

»FEGYELMEZETT ÉRDEKLŐDÉSSSEL NYÚLJ BÁRMILYEN PROBLÉMÁHOZ«

– a 90 éves Wiedemann László köszöntése

Horváthy Péter
Tours-i Egyetem, Franciaország

– *Érdekel a fizika? Akkor gyere a Wiedemannhoz!* – sügta valaki oda a szünetben.

Így kerültem, vidékről frissen fölköltözött másodisként az elegáns, fehér zakót viselő *Wiedemann* Tanár Úr központi fizika szakkörére, amelyet nálunk tartott, a „Fazékban”.

Nem véletlenül, hiszen Wiedemann „Laci” (kis megszakításoktól eltekintve) egész életében Fazekas diák volt és maradt. Igazából már akkor is, amikor még nem is volt Fazekas, mert Laci annak elődjében, a budapesti Szent Benedek Gimnáziumban tanult, majd az ELTE matematika–fizika szakának elvégzését követő szombathelyi vargabetű után újra visszakerült az akkor már nevet váltott *alma mater*-ba. Tanítványai közt voltak a tudomány olyan későbbi nagyságai is, mint *Lovász Laci* (aki fizika OKTV-t is nyert csak úgy, „másodkézből”), vagy *Laczkovich Mik*.

Amikor a Fazékba kerültem, Wiedemann László már nem tanárkodott, hanem szakfelügyelő volt a „Szatócs”-ban (SZAKfelügyeleti- és TOvábbképzési CSoport). De helyileg továbbra is ugyanabban a nagy, századeleji épületben maradt. És tanítani akkor is szeretett – hát ez volt az a híres szakkör.

Tanárainktól nem csak tárgyi ismereteket, de – a fizikán túlmenően – az egész életünkre kiható viselkedésmódot tanultunk. Mert minden nagy pedagógusnak megvan a maga tudós-, sőt emberformáló stílusa. *Vermes Miklós* híres volt vulkánfíber kofferjáról, ahonnan cirkuszi artistaként húzta elő – no nem a nyulakat, de a demonstrációs kísérleteihez szükséges tárgyakat. Már ezért megérte kijárni Csepelre, „pukkfütty” előadásaira! *Kunfalvi Rezső* bácsi szelíd mosolya a tudományban való gyönyörködésre bátorított. Csodákat meséltek a tanítványok *Holics László* temperamentumos óráiról, feldobott, majd méterekkel távolabb újra elkapott kretáiról.

Mit tanultunk Wiedemann Tanár Úr szakkörén? A probléma megfogását, majd kibontását. Precíz gondolatmenetet és magasabb szintű visszatérést, amely

új perspektívákat nyit. Nézőpontváltást, amely a probléma plasztikus körbejárását, a fizikai folyamat mélyebb megértését nyújtja. Tudományos józanságot és önfegyelmet.

Egész későbbi életünk során kapcsolatban maradtunk a „Lacivá” fiatalodott Tanár Úrral. Rendszeresen informáltam mozgalmas életem és fizikusi fejlődésem alakulásáról, amelyet ő mindig is jóindulatú érdeklődéssel követett. Meglátogattam, amikor itthon jártam. 2003-ban írt leveléből idézve: „...ezek a kovászokként ható emlékek valóban produktív elemek. Törekvéseink, vízióink a nagyra, a megismerés csodájára, egyben közös szemlélete ugyanannak a nagyszerűnek: sors-komponens. Minden közönségesnek, minden butának, minden közepeszerű posványoknak elutasítása, egy misszióknak és élethossziglan tartó szenvedésnek vállalása, melynek végpontja egy Esztétikum megszületése bennünk.”

Harminc évig maradt Wiedemann László a Fővárosi Pedagógiai Intézet munkatársa. A fizikai szakfelügyeletet irányította, ellátta a fizika-továbbképzési feladatokat. Előadásokat és demonstrációkat tartott és szervezett.

Az Országos Ösztöndíj Tanács jóvoltából hosszabb tanulmányutat tett (az akkor még „Nyugat”-) Németországban.

Közreműködött a *KöMaL* fizikarovatánál. 25 éven át volt tagja az OKTV Vermes Miklós-vezette versenybizottságának, majd a Vermes Miklós Alapítvány kuratóriumának. Tíz éven át pedig a Vermes-versenyek előadója és a Mikola-versenyek versenybizottsági tagja.

1970-ben Mikola-, 1978-ban az Oktatásügy Kiváló Dolgozója díjat kapott. 1992-ben Németh László díjjal, 2003-ban Rátz Tanár Úr Életműdíjjal tüntették ki. A Vermes Miklós Alapítvány díjait is elnyerte.

