

# fizikai szemle



2018/11









## EPS FIZIKATÖRTÉNETI EMLÉKHELY A TREFORT-KERTI D ÉPÜLET

2019-ben lesz *Eötvös Loránd* halálának 100. évfordulója. Az *Eötvös Loránd Tudományegyetem* 2018. szeptemberi tanévnyitó ünnepségén nyitotta meg az „*Eötvös 100*” emlékévet. Az idén alapításának 50. évfordulóját ünneplő Európai Fizikai Társulat (EPS) fizikatörténeti emlékhelyé (EPS Historic Site) nyilvánította az ELTE Trefort-kerti campusában álló D épületet, az egykori fizika épületet, *Eötvös Loránd* világhírű kísérleteinek helyszínét. A D épületet *Eötvös Loránd* koncepciója alapján 1883 és 1886 között építették. *Eötvös*, aki 1871-től haláláig, 1919-ig volt az egyetem professzora, ebben az épületben végezte a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát  $10^{-8}$ -nál nagyobb pontossággal igazoló, híres kísérleteit. A Trefort-kerti campus D épülete a harmadik fizikatörténeti emlékhely Magyarországon a debreceni MTA Atommagkutató Intézet és a Fasori Evangélikus Gimnázium után.

2018. október 12-én délután, az „*Eötvös 100*” emlékév eseményeként, *Borhy László*, az ELTE rektora, *Rüdiger Voss*, az EPS és *Sólyom Jenő*, az *Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT)* elnöke avatta fel ünnepélyesen az Európai Fizikai Társulat Fizikatörténeti Emlékhelyét jelző táblát a D épület előtt, a Trefort-kertben. Ezt követően *Eötvös* egyetemi előadásainak színhelyén, a D épületi nagyteremben, előadóiülés kezdődött az EPS, valamint az ELFT szervezésében. Az ülésen előadások hangzottak el *Eötvös* munkásságának máig ható eredményeiről és azok fizikai és geofizikai jelentőségéről, valamint az EPS fél-évszázados történetéről.

*Borhy László* rektor köszöntője után *Clifford M. Will*, a Floridai Egyetem professzora az *Eötvös-kísérletről*, *Sólyom Jenő* az Einstein és *Eötvös* közötti levéltávról, *Wesztergom Viktor*, az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet igazgatója, *Eötvös* és a geofizika alapjairól tartott előadást. *Rüdiger Voss* az EPS 50. évére emlékezett, *Kroó Norbert*, az EPS korábbi elnöke pedig az EPS és Magyarország közötti kapcsolatokról beszélt. Jelen lapszámunkban *Sólyom Jenő* táblaavatató beszédét, valamint internetes mellékletünkben *Clifford M. Will* és *Wesztergom Viktor* angol nyelvű prezentációit közöljük. Az Európai Fizikai Társulat megalapításának 50. éves évfordulójával következő, decemberi számunkban foglalkozunk majd részletesebben.

*Lendvai János*  
Lendvai János  
főszerkesztő



# Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította  
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

**Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.**

**Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete**

Főszerkesztő:

**Lendvai János**

Szerkesztőbizottság:

**Bencze Gyula, Biró László Péter, Czitrovsky Aladár, Füstöss László, Gyürky György, Hebling János, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Koppa Pál, Ormos Pál, Papp Katalin, Simon Ferenc, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Takács Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor**

Műszaki szerkesztő:

**Kármán Tamás**

A folyóirat e-mailcíme:

**szerkesztok@fizikaiszemle.hu**

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

**A beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.**

A folyóirat honlapja:

**<http://www.fizikaiszemle.hu>**



A címlapon:

**Az első terepi torziósinga-mérés a Ság-hegyen, 1891 nyarán. Az inga egy széltől védő dobozban volt, Eötvös Loránd távcsővel végezte a leolvasást.**

## TARTALOM

- Lendvai János:* EPS Fizikatörténeti Emlékhely a Trefort-kerti D épület 365
- Sólyom Jenő:* Fizikatörténeti emlékhely a Puskin utcában 367  
*Eötvös Loránd munkásságának elismeréseként EPS Fizikatörténeti Emlékhellyé nyilvánították az ELTE Puskin-utcai D épületet*
- Fényes Tibor:* A stabilitási sávtól távol eső atommagok – 2. rész 368  
*A stabilitási sávtól távol eső atommagokra irányuló vizsgálatok újabb fejleményeinek áttekintése*
- Griger Ágnes:* Cirkónium mint az atomerőművek szerkezeti anyaga 371  
*A fűtőelem-burkolatok anyagával szemben támasztott bonyolult biztonsági követelményeknek leginkább cirkóniumötvözetek alkalmazásával lehet megfelelni*
- Kovács László:* Segner János András, a fizika és a csillagászat tanára 376  
*Segner tanári tevékenységét követve a Szerző tanárságról, tanításról alkotott nézeteivel is megismerkedhetünk*

## KÖNYVESPOLC

- Kovács László:* Segner János András, egy jeles hungarus a 18. századból (*Füstöss László*) 383

## A FIZIKA TANÍTÁSA

- A Nat–2018 tervezetének szakmai véleményezése 386  
*Az ELFT hivatalos állásfoglalása a Nemzeti Alaptanterv megújítását célzó javaslatról*
- Sükösd Csaba:* XXI. Országos Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – 4. rész 393  
*A nukleáris technológia iránti érdeklődés fokozását szolgáló, nagy hagyományú verseny feladatainak és azok megoldásának ismertetése*
- Koczka Vencel, Lipták Zoltán, Piláth Károly:* Kísérletek myDAQ-ra hangolva 399  
*Egy szenzorokat tartalmazó alapkészlettel felszerelt myDAQ adatgyűjtő és LabViewW program alkalmazása mérési kísérletek megvalósításához*

## [www.fizikaiszemle.hu/mellekletek](http://www.fizikaiszemle.hu/mellekletek)

*Bartos-Elekes István:* A szabadesés kísérletes tanítása a nagyváradi Ady Endre Líceumban

*Wesztergom Viktor:* Loránd Eötvös and the Foundations of Geophysics

*Clifford Will:* The Eötvös Experiment

*J. Lendvai:* D building in the Trefort garden, an EPS Historic Site

*J. Sólyom:* EPS Historic Site in the Puskin street

*T. Fényes:* Atomic nuclei far from the stability line

*Á. Griger:* Zirconium: the structural material of nuclear power plants

*L. Kovács:* János András Segner, professor of physics and astronomy

## TEACHING PHYSICS

Official statement of the ELFT on the proposal to renew the National Core Curriculum

*Cs. Sükösd:* 21<sup>st</sup> Szilárd Leo National Nuclear Study Competition – Part 4

*V. Koczka, Z. Lipták, K. Piláth:* Experiments tailored to myDAQ

**BOOKS, [www.fizikaiszemle.hu/mellekletek](http://www.fizikaiszemle.hu/mellekletek)**

**Fizikai Szemle**

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



# FIZIKATÖRTÉNETI EMLÉKHELY A PUSKIN UTCÁBAN

Sólyom Jenő

az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke

Immár 20 éve, hogy az *Eötvös Loránd* nevet viselő egyetem fizikai intézete új helyre költözött, Budára. Azonban sokan, akik egykor itt végeztük egyetemi tanulmányainkat, máig nosztalgiával emlékezünk a legendás D épületre, vagy ahogy akkor hívtuk, a Puskin utcára. Abban az időben itt volt az Atomfizika Tanszék és az Elméleti Fizika Tanszék. Itt hallgattuk az első kísérletifizika-előadásokat, és ide jártunk a fizikai intézet könyvtárába, amely még Eötvös Loránd elképzelései szerint épült, mint ahogy az egész épület Eötvös Loránd terveinek megfelelően épült 1883 és 1886 között.

Eötvös Loránd 1871-től haláláig, 1919-ig volt a pesti egyetemen a fizika tanára. Ebben az épületben tartotta előadásait, és az év egy részében – a téli hónapokban bizonyosan – itt is lakott. Jó időben viszont a város peremén lévő birtokáról lóháton járt be ide. Számunkra most ennél jelentősebb, hogy ebben az épületben végezte kutatómunkája java részét, különösen is azokat az alapvető méréseket, amelyekkel rendkívüli, 1 : 200 millió pontossággal igazolta a súlyos és a tehetetlen tömeg arányosságát.

A tehetetlen tömeg az a tömeg, amelyet akkor tapasztalunk, ha egy testet erőhatással gyorsítani próbálunk. A súlyos tömeg pedig a tömegvonzásban, a gravitációs kölcsönhatásban kap szerepet. Durrván szólva ez határozza meg a test súlyát. Valójában a test súlya nemcsak a test és a Föld közötti gravitációs vonzásból adódik, hanem egy kis járulékos komponensként megjelenik abban a Föld forgásából származó centrifugális erő, ez pedig a tehetetlen tömeggel arányos.

A kétféle tömeg, a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát – vagy azonosságát, ha alkalmasan választjuk meg az egységeket – *Isaac Newton* kísérletei óta sejteni lehetett, de az első nagy pontosságú méréseket Eötvös végezte 1885-ben, majd ezeket finomította 1906 és 1909 között munkatársaival, *Pekár Dezsővel* és *Fekete Jenővel*. Ezekért a mérésekért nyerték el a göttingeni egyetem filozófiai karának nagy presztízsű *Benecke-díját*.

Évtizedekkel később Eötvös egyik tanítványa, *Renner János* még egy nagyságrendet tudott javítani a pontosságon, és további évtizedekre volt szükség, hogy *Robert H. Dicke* munkatársaival újabb nagyságrendnyi javítást érjen el. A táblaavatás utáni előadásokban látni fogjuk, hogy ma is több csoport foglalkozik azzal, miként lehet a méréseket még pontosabbá tenni, a két tömeg arányosságát még jobban igazolni.

A két tömeg különbözősége vagy ekvivalenciája azért lényeges kérdése a fizikának, mert ekvivalenciájuk fontos kiinduló feltevés *Albert Einstein* általános relativitáselméletében, bár ahhoz képest Einsteinnek egy bátor lépéssel tovább kellett mennie. Az ekvivalenciaelv ugyanis ennél többet, azt tételezi fel, hogy



Borhy László, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora, Sólyom Jenő, az Eötvös Loránd és Rüdiger Voss, az Európai Fizikai Társulat elnöke leleplezik az emléktáblát (fotó Kármán Tamás).

teljes fizikai ekvivalencia van a gravitációs tér és egy gyorsuló koordináta-rendszer között.

Eötvös nevét az előbb említett mérésein túl más munkái is őrzik. A kapillaritás Eötvös-törvényének felismerésén túl ő alkotta meg azt az Eötvös-féle torziós ingát, amellyel rendkívüli pontossággal lehet a gravitációs tér apró helyi változásait nagyon érzékenyen mérni. Nagyon szerényen erről így írt: „Egyszerű, mint Hamlet fuvolája, csak játszani kell tudni rajta, és miként abból a zenész gyönyörködtető változásokat tud kicsalni, úgy ebből a fizikus, a maga nem kisebb gyönyörűségére, kiolvashatja a nehézségnek legfinomabb változásait. Ilymódon a földkéreg oly mélységeibe pillanthatunk be, ahová szemünk nem hatolhat és fúróink el nem érnek.” Mit mondott volna vajon Eötvös, ha tudta volna, hogy ingájával fogják a texasi és venezuelai olajmezőket kutatni?

A fizikához és geofizikához köthető tudományos tevékenységén túl igen jelentős volt Eötvös munkássága a köznevelés, a kultúra és a széles értelemben vett magyar tudományosság területén is. Egy rövid időre kultuszminiszter volt, egy cikluson át az egyetem rektora, 16 éven át a Magyar Tudományos Akadémia elnöke, 1879-ben pedig ő alapította meg a Matematikai és Fizikai Társulatot, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elődjét.

A fizikusok nemzetközi közössége azonban leginkább az előbb tárgyalt mérései miatt ismeri őt. Közel száz évvel halála után még mindig nagy elismerés övezi, neve az általános relativitáselmélet kísérleti alapjait is tárgyaló könyvek java részében máig megtalálható. Ezért is fogadta el az UNESCO azt a magyar javaslatot, hogy halála 100. évfordulóján, 2019-ben a világon mindenütt emlékezzenek meg róla.

Nagy megtiszteltetés számunkra, hogy az Európai Fizikai Társulat elfogadta a magyar javaslatot, és ezt a helyet, ahol Eötvös munkálkodott, EPS Fizikatörténeti Emlékhelyé nyilvánította. Az ezt jelző emléktáblát fogjuk most az egyetem rektorával és az Európai Fizikai Társulat elnökével közösen leleplezni.

Elhangzott az emléktábla avatásán, 2018. október 12-én.

# A STABILITÁSI SÁVTÓL TÁVOL ESŐ ATOMMAGOK

## – 2. rész

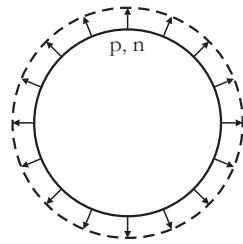
Fényes Tibor  
MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

A stabilitási sávtól távolodva az atommagokban számos változás tapasztalható. A *Fizikai Szemle* előző számában a következők kerültek tárgyalásra:

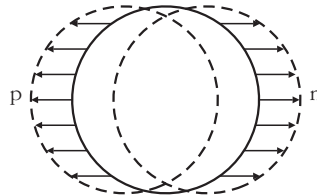
- A héjszerkezet változásai
- Neutronglóriás atommagok, neutronbőr

Jelen munka a következő változásokkal foglalkozik:

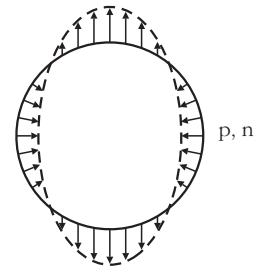
- Óriásrezonanciák
- $Z = N$  magok
- Atomagtömeg-változások
- Hiperdeformált magok
- Túl a nukleonleszakadási határon
- Elméleti eredmények



$\Delta L = 0$ , monopól  
 $\Delta T = 0$ , izoskalár  
 $\Delta S = 0$



$\Delta L = 1$ , dipól  
 $\Delta T = 1$ , izovektor  
 $\Delta S = 0$



$\Delta L = 2$ , kvadrupól  
 $\Delta T = 0$ , izoskalár  
 $\Delta S = 0$

6. ábra. Néhány óriásrezonancia-típus.  $\Delta L$  a maggerjesztésnél átadott keringési impulzusnyomatékot,  $\Delta T$  és  $\Delta S$  az izospin-, illetve spinváltozást jelöli alapállapotból történő gerjesztésnél.

Az óriásrezonanciák vizsgálata hasznos információt szolgáltat az atommagok kompresszibilitására is. Az egzotikus magoknál különösen kívánatos az óriásrezonanciák vizsgálata, mivel eddig csak nagyon kevés ilyen mérés történt.

Óriásrezonancia-vizsgálatokat például a következő laboratóriumokban végeztek.

- KVI Groningen (Hollandia),  $\alpha$ -szórás,
- GANIL Caen (Franciaország), MAYA aktív céltárgy,
- GSI Darmstadt (Németország) R<sup>3</sup>B-LAND program,  $(\gamma, \gamma)$  szórás,
- LNL Legnaro (Olaszország), AGATA program, nehézion reakciók 20 MeV/nukleon energiánál.

Az óriásrezonancia egyszerre lehet például izoskalár és izovektor is, azaz hibrid állapot.

Az ELI-NP (*Extreme Light Infrastructure, Nuclear Physics*, Măgurele, Bukarest mellett) nagy fényességű  $\gamma$ -nyalábrendszere lehetőséget adhat stabil rendszerek óriásrezonancia-finomszerkezetének vizsgálatára.

A jövőben az óriásrezonancia jelenségét intenzívebb radioaktív nyalábokkal szisztematikusan is lehet majd vizsgálni. Például azt, hogy a belső gerjesztési energia függvényében milyen változások lépnek fel a rendszerben. (Részletesebben lásd az írás végén, az *Összegzés, kitekintés* részben.)

Izoskalár óriásrezonanciák észlelésére *Zamora* munkatársaival új technikát fejlesztett ki. A GSI kísérleti nehézion-tárológyűrűjében (ESR)  $^{58}_{28}\text{Ni}_{30}$ -t tároltak 100 MeV/nukleon energián, amivel belső héliumgázcéltárgyat bombáztak, és a rugalmatlanul szórt  $\alpha$ -részecskéket detektálták. A módszer lehetőséget ad arra, hogy az óriásrezonanciát széles atommagtartományokban, instabil, egzotikus magoknál is vizsgálják.

## $Z = N$ atommagok

A kétrészecske-korrelációk fontos szerepet játszanak a magszerkezet kialakulásában. Ez a magtömegekben, kötési energiákban, a páros-páros atommagok  $0^+$

## Óriásrezonanciák

Régóta ismeretes, hogy  $(\alpha, \alpha')$ ,  $(^{17}\text{O}, ^{17}\text{O}'\gamma)$ ,  $(\gamma, \gamma')$  stb. reakciókkal az atommagok óriásrezonanciára gerjeszthetők. A jelenség könnyű és nehéz, gömbszerű és deformált, gyakorlatilag minden atommagban fellelhető. A jó hozammal való gerjesztéshez nagy bombázó energiákra van szükség. A rezonanciacsúcs szélessége általában 3–6 MeV. Az óriásrezonancia legerjesztődése történhet  $\gamma$ -emisszióval, de nagyobb energiáknál részecskekibocsátás is lehetséges.

Az óriásrezonancia a résztvevő nukleonok kollektív gerjesztődésének megnyilvánulása. Néhány óriásrezonancia-típus a 6. ábrán látható.

A történetileg először észlelt  $\Delta L = 1$ ,  $\Delta T = 1$ ,  $\Delta S = 0$  elektromosdipól-óriásrezonanciát *Goldhaber* és *Teller* úgy értelmezte, hogy az atommag protonjai és neutronjai dipóloszcillációt végeznek ellenkező fázisban. A hidrodinamikai modell közelítőleg helyesen reprodukálta az óriásdipól-rezonancia  $E_{gerj}$  gerjesztési energiájának tömegszámfüggését, nevezetesen, hogy  $E_{gerj} \approx \text{konst.} \cdot A^{-1/6}$  MeV. A jelenség részletes leírása például *Harakech*, *Van der Woude* [9] munkájában található.



Fényes Tibor az MTA Eötvös-koszorús doktora, az ATOMKI professor emeritusa. Hat évig dolgozott Dubnában az Egyesített Atommagkutató Intézetben és közel fél évig a Kentucky Egyetem tandemgyorsító laboratóriumában. Fő kutatási területei az atommag- és részecskefizika. Több mint 130 tudományos publikáció és 10 könyv szerzője, illetve társszerzője.



állapota feletti energiérés kialakulásában és sok más sajátságban jelentkeznek. A  $Z = N$  és szomszédos atommagok vizsgálata  $A = 100$ -ig információt adhat az izospin szerepéről, tükrömagokról, a szupermegengedett  $\beta$ -bomlásról, pn-párkorrelációkról, egzotikus magalakokról. Tanulmányozható, hogy az izoskalár ( $T = 0$ ) párkölcönhatás miként járul a kollektív állapotok kialakulásához.

