellege is van. A hürelmélet egy-egy újabb verziójáról, tárgyak vagy akár személyek kvantummechanikai teleportációjáról a tér valamilyen távoli helyére, teóriákról arra nézve, hogy mi volt abban az időben, amikor még idő sem létezett, a fénysugár megállításáról és újraindításáról stb. stb., gyakran közvetlenebbül értesülünk magazinokból, hírlapokból, mint „szolid” forrásokból.)

Ilyen körülmények között ugyan miért kötné le az iskolában a diákokat egy-egy jelentéktelennek tűnő, „uncsi” részlet? Mi értelme kibogarászni, hogy ha kétszer akkora idő alatt esik le, hanem bonyolultabban? „Mi szükségem lesz az életben arra, hogy ezt pontosan tudjam?” – kérdezheti bármelyikük. (Még csak azt se mondhatjuk, hogy a jégszekrény, vagy a higanyos lázmérő miatt fontosak a fizika elemei.) Kéthárom generációval ezelőtt a fizikatanítás – bár divat volt rettegni tőle – igenis tudott imponálni, és logikus lépésekkel, nyugodt tempóban haladva képes volt rávilágítani a szabatos gondolkodás erejére. Izgalmas dolog lehetett megérteni, hogy az elengedett lufi azért esik felfelé, mert a Föld minden testet vonz. De ma, a modern fizika árnyékában? Minden esély megvan rá, hogy a fizikaóra mesedélutánná züllik időutazásról, fekete lyukakról. És még ez sem kecsegtet „fegyverszünettel”! A káoszban a tanár nem tudhat – mert nem is lehet – *minden* kérdésre kapásból kielégítő választ adni, és az osztály vadócainak könnyen támadhat olyan „meglátása”, hogy *egyikre se tud*. Hová hígul s enyész így *Rátz László* (*Wigner Jenő* szeretett tanára) tekintélye?

De mit tehet a tanár? Hogyan vívjon ki rokonszenvet és megbecsülést? Hagyja el a „piti” részleteket, ragadja meg szarvánál a bikát és tanítson *szigorú modern fizikát? Ilyen formában* ez kilátástalan. „Az al-

kalmazások ... birodalmának kapujában ... hétfejtű sárkányként öröködik ... az elektron felfoghatatlan ... térbeli viselkedése. Elosonni mellette hiábavaló, az igazi megértés útja csak rajta keresztül vezet” – írta valaki egy *Igaz Varázslat* című könyvben, a 70-es években.

A helyzet mégsem reménytelen. Az igazi megértés útja ma is a sárkányon keresztül vezet, csak hogy ma már – *nem hiábavaló* elosonni a sárkány mellett, sőt, ez a helyes tennivaló!

Hogy lehet ez? Úgy, hogy ma már *nagyon sok* modern fizikai jelenséget ismerünk (korábban ez nem így volt!) és ezek *egymást kölcsönösen* egész jól megvilágítják, *ha éppen a legmélyebb alapokat* (hullám-részecske kettősség, a spin mibenléte stb.) *nem firtatjuk*, hanem beérjük valamilyen megnyugtató, de *bát-térben maradó* hasonlattal.

Csak hogy vigyázat! *Beérjük*: ez a tanárra és a diákra *egyaránt* kell, hogy vonatkozzék! A diák azonban *csak akkor fogja elfogadni* a mély alapokra vonatkozó homályos utalásokat (akkor éri be velük), *ha már volt* valóban átélt *megértés-élménye*, amit viszont csak az egyszerű jelenségek világában szerezhet meg.

A tanár előtt tehát két „lehetetlen” feladat áll egyszerre:

– érdekessé kell tudja tenni az egyszerűt;

– elég jártasnak kell lennie a modern fizikában ahhoz, hogy egyrészt tudja, melyek azok a destruktív bonyodalmak, amelyeket – mint a réten a tehénplecsnit – el kell kerülni, másrészt, ha egy-egy gyerek mégis rákérdez, ne kelljen „tintahalként elmenekülnie”.