– *Legyen gondod önmagad munkájának kontrolljára. Fegyelmezett érdeklődéssel nyúlj bármilyen problémához!* – kísér immár 51 éve a Wiedemann Tanár Úrtól érettségim után kapott intés.



A Rátz Tanár Úr Életműdíj átadásán (2003).

Helytelen lenne az ilyen cím: *Egzaktság vagy ismeretterjesztés*. Az ismeretterjesztésben is megkívánjuk az egzaktságot. A jelen írásban a természettudományos ismeretterjesztésre szorítkozunk, itt is főként a fizikára.

Az ismeretterjesztés egzaktségán azt kell érteni, hogy fogalomalkotásai tiszták legyenek, mondjuk, axiomatikusak és a szaktudományi mondanivalót, ami főként a matematika nyelvén jelentkezik, élet-hűen áttegye részben narratív formára, és ezáltal világképi hozzájárulást is nyújtson. Tehát a fizikában adott matematikai egzaktsággal megfogalmazott világképet nyelviileg is interpretálja. Ezzel a közérthetőség növekszik, de a mondanivaló súlya csökken. Ez lehet a tudományos ismeretterjesztés egyik ismérve. Ennek egy másik ismérve az, hogy mindig a megfelelő szaktudomány kontrollja alatt áll. Hangsúlyozzuk, hogy a tudományos ismeretterjesztés így mindig hordozza a maga egzaktségát az említett konstrukcióban, egyébként pusztán zsurnalizmusba torkollna és az áltudomány veszélye is fenyegetné. Sajátságos helyzete miatt azt is ki kell emelni, hogy a tudományos eredmények interpretációjában nem mehetünk akármeddig. Tudomásul kell venni, hogy van, ami már nem férhető hozzá a tudományos ismeretterjesztés fokán. *Einstein* egy frappáns megjegyzése kínálkozik itt: „Alles sollte einfach wie möglich gemacht werden, einfacher jedoch nicht.” (Mindent a lehető legegyszerűbben kell tenni, de annál egyszerűbben nem.) E mondatban az is fellelhető, hogy valamenynyien különböző intellektuális szinten fogjuk fel a környező valóságot és ezen háborogni fölösleges, el kell fogadni.

Az ismeretterjesztés elvárt egzaktsága jelentkezik abban is, hogy a közölt írásokban nem parttalan, hanem lehatárolt. Több esetben használnak matematikát, de felsőbb matematikát nem. Ilyen kritériumok alapján határolódik el a zsurnalizmustól és segítőtje a kapcsolatos szakmai háttér megértésének, azt mintegy életre kelti és a fantáziát megmozgatja. Az ismeretterjesztés szorosan összefügg a mélyebb értéssel.

Mindig van bizonyos hierarchia szaktudomány és a kapcsolatos ismeretterjesztés között, ahol a szaktudomány lát mélyebbre és mond többet, ami tény, de nem értékítélet. Az ismeretterjesztés társadalmi igényt elégít ki. A szaktudomány nem fennhéjázó és nem

fennkölt, hanem exkluzív. Ez bátorságot és kockázatot foglal magában. Így a tudományos ismeretterjesztés attitűdje a tudományos eredmények ezen hierarchikus rendben való bemutatása, a provizórikus konzerválás, a lelkiismeretes terjesztés és az áltudományos megközelítés kivédése. Értelmes vitákkal a rosszindulatú kritikákat elháríthatjuk. Örülni kell annak, hogy a Természet a Rendet választotta. Az ismeretterjesztő iratok óvatosan és tömörítés céljából alkalmazzák a matematikát. Egy odadobott képlet, amelyik csak úgy *deus ex machina* megjelenik, semmit sem ér. Illeszkedjék szervesen a mondandóhoz. Az ilyen szerkesztés nagy didaktikai tudást igényel. E tekintetben nagy hatással volt rám *Marik Miklós: Helyünk a világmindenségben* című könyve (Tankönyvkiadó, 1989). Egy csillagászati ismeretterjesztő remekmű elegendően sok és érthető matematikával, az Univerzum elképzelhetőségét lehetővé tevő fogalmi megalapozással. Az ismeretterjesztés és a megfelelő szaktudományi megközelítés gyümölcsöző kontrasztjaként említhetjük a kiváló orosz fizikus, *Zeldovics* könyvét: *A csillagszerkezet és csillagfejlődés fizikai alapjai* (Gondolat Kiadó, 1988).