A  $Z = N$  esetében a proton- és neutronpályák átfedése miatt könnyen alakulhat ki pn-párkölcönhatás. E téren a Jefferson-laboratórium (Virginia, USA) kísérlete különösen érdekes eredményeket szolgáltatott. Folytonos elektronnyaláb-gyorsítójukon 4,6 GeV-es elektronokkal  $^{12}\text{C}_6$  céltárgyat bombáztak, és a rugalmatlanul szórt elektronokat a kirepülő nukleonokkal koincidenzában mérték.

Az esetek 80%-ában egyes nukleonok, 18%-ában pn-párok, 1-1%-ában nn-, illetve pp-párok lépnek ki a  $^{12}\text{C}$  atommagból. Az elméleti számítások arra utalnak, hogy a pn-párok más nukleonpárokhoz képesti túlsúlya a nukleon-nukleon tenzorerő következménye.

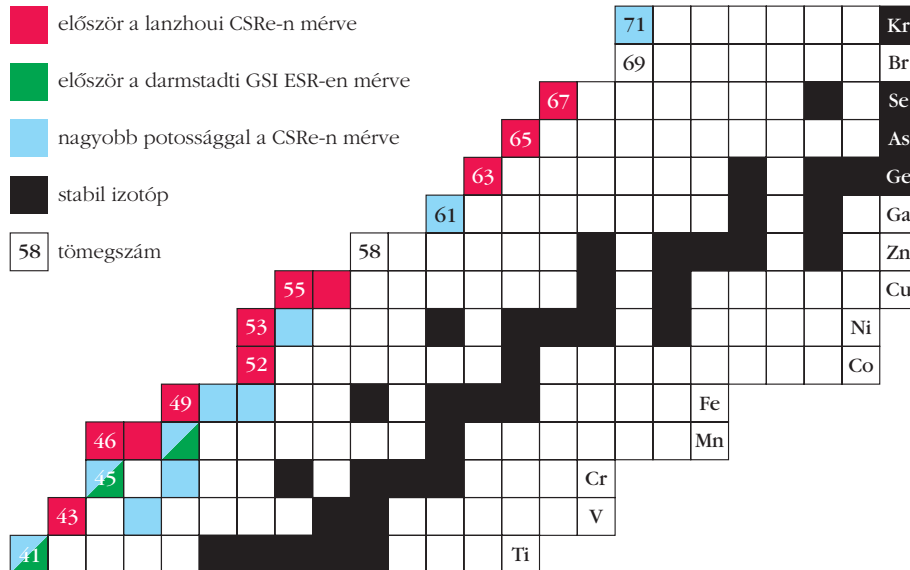
A témakör részletesebb ismertetését lásd például Fényes és munkatársai *Atommagfizika* [5] könyvében (II.3., III.3., X.2.2. alfejezetek).

A  $Z = N$  magok vizsgálata továbbra is perspektivikus. Például:

- A deuterontranszfer-reakciókból új információ nyerhető a nukleonpárookra.
- Ígéretes a felcsípési és lefosztási reakciók vizsgálata nagyon rövid felezési idejű ( $T_{1/2} = 10^{-6} - 10^{-9}$  s) izotópoknál.
- Fejlett  $\gamma$ -spektroszkópiai berendezésekkel perspektivikus a  $^{80}\text{Zr}_{40}$  és  $^{100}\text{Sn}_{50}$  körüli magok tanulmányozása.
- A GANIL SPIRAL2 (Caen, Franciaország) program várhatóan sokat adhat a  $Z = N$  magok alap- és gerjesztett állapotainak vizsgálatához.

## Atommagtömeg-változások

Shottky- vagy izokrón tömegspektrometriai módszerekkel precíziósan lehet meghatározni a stabilitási sávtól távol eső atommagok tömegét. A vizsgált izotópot tárológyűrűbe vezetik, majd az ion tömegére az ott keringő ionok frekvenciájának ismeretében vonnak le következtetést. Így például a Lanzhou HIRFL (Heavy Ion Research Facility, Lanzhou) laboratóriumában számos rövid felezési idejű atommag tömegét sikerült meghatározni. Az izokrón tömegspektrometria gyors és hatékony módszernek bizo-



7. ábra. Tömegmérések a Lanzhou CSRE tárológyűrűjén Litvinov és Xu [10] alapján.

nyult, a tömegmeghatározás elért relatív pontossága néhány százszor  $10^{-6}$ . Az eredményekről áttekintés található a 7. ábrán.

A GSI és GSI FAIR programokban is vannak/lesznek precíziós tömegmérési eredmények. Például Pening-csapdás mérésekkel  $6 \cdot 10^{-8}$  tömegmérési pontosságot értek el. A CERN-i ISOTRAP berendezésben több száz nagypontosságú tömegmeghatározást végeztek  $T_{1/2} \geq 60$  ms-os izotópokra.

## Hiperdeformált atommagok

Egyes atommagoknál hiperdeformált állapotok – ahol a tengelyarányok akár 3:1 értéket elérhetnek – is feltehetően léteznek.

A 8. ábrán látható, hogy a  $^{232}\text{U}$  és  $^{238}\text{U}$  esetében hogyan függ az atommag  $E$  potenciális energiája a  $\beta_2$  kvadrupól-deformációs paramétertől.

A  $^{232}\text{U}$  hasadását a  $^{231}\text{Pa}({}^3\text{He}, \text{df})^{232}\text{U}$  ( $f = \text{fission}$ , hasadás) reakcióban mérték a 4,0–6,4 MeV gerjesztésienergia-tartományban. Látható, hogy 4,0, 4,91 és 6,02 MeV potenciális energiáknál három csúcspont jelentkezik, amelyekre rotációs sávok épülnek.

A méréseket a Maier–Leibnitz Laboratóriumában (München, Garching) végezték az ottani tandemgyorsítónál. A  $^{232}\text{U}$  gerjesztési energiáját a kilépő deuteronok – mágneses spektrométerrel megmért – energiájából határozták meg.

A 8. ábrán alul a  $^{238}\text{U}$  – fotohasadási mérések alapján meghatározott –  $E(\beta_2)$  függvénye látható. A vizsgálatokat monokromatikus, nagy fényességű, relativisztikus elektronnyalábról Compton-visszaszórt  $\gamma$ -sugarakkal végezték (Triangle University, Nuclear Laboratory, Durham, North Carolina). A  $\gamma$ -sugarak energiáját 4,7 és 6,0 MeV között változtatták, az energiafeloldás  $\sim 3\%$  volt. A  $^{238}\text{U}$ -nál is három csúcspont észleltek a  $\beta_2$  függvényében, amelyekre  $0^-, 0^-, 1^-, 2^+$  sávok épültek.

Az ELI-NP (Bukarest) nagy fényességű, kvázi-monokromatikus  $\gamma$ -sugárzásai várhatóan új lehetőségeket teremtenek a hiperdeformált magállapotok szelektív vizsgálatára. A harmadik hiperdeformált minimum problematikája (ahol a tengelyarány  $\sim 3:1$ ) még megnyugtatóan nem megoldott. A nagy intenzitású, kvázi-monokromatikus  $\gamma$ -sugarakkal ritka hasadási módokat is lehet vizsgálni, például hármass hasadást. Az igen nagy teljesítményű lézerrendszer  $10^{15}$  V/m elektromos teret is tud biztosítani.

## Atommagok túl a leszakadási határon

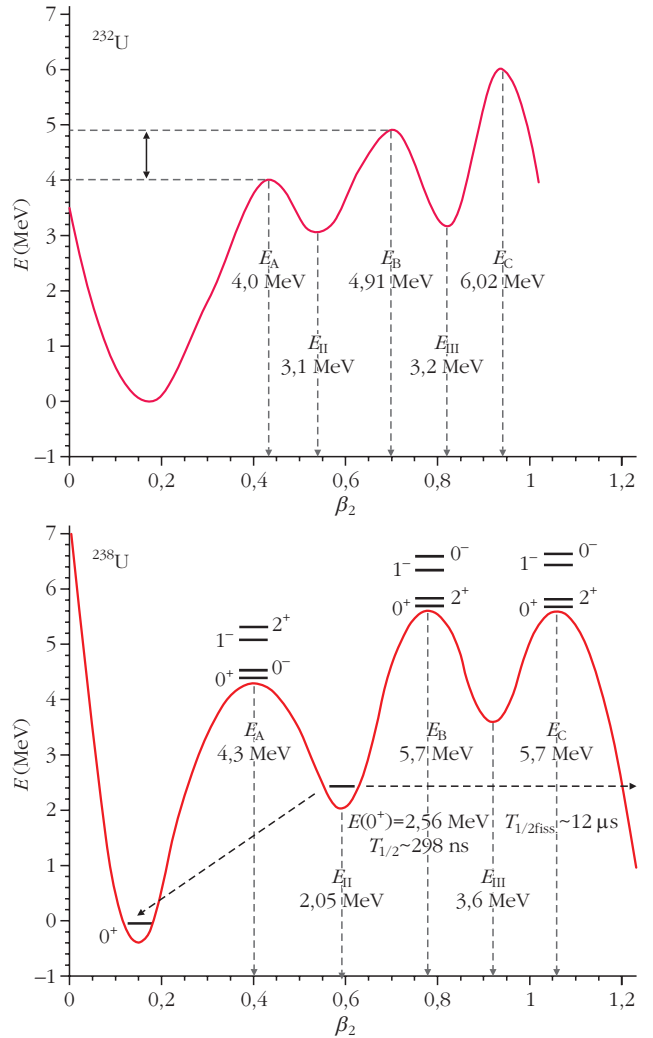
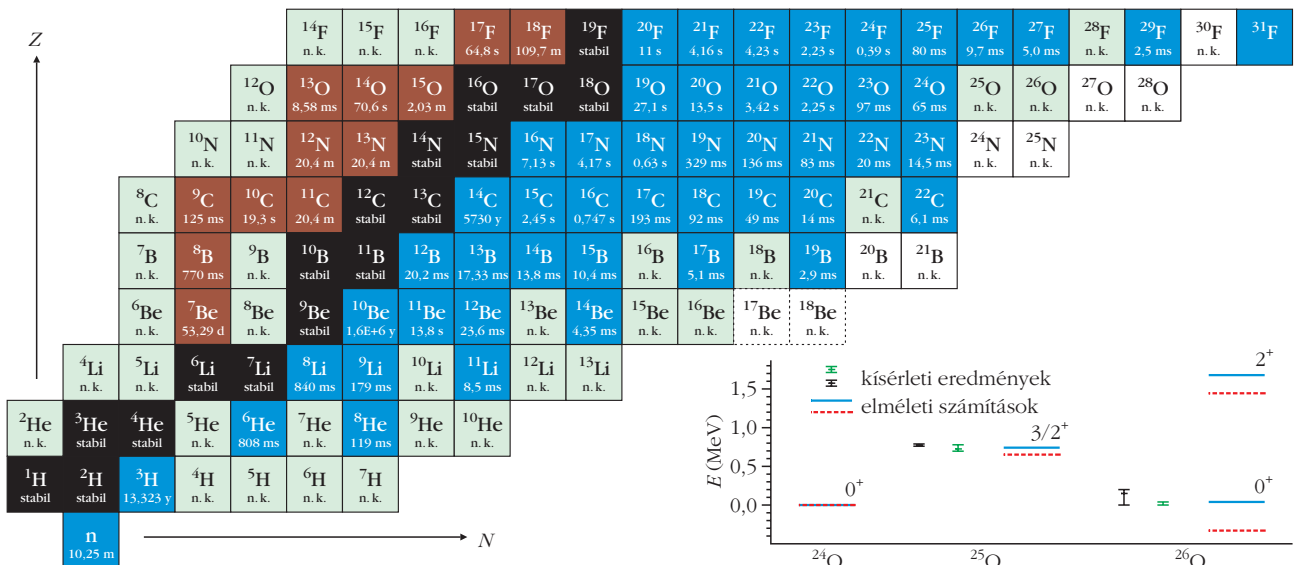
A 9. ábrán felül a legkönnyebb elemek izotóptáblázata látható. Nagy energiájú kiütési reakciókkal nem kötött állapotok – túl a neutronleszakadási határon – is előállíthatók. Ezek bomlásának kinematikailag teljes vizsgálatára (szög-, energia- és impulzuskorrelációk) lehetővé tette nem kötött állapotok azonosítását és kvantumszámok meghatározását.

A 9. ábrán alul a  $^{24,25,26}\text{O}$  első energiánívói vannak feltüntetve: kísérleti adatok és elméleti értelmezésük különböző modellekkel. A  $^{26}\text{O}$  nagyon alacsonyan fekvő alapállapotát magasabb közelítésben sikerült értelmezni.

## Elméleti eredmények

Az elmúlt évtizedben az *ab-initio* magfizikai számítások hatalmas fejlődésen mentek át. Új eredmények születtek nem csak a könnyű, de a nehéz atommagoknál is. Ezek a magkölsönhatások értékes próbái, és elősegítik az optimális bemenő paraméterek megtalálását is. Rács-QCD-számítások a rendszer kötött állapotait elsődleges elvekből (a QCD Lagrange-ener-

9. ábra. Felül: a nuklidtáblázat részlete a legkönnyebb magoktól a fluorig. A neutronleszakadási határ az oxigénig jól meghatározott, míg a fluornál a legnehezebb kötött állapot a  $^{31}\text{F}$ . A nem kötött (n. k.) izotópok közül a fehéreket még nem azonosították. Jobbra lent: a  $^{24,25,26}\text{O}$  energiánívói, ahol a kísérleti értékeket és a különböző kölcsönhatásokat figyelembe vevő elméleti számítások eredményeit is jelöltük. Aumann, Simon [12] (Darmstadt) alapján.



8. ábra. Felül: a  $^{232}\text{U}$   $E$  potenciális energiája  $\beta_2$  kvadrupól-deformációs paraméter függvényében. Alul: hasonló  $E(\beta_2)$  összefüggés, mint felül, de  $^{238}\text{U}$ -ra. Csige és munkatársai [11] alapján.



giasűrűségéből vagy annak különböző közelítéseiből) kiindulva írják le. A módszerről korszerű összefoglalót közöltek Hashimoto és munkatársai [13].

Az atommagok szerkezetének megértéséhez az effektív térelméletek, például a királis perturbációs elmélet nagyon sikeres közelítést jelentenek (Weinberg [14]). E közelítésben a Lagrange-energiasűrűség a következő általános alakba írható:

$$L_{QCD} \rightarrow L_{eff} = L_{\pi} + L_{\pi N} + L_{NN} + \dots,$$

ahol  $L_{\pi}$  a Goldstone-bozon,  $L_{\pi N}$  a pion-nukleon,  $L_{NN}$  a nukleon-nukleon kölcsönhatást tartalmazza. Az expliciten ki nem írt tagok a nukleáris többtesterők hozzájárulását veszik figyelembe, például a (2 nukleon + pion) és (3 vagy több nukleon pionokkal vagy nélkülük).

A királis perturbációs térelmélet részletesebb kifejtését lásd például Fényes [15] (VII.4.2. pont) könyvében és Machleidt, Entem [16] összefoglalójában.

## Összegzés, kitekintés

Mint az előbbi néhány példa mutatja, a stabilitási sávól távol eső atommagok vizsgálatában sok értékes eredmény született.

A  $\beta$ - és p-bomlás vizsgálatához néhányszor 10 részecske/s radioaktívnyaláb-intenzitás is elég lehet. Az

első gerjesztési nívók Coulomb-gerjesztéssel, részecsketranszfer-reakciókkal való vizsgálatához azonban már legalább néhányszor 100 részecske/s intenzitás szükséges. A nívósémák, rezonanciák részleteinek felderítéséhez pedig további 2-3 nagyságrenddel nagyobb nyalábintenzitások kellenek.

A nagy európai, amerikai és ázsiai kutatóintézetekben – egyre javított feltételek mellett – hatalmas erőfeszítéseket tesznek a kutatások folytatására. Különösen perspektivikusak a GSI (Darmstadt), GANIL (Caen), CERN ISOLDE, ACCULINNA (Dubna), JYFL (Finnország), NSCL FRIB (Michigan), Texas Ciklotron Intézet, TRIUMF SLAC (Vancouver), RIKEN RIBF (Japán), HIRFL (Lanzhou, Kína) programok, sok más kisebb intézet programjai mellett.

## Irodalom

9. M. N. Harakech, A. Van der Woude: *Giant resonances: fundamental high frequency modes of nuclear excitation*. Oxford University Press (2001)
10. Y. A. Litvinov, H. Xu, *Nucl. Phys. News* 21 (2011) 13.
11. L. Csige et al., *Phys. Rev. C* 80 (2009) 011301 (R) és *Phys. Rev. C* 87 (2013) 044321.
12. T. Aumann, H. Simon, *Nucl. Phys. News* 24 (2014) 5.
13. S. Hashimoto et al., *Rev. Part. Phys. Particle Data Group* 2016, 310.
14. S. Weinberg, *Physica* 96 A (1979) 327.
15. Fényes T.: *Részecskék és kölcsönhatásaik*. 3. korszerűsített kiadás, Debreceni Egyetemi Kiadó (2013)
16. R. Machleidt, D. R. Entem, *Phys. Rep.* 503 (2011) 1. Ulf-G. Meisner, *Nucl. Phys. News* 24 (2014) 11. R. Wada et al., *Nucl. Phys. News* 24 (2014) 28.

# CIRKÓNium MINT AZ ATOMERŐMŰVEK SZERKEZETI ANYAGA

Griger Ágnes  
AEMI Atomenergia Mérnökiroda

A nukleáris reaktorokhoz kapcsolódó különböző technikai és gazdaságosságra irányuló fejlesztések egyik folyamatosan szem előtt tartott célja – a meglévő reaktorok élettartamának növelése mellett – azok fenntartható és egyre biztonságosabb működtetése. Ennek megfelelően a biztonsággal szembeni követel-

mények egyre növekednek, ami folytonos kihívást jelent a reaktoranyagok tulajdonságainak optimalizálásában.

A könnyű- és nehézvízes reaktorok működéséhez szükséges fűtőelemek kiégetése során aktinidaelemek izotópjai és hasadási termékek keletkeznek, amelyek bomlása az élő szervezetekre veszélyes radioaktív sugárzást okoz. Ezen radioaktív anyagok környezettől való elzárása mindig is hangsúlyos cél volt. Bár a fűtőelemmátrix (urán-dioxid) alapvetően visszatartja a keletkező anyagokat, nagyon lényeges a fűtőelem burkolatának izoláló hatása. A fűtőelemek burkolatának legfontosabb feladata az, hogy a fűtőelemmátrixból kilépő radioaktív anyagok környezetbe való kijutása szempontjából *elsődleges gátként* működjön. Ehhez – még szélsőséges működési körülmények között is – a burkolat integritásának megőrzésére, a *hermetikus megőrzésére* van szükség.

Az üzemeltetési körülmények jelentős gazdasági haszonnal járó kiterjesztésével és a villamosáram-termelés

A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal az NVKP\_16-1-2016-0014 számú projekt keretében támogatta.



Griger Ágnes, a fizikai tudomány kandidátusa az AEMI Atomenergia Mérnökiroda tudományos főmunkatársa. Kutatási területe az atomreaktorok-fűtőelemek besugárzás alatti viselkedésének vizsgálata, különös tekintettel a reaktorbiztonsági kérdésekre, például a továbbfejlesztett fűtőelemek bevezetését megalapozó elemzések végzése. Vezetésével nemzetközi együttműködésben kiégetett VVER fűtőelemek széleskörű anyagtudományi vizsgálatát végezték. A FURUM stationer fűtőelem-viselkedési kód egyike szerzője.

fokozásával ma is további fejlesztések válnak szükségessé a fűtőelem-burkolat mechanikai tulajdonságainak javításához, a sugárkárosodással szembeni ellenállásának és korrózióállóságának növeléséhez.