A két feladat *együtt* nem lehetetlen. Az elsőhöz *nem szabad*, a másodikhoz *nem szükséges* túl sokat markolni.

Így – és csakis így – a mai fizikatanár, akárcsak annak idején Rátz László, tartást és meggyőződést sugárzó és ébresztő papja lehet a tudománynak.

(Ide kapcsolódik egy gondolat a különféle „extra” programokkal, versenyekkel és általában a tehetség-gondozás eszméjével összefüggésben. Természetesen minden ilyesmi pártolendő, de ne hallgassuk el: bár a 70-es, 80-as évek „mély megértés”-programja festett egékbe nézett, a tudományos világkép nagyszerűségét *valóban közkinccsé* akarta tenni. Kényelmes álláspont, hogy „fizikát az tanuljon, akinek ez jól fekszik, vagy a karrierjéhez szükséges, a többi forduljon UFO-hívókhöz vagy halottlátókhöz, ha izgulni akar valami.” Sok tanár érzi úgy, hogy a „tudományos bizsergés” élménye *valamilyen szinten* mindenkinek kijár, s el kell jutnunk oda, hogy fizikát ugyanazért *is* tanuljunk, amiért irodalmat, vagy történelmet. Az ilyen tanár számára más dolog jelentéseket írni és más szemben állni az osztállyal.)

Szedjük pontokba a mondottakat!

A fizikatanár kutyaszorítóban

1. Az új eredmények (találgatás, önreklám is), ránk zúdulnak, akár tetszik, akár nem.

2. A teljes értékű megértés, tájékozódás igen nagyfokú absztrakciót, szigorú gondolkodást igényel.

3. Kéznevelő gondolat: legalább a hagyományos, a szemlélet számára hozzáférhető jelenségek világában szerezzünk tréninget a precíz gondolkodásból.

4. A gyereket ez mélységesen nem érdekli, legfeljebb meséket hajlandó hallgatni lézerekardokról és fekete lyukakról.

5. A későbbiekben aztán az ifjú a felszínes, bensőséges élményt nem adó „halandzsából” is kiábrándul, lelkét megkaparintja a tudományellenesség valamelyik ördöge. (Együttérzés a csodadoktorokkal, ellenszenv a begyepesedett tekintélyelvűekkel szemben stb.)

6. Ha politikus lesz belőle ... és a fizika tanításáról kell döntenie ...

A megoldás: fordulat, de nem a nivótlanság irányába.

1. *Nem mély, hanem igazi megértést* kell adni, kihasználva az erre alkalmas anyagrészeket, hogy *a gyerekekben élménnyé váljék*: a fizika (s általában a tudomány) a jelenségeket érthetőbbé, nem pedig érthetlenebbé teszi. (Egy atomerőművel kapcsolatos kérdésben nem az a volt diák fog értelmesen szavazni, akit az iskolában értelmetlenül gyötörtek, hanem az, aki a volt fizikatanárától kérdezi meg, hogy kihez kell fordulni tanácsért, mivelhogy bízunk a tanárában, mert egy házi versenyen jól megértette, hogy miért világít a 100 W-os izzó halványabban, mint a 15 W-os, ha sorba kapcsoljuk őket.)

2. Ehhez tiszta, de *könnyen felfogható* gondolatvagy eseménysor kell.

Könnyen felfogható: A gondolatsor alapját vagy háttérét alkotó fogalmak mibenlétét nem kell „kötekedésbiztossá” tenni. Többet ér a helyes irányba mutató intuíció, a „termékeny pongyolaság”.

3. Ha már – akármilyen egyszerű szinten – megismertettük a gyereket az *igazi* „Aha!”-érzéssel, akkor „hallgat ránk” és üdvösen besegíthetünk a kusza információáramba vákuumenergiáról stb. Persze tudni kell disztingválni (mikor, mennyit, hogyan).

4. Ehhez *a fizikában magas szinten képzett* tanár kell, megfelelő pedagógiai hozzáállással. Fordítva nem megy, magasan képzett pedagógus, megfelelő modern fizikai hozzáállással, ilyen nincs.