Az előbbieken vázolt megközelítéseket tekinthetjük a tudományos ismeretterjesztés meghatározásának és feladatának. Ebben a rendben előbb áll a szaktudomány. El kell határolódnunk az ismeretterjesztés különböző vadhajtásaitól, amelyek konfúziót és az olcsó fantáziát megmozgató elemeket tartalmaznak. A tudománynak nem feladata a ködbe vesző világmagyarázat. Manapság sokan elmélkednek azon, hogy a posztmodern kultúrába egyáltalán beilleszthető-e az egzakt tudomány. A kritika főleg a sértett önérték felől érkezik, és általában támad mindenféle axiomatikus gondolkodást. Állítólag az új embertípus szabaddabb és kreatívabb, mintsem hogy ennyire gúzsba lehetne kötni a természettudományos gondolkodás axiómiával – mondják a másik oldalon. Mindenesetre intő jel a természettudományos oktatás évtizedek óta tartó szisztematikus visszaszorítása. A posztmodern megközelítésekkel kapcsolatban figyelemre méltó tanulmány olvasható a *Fizikai Szemle* 2020/1. számában *Wojnarovich Ferenc* professzor tollából.

Lényeges momentumra kell még rámutatni. Ahogy a természettudomány keresi és felfedi a kapcsolatot a filozófiával, hasonlóképpen a tudományos ismeretterjesztés is nyújthat filozófiai, ismeretelméleti kitekintést.

Azonnal felmerül a kérdés, hogyan történik az ismeretszerzés. Az érzékszerveken keresztül szerzünk empirikus ismereteket, és ezeket mérésekkel, mérő eszközökkel dolgozzuk fel. *Hume* és *Kant* megfogalmazták, hogy a világ az érzékszervek által tárul fel számunkra az empiria fogalmi feldolgozása útján. Pontosabban kell ezt körülírni. Ez a megállapítás még azt is jelentheti, hogy mindenki számára más és más a



Wiedemann László (1931) középiskolai fizika–matematika tanár, egyetemi doktor (1964). Tíz év gimnáziumi tanítás után a Fővárosi Pedagógiai Intézetben 35 évet dolgozott a tanártovábbképzés területén, 25 éven át volt tagja az OKTV versenybizottságának. Jelenleg is részt vesz a Mikola-verseny munkájában és feladatkitűző a *KöMaL* fizikarovatában. Könyvei jelentek meg a fizika és filozófia kapcsolatáról, valamint cikkei a *Fizikai Szemle*ben. Rátz Tamás Úr Életműdíjat kapott 2003-ban.

világ, aszerint, hogy az érzékszervek hogyan közvetítik. Ha ezt csupán így fogadnánk el, akkor a kutatásnak nem lenne tárgya, lehetetlen volna az emberi megismerés. A pozitivizmus lényegében ezt fejezi ki. Végül is ez így a szkepticizmusba és a szolipszizmusba torkollik. Ezzel szemben ki kell mondanunk, hogy az ismeret tárgya a tőlünk független külvilág, vagyis az egyes embertől független külvilág. Ez röviden azt jelenti, hogy létezik objektív külvilág. A tudomány tehát elsődlegesen a világ objektíven megragadható oldalával foglalkozik. E posztulátum nem magyarázható magából a tudományból. Enélkül azonban nincs egzakt tudomány és megismerés sincs. Ez az elfogadás egy hipotézis és metafizikai vonása az emberi létnek. Mindezeket tömören fejezi ki a nagy fizikus, *Max Planck Válogatott tanulmányok* című kötetében (Gondolat Kiadó, 1965). A mondanivalót még jobban megvilágítja ebből a következő idézet: „A következetesen keresztülvitt pozitivizmus tagadja az objektív, azaz a kutató egyéniségétől független fizika fogalmát és szükségszerűségét. Kénytelen ezt tenni, mivel elvileg nem ismer el más valóságot, mint az egyes fizikusok élményeit. Egy tudomány, amely maga elvben lemond az objektivitás követelményéről, kimondja magáról az ítéletet. Az alap, amelyet a pozitivizmus a fizikának nyújt, szilárdan megalapozott ugyan, de túl keskeny, meg kell toldani; ennek jelentősége abban áll, hogy a tudományt lehetőleg meg kell szabadítani olyan véletlenektől, amelyek az egyes emberekkel kapcsolatban bekerülhetnek. Ez pedig nem formális logikai, hanem a józan értelem nyújtotta elvileg metafizikai lépés útján történik meg. Ez egy hipotézis, amely szerint nem maguk az élményeink alkotják a világot; ezek csupán hírnökei egy másik világnak, amely mögöttük áll és tőlünk független, más szóval létezik reális külvilág. A pozitivizmus, amely minden transzcendentális gondolatot elutasít, nem kevésbé egyoldalú, mint a metafizika, amely minden egyedi tapasztalatot lebecsül.”