Ugyanakkor az új fejlesztésű üzemanyagpálcák bevezetése hatósági engedélyekhez kötött. Az engedély megszerzésének alapja a fűtőlempálcák megfelelőségének igazolása a burkolat integritását biztosító kritériumok teljesüléne bizonyításával. Ehhez mindenkor valamennyi reaktorállapotot lefedő, nagyszámú fűtőelem-viselkedési szimuláció elvégzése és értékelése szükséges az új fűtőelemek üzemeltetés közbeni várható viselkedésének megismeréséhez. Az eredmények alapul szolgálnak az üzemanyagpálcák sérülésmentességének előzetes igazolásához, illetve azon körülmények azonosításához, amikor a pálcák esetleg inhermetikussá válhatnak. Ezeket a szimulációkat – természetesen – kísérletileg széleskörűen ellenőrzött számítógépi programokkal kell elvégezni.

A végső cél olyan fűtőlempálcák kifejlesztése és optimalizált működtetési körülmények megvalósítása, amelyek hozzájárulnak a fűtőelem-gazdálkodás folyamatos javításához.

A burkolatanyagok fejlesztése területén megszerezhető ismeretek nemcsak jelentős mértékben befolyásolják a reaktorok, így a Paksi Atomerőmű reaktorainak biztonságát, hanem önmagukban is érdekes anyagtudományi kérdéseket vetnek fel.

Az MTA Energiatudományi Kutatóközpont és az ELTE TTK Anyagfizikai Tanszéke a NUBIKI Nukleáris Biztonsági Kutatóintézet és a TÜV Rheinland bevonásával – az NKFIH anyagi támogatásával – 2017 és 2019 között e tárgyban projektet valósít meg.

## Miért éppen cirkónium?

A burkolatanyagokkal szembeni követelmények érvényesítése a „hősi időkben”, amikor a nukleáris biztonsági kérdések megoldása még nem volt olyan kiforrott, mint napjainkban, komoly technikai kihívást jelentett az anyagtudomány számára. Az ötvenes években, az atom-tengeralattjárókban működő nukleáris reaktorok fűtőelemei számára olyan anyagokat kerestek, amelyek *termikusneutron-abszorpciós hatás keresztmetszete kicsi, magas hőmérsékleti szilárdsági tulajdonságai jók* (nagyszilárdságú, ugyanakkor jól alakítható anyagok) és *magas hőmérsékletű vizes közegben ellenállnak a korróziónak* [1]. A keresés során a hagyományos szerkezeti anyagok hamar kiestek a rostán, mert például az amúgy jó korróziós és magas hőmérsékleti mechanikai tulajdonságokkal rendelkező acélok (vagy akár a nikkel- és a titánötvözetek) nagy neutronbefogási hatás keresztmetszettel rendelkeznek, az acélok ráadásul még sok olyan ötvöző elemet is tartalmazhatnak, amelyek erősen felaktiválódnak. Az alumínium- és magnéziumötvözetek főleg a gyenge magas hőmérsékleti szilárdsági tulajdonságaik miatt estek ki a versenyből. A cél megvalósítása érdekében az anyag kiválasztásának tiszte nem ki-

sebb személyiséget illetett meg, mint *H. G. Rickover*, a US NAVY legendás hírű admirálisát [2], aki nemcsak kiváló katona volt, hanem élenjáró reaktor-technológiai, reaktorfizikai és nem utolsósorban anyagtudományi tudással is rendelkezett [3]. Az admirális ötvenes évek beli döntése mind a mai napig meghatározza a nyugati fejlett országokban használatos nukleáris reaktorok fűtőelemeinek burkolatanyagát, annak egész technológiáját és fejlesztését. A Szovjetunióban – ettől függetlenül – az ott kifejlesztett nukleáris reaktorok néhány szerkezeti anyagához és a fűtőelemek burkolatanyagához szintén cirkóniumötvözet mellett döntöttek, de a történeti részletek számunkra kevésbé ismertek.

## A cirkónium és ötvözetei

A cirkóniumot tartalmazó ércben több természetes kísérő elem található, amelyek közül egyedül a  $\leq 4,5$  tömeg %-ban előforduló hafnium a lényeges, mivel ennek mennyisége jelentős és nagyon nagy termikusneutron-abszorpciós hatás keresztmetszete van. Ezért a hafniumot a nukleáris reaktorok céljaira szolgáló fém cirkónium alapanyagból eltávolítják, vagy tömegarányát legalább  $\leq 100$  tömeg ppm alá szorítják. Az alapanyag ekkor sorolható „reaktor minőségű” tisztasági osztályba és használható fel nukleáris alkalmazásokban.

A fém cirkónium alacsony hőmérsékleti állapota  $\alpha$ -Zr *szoros illeszkedésű hexagonális szerkezetű* (tércsoport:  $P6_3/mmc$ , elemicella-méret:  $a = 0,323$  nm és  $c = 0,515$  nm), ami magas hőmérsékleten ( $\geq 863$  °C-on)  $\beta$ -Zr *tércentrált köbös szerkezetű* (tércsoport:  $Im\bar{3}m$ , elemicella-méret:  $a = 0,361$  nm) szilárd fázisként létezik.

A nukleáris alkalmazásban a cirkónium kétféle kétalkotós ötvözetcsoportját használják, ahol az *ón* és a *nióbbium* a fő ötvözők, illetve újabban a kettő kombinációjából kialakított háromalkotós ötvözeteket is használnak (*1. táblázat*). (Az „Exxx” jelű ötvözetek orosz, az M5 francia, a ZIRLO Westinghouse, a Zr2,5Nb orosz vagy kanadai fejlesztésű, a többi amerikai, angol vagy francia.)

A nióbbium ötvözőelem és további mellékötözők, szennyezők a Fe, Ni, Cr, Cu stb., valamint a működés alatt felvett hidrogén a magas hőmérsékleti  $\beta$ -fázist, míg az ón ötvözőelem és az O, C, N, Al stb. elemek az  $\alpha$ -fázist stabilizálják. Ennek megfelelően a kétféle ötvözet mechanikai tulajdonságai, besugárzás alatti viselkedésük és főleg korróziós tulajdonságaik jelentősen eltérnek egymástól.

A nukleáris reaktorokban – hasonlóan más felhasználásokhoz – a szerkezeti anyagokként megjelenő ötvözetek megfelelőségét és használhatóságát azok mindenkor fémfizikai állapota, és az abból adódó tulajdonságai és viselkedése biztosítja.

A nukleáris technológiában alkalmazott burkolatötvözetekből kialakított szerkezetek (főleg csövek) fémfizikai állapotát elsőként az előállítási mód, a hideg- és melegalakítások, azok mértéke, illetve az azokat

1. táblázat						
ötvozet	Sn	Nb	Fe	Cr	Ni	felhasználás
Zircaloy-2	1,3–1,5		0,15–0,18	0,1	0,05–0,07	BWR <sup>1</sup> /C <sup>2</sup>
Zircaloy-4	1,3–1,5		0,2	0,1		PWR <sup>3</sup> /BWR/C
ZrSn	0,25					BWR
E110		0,9–1,1	0,005–0,07			VVER <sup>4</sup>
M5 <sup>TM</sup>		1,0	0,015–0,06			PWR
E125		2,5				RBMK <sup>5</sup>
Zr2,5Nb		2,4–2,8				CANDU <sup>2</sup>
E635	0,8–1,3	0,8–1,0				VVER
Zirlo <sup>TM</sup>	0,67	1,0	0,1			PWR/BWR

<sup>1</sup> BWR (Boiling Water Reactor): forralóvízes reaktor

<sup>2</sup> CANDU (=C): forralóvízes reaktor (kanadai típus)

<sup>3</sup> PWR (Pressured Water Reactor): nyomottvízes reaktor

<sup>4</sup> VVER: nyomottvízes reaktor (oroszl típus)

<sup>5</sup> RBMK: grafitmoderátoros reaktor (oroszl típus)

követő hőkezelések határozzák meg. A használat (kiégetés) alatt az eredeti állapotból a besugárzás és a további hőhatások alakítják ki a mindenkori állapotokat (*alapállapot, alakított, alakított és feszültségmentesített, vagy valamilyen mértékben kilágyított*), amelyekhez meghatározott nano- és mikroszerkezet tartozik. Ezek kialakulása és továbbfejlődése a besugárzás alatt nagymértékben meghatározza a sugárzás okozta anyagdegradációból származó makroszkopikus tulajdonságokat, valamint a burkolatviselkedés folyamatainak dinamikáját, irányfüggését és mértékét.

A burkolatanyagként használt cirkóniumötvozetek – mint polikristályos anyagok – egyik fő jellemzője, hogy valamilyen *textúrával* rendelkeznek. Hexagonális kristályszerkezetű, anizotróp anyagok textúrájának korrekt számszerűsítéséhez az úgynevezett Kearns-féle *textúrafaktorokat* ( $f_r, f_T, f_Z$ ) használják [4].

## Méretváltozások besugárzás alatt

A cirkóniumötvozetek esetében – a felhasználás és a biztonsági kérdések szempontjából – a besugárzás okozta hatások közül a *méretváltozások* (dimenzionális instabilitás) a legfontosabbak, mivel azok szoros összefüggésben vannak a pálcák hermetikusságának megtartásával.

Ezért a burkolatszilárdsági és a vele összefüggő méretváltozási tulajdonságaira vonatkozó szigorú, bonyolult kísérletek sorozatából származó kritériumok írják elő az üzemeltetés alatti méretváltozások, illetve a burkolatban ébredő feszültségek megengedett maximális értékeit (*kritériális paraméterek*), amelyek elérése esetén sem léphet fel burkolatsérülés. A reaktorok biztonsága érdekében a kritériumok teljesülésének igazolására nagyszámú fűtőelem-viselkedést kell szimulálni, mégpedig az adott kritériumban szereplő paraméterre ható legkedvezőtlenebb körülmények között, azaz a legkonzervatívabb besugárzási történet mellett.

A besugárzás természetesen az egyéb fizikai jellemzőkre (például a hővezető-képesség vagy a mechanikai tulajdonságok) is hatással van, de az okozott változások általában csak a méretváltozásokra ható körülményeket befolyásolják (például a besugárzás alatti hőmérsékletet, a kialakuló belső feszültségviszonyokat). A megváltozott körülmények azonban visszahatnak a méretváltozásokra, amit a fűtőelem-viselkedési kódok méretváltozási folyamatok leírására szolgáló modelljeiben figyelembe kell venni.

A cirkóniumötvozetekben a besugárzás okozta anyagdegradációból származó két fő maradandó alakváltozással járó burkolatviselkedési folyamat a besugárzás okozta *sugárzási alakváltozás*, illetve a *besugárzás által felfokozott* termikus *kúszás* (állandó terhelés melletti, időben növekvő alakváltozás).

V. P. Smirnov és munkatársai mérései alapján [5] a maradandó alakváltozás elsősorban kúszásból ered, míg a sugárzási alakváltozás a kúszás felénél is kisebb. Tipikus erőművi besugárzás végén a teljes axiális méretváltozás körülbelül 0,5%, aminek 30%-a a besugárzásos alakváltozás. A besugárzás okozta méretváltozásokat VVER és PWR pálcákra nagy pontossággal tudjuk modellezni az MTA EK-ban kifejlesztett és használt FUROM fűtőelem-viselkedési számítógépes programmal [6].

A sugárzáskontrollált méretváltozási folyamatokban nagy szerepe van az adott ötvozetek mindenkori aktuális textúra/anizotrópiaállapotának, ami meghatározza a folyamatok irányfüggő hatásait. Ugyanakkor az irányfüggő makroszkopikus tulajdonságok jól értelmezhetőek és jellemezhetőek az anizotróp nano/mikroszerkezettel [7–10].

A besugárzás okozta sugárzási alakváltozás csak azon ötvozetekben, például a cirkóniumötvozetekben lép fel, ahol az alapfém kristályszerkezete *anizotróp*. A folyamat feszültségmentes állapotban zajlik le és nem jár térfogat-növekedéssel. Ha adott (kitüntetett) irányban növekedés következik be, a térfogat állandóságának kényszere miatt szükségszerűen a másik két irány legalább egyikében kontrakciónak kell történnie. (Megjegyzendő, hogy szélsőséges – normálüzemi reaktorműködésben nem előforduló –, például kísérleti körülmények között nagyon magas hőmérsékletnél, nagymértékű besugárzásnál – mind a térfogat állandóságára, mind a feszültségmentességre nézve az állítás nem mindig helytálló.)

*Izotróp* anyagokban (például a burkolatanyagként szintén alkalmazott acélokban), feszültségmentes állapotban ugyancsak fellép besugárzás okozta sugárzási alakváltozás, de ez térfogat-növekedéssel járó izotróp folyamat, amelyet *duzzadásnak* nevezünk.



Tartós, *külső mechanikai feszültségek* hatására mind az izotróp, mind az anizotróp anyagokban a mindenképp fellépő termikus *kúszás* egy sugárzás okozta járulékkal erősödik fel, ami reaktorkörnyezetben dominánssá válik.

## Mikroszkopikus folyamatok besugárzás alatt

A besugárzáskontrollált dimenzionális instabilitásokat elsősorban az ötvözet *összetétele*, annak *metallurgiai állapota* és a külső behatások: a *bőmérséklet*, a *gyors-neutron-fluxus* és *-fluens* befolyásolják. A burkolatanyagok – gyártástechnológiájukból adódóan, már felhasználásuk előtt – úgynevezett *axiális textúrával* rendelkeznek, ahol a kitüntetett irány a pálca hosszanti tengelye. Ennek megfelelően a sugárzás okozta méretváltozás ezen irányban szignifikáns és pozitív.

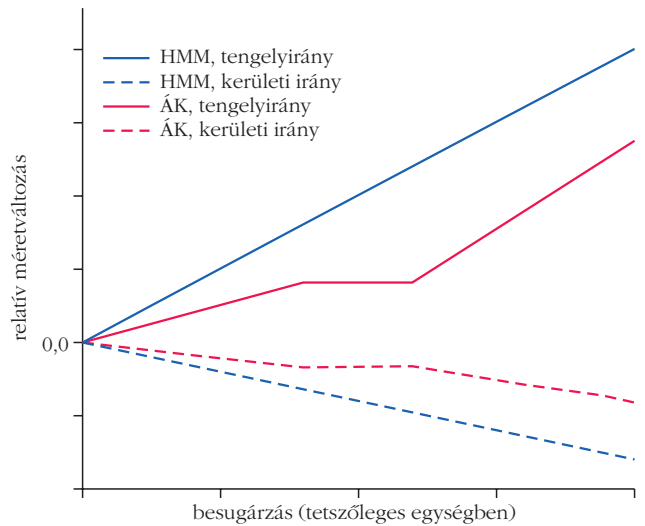
A besugárzás okozta dimenzionális instabilitásokat alapvetően az anyagban fellépő sugárkárosodás, azaz a ponthibák [11] megjelenése, majd azokból az  $\langle a \rangle$  és  $\langle c \rangle$  típusú diszlokációk kialakulása és fejlődése, valamint a fő és segédötvozők átrendeződése okozza.

Az  $\langle a \rangle$  irányú (főleg) intersticiális atomcsoportokból, illetve a  $\langle c \rangle$  irányú (főleg) vakanciákból álló diszlokációhurkok kontrollálják a növekedési folyamatot, ahol az  $\langle a \rangle$  irányú hurkok a kristályrács prizmatikus lapjain, míg a  $\langle c \rangle$  irányú hurkok a bázislapon helyezkednek el. Természetesen ezek a vakancia- és intersticiális csoportképződmények vonaldiszlokációs formában, hálózatosan, véletlenszerűen, és/vagy szemcsehatárok mentén is elhelyezkedhetnek, ekkor az irányultságuk vegyesen  $\langle a \rangle$ ,  $\langle c \rangle$  és  $\langle a+c \rangle$  is lehet. Az nyilvánvaló, hogy a síkokba rendeződött vakanciákból, illetve intersticiális atomokból képződött diszlokációhurkok a megfelelő síkokra merőleges irányban összehúzódnak, illetve tágulást okoznak.

A sugárzási alakváltozás jelenségének fő ismérve, hogy a vakanciák és az intersticiális atomok csoportjai *anizotróp módon* helyezkednek el a kristályráciban. Azaz a vakanciák, illetve az intersticiális atomok alkotott csoportosulások saját *anizotróp eloszlással* rendelkeznek a rácshoz képest, amelyek egymástól is különböznek [9].

A nano-nagyságrendű diszlokációs szerkezet kialakulását és a besugárzás alatti fejlődését a szemcse- és szubszemcseszerkezet, a szemcseméret, a szemcsehatárok, azok orientációja, a szilárdoldat-tartalom dinamikája, a másodlagos kiválás beoldódása és újra kiválása, azok amorfizálódása befolyásolja [12]. A (szub)szemcseszerkezet a szemcsehatárok révén, a ponthibák és a diszlokációk számára nyelő/gyűjtő funkcióval befolyásolja azok elhelyezkedését és átrendeződését.

Az egyes mellékötvozők, főleg a *vas*, valamint a cirkónium  $\alpha$ -fázisát stabilizáló *oxigén*, már 100–1000 ppm nagyságrendű megjelenése jelentősen megváltoztatja a cirkóniumötvozetek dimenzionális stabilitását, növelve a besugárzás okozta sugárzási alakváltozással szembeni ellenállásukat. A vas másodlagos intermetallikus vegyületeket tud létrehozni, amelyek



1. ábra. A relatív méretváltozás a besugárzás mértékének függvényében, különböző irányokban. HMM = hidegen megmunkált és ÁK = átkristályosított (kilágyított) ötvözetekben.

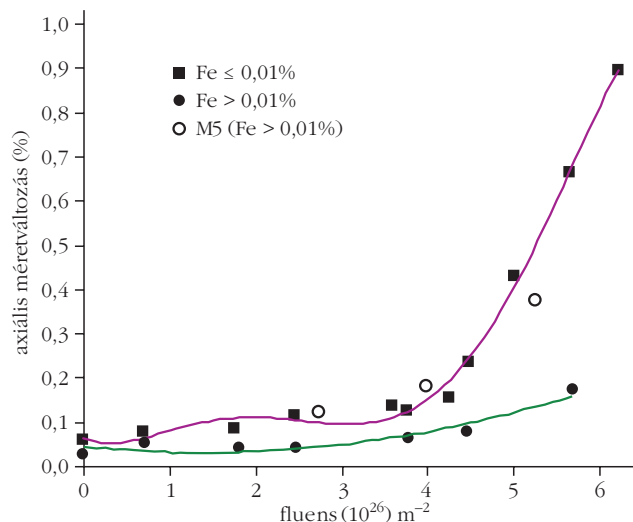
besugárzás alatti változása (dinamikus beoldódása, újra kiválása finom, diszperz alakban, illetve túltelített szilárd oldat képzése vagy amorfizálódása) a kiválásos szilárdságot növeli. A vas nano/mikroszerkezetbeli mozgása továbbá legfőképpen olyan nukleációs helyeket hoz létre, amelyek a diszlokációs szerkezet változásait befolyásolják.