5. Így remélhetünk „felelős döntésekre képes” társadalmat.

Termékeny pongyolaság

Amit így hívhatunk, az semmi esetre sem azonos a *zavaró* következetlenséggel. Inkább az idegrendszer ösztönös, spontán *segítségéről* van szó a tanulás során.

Súlyos tévhit: ami nem megtámadhatatlan, az feltétlenül és azonnal kifogásolandó. (Mert amit egyszer rosszul tanul meg a gyerek...)

Egy szívhez szóló példa. Ismert kísérlet („az anyag részecskékből áll” tétel bevezetése): hosszú kémcsőbe vizet öntünk, utána óvatosan alkoholt rétegezzük rá. Megjelöljük a folyadék felszínét, majd a két komponenst összerázzuk. A felszín lejjebb száll. Tanár: „Na mit figyeltünk meg?” Az egyik gyerek, boldogan: „Kevesebb lett.” Ha a tanár lecsap rá: „Nahát ezt ne mond-



3. ábra. Vízión a tudás tiszteltéről a múltban.

juk, tudod jól, hogy az anyag megmarad” – a gyerek elveszti a hitét, hogy a jelenségekre érdemes figyelni („úgyis mindig rossz, amit mondom”), *a fizika nem az ő ügye lesz többé*. Személyesen jelen voltam egy boldogító alkalommal, amikor a tanár másképp reagált: „Ugye, milyen érdekes?” És következett a bab meg a mák összekeverése, és az „Aha!”-élmény a gyerekekben. Ez a gyerek biztosan figyelt a következő órán is!

Az efféle helyzet mindennapos! A hőtágulás tanításakor egymás mellé fogunk egy réz- és egy vaspálcát. Melegítéskor a rézpálcát tágul nagyobb mértékben. Nem baj, ha a kísérlet első felidézésekor a gyerek elfelejti megemlíteni, hogy a két pálcát egyenlő hosszú volt! Ez az információ nem vész el a számára, hiszen látta! (Ha csakugyan volt kísérlet.) A tudatosításra egy kicsit később is sor kerülhet. Vagy: Lejtő, rajta kiskocsi, a rá ható gravitációs erő felbontva lejtő menti és arra merőleges komponensre. Könnyű (és vonzó is) eljátszani a lejtő szögével és demonstrálni az $ma = F$ mozgástörvényt. A merőleges komponensről az indulásnál elég annyit mondani, hogy „abban az irányban a lejtő nem engedi elmozdulni a kiskocsit, ezért most nem kell vele foglalkozni”. Nem baj (feltéve, hogy nem „direkt ezt tanítjuk”), ha a diák fejében átmenetileg, akaratlanul és homályosan olyasmi csapódik le, hogy „az a komponens csak a lejtőt nyomja”. Ha nem markolunk egyszerre túl sokat, a gyerekekben marad kedv és energia a dolog tisztázására, amikor eljön az ideje.

Természetesen a tanár ízlése is – joggal – belejátsszik abba, hogy „hol a határ”. De a „termékeny pongyolaság” merev elutasítása többnyire *csupán a jelenséggel való találkozás élményét* veszi el. A legegyszerűbb iskolai téma is érdekessé tehető, ez az elhagyás művészete.

A gyerek készen áll az érdekes fogadására! Egy pedagógiai tanulmány (a 70-es években) arra hívja fel a figyelmet, hogy a kisiskolás gyerekek nem mindig tudják megkülönböztetni a lényegest a lényegtelenről. Példaként említi a következő esetet. Az udvarról tálkában behozott hó óra közben elolvadt. – „Milyen érdekes dolgot figyeltél meg?” – kérdezte a tanár. „Milyen piszkos!” – kiáltott fel csodálkozva a gyerek. – Csak mellékesen: a bezárt koromszemcséknek kezdetben csupán kicsiny, a hógolyó felszínéhez közeli hányada jut szerephez, alig csökkentve a hó ragyogását – az átlátszó vízben viszont valamennyi



4. ábra. Vízió a tudás tiszteletéről a jövőben.

hozzájárul az abszorpcióhoz. Ez bizony feltűnőbb annál, hogy a hó elolvad a melegben!