A tudományos ismeretterjesztés megvalósításának egy vázlatszerű leírása

Adott problémában meg kell találnunk azokat a kiindulási pontokat, amelyek a szaktudomány fényében is egzaktak. Ezután – megengedhető feltételek mellett – a kifejtés egyszerűsíthető, tömöríthető, de nem lehet pongyola, hanem a tudományos ismeretterjesztés szintjén egzakt. A kvalitatív közelítések hasznosan alkalmazhatók.

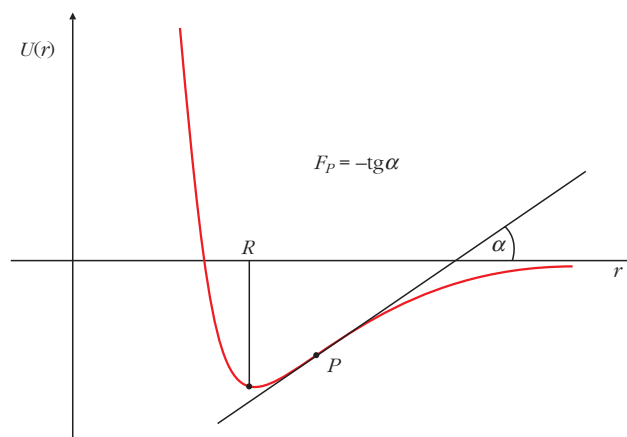
Ezek a kiindulási pontok éppen az ismeretterjesztés érdekében legyenek a választott szaktudományi terület centrális helyei. Ezáltal a továbbiakban több helyen alkalmazhatók, koordinálják a mondanivalót. Innen kezdve a feldolgozás szintjét a nagyobb közérthetőség irányába lehet terelni. Módszertani elvként kimondható egy hasznos észrevétel: ami a tudományban jelenleg aktuális igazság, azt az ismeretterjesztés fokán e tudomány előbbi szintjén megfogalmazott igazság formájá-

ban prezentáljuk. Ezzel igazat mondunk, de egyszerűbben, vagyis kevésbé differenciáltan.

Ismeretterjesztés és fizikatörténeti tanulmányok kiegészíthetik egymást. Fontos azonban, hogy a fizika és fizikatörténet egymást nem helyettesítheti. Ha nem választjuk szét világosan, hamar téves képzetek alakulhatnak ki. Az akár magas szintű narratív fizikatörténet és a fizikai fogalmakra épülő gondolatmenetek más-más célt szolgálnak. A historikus és kronologikus fizika nem fizika, de fontos. Elég sokat kell már tudni magából a fizikából, hogy a fizikatörténeti ismeretterjesztés ne science fiction irányba, illetve ne valamilyen konfúzió felé vigyen. Valójában a fizikatörténet nem is érthető a fizika bizonyos szintű tudása nélkül. Így például *Simonyi Károly A fizika kultúrtörténete* című remekműve nem is olvasható a fizika elég magas szintű tudása nélkül. Ne feledkezzünk meg a fizikatörténeti művek egy jelentős csoportjáról, a fizikai fogalmak kialakulásának történetéről. E területről ajánlható egy alapvető mű: *H. Lange: Geschichte der Grundlagen der Physik I-II.* (1961, Freiburg/München). Igazi összekötő kapocs a fizikai, történelmi és filozófiai szemlélet között. Ebből válogatott szegmenseknek nagy hasznát veheti a fizikai ismeretterjesztés. Az ilyen felfogású fizikatörténeti művek hozzájárulnak a tudományok egységes szemléletéhez, ellentételvezve a nagy differenciálódás által kialakult széttöredezést. Olvasásuk maradandó érzelmeket vált ki és eszményeket teremt.

Ajánlasként olyan problémakört tekintünk, amelyből az ismeretterjesztésben lehetne egy-egy szegmenst bemutatni. Megfelelő módszertani tudással súlypontosítani lehet az eléggé szerteágazó problémát. Egy anyagszerkezeti alapkérdésről, a kémiai kötésről van szó. Sokrétű, csak egyetlen oldalára mutassunk rá, a részecskék kötésének energetikai viszonyaira. Ezen belül is a potenciál helyfüggését leíró görbe igen szemléletes, tömören rámutat a stabilitásra is. Az általános érvényű potenciálfüggvényt az *1. ábra* mutatja. Eszerint a részecskék közötti igen kis távolságban erős tasztító erő jelentkezik, majd egy kritikus R távolságban ez vonzó erőbe csap át. E függvény vizsgálatából még az erők nagysága is leolvasható az r részecs-

1. ábra. A kémiai kötés helyfüggése.



ketávolság függvényében. Az Olvasónak annyit kell itt tudnia, hogy a potenciál r hely szerinti negatív deriváltja a kölcsönhatási erő. E derivált a görbe érintőjének negatív iránytangense az r helyen. Az ábra alapján vizuálisan is nyomon követhető a kölcsönhatási erő nagysága és iránya.