A sugárzás okozta nano/mikroszerkezet-változási folyamatok kvalitatív jellemzése alapján jól magyarázható a különböző metallurgiai, termomechanikai állapotban lévő, polikristályos anizotróp ötvözetek sugárzás okozta méretváltozása. A méretnövekedés többfajta nano/mikrofolyamat szerint zajlik le a besugárzás mértékének (*fluens*, *dpa* vagy *kiégés*) függvényében. A méretváltozást a kezdeti szakaszban az ötvözet eredeti, majd ezt követően a besugárzás során kialakuló aktuális nano/mikroszerkezete kontrollálja [13].

A függés menetét az  $\langle a \rangle$ , illetve a  $\langle c \rangle$  típusú diszlokációhurkok versenye határozza meg. A burkolatötvozet kezdeti állapota általában vagy *átkristályosított*, ahol a jellemző nano/mikroszerkezetben túlnyomó többségben vannak az  $\langle a \rangle$  diszlokációk, vagy *hidegen megmunkált*, ahol a  $\langle c \rangle$  típus alkotja a diszlokációk zömét.

*Átkristályosított* anyagban a besugárzás elején az  $\langle a \rangle$  típusú diszlokációhurkok dominálják a mikroszerkezetet. A méretnövekedés lassú, és kis telítési értéken állandósul (inkubációs periódus). Egy bizonyos fluensérték elérése után azonban a növekedési sebesség drasztikusan megnő (breakaway). Ekkor jelennek meg a nano/mikroszerkezetben a  $\langle c \rangle$  típusú diszlokációhurkok és sűrűségük a besugárzással fokozatosan nő. Ez a méretváltozási séma a közel véletlenszerűen elhelyezkedő szemcsékkel jellemezhető mikroszerkezetű, átkristályosított ötvözetekre írja le az irányfüggő makroszkopikus változást.

A *hidegen megmunkált* (esetleg csak feszültségmentesített) ötvözetekben, a hidegmegmunkálás alatt bevitt rácshibák jelenléte miatt, a nano/mikroszerke-



2. ábra. A sugárzás okozta méretváltozás fluensfüggése a kis vastartalmú régebbi (■) és a nagyobb vastartalmú új (● és ○) fejlesztésű E110 ötvözetek esetében (BOR-60 orosz kutatóreaktor-besugárzás).

zet domináns elemei a ⟨c⟩ típusú diszlokációhurkok, amelyek száma a besugárzás hatására a fokozott további kialakulások miatt folyamatosan növekedik. Ekkor inkubációs periódus nélküli, azonnali nagyméretű, lineáris, makroszkopikus méretnövekedés következik be, amit a nagyszámban jelen lévő ⟨c⟩ típusú diszlokációhurkok kontrollálnak. A méretnövekedés sebességét a ⟨c⟩ típusú diszlokációk sűrűsége határozza meg, ami az ötvözet hidegmegmunkálásának mértékétől függ. Minél erősebb a megmunkálás mértéke, annál nagyobb a diszlokációsűrűség és így a méretnövekedési sebesség.

A csőgeometriával rendelkező cirkónium burkolatanyagok besugárzástól függő méretváltozási trendjének sematikus rajza az 1. ábrán látható, ahol a tengelyirányú és a tangenciális (kerület irányú) méretváltozást is feltüntettük.

A burkolatanyagokként alkalmazott cirkóniumötvözetek kilágyított, újrakristályosított állapotban kerülnek felhasználásra. A besugárzás normál üzemi körülmények között, 270–320 °C hőmérsékleten történik. Ekkor a besugárzási hőmérséklet méretváltozást befolyásoló hatása az újrakristályosított anyagokra mindkét ötvözetcsoporthoz esetében elhanyagolható. A *rekrisztallizált* állapotú anyagoknál a hőmérséklet növekedésével csökkenő axiális növekedés jelensége nem szignifikáns. A *nióbiumentartalmú rekrisztallizált* ötvözetek axiális méretnövekedési mértéke mintegy négyszer kisebb, mint az öntartalmú, hasonló állapotú ötvözeteké [14]. Normál PWR reaktorokban elhelyezett minták is azt mutatták, hogy az M5 burkolatanyagok besugárzás okozta méretváltozása a Zircaloy-4-hez képest ugyanazon fluensértékeknél lényegesen kisebb mértékű és a  $2 \cdot 10^{26} \text{ nm}^{-2}$  fluensig nem következik be megszaladás a méretnövekedésben, ami az átkristályosított Zircaloy-4-nél már  $0,6 \cdot 10^{26} \text{ nm}^{-2}$ -nél létrejön. Ez a különbség egyrészt az M5 burkolat teljesen átkristályosodott állapotának, valamint a besugárzásnak jól ellenálló, nagy mikroszerkezeti stabilitásának köszönhető [15].

A besugárzás alatt, a mikroszerkezetet stabilizáló segédötözők szerepe az orosz gyártmányú E110 Zr1%Nb ötvözetek továbbfejlesztésében is nagy hangsúlyt kapott. Az E110 ötvözet új változataiban főleg a vastartalom növelése vezetett jobb méretstabilitásra. Mind az új 0,015-0,1%, mind a régi  $\leq 0,01\%$  vastartalmú Zr1%Nb ötvözetek esetében  $2 \cdot 10^{26} \text{ nm}^{-2}$ , illetve  $4 \cdot 10^{26} \text{ nm}^{-2}$  fluensig, az inkubációs periódusban (a stacioner növekedő és a telítési szakaszon) az *axiális méretváltozás* gyakorlatilag egyformán nagyon kicsi (0,01-0,02%). Nagyobb fluensértékeknél a régi típusú kis vastartalmú ( $\leq 0,01\%$ ) ötvözetek axiális méretváltozása drasztikus mértékben megváltozik, míg az új, 0,015% feletti vastartalmú ötvözetek méretváltozása még mindig a telítési szakaszon marad, vagy csak nagyon kis sebességgel növekszik. A megszaladás a régi burkolat esetében már  $2 \cdot 10^{26} \text{ nm}^{-2}$  fluensnél jelentkezett, de az újabb E110 burkolat esetében már csak  $4\text{--}5 \cdot 10^{26} \text{ nm}^{-2}$  fluens felett lép fel (2. ábra). Azonban meg kell jegyezni, hogy ezek a fluensértékek a normál üzemi felhasználás során nem jönnek létre, vagyis a megszaladáshoz szükséges besugárzási érték a gyakorlati használatban messze nem érhető el, még a régi fűtőelem esetében sem.

Újra érdemes megemlíteni, hogy a nióbiumos ötvözetek méretstabilitása lényegesen kedvezőbb, mint az öntartalmúaké. A nióbiumos ötvözetek jobban ellenállnak a besugárzás okozta méretnövekedésnek és a kúszásnak.

## Tanulságok

A létező és most megszerzett tudás valóban alkalmas arra, hogy segítségével egyre pontosabban tudjuk leírni a reaktorok fűtőelemeinek burkolatában lejátszódó termomechanikai folyamatokat. Ez a lényegében alapkutatási módszerekkel megszerzett tudás az akadémiai/egyetemi és az ipari szakemberek élő együttműködése révén valóságosan befolyásolni tudja azt, hogy a Paksi Atomerőmű blokkjai biztonságosan és egyre jobb gazdasági mutatókkal működjenek, és hasonlóképpen hathat a jövőben megépülő új paksi egységek működésére is.

## Irodalom

1. R. Krishnan, M. Asundi: Zirconium alloys in nuclear technology. *Sadhana* 4/1 (1981) 41–56.
2. B. Lustman, H. G. Rickover, L. D. Geiger (eds.): *History of the Development of Zirconium Alloys for Use in Nuclear Reactor E. R. a. D. Administration*. Washington DC. (1975)
3. H. G. Rickover et al.: *Naval Reactors Physics Handbook Vol. 1.*, USAEC (1964)
4. J. J. Kearns: *Thermal expansion and preferred orientation in Zircaloy*. WAPD-TM-472 (1965)
5. V. P. Smirnov, D. V. Markov, A. V. Smirnov, V. S. Polenok, S. O. Perepelkin, A. A. Ivashchenko: VVER Fuel: Results Of Post Irradiation Examination. *Top Fuel 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting*, 2–6 October 2005 Kyoto, Japan, Proceedings pdf 1073.
6. János Gadó, Ágnes Griger, Katalin Kulacsy: The fuel behaviour code FUOM and high burn-up simulation capability. *Nuclear Engineering and Design* 327 (2018) 274–285.

7. R. A. Holt, A. R. Causey: Effects of intergranular constraints on irradiation growth. *Journal of Nuclear Materials* 150 (1987) 306–318.
8. V. Fidleris: The irradiation creep and growth phenomena. *Journal of Nuclear Materials* 159 (1988) 22–42.
9. R. A. Holt: Mechanisms of Irradiation Growth of Alpha-Zirconium Alloys. *Journal of Nuclear Materials* 159 (1988) 310–338.
10. G. J. C. Carpenter, R. H. Zee, A. Rogerson: Irradiation growth of zirconium single crystals: a review. *Journal of Nuclear Materials* 159 (1988) 86–100.
11. Chunguang Yan, Rongshan Wang, Yanli Wang, Xitao Wang, Guanghai Bai: Effects of ion irradiation on microstructure and properties of zirconium alloys, a review. *Nucl. Eng. Technol.* 47 (2015) 323–331.
12. S. I. Choi, J. H. Kim: Radiation-induced dislocation and growth behavior of zirconium and zirconium alloys, a review. *Nucl. Eng. Technol.* 45 (2013) 385–392.
13. M. Griffith: A review of microstructure evolution in zirconium alloys during irradiation. *Journal of Nuclear Materials* 159 (1988) 190–218.
14. S. Doriot, D. Gilbon, J.-L. Béchade, M.-H. Mathon, L. Legras, J.-P. Mardon: Microstructural stability of M5™ alloy irradiated up to high neutron fluence. *14th International Symposium on „Zirconium in the Nuclear Industry”*, Stockholm, June 13–17, 2004, ASTM-STP1467, 175–204.
15. J. P. Mardon et al.: Performance of M5 alloy as cladding tube and structural component material. *PBNC'2004*, Honolulu, Hawaii, March. 2004, 22–24.

## SEGNER JÁNOS ANDRÁS, A FIZIKA ÉS A CSILLAGÁSZAT TANÁRA

Kovács László  
ELTE SEK Szombathely

*Segner János Andrást* (1704., Pozsony-Szentgyörgy – 1777., Halle) három nép is fiának vallja. Magyaroknak mondjuk, mert szülőhelye, Pozsony, Pozsony-Szentgyörgy akkor Magyarországhoz tartozott. Magukénak érzik a szlovákok, *Ján Andrej Segner* néven, mert ma Bratislava, az egykori Pozsony, Szlovákia fővárosa. Természetesen számontartják Németországban, mint preßburgi születésű német természettudóst, hiszen német származású, ott járt egyetemre, ott élte le élete legnagyobb részét. Őse, *Segner Mibály* és testvére, *Boldizsár* a törökök elleni harcokban mutatott vitézségükért 1596-ban nemességet, címeres levelet kaptak (1. ábra). Német hivatalos neve: *Johann Andreas von Segner*, ugyanis nemességét Halléban, egyetemi tanári kinevezésekor megerősítették.

„Kétségtelen ugyan, hogy hazai tudományos életünkre, egyetemi oktatásunkra nem volt közvetlen hatással – mégsem mondhat le róla a magyar tudománytörténet sem, mert nemcsak, hogy az akkori Magyarország területén született, tanult és egy ideig – 28 éves koráig – működött is, hanem elsősorban azért, mert maga is magyarnak vallotta magát, s késői tanári működése során is megkülönböztetett figyelemmel foglalkozott a német egyetemeken tanuló honfitársaival: segítette és támogatta őket” – írja a *Műszaki Nagyjaink* kiváló életrajzi sorozat nyitó tételében *Károlyi Zsigmond* és *László György*.



1. ábra. A 16. század végén, a törökök elleni harcokban kiérdemelt nemességhez tartozó Segner-címer.

Segner a pozsonyi líceumi iskolás évei után orvosi diplomát szerzett Jénában. Számon tartják azonban matematikusként, fizikusként, gyógyszerészként, filozófusként, továbbá volt ő csillagász, meteorológus és atya is. No persze nem a szó vallási értelmében, hanem ő „a turbina atyja” – ahogyan *Karl Keller* elnevezte őt.

Elsősorban és alapvetően tanár volt. Tanári talentum, tanártehetség. Tanárnak születni kell. A diploma szinte semmit nem jelent. Ismerünk tanári diplomával rendelkező gyenge oktatókat és ragyogó szellemű fizikus, matematikus, vegyész, biológus, mérnök, orvos, közgazdász, régész vagy éppen irodalomtudós tanárokat.



*Kovács László* az ELTE-n szerzett matematika-fizika szakos tanári diplomát 1965-ben. 18 évig a Landler Gimnáziumban tanított Nagykanizsán, majd 1983-ban munkatársaival fizika tanszéket alapított Szombathelyen az akkori Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskolán, ahol 25 évig dolgozott. 1988 óta a fizikai tudományok kandidátusa, 2000-ben Debrecenben habilitált. Számos szakmódszertani és fizikatörténeti, hazai és nemzetközi konferenciát szervezett, amelyeknek mindig előadója is volt.



„Segner művésze volt az ismeretek átadásának és az ismeretanyagot átadásra alkalmassá tevő didaktikai rendszerezésnek” – írta róla a már említett *Műszaki Nagyjaink* Segner-életrajza.

Igen, a tanításnak a művészethez is köze van. A *tanítás művészete* – ilyen címmel szokott csodás kísérletekkel fűszerezett előadást tartani kiváló kollégám, *Molnár László*. És ne feledjük, hogy a sokak által tisztelt és lelkesedéssel szeretett, de egyesek részéről elmarasztalt *Óveges József* (1895–1979) is azt mondta: a „tanárnak színésznek is kell lennie”. És akkor nem beszéltünk még az érzelmi oldalról. A kiváló tanár lelkes, áthatja a tudás átadásának vágya. *Györgyi Géza* (1930–1973) elméleti fizikus, a „felsőfokú oktatás mestere” volt, azt írta róla matematikus, vezető informatikus húga, *Zimányi (Györgyi) Magdolna* (1934–2016): „Érdemes hangsúlyozni pedagógiai szenvedélyét (ezt nem tudom másként nevezni), tehát amit tudott, azt mindig lelkesen adta tovább.”

Segner fizika tankönyvének előszavában így fogalmazta meg pedagógiai elveit: „...amióta az egyetemen oktatok célom volt, hogy gondosan felülvizsgáljam azt, amit a hallgatónak előadhatok, arra törekedtem, hogy azokat, akiket a tudásszomj hozzám vezetett, minél rövidebb úton célhoz juttassam”.

Az eredményes tanári munkához elengedhetetlen az emberség, a mély humánus, a tanítványok nemes értelemben vett szeretete.

*Neumann Jánost* zavarták a tanítványok, *Békéssy György*, *Zemplén Győző*, *Bay Zoltán* kiváló tanárok voltak.

Segner sokoldalúan gondoskodott hallgatóiról. Valamennyi róla szóló terjedelmesebb tanulmány megemlíti, hogy olvasólámpát is tervezett számukra. Már 1743-ban egyik göttingeni egyetemi programjában is írt erről latinul, majd németül is megjelentette a tervezetet.

Halléba költözésekor legelső teendői közé vette, hogy lámpájának leírását közlétegye a hétfőnként megjelenő tudománynépszerűsítő *hallei* lapban, a *Heti Hallei Közleményekben*. A 44. szám címlapján látható az asztali lámpa, egy kanócos olajlámpa 8 ábrája. Látható, hogy a göttingeni lámpát továbbfejlesztette, konstrukciós újításokat alkalmazott, és figyelme kiterjedt a helyes használat leírására is.

Írunk még Segner emberi oldaláról. Jó barátja volt a jeles matematikus, *Leonhard Euler* (1707., Bázeli – 1783., Szentpétervár). Elmondhatjuk, hogy Segner matematikai gondolkodásának kiteljesedése az Eulerrel folytatott eszmecsereknél köszönhető. A közepes képességű, az ő talentumát, beosztását feltehetően irigylő kollégáival nem tudott kijönni. Konfliktusa volt a göttingeni csillagdában a „nyakára ütött” *Tobias Johann Mayerrel* (1723–1762) éppúgy, mint *Samuel Christian Hollmann* (1696–1787) vagy *Albrecht von Haller* (1708–1777) egyetemi kollégájával.

Segner bármennyire tudott és szeretett is tanítani, azért fárasztotta az oktatás. Göttingenből Eulerhez 1744. április 17-én írt levelében panaszkodott arról, hogy a tanítási teendők megterhelik; és 1747. december 10-én is írt oktatói tevékenységének megterhelő voltáról.

Emberségének szép megnyilvánulásairól olvashatunk *Rab Irén* tanulmányában.

Kezességet vállalt honfitársaiért: *Wizkelety* az ő közbenjárására nyert tandíjmentességet, és neki köszönhette *Baligha Sámuel*, hogy leadott értekezés nélkül kaphatta meg az orvosdoktori címet. A többieknek is segített, ahol tudott. A orvosokat privát betegekhez küldte, a szegényebekben beneficium szerzésével próbált könnyíteni. Közreműködött két Göttingenre szóló pozsonyi ösztöndíj-alapítvány – a *Burgstaller* (1747) és a *Scarizkin* (1750) – létrejöttében.

Segner pozsonyi mestere, igazgatója, *Bél Mátyás* (1684–1749) fia, a Göttingenben tanuló *János Teofil*, egyenesen „legnagyobb nagy jótevőjének” (*mon tres grand Patron*) nevezte. Ennek oka az volt, hogy Segner kimenekítette őt egy kényszerházasságból. Sőt, matematikusként általánosított is: elérte, hogy a hannoveri királyi titkos tanács határozata alapján a jövőben az egyetem előzetes megkérdezése nélkül egy pap sem eszketetett össze diákok.

A mély emberség azonban csak *szükséges feltétele* annak, hogy valaki kiváló tanár legyen. Ezen kívül elengedhetetlen a rendkívül biztos szakmai tudás, az önálló kutatási eredmények. *Pungor Ernő* (1923–2007) kémikus akadémikus mondta, hogy csak olvasmányaink alapján nem lehet tanítani. Segnernek természetesen igen jelentős tudományos eredményei voltak.

## A fizikatanár

*Abonyi Iván* ezt írta Segnerről szóló tanulmányában: „...meg szeretnénk említeni *Einleitung in die Naturlehre* (*Bevezetés a természettanba*) című nagy művét, amely több kiadásban is elkelt. Az első kiadás 1746-ban jelent meg. Segner rendkívül sokoldalú előadói tevékenysége tükröződik ebben a jelek szerint igen csak sikeres műben” (2. ábra).