Fizikatanítás a jövőben

A fizikatanítás kritikus helyzetben van. A kérdés ez: Melyik nézet válik elfogadottá az alábbi kettő közül:

a) A FIZIKATANÁR, A MAGA GYÁMOLTALAN KIS IGAZSÁGAIVAL, AZ AZ EMBER, AKINÉL MINDENKI TÖBBET TUD.

b) A FIZIKATANÁR EGY DOLOGBAN LEHET VERHETETLEN: AZ IGAZI MEGÉRTÉS ÉLETRE SZÓLÓ ÉLMÉNYÉT ADHATJA A DIÁKNAK.

Megemlékezésünket egy vízióval kezdtük a tudás tiszteletéről a múltban: az öcskös felesége szelíd megadással várja, hogy a férje, vagy a bátyó tart rá igényt (3. ábra).

Fejezzük is be egy *optimista* vízióval a (liberálisabb és politikailag korrektebb) jövőről: a hölgy *maga választ* a jelentkezők közül, de *csak annak van esélye*, akinek a „névjegyéből” kiderül: az illető már letett valamit a tudás oltárára (4. ábra).

A X. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, I. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

2007 tavaszán tizedik alkalommal rendezte meg a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Versenyt. Már a 2004-es verseny meghirdetésekor kibővítettük a hagyományos tematikát: a nukleáris témák mellé egyéb „modern fizikai” területeket is bevontunk a verseny témakörébe, 2006-ban pedig határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyitottuk a részvétel lehetőségét. Az idén ezzel a Báthory István Elméleti Líceum (Kolozsvár) élt, ahonnan *Angyalosi Csaba* és *Czilli Péter* tanár urak, illetve *Káptalan Erna* tanárnő öt első kategóriás (11–12. osztályos), és huszonhárom második (junior) kategóriás tanulót nevezett be a versenybe. Sajnos, a Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról 2007-ben sem kaptunk nevezéseket. Összesen 231 első kategóriás és 132 junior kategóriás nevezés érkezett.

A 2007. február 26-án megtartott első forduló (válogató verseny) tíz feladatát az iskolákban lehetett megoldani, három óra alatt. Kijavítás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be a BME Nukleáris Technika Tanszékére, ahol a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (I. kategóriás) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el. Ezeket ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2007. április 28-án megrendezett döntőre. A döntőn minden behívott versenyző megjelent. Az idén négy lány is bejutott a verseny döntőjébe, mindannyian a Junior kategóriá-

ban. A verseny fordulóin (mobiltelefon és internet kivételével) bármilyen segédeszköz használható volt.

Az alábbiakban ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait és a megoldásokat.

A válogató verseny (I. forduló) feladatai

1. feladat

A sugárterápia bevezetése *Szilárd Leó* nevéhez fűződik. Milyen életrajzi vonatkozása van ennek? (5 pont)

Megoldás: Szilárd Leónál hólyagrákot diagnosztizáltak. Felesége és *Klein György* tanácsait követve, valamint a szakirodalmat tanulmányozva megtervezte saját sugárkezelését. A műtét után körülbelül 60 Gy γ -dózsist adatott magának a műtéti területen. A rák nyom nélkül elmúlt, Szilárd Leó ezt követően 4 év múlva szívrohamban halt meg. A boncolás kimutatta, hogy a rákból teljesen felgyógyult.

2. feladat

Egy α -sugárzás behatolási mélysége 10^5 Pa nyomású levegőben 4 cm. Mekkora lenne a behatolási mélység 10^3 Pa nyomású légritkított térben? (5 pont)

Megoldás: Az alfa-részecskék energiavesztését a gázban lévő atomokkal, molekulákkal való kölcsönhatás okozza (ionizáció, gerjesztés stb.). Az egyedi molekulákkal való kölcsönhatást nem befolyásolja, hogy az illető molekula mekkora nyomású gázban van, ezért mindkét esetben átlagosan ugyanannyi molekulával