Az előbbi megfontolás ionos molekulák kötésére alkalmazható. Ilyenkor főleg a Coulomb-törvény a döntő és a vonzó U potenciálja meghatározható. Ha tehát két iont tekintünk először, amikor a molekulaion egyszerű ionként fogható fel, a vonzó potenciál integrálással egyszerűen kiszámítható,

$$U_{\text{vonz.}} = \int_{\infty}^r \frac{e_1 e_2}{r^2} dr,$$

amiből

$$U_{\text{vonz.}} = -\frac{e_1 e_2}{r}.$$

Igen kis távolságban (angström) már megjelenik tasztóerő is, amit az elektronfelhők kölcsönhatása okoz, és ez a tapasztalat szerint a két ion közti távolság n -edik hatványával fordítva arányos. Ez a képlet, valamint a teljes kölcsönhatási potenciális energia:

$$U_{\text{tasz.}} = \frac{A}{r^2} \quad \text{és} \quad U_{\text{vonzó}} + U_{\text{tasztó}} = U.$$

Az ionok egyensúlyi távolságát, ami a stabil alakzatra jellemző, az összes potenciális energia minimumhelyének R távolsága adja, vagyis a $dU/dr = 0$ egyenlet megoldása, ami a Born-egyenlet (1918):

$$U = -\frac{e^2}{R} \left(1 - \frac{1}{n} \right).$$

Ez a kötési energia képlete. Kálium-klorid (KCl) esetén például $n = 9$ és $R = 2,67$ angström. Ez esetben a kötési energia, vagyis a molekula szétbontásához szükséges energia $U = 97$ kcal/mol.

Az ábrán jelzett központi potenciálfüggvény alkalmas bonyolultabb kötések elemzésére is, nem csupán két ion között, ahogy kezdetben számoltuk. Itt van jelentősége az előbbi egyszerű esetnek. A molekulák egymás közti kölcsönhatása is leírható így, de ekkor már nemcsak Coulomb-erőkről van szó, hanem az elég bonyolult van der Waals-erőkkel kell számolni. Ezek közül a diszperziós erők, mint intermolekuláris erők vonzást eredményeznek. Főképpen a diszperziós energiajárulék okozza az ábra szerinti potenciálisenergia-görbe vonzást leíró részének $1/r^6$ -os függését. A diszperzióról röviden ezt mondhatjuk: tekintünk például egy nemesgázatomot! Ilyennek gömbszimmetrikus elektronfelhője van, aminek következtében kifelé semleges. Így két gömbszimmetrikus töltéseloszlással rendelkező atom vagy molekula nem léphetne kölcsönhatásba egymással. Ez még sincs így, mivel az elektronfelhő elektronjai igen gyors mozgást

végeznek az elektronburokban, így az atom kifelé forgó dipolként viselkedik. Ezért, ha két atom vagy molekula közeledik egymáshoz, amelyek egyébként kifelé semlegesek lennének, mint forgó dipólusok – a kvantummechanika szerint – vonzóerőt gyakorolnak egymásra. Másrészt, ha a molekulák igen közel kerülnek már egymáshoz, az atommagok és elektronok tasztítása érvényesül jobban, ezáltal $1/r^{12}$ -es tasztító potenciált kapunk. A potenciálok összhatásaként adódik az 1. ábra szerinti eredő potenciál, de itt a numerikus paraméterek mások, mint a Born-egyenletnél. Ezt a potenciált Lennard-Jones-potenciálnak hívjuk, mely képletben: $U = -A/r^6 + B/r^{12}$, ahol A és B elég bonyolult konstansok.

Sok vegyület molekulakristály formájában létezik, ahol a rácspontokban molekulák ülnek. Legtöbbjük kovalens kötésben van. Ha ezek molekulaionok is egyben, akkor ionrácsot alkotnak, kötési energiájuk nagy. A konyhasó kristályrácsa Na- és Cl-ionok köbös elrendezésben. Ez esetben itt már nem beszélhetünk különböző molekulákról, hanem a nátrium- és klóronok által alkotott ionrácsról. Itt a rácsenergia viszonylag könnyen kiszámítható, mintpéldája lehet a rácsenergiák meghatározásának. NaCl esetében igen tanulságos lehet konkrétan kiszámítani a rácsenergiát, amely a nevezetes Madelung-állandóhoz vezet. Ez az állandó azt fejezi ki, hogy az ionos molekulával szemben itt a kristályrács minden egyes ionja nem egy ellentétes töltésű ionnal lép kölcsönhatásba (Na- vagy Cl-ionnal), hanem a vizsgált iontól különböző távolságokra lévő pozitív és negatív töltésű ionok sokaságával.