*Jakucs István* (1882–1964) így vélekedik: „Fizikakönyve csak egy van. »Einleitung in die Natur-Lehre« (Göttingen, 1746). Tartalma az akkor ismert egész fizikai anyagot felöleli. Egy-két dologban megelőzi korát. A régi fizikák filozófiai alapon tárgyalták a természeti jelenségeket. Kísérletekkel nem sokat törődtek. Ragaszkodtak a négy ókori elemhez és a csillagok mozgásával is foglalkoztak. Az 1820-as évekig majdnem minden könyv ilyen rendszer szerint készült, sőt az anyag elrendezésében még később is megtartották a föld, víz, levegő és tűz szerint való felosztást. Segner bevezetésében hangoztatja a kísérletek fontosságát, s már nem tartja meg a régi »Physica generalis« és »Physica specialis« felosztást, sem a négy elem szerinti tárgyalást.”

*Gurka Dezső* így ír a fizikakönyvről: „Goethe is említést tett róla 1810-es színtanának második kötetében, jóllehet – mint newtoniánus szemléletű műről – elítélően szövegezte róla. E könyv hosszútávú népszerűségét jelzi, hogy *Schelling* tanára, *Johann Christian Zwanziger* a lipcsei egyetemen az elméleti fizikát még 1796-ban is az *Einleitung* alapján adta elő.”

Az interneten elérhető az *Einleitung* különböző kiadásai, boldogan „lapoztunk” bennük.

Segner a harmadik kiadás előszavában, amely az eredeti átírása, 1770. május 30-án közölte: a második kiadás előszavának végén található gondolatokhoz csak annyit fűz hozzá, hogy tankönyve tökéletlenségeinek csökkentésén fáradozott.

Olyan sok helyen változtatta meg a korábbi kiadást, hogy azt nem nehéz észrevenni. A beavatkozások sajtóhibákat okoztak, ezért elnézést kér. Most is sok a tétel, jóllehet azok számát nem növelte. Sokszor rövidített és összevont. Megköszöni azok fáradozásait, akik segítettek a második és a harmadik kiadás tökéletesítését.

Igen nagyra értékelhetjük, hogy egyre jobb, tökéletesebb könyv megalkotására törekedett. A már említett huszadik századi kiemelkedő magyar tanárok vallomásai juthatnak eszünkbe arról, hogy tapasztalataik alapján hogyan tudták könyveik minőségét javítani. Györgyi Géza említette, hogy a korábban készült jegyzetei anyagát az egyetemen és a KFKI-ban tartott kurzusok előadásai során volt alkalma és ideje kiérlelni. *Simonyi Károly* 1987-ben a *Staar Gyulának* adott interjúban így fogalmazott erről: „A könyv születése szempontjából óriási jelentősége van annak, ha az ember előzetesen előadhatja annak törzsanyagát. Tisztázódnak a kérdések, látom, hallgatóim mit értenek, mit nem, visszakérdezhetnek, s egyszeriben közös munka lesz az egyén erőfeszítéseiből.”

Szabad fordításban ismertetjük a második kiadás előszavának főbb gondolatait. Sok esetben kettő, néha három részre bontottuk az eredeti hosszú mondatokat.

Segner így fogalmazott: „A tanulni vágyóknak biztosítani kell minden kényelmet, hogy felesleges hosszadalmasság nélkül tudják elsajátítani az alapokat. Minden helyen van egy alpmű, egy különlegesen kedvelt feldolgozás, és olyan tanár, aki ezt jól ismeri, előadásai során erre épít. Ha a tanár képes előadásait a hallgatók körülményeihez formálni, akkor ez inkább megfelel, a hallgatóknak többet nyújt, mintha máshol, más időben kiadott könyvekre épít.

Azonkívül a helyi könyvek tanulmányozása lehetőséget ad arra, hogy az előadandó anyagot pontosan tanulmányozzuk, és ismételten átgondoljuk, ezáltal az sajátunkká válik. Ez a legbiztosabb módja annak, hogy pergő, lendületes, könnyen érthető és ugyanakkor rendezett és alapos előadásokat tartsunk. Azért, hogy a tanultakat használni lehessen, mindenekelőtt a valóság, az igazság leírását kell a könyvektől megkövetelni. Csak olyat tanítsunk, aminek helyességéről magunk is meggyőződünk. A tudomány alapjait tárgyaló könyveknek akkor van igen nagy előnyük, akkor érik el igazán céljukat, ha mélyen be tudnak vésséni az emberi elmébe.

Azonkívül ezektől a könyvektől – az előadások céljaihoz mérten – bizonyos teljességet kell megkövetelnünk. Ez semmiképpen sem lehet az, hogy az ismeretek egész épületét bemutassuk, erre idő sincs. Az alapokat kell lefektetni, olyan szilárd, biztos, áttekinthető alapokat, amire építeni lehet. Azonban az általános tételek jól kiválasztott alkalmazásait is be kell mutatni.



2. ábra. Segner fizikakönyvének címlapja.

Rendkívül fontos az alaposág. A történelmileg felhalmozott ismeretek, a tételek tömege bemutatásának nincs haszna rend, összefüggés, részletes vizsgálódás és alapos megértés nélkül. Ezt csak szigorú renddel érhetjük el, és akkor, ha a tételeket összekapcsoljuk az emberi tapasztalatokkal.

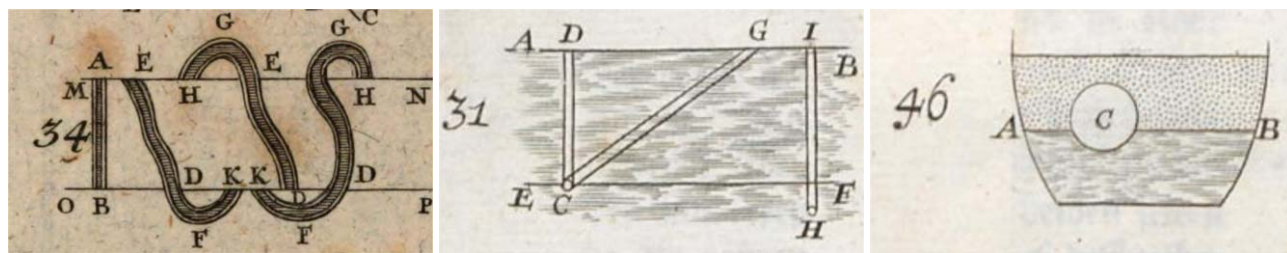
Előadásaink csak akkor lesznek tömörek és tartalmasak, ha a nyelvet helyesen használjuk. Legyen minden érthető, ne kívánjon a megértés rendkívüli munkát és túl hosszú töprengést. Ugyanakkor neveléséges azt gondolni, hogy saját gondolkodás, és fáradozás nélkül alapos ismeretekhez juthatunk.”

„Az előadások gondolkodásra serkentsenek. A természettan alapja legnagyobb részben a geometria, és az a tanár szerencsés, akinek hallgatói ismerik a természet ezen kulcsát. Ez jelenleg mindenkitől nem várható el, így nem lehet mást tenni, minthogy, amennyire lehetséges, le kell rakni az alapokat.”

„Gyakran lehet a geometria helyett a számolást választani, és esetenként a pusztá belátásra is hagyatkozhatunk. Megkísérletem, hogy ezeket a segédeszközöket megadjam, és remélem, hogy ez sikerült is.

A kísérletekhez használt eszközöket nem ismertetem aprólékosan. Magukat a kísérleteket leginkább csak akkor mutatom be részletesen, ha azok a bizonyítás alapjául szolgálnak: jóllehet egyre többet és többet fáradozom azon, hogy a fő tételeket kísérletekkel erősítssem meg, és általában mindent, amennyire csak lehetséges, szemléltessek.”

Így zárja az előszót: sokat fáradozott az átdolgozás, reméli, hogy sikerült azt megfelelővé formálni.



3. ábra. Részletek az *Einleitung in die Natur-Lehre* folyadékokról szóló fejezetéből (balra 3., középen és jobbra 1. kiadás).

Ez az előszó nem is annyira a hallgatónak szól. Hitvallás a tanításról, a tankönyvírásról. Nem mindenkinek van képessége, kedve, ideje, lehetősége előadásainak anyagát kinyomtatni. Ezért sokan mások tankönyvéből tanítanak. Nagyon fontos, hogy ezek a tankönyvek jók legyenek. Így a gyengébb képességű tanárok is eredményesen tudnak oktatni. *M. Zemplén Jolán* professzorasszony mondta nekem, hogy őt egy szerényebb képességű tanár tanította fizikára, de jól, mert hűen követte *Mikola Sándor* „Utasításait”. Mikola írta az 1927-es iskolai reform fizika tantervéhez az *Utasítás* fejezetet, amely egy tökéletes tanári kézikönyv, valódi módszertani útmutató.

Érdeemes megfigyelni, hogy Segner mértéktartó, kiegyensúlyozott: óv a szélsőségektől. Egyetlen tartalmi kiemelés a most ismertetett előszóból: *A tanár magyarázata legyen világos, könnyen követhető, ugyanakkor senki sem reménykedjen abban, hogy szellemi erőfeszítés nélkül fog tartós ismeretek birtokába jutni.*

Ez a gyakorlat a régi kínai bölcsességeket, vagy az egykori indiai tanításokat juttathatja eszünkbe: meg kell találni az egyensúlyt az ellentétesen ható dolgok között.

Ezután következik az 527 oldalas könyv tíz fejezete: a testek általános tulajdonságai, az egyensúly, „folyékony dolgok” egyensúlya, a levegőről, a vonzó erőről, a tűzről, a levegőről, a különböző okok miatt keletkező mozgásokról, az égi testekről, a levegő jelenségeiről.

Tizenhat, római számozású táblán összesen 173 ábra teszi szemléletessé a mondanivalót. Újdonság a korábbi matematika könyvekhez, és az általános akkori könyvkiadási gyakorlathoz, képest is, hogy a rajzos oldalakat nem a könyv végére tették, hanem – ha nem is fejezetenként – a szöveg között helyezték el.

Igen jelentősek Segner folyadékrezecskék közötti erőkre vonatkozó megfontolásai. Ő vezette be a felületi feszültség fogalmát. Most tankönyve folyadékokról írt részéből szemezgetünk.

Érdekes, hogy a folyadék nyomását azonosítja a súllyal. Ugyanakkor dicséretes, hogy az *azonos alapterületű, különbözőképpen elhelyezkedő* (később pedig a különböző alakú és méretű) csövek alján levő nyomást az adott felület felett függőlegesen elhelyezkedő hengerszerű testben levő folyadék súlyával azonosítja. Rengeteg ábrán a legkülönbözőbb alakú, egymással összeköttetésbe levő csövek (azaz mai szóval *közlekedő edények*) láthatók, ezekhez – azonos alapterületek esetén – nagyon jó a fenti azonosítás. Külön kiemeljük a 34. ábrát a könyv 3. kiadásából (3. ábrán balra), ahol a felülről lefelé és az alulról felfelé mutató

nyomásra is utal, teljessé téve ezzel a Pascal-törvényben megfogalmazott irányfüggetlenséget. Nem megszokott, hogy a függőleges elhelyezkedésű, az összehasonlítás alapjául szolgáló cső felső vége fölé, illetve az alsó vége alá is elvezeti a folyadékot, majd meghajlított csővel jut vissza a viszonyítási szintekhez. Később külön paragrafusokban tárgyalja az edényekből szívócsővel („slaggal”) történő folyadékkiszívás lehetőségét. Ez egy nagyon érdekes helyzet, hisz általában egy kis darabon, de ez akár egészen jelentős mértékű is lehet, felfele áramlik a folyadék. Kisiskolás korban szerettem volna ezzel a módszerrel vizet felvinni a padlásra: ott áramlik a magasban a víz, csak meg kell csapolni! Igen ám, de ha nyílás lesz fent a felfelé mutató csőszáron, akkor a cső mindkét szárából azonnal kifolyik a víz, mégpedig lefele, hiszen két, alul és fölül is nyitott cső alakul ki.

Érdeemes figyelnünk az idézett 146.§ utolsó mondatára, ahol szép határátmenettel már csak egy „folyadék-szárlól”, „részcscsárlól” beszél. Később, a 31. ábrán (a könyv első kiadása, 3. ábrán középen) a folyadék belsejében ábrázolja ezeket az elképzelt csöveket.

Érdekes, hogy az Arkhimédész-törvény tárgyalását (a név említése és képlet nélkül) erősen köti az edény aljára ható folyadéknyomáshoz, ugyanakkor, az eredeti arkhimédészi gondolatot ismerteti. Az iskolákban a mai nap is kedvelt a 46. ábrán – a könyv első kiadásából (3. ábrán jobbra) – vázolt elrendezés, ahol egy adott folyadékra rétegezzünk egy nála kisebb fajsúlyú folyadékot, és a két folyadék közötti határfelületre olyan szilárd testet helyezünk, amelynek fajsúlya az alsó folyadék fajsúlyánál kisebb, azonban a felsőnél nagyobb.

Itt említjük meg, hogy gondosan bevezeti a fajsúly fogalmát, *különleges súlynak* (besondere Schwere), nevezve azt. Ezért is írtunk a fentiekben mindig *fajsúlyt* a manapság kedveltebb *sűrűség* helyett. (Mióta kiléptünk a világűrbe, fontosnak tartják a fizikusok, fizikatanárok, hogy olyan fogalmakat használjanak [tömeg, sűrűség], amelyek értéke az űrben, a Holdon is a földi értékkel azonos nagyságú, azaz a nehézségi gyorsulástól független.)

Nagyon dicsérendő, hogy a bevezetett új fogalmat a szövegben **vastag betűvel** szerepelteti. Ezt azért is hangsúlyozzuk, mert nemrég találkoztunk manapság nyomtatott olyan általános iskolai fizika tankönyvvel, ahol sem az új fogalmakat, sem a tételeket nem emelték ki **bold** szedéssel.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> A modern tipográfia folyó szövegben – lehetőség szerint – kerül a félkövér betűk alkalmazását (műsz. szerk.).





4. ábra. Segner fizikakönyve harmadik kiadásának 54. ábrája. (Az interneten fellelhető és az irodalomban szereplő pdf sajnos csak az ábra jobb oldali részletét tartalmazza, bal fele csupán a papír túoldalán átütve, halványan látszik. A kép ezen részét ennyire lehetett javítani, műsz. szerk.)

Kitér a különböző fajsúlyú folyadékokat tartalmazó, U-csöves elrendezések magyarázatára és a velük történő számolásra. Végül harmadik kiadás 54. ábráján (4. ábra) a hidraulikus sajtó működésére emlékeztető ábrát elemez, azonban csak annyit ír, hogy ha folyamatosan folyadékot öntünk a bal oldali, széles részbe, akkor a két szárban mindig azonos magasságban lesz a folyadék.

Ezután következnek a hajszálcsovességre vonatkozó ismeretek.

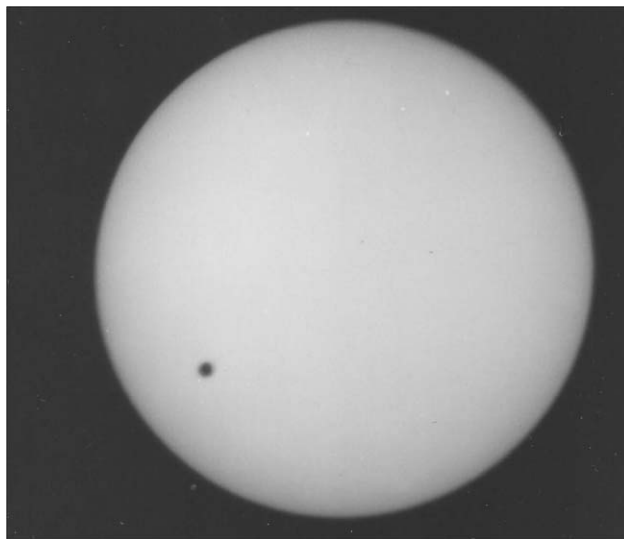
## A csillagászat tanára

Gyűrűs napfogyatkozás, Halley-üstökös, Vénusz-átvonulás

Nekünk, magyaroknak kicsit furcsán hangzik: „csillagásztanár”. 40-50 éve irigyeltem az NDK-s kollégákat, hogy ott, náluk lehetett valaki csillagászszakos középiskolai tanár, hiszen volt külön ilyen tantárgy az iskolákban. Sokkal nagyobb gondot fordítottak a csillagászat tanítására, mint mi, magyarok. Nekünk mindössze két félév „csillagászat” volt az egyetemen. Nem szégyellem bevallani, hogy egy csillagászati tanártovábbképzésen szembesültem azzal a ténnyel, hogy a Vénusznak ugyanúgy vannak fázisai, mint a Holdnak. Azóta vadászok az olyan égi felvételekre, ahol együtt látszik a sarló alakú újhold és a sarló alakú Vénusz, és természetesen megnéztem távcsövön az „újvénuoszt”. *Teller Ede* – alant említett könyvében – ír szépen arról, hogy csak a Föld pályáján belül keringő két bolygónak, a Merkúrnek és a Vénusznak lehetnek – a Holdhoz hasonló – fázisai.

Segner a kétrészes, hatalmas terjedelmű *Astronomische Vorlesungen, ein deutliche Anweisung zur gründlichen Kenntniss des Himmels* (Csillagászati előadások, érthető tanítás az ég alapos megismeréséhez) csillagászat tankönyvét Halléban 1775–76-ban, azaz közvetlenül halála előtt adta ki. Itt is, ahogyan matematika tankönyvében is, már a mű címében hangsúlyozza, hogy érthető előadásmódot kíván adni. Ott: *Deutliche und vollständige Vorlesungen, „érthető és teljes”, itt: „érthető”*.

A könyv előzményének tekinthetjük, hogy német nyelvű csillagászati előadásai közül elsőként a Vénusz-átvonulásról június 5-én tartott nyilvános előadásának szövegét jelentette meg 1761-ben.



5. ábra. A 2004. június 8-i Vénusz-átvonulás, Tar Domokos zürichi felvétele.

Könyvének XI. fejezetében, a 412. oldalon a 697. §-ban írja le megfigyelési módszerét [„Die Horizontparallaxe der Sonne vermittelst eines Durchgans der Venus”]. Erre ilyen pontosan hivatkozik *G. F. Rösler* 1788-ban kiadott műve 2. részének IV. *Segners Methode* című fejezetében, a 255. oldalon.

Ez nem az a – számunkra jelentős – átvonulás, amikor *Hell Miksa* és *Sajnovics János* Vardöben 1769. június 3-án méréseket végeztek (és közben felfedezték a magyar–finn nyelvrokonságot is), hanem az azt 8 évvel megelőző „iker” átvonulás. Hell ennek a megfigyelésében is részt vett. Nemrég mi is szemlélhettük az átvonulásokat 2004. június 8-án és 2012. június 5-én. Kaptam egy szép felvételt *Tar Domokostól*, a Zürichi Műegyetem egykori professzorától, a 2004. június 8-i átvonulásról. Megmutatom a 10 óra 35 percor Stöfában (CH) készített képet<sup>2</sup> (5. ábra).

Segner általában nagy súlyt fektetett arra, hogy a csillagásztanról nagy nyilvánosság előtt is publikáljon, és ezzel felkeltse az emberek érdeklődését. Már 1759-ben egy üstökös áthaladásakor is tanulmányt írt a *Heti Hallei Közleményekben*. Rajzot is mellékel a megfigyeléshez használt eszközéről. „Az üstökös minden bizonnyal a Halley-üstökös. 1759 első felében nem hiszem, hogy lett volna rajta kívül másik, Segner által is említésre méltónak tartott üstökös.” – írta kérdésre válaszolva *Kovács József*, a szombathelyi Gothard Asztrofizikai Observatórium kiváló csillagásza Santiagóból, Chiléből. Éppen útban volt hazafelé a világ legnagyobb távcső-komplexumától, az Atacama-sivatagban található Very Large Telescope-től.