Egy rácstiont kiválasztva meghatározzuk ennek kölcsönhatási energiáját az összes többivel. Ebből már számolható a rácsenergia például kcal/molban vagy joule/molban megadva. Ebben a képletben szereplő állandót nevezik Madelung-állandónak. A NaCl kristály esetén a rács egyik Na-ionjának $r = R$ távolságban (R a rácsállandó) 6 közeli kloridion szomszédja van. A választott ion és ezek között a Coulomb-féle kölcsönhatás energiája:

$$U_1 = -6 \frac{e^2}{R}.$$

A választott iontól nagyobb távolságra 12 Na-ion helyezkedik el; ezek a választott iontól

$$R\sqrt{2}$$

távolságra vannak. Az előbb vonzás uralkodott, most tasztítás és kölcsönhatási energia

$$U_2 = \frac{12 e^2}{R\sqrt{2}}.$$

Így a választott ionnal végigpásztázva az egész kristályt, egy konvergens függvényt kapunk az energiákra, amelynek tagjai szummázhatók, és a választott ion összes többivel való Coulomb-kölcsönhatása kiszámítható:

$$U_k = -a \frac{e^2}{R},$$

ahol a a Madelung-állandó, ami NaCl-ra 1,745. Ez azt jelenti, hogy végül is vonzóerő lép fel a kristály képződésekor és ez viszonylag nagy érték. Megjegyzendő, hogy lineáris kristályláncához egységes Madelung-állandó tartozik: $a = 2 \ln 2$.

A kristályokban helyi gerjesztéssel mechanikai rezgések is ébredhetnek, amelyek longitudinális hullámként terjednek tovább. A fényterjedés fotonjaihoz hasonlóan itt a mechanikai hullámokhoz rendelt kvantumokról, a fononokról beszélhetünk.

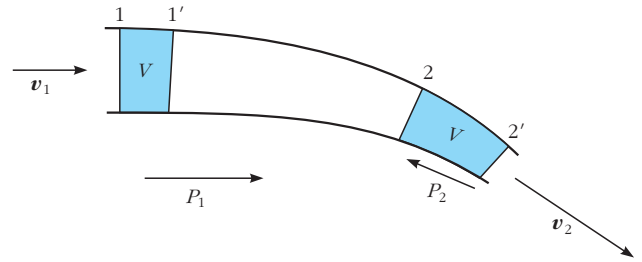
A tudományos ismeretterjesztés jobb körülírására még egy, a hidrodinamikára épített gondolatmenet vázolhatunk. A közelítések szerepéről van szó a Bernoulli-egyenlettel kapcsolatban. Az Euler-féle hidrodinamikai egyenletek írják le a folyadék- és gázáramlást. Ha itt közelítéseket vezetünk be, kapjuk a fontos Bernoulli-egyenletet, miáltal a kapcsolatos matematikai rész nagyon egyszerűsödik. Az Euler-egyenletek vektoroperátorokkal fejezik ki az áramlást. Olyan fogalmi és matematikai közelítéseket kell bevezetni, hogy a fő mondanivaló ne sérüljön. Ez történik, amikor az Euler-egyenletekről áttérünk a Bernoulli-egyenletre. E közelítéseket igen jól kell megválasztani, hogy az áramlás lényeges tulajdonságait ne veszítsük szem elől. Ezek a közelítő feltevések, amelyeket a 18. században már *Bernoulli* bevezetett, a következők: az áramlás stacionárius (a paraméterekben nincs időfüggés), a folyadék inkompresszibilis (sűrűsége mindenhol ugyanaz az áramlási térben), továbbá homogén, valamint örvénymentes. Ezek a feltételek igen sok esetben teljesülnek. Ekkor a Bernoulli-törvény egyszerű alakot ölt:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstans.}$$

A harmadik tag ebben a felírásban akkor ilyen alakú, ha a külső erő a folyadék súlyából származik. A h jelenti a szintmagasságot, p , v , U a nyomás, sebesség és a potenciális energia. A Bernoulli-egyenlet röviden azt fejezi ki – például vízszintes áramlási cső esetén –, hogy nagyobb sebességű helyen kisebb a sztatikai nyomás és fordítva. A konstans értéke úgy határozható meg, hogy az áramlási térben két tetszőleges helyre írjuk fel az egyenletet.