Azonban nemcsak Halléban, hanem már Göttingenben is népszerűsítette a csillagászatot. Tanulmányt írt a napfogyatkozásról, és ennek magyarázatára szemléltető eszközt is készített.

A latin nyelvű változat a 1739. január 1-jén jelent meg a *Philosophical Transactions* 41. kötetének IX.

<sup>2</sup> Folyóiratunk 2004. augusztusi számának címlapján, *Előd László* felvételén már szerepelt ez a Vénusz-átvonulás (szerk.).



6. ábra. Csillagászati könyvének 1. §-a, geometriai alapok.

tanulmányaként a 781–789. oldalakon, amelyhez a rézkarcok III. tábláján 4 gyönyörű rajz tartozik. E tanulmány és az eszköz elkészítésének egyik előzménye az volt, hogy Segner 1748. július 25-én napfogyatkozást, különleges gyűrűs napfogyatkozást mutatott a göttingeni egyetem fűvészkertjének melegházában kollégáinak és a helybeli érdeklődőknek. Az eseményről a *Beobachtung der Sonnenfinsterniß* című írás tudósított.

Segner a keltető melegházban az általa elkészített vetítő eszközt a Nap felé irányította. Annak mozgását olyan ügyesen követte, hogy a Nap képe mindig a készülék matt ernyőjén maradt.

A fogyatkozás 9 óra 58 perc 46 másodperckor kezdődött és 1 óra 5 perc 53 másodperckor ért véget. 10 óra 47 perc 8 másodperckor „die Scheibe des Monden den Mittelpunkt der Sonne berührt” (a Hold tányérja a Nap középpontját érintette). A két középpont egybeesett, ez akkor gyűrűs napfogyatkozás volt? – nyilallt belém a cikk olvasásakor.

(Érdekes, hogy erről nem szól a tudósítás, csak „die starke Sonnenfinsterniß”-t, erős fogyatkozást említ.)

Kovács József csillagász megnyugtató: „Valóban gyűrűs napfogyatkozás volt: itt nézheted meg a térképet hozzá.”<sup>3</sup>

A legnagyobb fedés (greatest eclipse, GE) valahol a mostani Nyugat-Ukrajnában volt, ahol annak magnitúdója, azaz a Nap Hold által eltakart sugara 97,3%-os volt. Berlinre 94,8%-ot ad.

<sup>3</sup> <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEsearch/SEsearchmap.php?Ecl=17480725>

A göttingeni ismertetés azt írja, hogy 96/100 értékű elfedési arányt vártak, azonban ehelyett a tapasztalt, mért arány csak 94/100 volt. Az elsötétedés mértékét a teljes napfényhez képest háromnegyednek tapasztalták.

Segner csillagászati tankönyve, az *Astronomische Vorlesungen* előzményeként megemlíti végül hogy, természetesen az 1746-ban először kiadott *Naturlehre* fizikakönyvének 9. fejezete is az *égi testekről* szól.

A *Vorlesungen* 1775. március 25-én írt előszavában is, ugyanúgy mint matematika- és fizikakönyve bevezetéseként, elmondja könyvszerkesztési és tanítási elveit. Írja, abban reménykedik, hogy előadásai, illetve e könyv hatására egyesek tán a csillagászpályát választják.

Kéri, hogy munkájának megítélésakor vegyék figyelembe, hogy nem csupán csillagászati ismereteket kíván nyújtani. Eszközt szeretne adni a teremtés, Isten helyes és élő [élénk] (*zur richtigen und lebhaften*) megismeréséhez, mert ez megjavítja a lelkiállapotot és a szívet.

Az értehetőség kedvéért néha kicsit eltér a megsziorúbb tárgyalásmódtól, magyarázó szavakat keres. A szükséges fogalmakat a jelenségek természetes sorrendjében tárgyalja, így a következmények mindig megalapozottak, *az előzményekre épülnek*.

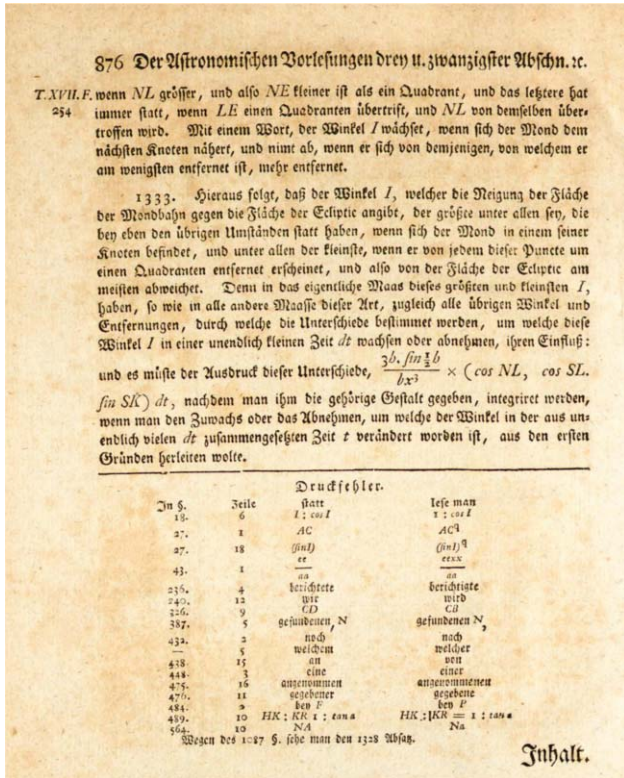
Kevesen képesek arra, hogy beleéljék magukat a diák helyébe, és hatalmas tudásukból csak annyit használjanak, amennyit már a tanítványok tudnak, amennyit már eddig megtanítottak nekik. Teller Ede *A fizika nagyszerű, mert egyszerű* című műve az ellenpélda erre. Ami neki egyszerű, arról azt képzei, hogy az *valóban* mindenki számra az. Néhány egyszerűen követhető, szép gondolatmenet mellett Teller könyve könyv tele van képletekkel, felsőbb matematikai tárgyalásmóddal.

Segner beszédes, a figyelmet lekötő ábrákat készített. A rajzok sok esetben többet nyújtanak a számolásnál – vallja, illetve azt is mondja, hogy jó ábrázolás nagyban segíti a számolást is. A könyv végén a 17 tábla összesen 254 ábrát tartalmaz.

Kitér arra, hogy a megfigyelésekhez használt eszközöket nem írja le részletesen. Ezek alapos tanulmányozásához és ismereteik kiegészítéséhez *La Gaille* és *de Lalande* (ő így írja: de la Lande) műveit ajánlja. Nem ír konkrét könyvcímeket, de nyilván az egyetem könyvtárában a legfontosabb művek ott voltak, hiszen ezek *Széchenyi Ferenc* és *Teleki Pál* gyűjteményében is megtalálhatóak.

Az első rész első fejezete, mint már említettük, a geometriai alapokat tárgyalja (6. ábra). Ezt követi a *Csillagos ég első (majd második) felosztása*. A negyedik fejezet a Föld nagyságáról és alakjáról szól, valamint itt tárgyalja a refrakció és a parallaxis fogalmát. Ezt követi a Napról, annak pályájáról szóló fejezet. A hatodik fejezet a nappalok hosszáról, a nap részéről, a napórákról szól. Ezután jön a földfelület felosztása, majd a hónapokról, a Holdról, a Holdnak a Földre eső árnyékáról lesz szó. A kilencedik fejezet tárgyalja a holdfogyatkozásokat, majd a tizedik a nap-



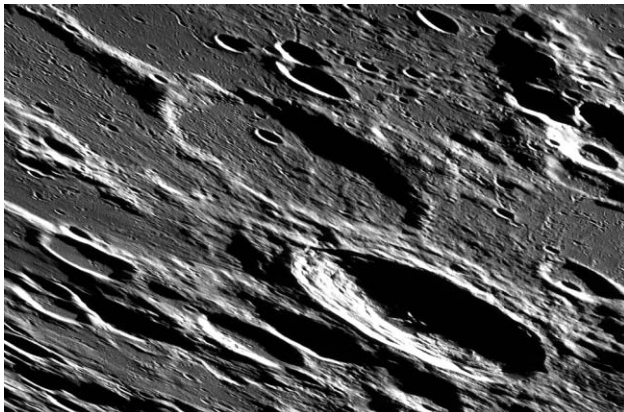


7. ábra. Az Astronomische... utolsó, 1333. §-a a Holdről.

fogyatkozásokat. Az első részt a fedésekről szóló ismeretek zárják. Azokról a fedésekről van szó, amelyek nem okoznak elsötétedést. Itt részletesen ír a Vénusz-átvonulásról.

A második rész nyitó fejezete a tizenkettedik. Ez a bolygók mozgásáról szól. Ezt követi a Föld keringésének a mozgástörvények alapján történő bizonyítása. A 14. fejezet a Nap és a bolygói közötti összefüggést tárgyalja. Ezután jön a bolygómozgást eredményező erő-törvény tárgyalása. A 16. fejezet a fény sebességét tárgyalja. Az égitestek saját tengely körüli forgásáról szól a következő két fejezet. A bolygók saját pályái és helyzetük meghatározása az elkövetkező témák. Ezt követik az üstökösök. A Hold mozgásának részletes leírása (7. ábra) zárja az 1333 §-ból álló könyvet, amely 876 szövegoldalt alkot.

8. ábra. Segner-kráter a Holdon.



9. ábra. Segner lakóháza Göttingenben.

Külön kiemeljük, hogy olyan Hold-táblázatot készített, amelyet a brit admirális is használt és nagyra értékelt. A táblázat a már említett neves csillagász, Tobias Johann Mayer német matematikus és csillagász táblázatainak rendszerében, Euler képleteinek megfelelően készült.

Kiemelkedő, önálló csillagászati eredményéről nem tudunk. A hallgatók saját csillagászati megfigyeléseit igen fontosnak tartotta, ezért is alapított csillagvizsgálót Göttingenben, majd Halléban. Azonkívül hosszan értekezett a megfigyeléshez használt hollandi távcsőről.

Az 1756. évben, az egyik nyári félévi előadási programja így kezdődik: „Segner J. A. 2 óraker nyilvánosan magyarázni fogja a perspektívát (távcsövet) és tollba-

10. ábra. A 2017-ben újraavatott debreceni Segner-szobor (fotó: Miskolczi János).





mondja eme oly kellemes és hasznos eszköz használata. 9 órákor az asztronómiát fogja előadni...”

1760-ban háromrészes tanulmányt közölt a távcsövekről.

Összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy érdemes tanulmányoznunk Segner tanári munkásságát, nagyon sok észrevételét hasznosíthatjuk tanítási gyakorlatunkban.

## Emlékének ápolása

A Segner-kultusz Magyarországon az 1970-es években tetőzött. A *Fizikai Szemle* sorra hírt adott a történésekről. Emlékérmeket, bélyeget adtak ki, Budapesten utcát, Debrecenben teret neveztek el róla. Konferenciákat tartottak Budapesten, Debrecenben és Hallében. Domborműves sírkövel jelölték meg nyughelyét a hallei Stadtgottessacker temetőben. Tiszteletére Szegeden a Pantheonban emléktáblát, Debrecenben az Orvostudományi Egyetem parkjában szobrot avattak. Ezt az egyetemen bővítése miatt elmozdították, majd sokáig a fűben hevert. Napjainkban élelt újjá Segner tisztelete. 2017 őszén restaurálták, és újraavatták a debreceni szobrot. 2018 tavaszán pedig

monográfia jelent meg róla idehaza, és emléktáblával jelölték meg, a mai napig is az eredeti formájában álló, göttingeni házát.

## Irodalom

Kovács László: *Segner János András Egy jeles hungarus a 18. századból*. MATI 2018, <http://real.mtak.hu/74845>

K. Keller: Johann Andreas Segner. *Jahrbuch des Vereins deutscher Ingenieure* 5 (1913) 54–72.

Abonyi Iván: Segner András matematikai és fizikai kutatásai, különös tekintettel pörgettyűelméletére. In: Abonyi Iván: *Kiemelkedő fejezetek a XVII–XIX. század fizikájából*. Magyar Tudománytörténeti Intézet, Piliscsaba (2008) 57–74.

Jakucs István: Segner András (1704–1777). *Fizikai Szemle* 5/2–3 (1955) 65–68.

Rab Irén: Adalékok Segner János András göttingeni korszakához (1735–1755). *Kaleidoscope. Művelődés-, Tudomány- és Orvostörténeti Folyóirat* 7/13 (online) (2016) 403–404. <https://opac.sub.uni-goettingen.de> illetve: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN626643945>

Gurka Dezső: Segner János András munkásságának kanti recepciója. In: *Matézis, mechanika, metafizika. A 18–19. századi matematika, fizika és csillagászat eredményeinek reprezentációja a filozófiában és az irodalomban*. Szerk.: Gurka Dezső. Gondolat, Budapest (2016) 95–115., Lásd még: [real.mtak.hu/46174/1/Gurka\\_Metafizika.pdf](http://real.mtak.hu/46174/1/Gurka_Metafizika.pdf); <http://real.mtak.hu/id/eprint/46174>

Segner fizikakönyve: [http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/bsb10131985\\_00065.html](http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/bsb10131985_00065.html)

Segner csillagászati tankönyve: <https://www.e-rara.ch/zut/wihibe/content/titleinfo/2636782>

## KÖNYVESPOLC

# Kovács László: SEGNER JÁNOS ANDRÁS, EGY JELES HUNGARUS A 18. SZÁZADBÓL

Magyar Tudománytörténeti és Egészségtudományi Intézet, Budapest, 2018, 272 oldal

*Segner János András* (Pozsony, 1704. október 9. – Halle and der Saale, 1777. október 5.) a pozsonyi evangélikus líceumban, majd egy évig a debreceni református kollégiumban tanult. A jénai egyetemen szerzett orvosdoktori diplomát. Rövid ideig Pozsonyban, majd egy évig Debrecenben folytatott orvosi gyakorlatot. 1732-től három évig a jénai egyetemen tanított matematikát, fizikát és kémiát. Ezt követően húsz éven keresztül a göttingeni Georgia Augusta egyetem professzora volt, nyilvános előadásaiiban elsősorban matematikát és fizikát tanított. 1755 tavaszán családjával Halléba költözött, ahol a Friedrich egyetemen rendkívül kedvező feltételek mellett kezdhette meg professzori működését. Elsősorban matematikát és fizikát adott elő 22 éven keresztül, haláláig.

Ez Segner pályafutásának a vázlata, *Kovács László Segner János András egy jeles hungarus a 18. századból* című 270 oldalas könyvének szinopszisa. Kezdjük a könyv bemutatását a címben szereplő jelző megvitátá-

sával: *egy híres hungarus a 18. századból*. Tapasztalatom szerint sokan a *hungarust* a *magyar* szinonimájának tekintik. A szerző nem hagy bizonytalanságban: „a hungarus fogalom egy nagyobb közösséghez – a Királyi Magyarországhoz – való tartozást jelentette” (12. oldal). Érdemes megemlíteni, hogy a hungarus fogalmat a történészek sokszor a hungarus-tudatból vezetik le, ami rámutat a fogalom összetettségére. Jó egyezés érhető el a szerző definíciójával, ha elfogadjuk, hogy a hungarus-tudat „Magyarország lakóit a 18. század végéig jellemző önzonosság-tudat etnikai, társadalmi különbségre való tekintet nélkül. A hungarus-tudatot a nacionalizmus megjelenése rombolta szét”.<sup>1</sup>

Segner elsősorban a matematika és fizika területén ért el jelentős eredményeket, de a másod- meg harmadsor is tartós értékekkel van tele. Gyakorló orvosi tevékenységet Debrecen város orvosaként egy évig

<sup>1</sup> Miskolczi Ambrus, *Műhely* 2012/3.

folytatott. Később ideje sem jutott intenzív orvoslásra, mégis úgy alakult, hogy élettani tankönyvei, élettani-kórtani közleményei ismeretében és orvosprofesszori működése alapján „bizton állítható, hogy Segner János András az élettan tudományának jeles művelője, az orvosi oktatásnak jelentős személyisége volt”.<sup>2</sup>

Matematikusnak lenni nem egyszerűen elhatározás kérdése. Kell hozzá érdeklődés, elszántság és egy sajátos érzék, ami nélkül minden nagyon nehéz lesz ebben a foglalkozásban – nem éri meg a sok időráfordítás. Így azután van respektusa az eredményes matematikusnak. Ez a respektus sokat számított Segner professzorsága esetében. A göttingeni tanszéket *Hambergernek* szánták, akinek nagy híre volt a matematikai tudományokban, és ha már őt magát nem is sikerült megszerezni, legalább tanítványai közül a legügyesebbet, a Jénában extraordináriusi rangban alkalmazott Segnert szerződtették.

Húsz sikeres év után lehetőség adódott a több sikerrel bíró hallei tanszék megpályázására. Matematikusi híre addigra lehetővé tette, hogy nagyon előnyös feltételek mellett lehessen a matematika és fizika professzora. A tanszéket *Christian Wolff* birtokolta már sok éve, aki matematikusi elismertsége mellett még egy vasat tartott a tűzben: a filozófiát, amelyben *Leibniz* után *Kant A tiszta ész kritikája* című művének megjelenéséig ő uralta a német egyetemeket. A negyvenes években Segner többször is rámutatott hibás állításokra Wolff matematikakönyvében, de ezzel csak hátráltatta hallei meghívását – erősebb indokra, Wolff halálára volt szükség, hogy sikeresen pályázhassa meg a hallei tanszéket. Amikor már minden együtt volt, akkor is egy *Euler* kellett ahhoz, hogy egy év késéssel bár, de megtörténjen Segner kinevezése.

Matematikai eredmények bemutatása nehéz feladat, mert az olvasók többsége átfutja a kérdéses tételeket és bizonyításokat, ha azok belátása aránytalanul nagy erőfeszítést követel. Kovács László viszonylag könnyen követhető levezetéseket kínál, elfogadva a matematikátörténész *Szénássy Barna* segítségét. Nem feledkeznek meg figyelmeztetni az olvasót, hogy milyen szerencsés dolog az internet korszakában foglalkozni Segner matematikai eredményeivel, amikor a szövegek, táblázatok, ábrák egyszerű kezelésén túl egyes eredeti cikkek is lehívhatók. (Persze ez akkor segítség, ha az olvasó kellő magabiztossággal tudja kezelni a latin, alkalmanként német szövegeket.) Jól illusztrálja a történeti buktatókat a Segner-tétel, amit majd száz évvel előbb *Descartes* fogalmazott meg, azonban a legismertebb egykori bizonyítás Segnertől származik, így e bizonyítás miatt róla nevezték el a *Descartes*-féle tételt.<sup>3</sup> A tétel így szól: egy valós együtthatós algebrai egyenlet pozitív gyökeinek száma legfeljebb annyi, mint az együtthatók sorozatában fellépő előjelváltások száma.

Lassan tisztázódtak a bizonyítás prioritási kérdései; „2018-at írunk, nem kell elmennünk Halléba (bár megtettük), most már a neten is elérhető a kérdéses értekezés” – olvashatjuk a 88. oldalon.

Még egyszerűbb okból nevezték Segner-elvnek a Cavalieri-elvet: a névtelenül megjelenő elvet Segner is név nélkül vette fel matematikakönyvébe, amely könyv hosszú ideig volt hivatkozási alap a kortársak számára.

Segner matematikai eredményeinek bemutatása annyira részletes, amennyit a könyv arányai megengednek. Szerepel néhány levezetés, de legtöbbször a felvetett vagy megoldott probléma leírása az élmény: hogy olyan kérdéssel lehet foglalkozni, amit *Euler* vetett fel egy *Goldbach*-hoz írt levelében; hogy a műszaki gyakorlatból mára kiveszett, ötven éve még hasznos eszköz, a logarléc megalkotásában szerep jutott Segnernek.

Segner fizikai kutatásainak két kiemelkedően sikeres területe a folyadékok szerkezetéről szóló dolgozatainak összegzése, és a pörgettyű mozgásának dinamikájáról – Segner szavaival a „turbinák” mozgásáról – szóló tanulmánya. A pörgettyűs dolgozat amilyen fontos, olyan nehezen fordítható le a mai olvasónak, mert a nyelvi és az eltérő matematikai jelölésekből adódó nehézségeken túl a téma újszerűsége miatt a fogalmak a szöveg formálódása közben születtek. Ebben volt a szerző segítségére az elméleti fizikus *Abonyi Iván*.

„Legnagyobb szeretettel a tanár fejezetet írtam. A tankönyvek tartalmának ismertetésén túl néhány részt egészen részletesen ismertettem” – olvashatjuk a 12. oldalon. A szerzőnek minden oka megvolt Segner tankönyveinek dicséretére. A szövegek precízek, átgondoltak, célravezető, a kortársi tankönyvirodalomban a legjobb színvonalat jelentették. A szerző lelkesedése a *Pythagoras*-tétel általánosításának grafikus szemléltetésénél a rutinos tanáré, hiszen pusztán az ábra alapján tanulságos összefüggésekre bukkánhatunk. Ismerve a szerzőt, nem meglepő a levezetés végén ámulatának kifejezése: „Ez már nem is szép, ez gyönyörű! Ismét boldogan írhatjuk: Q. E. D.” (125. oldal).

Segner csak egy fizikakönyvet írt: *Einleitung in die Natur-Lehre* (Göttingen, 1746). 1770-ben a harmadik kiadás jelent meg. Az 527 oldalas könyv a korszak meghatározó tankönyve volt, amelyben XVI táblán 173 ábra teszi szemléletessé a mondanivalót. Kovács László fizikatanári tapasztalatai sok egyezést mutatnak Segnerével, ezért az *Einleitung*... második kiadása előszavának számos megállapítását idézi, hiszen 250 év a tanítás alapelveinek lényegét nem változtatta meg: „A tanár magyarázata legyen világos, könnyen követhető, ugyanakkor senki sem reménykedjen abban, hogy szellemi erőfeszítés nélkül fog tartós ismeretek birtokába jutni.”

Aki járatos a matematikában, fizikában és szereti az odaadó hallgatóságot, az nem mondhat le a csillagászat tanításáról. Segner csillagászati tankönyvének két terjedelmes kötete élete végén jelent meg, már

<sup>2</sup> Schultheisz Emil: Segner János András. In: *Híres magyar orvosok*. 2. kötet, Galemus Kiadó, Budapest, 2001.

<sup>3</sup> A tételt még *Bolyai Farkas* is Segner-tételként említi a *Tentamenben*.

címében hangsúlyozva az érthető előadásmódot: *Csillagászati előadások, érthető tanítás az ég alapos megismeréséhez*. Hallei professzorsága idején a Vénusz Nap előtti átvonulásáról tartott nyilvános előadást. A Halley-üstökös feltűnéséről a *Heti Hallei Közleményekben* számolt be. Göttingeni éve során szemléltető eszközt állított össze a napfogyatkozás jelenségének elemzésére. 1748-ban alkalma volt a gyűrűs napfogyatkozás nyomon követésére és a mindenki által észlelt sötétedés mértékének megbecslésére.

Segner János András elsősorban tanár volt, ám neve fennmaradásában jelentős szerepe volt a Segner-kerékekkel kapcsolatos tevékenységének. Az eszköz sikere sokat köszönhet megalkotója tanári erényeinek: a világos okfejtésnek, a matematikai és fizikai tudás mesteri alkalmazásának. Jól tükrözi ezt az a terjedelem, amelyet a Segner-keréket tárgyaló fejezet a könyvben elfoglal, valamint a tárgyat több oldalról bemutató elemzés. A sokoldalú megközelítést elősegíti az internet intenzív használata. 1750-ben jelent meg nyomtatásban Segner *Leírás, melyben egy bizonyos hidraulikus gép elméletét előre bocsátja* című tanulmánya, majd ezt követte *A nemrégiben leírt hidraulikus gép formájára és erejére vonatkozó számításról* című írás. Ugyanekkor egy népszerűsítő folyóiratban is elmagyarázta az eszköz működését. A közkeletű nézettel szemben, amely az eszköz működését a levegő ellenállásával magyarázta, Segner kísérlettel bizonyította, hogy a fellépő forgás az edény és a víz kölcsönhatásának következtében jön létre.

A Segner-kerékről szóló fejezet változatos tematikájú: olvashatunk elméleti megfontolásokat vízikerekekről (alulcsapott, felülcsapott), hatásfokszámításokat, Euler módosítási javaslatairól, a molnár foglalkozású Segner-rokonokról. A mai napig működő Segner-kerékes vízimalmokról találhatunk beszámolókat; a legregényesebb egy 1851-ben Puerto Ricóban üzembe helyezett kávémalom, amely turistalátványosságként napjainkban is üzemel.

Kovács László hihetetlenül aktív tudománytörténész, amit az eddig áttekintett Segner-könyv 180 oldala is igazol. A kötet azonban 270 oldalas; a fennmaradó 90 oldal számos meglepetéssel szolgál.

– A bibliográfia nagy részletességgel sorol fel mindent, amihez Segnernek köze volt (például olyan disszertációkat, amelyet más írt, Segner csak a vita elnöke volt). A hivatkozások többsége az interneten elérhető. Többet a szokásoshoz képest, hogy az eredeti címek mellett a magyar fordítás is olvasható.

– Az összefoglaló kronológia 3 oldala megkönnyíti a tájékozódást az egyes fejezetek között.

– Egy rövid életrajzi áttekintés angolul és *Rab Irén* 13 oldalas német nyelvű esszéje növelik az olvasók számát és körét.

– Kovács László könyvének kulcsfejezete a 45 oldalas *Emlékének ápolása*, amely úgy lesz ekkora, hogy a *baláláról, sírbélyéről* fejezet 10 oldala és az *Előszó* fele is mondanivalójában a visszaemlékezés módjáról és történetéről szól.

Aki tevékenységének középpontjába a tanárságot állítja, az a felejtést kockáztatja. Egy jó tanárra évtizedekig emlékeznek tanítványai, de ez az emlékezet velük együtt kihal, az élmény nem öröklődik. Segner János András szerencsés, hogy számos tudományágban vannak eredményei, és hogy egy jól megjegyezhető eszközhöz, a Segner-kerékhez köthette nevét – amennyiben fontos volt számára a halhatatlanság. A visszaemlékezések szerint Segner okos ember volt kevés illúzióval, tüskés természet, kevés barátal. Ötven évesen, kinevezésekor a hallei egyetemre a privilégiumok egész sorát kötötte ki magának, például a címekre és rangokra sokat adó Poroszországban kérte a maga számára a titkos tanácsosi címet és családjának a magyar nemesi diploma megújítását. Mindkét követelését elfogadták, így Segner Halléban mint „von Segner” élt. Határozott volt ekkor és céltudatos, és élete hátralévő 22 évében a tanításnak élhetett. Az utókorra maradt emlékének ápolása.

Az emlékezés története esetünkben csaknem 200 évvel Segner halála után, az 1960-as évektől kezdődik, ami az utcaneveket, szobrokat, érmeket stb. illeti. Külön fejezet Segner sírjának felkutatása, ami a bombázások után 25 évvel kalandos és az eredményességet illetően szerencsés történet. Az emléktáblák elhelyezésének, a szobrok felállításának kedvez a születés vagy a halál időpontjának kerek számú évfordulója, de a legfontosabb, hogy legyen valaki, aki szívügyének tekinti a méltó megemlékezést. Segner esetében *Lenygel László* neve merül fel, aki a Segner emléket ápoló Energiagazdálkodási Tudományos Egyesületen keresztül a Tudományos Akadémia, több egyetem és szakmai társulat bevonásával sikeres munkát végzett. A hatvanas, de különösen a hetvenes években előadások, kiállítások, utca- és térelnevezések, többnapos konferencia Halléban, bélyegek és emlékérmek kibocsátása valóságos Segner-kultuszt eredményezett.

„Születésének 300. évfordulója már csendesebben telt: néhány tanulmány idehaza és egy emlékpénz-érem Szlovákiában. Napjainkban óriási méretű a visszaesés” – panaszkodik a szerző. Szobrok, emléktáblák kallódtak el. „A debreceni Református Kollégiumban nincs már Segner emlékszoba. Bezárták, megszüntették, felszámolták. Nem találok megfelelő indokot erre a szinte hihetetlen tényre.” A felháborodás mértékéből láthatjuk, hogy Kovács László nem egyszerű, tényeket leltározó szerző, hanem egyike azon keveseknek, aki őrökdi Segner hagyományain, tárgyi emlékein, és a soványabb esztendőkből is képes örülni, hogy „a Segner-kráter elnevezés a Holdon, a 28878 Segner Asteroid és a Segner kölcsönható galaxispár megnevezés szerencsésen megmaradt.”

„Tovább serkentheti az érdeklődést, ha önálló magyar könyv tiszteleg a kiváló egyetemi tanár, a sokoldalú reneszánsz tudós előtt.”

Valóban, egy ilyen több szempontú, feszültségeket hordozó könyv képes a legösszetettebben megfelelni az *Emlékének ápolása* feladatnak. És egyúttal a megemlékezés legtartósabb formája is.

*Füstöss László*



# A NAT–2018 TERVEZETÉNEK SZAKMAI VÉLEMÉNYEZÉSE

Az ELFT hivatalos állásfoglalása a Nemzeti Alaptanterv megújítását célzó javaslatról

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, mint a fizikatanárok és fizikusok legnagyobb hazai szakmai civil szervezete megvitatta a 2018 nyarán nyilvánossá tett új Nat-tervezetnek a természettudományok, illetve a fizika tanításával kapcsolatos részeit, összegezte észrevételeit, és megfogalmazta a szakanyag jobbítására tett javaslatait.

## Vezetői összefoglaló

A Nemzeti Alaptanterv a közoktatás fontos szabályzó dokumentuma, a közoktatás egyfajta kánona, ami akkor igazán hatásos, ha része egy általánosan támogatott távlati oktatási stratégiának. Sajnos ilyen konszenzusra törekvő stratégia a jelen Nat-tervezetből nem olvasható ki.

A reáliák vonatkozásában a Nat önmagával ellentmondó kettősséget tartalmaz. A célok, a tematikus szakmai tartalmak és az elvárások megfogalmazása megfelel a hagyományos gyakorlatnak, és kisebb javításokkal az érintettek széles körében elfogadható lenne. Az alapvető probléma abban jelentkezik, hogy a tervezet gyakorlati megvalósítást meghatározó keretrendszere (tantárgyfelosztás, óraszámok) ellentmondásban áll a tartalmi kánonnal. A Nat–2018 tervezete – a korábbi sajnálatos gyakorlatot folytatva – tovább szűkíti a természettudományok eredményes tanításának lehetőségeit. A 7–8. évfolyamon a biológia, fizika és kémia tárgyak összevonását javasolja egy egységes „Természettudomány” tantárgyba. Mivel e feladathoz illeszkedő szaktanárképzés nincs, a változtatás a tanítás színvonalcsökkenésével fenyeget, és veszélyezteti az ebben az életkorban eredményes szaktárgyi motivációt is.

A gimnáziumban a természettudományok kötelező tanulása a felsőbb évekről a 9–10. évfolyamra szorult vissza. Ez alapvetően rossz társadalmi üzenet

ter hordoz a természettudományos műveltség vonatkozásában, miközben ellentmond számos olyan kormányzati törekvésnek, mint az ország sokat hangsúlyozott műszaki-technikai fejlesztése és az ehhez szükséges szakemberképzés, a természet- és energia-tudatos életforma megalapozása stb. A Nat-ban megfogalmazott hagyományos tartalmak tanításának időbeli előresorolása csak tartalmi változtatásokkal járhat együtt, hiszen a diákok kognitív szintje az érintett években lényegesen különböző. Probléma, hogy a Nat – mint az iskolai munka bemeneti szabályzója – nincs kapcsolatban a középiskolai munkát kimeneti oldalról szabályozó érettségi követelményrendszerével sem. E fontos kérdéseket a Nat-tervezet figyelmen kívül hagyja. Ezen alapvető problémák előrebocsátása után véleményünk csoportosítva foglalkozik a Nat-tervezet problematikusnak értékelt részleteivel a fizika (és kitekintésként a természettudományok) tanításával kapcsolatosan. A kritikai észrevételeket pontokba szedtük, s a problémák megoldására konkrét javaslatokat teszünk.

## A. A fizika és a természettudományok súlya csökken a közoktatásban

A Nat órafelosztása, az egyes műveltségi területek társadalmi fontosságára vonatkozóan üzenetet közvetít diákoknak, szülőknek intézményvezetőknek egyaránt. Azok a diszciplínák, amelyeket magas óraszámokban tanulnak és/vagy a kötelező érettségi vizsgán szerepelnek, fontosak. A kis óraszámokban tanítottak lényegtelenek. A természettudományok óraszámának folyamatos csökkentése, a hagyományosan külön tanított biológia, fizika, kémia tárgyak összevonása (7–8. évfolyam), a gimnáziumban a természettudományok kötelező tanításának leszorítása a 9–10. évfolyamra, ezt a leértékelő üzenetet hordozza. Ennek negatív hatása van a természettudományok társadalmi megítélésére, a diákok motivációjára, a szaktanárookra, akik egyre reménytelenebb helyzetben érzik magukat, de negatív hatása lehet a tanárképzés vonatkozásában is. **Javasoljuk az óraszámok visszaállítását, s hogy a fizika tanítása húzódjék el a 11. osztályig.**

A 2018. október 19-i társulati vitafórum és az írásban beérkezett hozzászólások alapján készítette az ELFT NAT-véleményező bizottsága (Juhász András, Horváthné Fazekas Erika, Tél Tamás, Ujvári Sándor, Woyrnarovich Ferenc).

Az állásfoglalást dokumentumszerűen, az eredeti kiemelés mód megtartásával közöljük (a szerk.).

Javasoljuk továbbá a Nat és egy kötelező természettudományos (biológia, fizika vagy kémia) érettségi kérdésének összekapcsolását. A probléma kör részletezését szakanyagunk 1. pontja tartalmazza.

## B. Az integrált „Természettudomány” tárgy oktatásának problémája

Az általános iskola 7–8. évfolyamon a Nat lehetőséget ad az iskolának a korábbiakban külön tantárgyként tanított fizika, kémia, biológia összevonására egyetlen integrált tantárggyá. A Nat ezt nem teszi kötelezővé, de jól érzékelhető módon sugallja. A lehetőség különösen a kisebb iskolák esetén tűnik „iskolabarát” megoldásnak, mert „törvényes” megoldást kínál az egyre fokozódó tanárhiányra. Az integrált oktatás preferálása súlyos kérdéseket vet fel. A Nat nem mondja meg, ki taníthatja az új tárgyat (hiszen erre képzett szaktanárok nincsenek), nem ad segítséget az integrált tárgy tartalmi vonatkozásában sem a korábban független három diszciplína közti egyensúly kérdésében. A javasolt új oktatási forma előzmények nélküli megszervezése és bevezetése így az iskolák feladata és felelőssége marad, olyan iskoláké, amelyek többsége épp azért vállalja az új tárgy bevezetését, mert megoldhatatlannak tűnő szaktanárhiánnyal küzd. Valószínűsíthető, hogy szakemberek hiányában nem tudják megoldani azt a nem könnyű feladatot, amit az új tárgy tartalmi kérdéseinek egyensúlya kívánna. Ha ez nem sikerül, az újabb problémákat kelthet a továbbtanulási esélyegyenlőségtől a hátrányos helyzetű, de tehetséges gyerekek szakterületi motiválásáig. A fizika vonatkozásában félok, hogy sok iskolában **nem erre képesített pedagógus tanít majd fizikát. Ezért javasoljuk, hogy a természettudományi tárgyak összevont oktatása ne legyen támogatott opció.** Ez a fizika tárgy presztízsét is csökkentené, és **negatívan hatna a tanárnak jelentkezők számára is.** A probléma részletesebb tárgyalása a 2. pontban található.

## C. A Nat pontatlan tudományképet ad a fizikáról

A szaktárgyi tanítás fontos feladata, hogy a diákok korlátozott befogadóképessége ellenére reális képet adjon a természettudományok és ezen belül az egyes tudományterületek sajátosságairól, vizsgálati területeiről, módszereiről, az így szerzett ismeretek társadalmi jelentőségéről. A jelen Nat-tervezet számos helyen félreérthető, hibás vagy vitatható megállapításokat tartalmaz a fizika vonatkozásában. **Ezek javítandók!** A felvetődő problémák részletezése a szakanyag 3. pontjában olvasható.

## D. A kontextusalapú tananyagszervezés problémái

A Nat a fizika és a kémia esetében több helyen is az úgynevezett kontextusalapú tananyagszervezést és feldolgozást javasolja. Ez az a struktúra, amelyben a 2012-es Nat a természettudományokat tárgyalja, és amely az arra épülő, sok vitát kiváltó „A” kerettantervekben is megjelent. Ez eltér az egyes tárgyak saját belső logikájától, helyette más szempontrendszert alkalmaz. Megítélésünk szerint a kontextusalapú tananyagszervezés értékelhető előzmények nélküli bevezetése **országos méretű oktatási kísérlet lenne.** Az ezzel kapcsolatosan felmerülő problémák kifejtése a szakanyag 4. pontjában található meg.

## E. A tananyag kiegyensúlyozatlan és következtelen

Az iskolai munka alapjait szabályozó, egységesítő dokumentumtól elvárt, hogy az jól értelmezhető módon, fontosság szerinti súlyozással adja meg a tartalmakat, követelményeket. Fontos hogy **a témakörök felsorolásán túl a dokumentum utaljon a feldolgozás tartalmi mélységére is.** Ezzel sok félreértés elkerülhető lenne. Különösen fontos ez akkor, amikor a szabályozás új rendje eltér a korábbiaktól. (Ha például egy adott téma sok évtizede a gimnázium felsőbb évfolyamainak anyaga volt, és az új rendszerben az alsóbb évfolyamokra kerül, kevés a címszavak átmásolása.) A megalapozatlan elvárások elkerülése érdekében **javasoljuk a különböző fejlesztési területekhez kapcsolt eredménycélok és a „fizikai szakismeretek” keretében elvárt tudás összehangolását.** A probléma részletezése az 5. pontban olvasható.

## F. Függelék: szövegszintű kiemelések a tervezetből

A véleményünk végső fejezete csoportosított idézeteket tartalmaz a Nat-tervezetből. A kiemeléseinket kifogásaink alapján három csoportba rendeztük.