Ez az egyenlet elemi úton is közvetlenül levezethető. A levezetés alapja az, hogy az áramlási térben két tetszőleges helyre írjuk fel a munkatételt, amelyből következik a fenti egyenlet. Ez az eljárás középiskolai tananyaggal is követhető az alábbiak szerint.

A Bernoulli-egyenlet előbbi formájában csak örvénymentes áramlásra vonatkozik. A szemléletesség és egyszerűség kedvéért megvizsgálhatjuk, mit ad a Bernoulli-egyenlet, ha az örvényes áramlást pusztán intuitív alapon egy ötlettel vennénk figyelembe; a kiválasztott mozgó folyadéktér fogatban a kinetikai energiához hozzáadjuk e térfogatban lévő folyadéktömeg forgási energiáját is, mivel e mozgó folyadék egyben forog is. Az örvények ilyen módon való meg-



2. ábra. A V elemi térfogat az áramlási cső két végén.

jelentése részben a belső sűrűlódásra is utal, végül is ez okozza az örvényképződést. Így megkerülhetjük az ismeretterjesztésbe nem illő nehéz matematikai részeket. Továbbra is kérdés, milyen mértékű realitással bír ez az ötlet. A munkatétel felírásához úgy jutunk, hogy az áramlási térben egy áramcső mentén egy véges folyadéktér fogatát tekintünk. Ennek mozgása úgy fogható fel, hogy az elején lévő V elemi térfogat egyszerűen átkerül e véges térfogat végére, mivel a közben lévő folyadékkal – energetikai szempontból – valójában semmi változás nem történik.

A kezdeti (1–2) véges térfogat tehát (1'–2')-be vándorol át, ami úgy fogható fel, mintha az elején tekintett (1–1') V térfogat átmenne (2–2')-be (2. ábra). Tehát a munkatétel a V térfogattal kifejezve az (1–2) folyadék térfogatra:

$$\left(\frac{1}{2} \rho V v_2^2 + E_2 \right) - \left(\frac{1}{2} \rho V v_1^2 + E_1 \right) = \\ = \rho V g (h_1 - h_2) - p_2 V + p_1 V.$$

Itt E a folyadékörvény helyi forgási energiája. Ezután osszuk el az egyenletet V -vel, kapjuk, hogy

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{E}{V} + \rho g h = \text{konstans.}$$

Ezen kívül még feltevést kell tenni E konkrét alakjára. Ha a V térfogatot hengerszerűnek képzeljük el, továbbá szimmetriatengelye a lap síkjába esik és merőleges a v sebességre, akkor az örvény energiájára írhatjuk, hogy

$$E = \frac{1}{2} \theta \omega^2.$$

Kicsiny τ idő alatt a V térfogatú folyadék $V\tau$ utat tesz meg. A kis henger sugara $v\tau/2$ -nek vehető. Ekkor

$$\theta = \frac{1}{2} m \left(\frac{v\tau}{2} \right)^2; \quad \omega = 2 \frac{v}{\tau}; \quad m = \rho V.$$

Ezeket egymásba helyettesítve kapunk egy képletet a V -hez tartozó elemi örvény energiájára az 1, illetve a 2 helyen:

$$E = \frac{1}{4} \rho V v^2.$$

Ha ezután ezt a képletet figyelembe vesszük az eredeti Bernoulli-törvényben, akkor hozzávetőlegesen az örvényes áramlást is leíró képletet kapjuk:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{1}{4} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstans.}$$

Jól érzékelhető a különbség a kétféle eredmény között, ha például konkrétan a Torricelli-féle kiömlési törvényt tekintjük. Vízrel telt függőleges helyzetű, h magasságú cső alján oldalt egy nyílást hozunk létre. Mekkora a kiáramló víz sebessége, ha állandó pótlással tartjuk az eredeti vízoszlop magasságát? Ha az eredeti Bernoulli-egyenletet használjuk (felírva azt a felszínre és a kiömlőnyílásra), mint ismeretes a

$$v = \sqrt{2gh}$$

kilépési sebességet kapjuk. Ha viszont az utóbbi képlettel a folyadékörvényeket is megpróbáljuk figyelembe venni, akkor az eredeti v sebesség

$$\sqrt{\frac{2}{3}}$$

-szorososa

adódik; a mozgási energia egy részét a folyadékörvények emésztik fel.

Egy másik ismert jelenség, amikor a kissé nyitott szoba ajtaja szélben hirtelen nagy erővel becsapódik. Ilyenkor az ajtó szegélye és az ajtófélfá között keskeny rés keletkezik, amelyben az áramló levegő felgyorsul. A környező egy atmoszféra nyomású levegő és a résben áramló, sokkal kisebb sztatikai nyomású levegő nyomáskülönbsége elég nagy erőt produkál, amelynek van olyan komponense, ami külön forgatónyomatékokat hoz létre az ajtóra. Itt is kiszámítható a Bernoulli-törvényből adódó sebesség, valamint az örvényes áramlással módosított sebesség. Numerikusan itt is elég nagy különbség adódik, ennek következménye a forgatónyomatékokban is látszik. Ettől függetlenül az ajtó lapjára még a közegellenállástól származó forgatónyomaték is hat.

Az eddigiekben tárgyalt két szakmai illusztráció közelítéseivel és egyszerűsítéseivel a tudományos ismeretterjesztés egy lehetőségét kívántam bemutatni és még azt is, hogy az ismeretterjesztés inkább szakmai alapokra épüljön, ne a látványosságot juttassa túlsúlyra, ami által a tudományos fogalomalkotás sérül(het). A pusztán látványosság nem fizika, hamis képet nyújt magáról a fizikáról.

HOLICS TANÁR ÚR 90 ÉVES

Siposs András
ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium

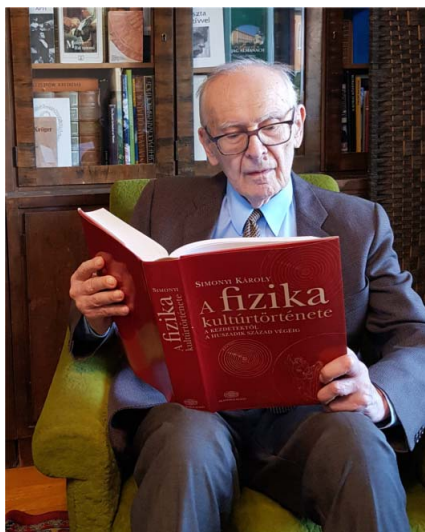
Furcsa *Holics László* tanár úrról születésnapra köszöntőt írni. Fizikatanárok között, ha valaki, ő aztán igazán széles körben ismert és elismert személyiség, illetve nem is: talán inkább nemzeti intézmény. Mindenki tud róla, tevékenységét (legalábbis nevét) mindenki ismeri. Tan- és szakkönyvei, minden szaktárgyi versenyen (Mikola, OKTV, *KöMaL* stb.) felbukkanó feladatai, kitüntetései és díjai (Ericsson, Rátz Tanár úr) révén bizonyára a legismertebb kortárs fizikatanár, nemcsak szakmai körökben, hanem a szélesebb közönség számára is. E „szerepkörben” méltó utóda *Öveges Józsefnek*, *Sas Elemérnek*, *Marx Györgynek*. Éppen e széles ismertség okán hadd legyen köszöntőm személyesebb hangú.

Holics tanár úr több mint fél évszázadot tanított az Apáczai Csere János Gimnáziumban, nemzedékek sorát okítva-nevelve (köztük engem is). Nevéhez fűződik a mindmáig létező és sikeres fizikatagozat megteremtése az iskolában. Az ehhez szükséges szaktantermek kialakítása, a szertár fejlesztése, a demonstrációs eszközök sorának

(nem beszerzése, hanem) elkészítése nemcsak az ő tervei alapján, de jelentős részben kétkezi munkájával is történt. (Egy részük a mai napig használatos.) Szintúgy az iskolában kialakított, a korban egyedülálló zárláncú tévéstudió és -hálózat kiépítése, amelynek révén a tanárjelöltek (vagy akár szakmai érdeklődők) a szokásos néhánynál jóval nagyobb számban követhették a bemutató órákat. Keze alól kikerülő tanítványai és mentorált tanárjelöltjei nemcsak itthon, de szerte a világban helyt állnak hivatásukban, a megkapott szakmai és emberi útravaló birtokában.

A Tanár Úr ugyanis nemcsak tárgyi tudása és igényessége, hanem finom, szolid, halkszavú egyénisége, nyitottsága és egyenessége révén is nagy hatást fejtett ki. Eleganciája hozzá illően visszafogott humorral is párosult: egyszer úgy „jött ki a lépés”, hogy épp április

1-jére esett a következő dolgozat időpontja. Volt némi zúgolódás és készülődés a diákok körében, hogy majd a feladatok megoldása helyett milyen írásműveket adnak be tréfaként, ha már így alakult. Neki is láttak



Holics tanár úr napjainkban otthonában (forrás: www.nool.hu).