A „**Taníthatatlan**” csoportban olyan témákat sorolunk fel, amelyek a fizikai szakismeretek keretében elvárt tudás alapján nem értethetők meg a diákokkal, tehát véleményünk szerint a Nat-ból kihagyandók.

A második csoportba a „**Javítandó hibás megfogalmazások**” kerültek.

A harmadik csoport – „**Abszurd kívánalmak**” – olyan konkrét formában megfogalmazott elvárások a tanulókkal szemben, amelyek az adott életkorban biztosan irreálisak. Ezek a dokumentumból törölendők.

## Összesítés

Az ELFT az ország legnagyobb fizika tanításával foglalkozó szakmai civil szervezeteként fontosnak tartja a Nat–2018 tervezet koncepcionális változtatásainak újragondolását, és a konkrét megfogalmazás tekintetében a jelen változat átdolgozását. Úgy látjuk, hogy a Nat ezen formában történő véglegesítése a természettudományos közoktatás színvonalának további csökkenését eredményezné. Javasoljuk az oktatási kormányzatnak, hogy a véglegesítés időpontját az eredetileg tervezetthez képest halassza el, és tegye lehetővé a szakanyag érdemi javítását és összehangolását más, az oktatást szabályozó tényezőkkel (például érettségi, továbbtanulás, a felsőoktatás elvárásai, tanárképzés).

## A Nat–2018 tervezet részletes szakmai véleményezése a fizika tanításának szempontjából

### Bevezetés

A fizikatanítás számos problémával küzd. Helyzetét meghatározza, hogy az attitűd-vizsgálatok szerint a fizika (a kémiával együtt), a diákok által legkevésbé kedvelt tantárgy. Ezzel összhangban áll, hogy a gimnáziumban kevesen választják fakultatív tárgynak, és csak azok érettségiznek belőle, akiknek ez a továbbtanulásuk miatt fontos. A fizika tantárgy a széleskörű társadalmi megítélés szerint is a legnehezebb tantárgyak közt szerepel, aminek tanulását sokan felesleges iskolai tehernek tartják, és nem látják társadalmi hasznosságát, szemléletformáló szerepét. E negatív megítélés nem csak Magyarországra, de világszerte jellemző. A szaktárgyi oktatás másik problémája a tanárhiány. Kérdőíves felmérésünk is visszaigazolja a fizikatanárok elöregedését és a kellő utánpótlás hiányát. Az utánpótlás vonatkozásában a bolognai képzési forma megváltoztatásával történt ugyan pozitív előrelépés, de ez még mindig nem jelent hosszú távú megoldást. A tanárhiány problémája szorosan kapcsolódik a közoktatáshoz, de azon messze túlmutat. Súlyos tévedés a probléma érdemi megoldása (például a tanári pálya elismerésének javítása) helyett a közoktatás illesztése (például óraszámok csökkentésével) a tanárhiányhoz.

A jelen környezeti problémáinak megoldása a természettudományoktól várható. A fenntarthatóság változtatásokat követel az emberek szokásaiban, a környezethez való viszonyukban. E tudatformálásnak gyerekkorban kell kezdődnie. Utoljára a középiskola az a hely, ahol mindenkit elérhetünk, és reményünk van

arra, hogy megértethetjük, milyen komplex a világ, és milyen szerepe van a benne résztvevőknek.

A műszaki-technikai fejlődés alapvetően megváltoztatta mindennapi életünket. Ennek sok pozitívuma mellett veszélyei is vannak. A technika felelős használata eddig nem létező speciális ismereteket kíván, aminek alapjai a természettudományokon nyugszanak. Magyarország a korszerű ipari fejlesztést tűzte ki célul, energiaellátását a megújuló energiaforrások mellett új atomerőművel kívánja megoldani. Ezek a tervek megkívánják, hogy a fiatal nemzedékek stabil természettudományos ismerteteket szerezzenek.

Világméretben jellemző, hogy a tudományos kutatás és a technikai fejlesztés jelentősége megnő, egyre több természettudományosan képzett szakemberre és a természettudományok felé nyitott társadalomra van szükség. Magyarország ebben a folyamatban nem maradhat le.

A felsorolt érvek és az ezt elfogadó kormányzati törekvések ellenére ma Magyarországon C. P. Snow „két kultúra elmélete” látszik megvalósulni, aminek a 2018-as Nat-tervezet sem áll ellen. Mindez azzal fenyeget, hogy nálunk is felnőhet egy új nemzedék, amelyik elzárkózik a természettudományok megismerésétől, és így teljesen tájékozatlan lesz a modern tudomány eredményeiről, módszereiről, gondolkodásmódjáról, és kimarad a tudomány által nyújtott esztétikai élményekből is. A közoktatásnak e kihívásokra reagálnia kell! A Nat–2018 tervezete szakmai bírálatán során azt vizsgáltuk, hogy a Nat-ban megfogalmazott célok, tartalmak mennyire adnak jó válaszokat a fizika tanítását nehezítő szakmai problémákra, javaslati mennyiben adnak segítséget a szaktanároknak, illetve a tervezet hol szorul javításra, átdolgozásra.

### 1. Az óraszámok jelentős csökkenése

A fizika óraszámja a 9–12. évfolyamokon a most átlagos 2+2+2+0-ról 3+2+0+0-ra, összességében 6-ról 5-re csökken (a kémiáé 5-ről 3-ra, a biológiáé 6-ról 5-re). Az új Nat-ban a humán tárgyaknak ugyanerre a négy évre vett teljes óraszámja 55. Még ha a három természettudományos tárgyat együtt vetjük össze ezzel, akkor is csak 13/55-ös arányt kapunk (a matematika tervezet 11 órás terjedelmével együtt is csak 24/55 adódik, pedig a matematika teljes iderendelése nyilván nem indokolt [éppúgy, mint a földrajzé sem]). Ha a nagyobb humán tárgyakat (magyar: 14, első idegen nyelv: 14, második idegen nyelv: 12) nézzük, a három természettudományos tárgy **együtt** kap annyi órát, mint ezek külön-külön. E Nat-tervezet kézenfekvő üzenete az, hogy az átlagpolgároknak és a humán szférában dolgozóknak nincs szükségük különösebb



természettudományos műveltségre, s az ezzel járó analitikus gondolkozásra (éles ellentétben a műszaki és természettudományos műveltséget amúgy erősen támogató kormányzati kijelentésekkel).

További probléma, hogy a három természettudományi tárgy kötelező tanítása a gimnázium *első két évére korlátozódott*. Mivel az érettségi előtti évek jelentik azt az életkort, amikor e tárgyak lényegének befogadására, értékelésére és élvezetére a fiatalok többsége éretté válik, ezzel az átrendezéssel *kizárjuk*, hogy a diákok jelentős részének érdemi érdeklődését felkeltessük. Másrészt ugyanezzel előre (a 10. év közepére) hozzuk a *fakultációválasztás felelősségét* (szemben az az általános törekvéssel, hogy megóvjuk a diákokat a korai döntéshelyzetektől).

A fizikatanítás leszorítása az alsóbb évfolyamokra a tanárok számára fontos módszertani problémákat is jelent. Ami korábban a 11–12. évfolyamon a diákok többségének megtanítható volt, az a 10. osztályban gyakran még taníthatatlan, mert a diákok kognitív fejlődése még nem érte el a probléma megértésének absztrakciós szintjét. Az egyes témák évfolyamok közti áthelyezése a feldolgozás szintjének újragondolásával is jár. Ezekre a problémákra a Nat-tervezet még csak utalást sem tesz. A középiskolában ezzel kapcsolatban megjelenő újabb kihívás a fizika és a matematika tanításának tartalmi összehangolása. Az óraszámcsökkenés kompenzálására természetes tanári reakcióként várható, hogy a tempó fokozásával próbál majd megfelelni a Nat tartalmi elvárásainak. Ez további negatív következményekkel jár: a diákok terhelése nő, az órákról kimaradnak az „időrabló” kísérletek, nincs idő egy-egy kérdés elmélyült vizsgálatára, azaz motivációra. Különösen fontos a kísérletek és a motiváció elvesztésének veszélye a 7–8. évfolyamon, ahol ennek esélye sincs, ha nem fizika szakos tanár látja el az integrált tárgy óráit.

E hatások részleges kompenzálására javasoljuk, hogy a **fizika kapjon +1 órát**, s a tanítása **húzódjék szét például 2+2+2+0 formában** a 9–11. osztályokra. Így elérné a második idegen nyelv teljes óraszámának a *felét*. (Ha ugyanez történe a kémiával és a biológiával is, akkor a **három tárgy együttes súlya** is csak 14%-kal haladná meg az első idegen nyelvét.) Javasoljuk, hogy a **7–8. osztályos természettudomány tárgy órabontása** jelenjen meg a Nat-ban, **legalább 1+2 óra fizikával**.

A természettudományok helyzetének igazi stabilizálódását az jelentené, ha bevezetésre kerülne a **kötelező középfokú érettségi** a fizika, kémia és biológia tárgyak valamelyikéből. Ennek megvitatása nem közvetlenül a Nat-hoz kapcsolódó kérdés, de a bemeneti (tantervi) szabályozás és a kimeneti szabályozás (érett-

ségi) kérdéskört – szoros belső összefüggései miatt – egyben érdemes kezelni. Ezért javasoljuk a Nat és a kötelező természettudományos érettségi kérdésének **összekapcsolását**.

További hiányossága a Nat-nak, hogy utalást sem tesz a fakultációk tartalmi elvárásaira. Ezek hiányában nem biztosított, hogy a fizika vagy más természettudományok iránt komolyabban érdeklődő fiatalok (leendő orvosok, mérnökök, tanárok) elegendő tárgyi tudásra tehessenek szert a fakultációk rendszerében. Ezért javasoljuk, hogy a **fakultációs tárgyak tananyaga is** kerüljön megfogalmazásra, s mindez a leendő befogadó **felsőoktatási intézmények bemeneti igényeivel összhangban** történjék. Az egész problémát egyben kezelve ide tartozik a különböző tagozatok indításának, illetve a humán és reál iskolák bevezetésének ügye is.

## 2. Az integrált „Természettudomány” tantárgy oktatása

A Nat szövege szerint (apróbetűsen megjelenítve) választható, hogy a fizika, kémia, biológia tantárgyakat a 7–8. évfolyamon diszciplináris bontásban vagy egy integrált természettudomány tantárgy keretein belül oktatják, de a szerzők érezhetően az utóbbit *sugalmazták*. A Nat szemléletében egy **természettudomány** tárgy áll a középpontban, amit a középszintű oktatás szakaszában (a gimnáziumban) diszciplináris bontásban tanítanak. Ezt tükrözi, hogy a Tanulmányok szervezése pontban az alapfokú képzés 1–8. évfolyamain kötelező tantárgyak körében a természettudomány kerül megnevezésre. Továbbá tükröződik abban, hogy a biológia, fizika és kémia együttesen csak egy tantárgyra való időkeretet kapott. A 2.2.2.2 táblázat nem is bontja le a természettudomány 7–8. évfolyamos időkeretét az egyes tárgyra. Ez a szemlélet több helyen szövegszerűen is megjelenik. (például: a 1.7.5. pontban a 23. oldalon, a 2.2.1. pontban a 35. oldalon, a 139. 160. és 177. oldalon ráadásul hangsúlyt kap, hogy „az integrált tanulás-szervezésre a középiskolai szakaszban is lehetőség van”.)

A következő állítás mélyen **inkorrekt**: „A javasolt kontextus alapú tananyag-felépítés nagyfokú rugalmasságot tesz lehetővé. Így a fizikai ismeretek feldolgozása mind diszciplináris, mind integrált oktatás formájában elképzelhető és *megvalósítható*.” (169. old.) Az integrált tantárgy érdemi, tehát jó minőségű fizika-oktatást biztosító megvalósíthatóságára vonatkozó hazai adatok ugyanis nem állnak rendelkezésre.

Alapvető probléma, hogy hazánkban **nincs természettudomány-tanár** és ilyen tanárképzés nem is folyik. A biológia, fizika és kémia együttes oktatásához

szükséges háttér átfogó és magabiztos ismerete még egy érdeklődő 8-adikos diák szintjéhez alkalmazkodva is irreális elvárás. E nehézséget jól mutatja, hogy a természettudomány-képzéshez leginkább hasonló környezetben tanári képzés nem vezetett sok sikerre.

Ha előbb kerül bevezetésre a természettudomány tantárgy, mint megfelelő számú szaktanár képzése, nyilvánvaló hogy az oktatás színvonalának a csökkenése fog bekövetkezni. A fizikát érintő fontos következmény az is, hogy a kiskamaszok közül sokan lelkes kísérletezők (akkor is, ha később egészen más érdeklődésűvé válnak), s ez a lelkes találkozás a fizikával óhatatlanul elmarad, ha nem szaktanár tanítja a tárgyat. Ha figyelembe vesszük az életkori sajátosságokat, könnyen beláthatjuk, hogy ez a hiány középiskolában már nem, vagy csak nehezen pótolható. Ezzel **sérül az esélyegyenlőség**, hiszen a hátrányos helyzetű diákok – akiknek a szülei nem tudják megfizetni a magánórákat – kevesebb lehetőséget kapnak arra, hogy megismerjék a természettudományok, ezen belül a fizika szépségeit, és kialakuljon ez irányú érdeklődésük. Ennek hiányában hamis kép alakul ki bennük, és középiskolai tanulmányaikat sem reál területen kívánják majd folytatni.

Mivel természettudomány-tanár egyáltalán nincs, a tanárhiányra a természettudományi tárgyak összevont oktatása nem jelent megoldást, legfeljebb eltakarja a problémát, és egy talán súlyosabbat vet fel: **a fizikát a fizikához nem értő tanárok fogják tanítani.** Ezért javasoljuk, hogy **a természettudományi tárgyak összevont oktatása ne legyen támogatott opció.**

A tanárhiányra a természettudományos tárgyak oktatásának Nat-szintű redukálása, összevonása nem adekvát válasz, mert magában hordja e tantárgyak **leépülésének a veszélyét.** (Nem tartozik a Nat keretei közé ennek értékelése, de a fizikatanári pályát választók száma túl van a mélypontján, és a nyugdíjkorhatárt elértek pályán tartásával, illetve érdeklődő műszaki szakemberek átképzésével a tanárhiány tovább enyhíthető.)

**A természetismeret tanításáról az 5–6. évfolyamon:**

Mivel a fizika alaptudomány, hiszen saját fogalom-, törvény- és szabályrendszere van, amit a többi természettudomány fizikai előismeretként átvett és arra építette saját tudományi rendszerét, a többi természettudomány oktatását minden szempontból össze kell hangolni a prefizikális ismeretekkel (időrend, a fogalmak átvétele és beépítése, a szemléletmód egységesítése stb.) és ennek **szakemberek által történő tanítása alapfeltétel.** Ezért a fizikai előismeretek megértését, alkalmazni képes tudásának elsajátítását a 6.

tanév végéig, a többi természettudományi tantárgy tanításának elkezdés előtt kell biztosítani. Mivel a természetismeret szakos tanítók száma meg sem közelíti ennek az igénynek a teljesítéséhez szükséges mértéket, a tanulók érdekében nem mondhatunk le a természetismeret tantárgy tanításánál a biológia, fizika, földrajz, kémia szakos tanárok összehangolt munkájáról. Ezért érthetetlen, hogy az 5–6. évfolyamon a természetismeret tantárgy tanítását csak komplex tantárgyként teszi lehetővé a Nat. Az átmenet idejére (amíg nem lesz elegendő számú szakos tanár) javasoljuk, hogy a természetismeret tantárgy tanításában a biológia, fizika, kémia, és földrajz szakos tanároknak arányos lehetőséget kapjanak az összehangolt tanításhoz, például úgy, hogy a 6. évfolyamon heti 1 tanórán lehesse tanítani a fizikai előismereteket.

### 3. A Nat által kirajzolt fizikakép pontatlansága

A természettudományok és köztük a fizika úgy jelennek meg a Nat tervezetében, mintha a fontosságukat csupán eredményeik hasznossága, gyakorlati felhasználhatósága indokolná. Ez a felfogás hamis, a **természettudományos tudásban megjelenő intellektuális teljesítmény** a kultúra más elemeihez hasonlóan **önmagában is érték.** Ez a szemlélet az általános alapelvek között megemlítendő, és az egész szövegen végigviendő.

Több helyen szerepel, hogy a fizika „társadalmi jelenség” (161., illetve 168. old.), vagy hogy „a fizika társadalmi problémákra keresi a választ” (162. old). A fizika nem társadalmi jelenség, és nem társadalmi problémákra keresi a választ. A fizika egy tudomány, amelyet a kutatásának a tárgya, a módszertana, és a benne felhalmozott tárgyi tudás határoz meg, **kérdéseit a belső logikája, nem pedig a társadalom veti fel.** A tudományok művelése a társadalmi jelenség, amely eredményein keresztül akár radikálisan is befolyásolhatja a társadalom életét. A megfelelő mondatok ennek értelmében átfogalmazandók.

Félrevezető az az állítás hogy a „fizika nem alkalmazott matematika, a fizikus gondolkodás legfontosabb elemeinek megértése **nem igényel matematikát**” (163. old. első bekezdés). A fizika valóban nem alkalmazott matematika, de állításai precízen csak a matematika nyelvén fogalmazhatók meg, tehát nem mellőzheti a matematikát. Az idézett mondat ilyen értelemben módosítandó.

A fizika másik alapvető tulajdonsága, a kísérletek meghatározó szerepe a középiskolai képzésben alig kap hangsúlyt. (Az eredménycélok között csak három kísérlet szerepel.) A szöveg rendszeresen mérést emleget, ami még nem kísérlet. Javasoljuk, hogy **több kí-**

**sérlet elvégzése és ismerete** jelenjen meg az eredménycélok között a 7–8. és 9–12. évfolyamokon egyaránt.

A dokumentum szinte minden területen modellekről, modellalkotásról, modellezésről stb. beszél. A modell szó jelentése nagyon sokrétű, a Nat-ban is sokféle jelentéssel szerepel, és a modell fogalma még a fizikán belül sem egyértelmű, ezért fontos lenne leírni, itt mit értünk rajta. (Lehetséges értelmezés: egy jelenség vagy jelenségcsoport leírására *alkalmas* logikai vagy matematikai képlet, összefüggés, összefüggésrendszer.) Ugyanakkor figyelni kell arra, hogy annak megértése, hogy a valóság és valóság leírása nem azonos, olyan absztrakciót igényel, ami a tanulók nagy részétől életkori sajátágaiknál fogva nem várható el, ezért nem erőltetendő. Konkréten **az általános iskolában a modell, modellalkotás kifejezések** teljes kerülését javasoljuk.

#### 4. Kontextusalapú tananyagszervezés problémái

A Nat a fizika és a kémia esetében több helyen nevesítve is az úgynevezett kontextusalapú tananyag-szervezést és feldolgozást javasolja. Ez az a struktúra, amelyben a 2012-es Nat a természettudományokat tárgyalja, és amely az arra épülő, sok vitát kiváltó „A” kerettantervekben is megjelent. Ez eltér az egyes tárgyak saját belső logikájától, helyette más szempontrendszert alkalmaz. Ettől a szerkesztők kettős eredményt várnak: az adott tárgyak a diákok számára elfogadhatóbbá, eredményesebben taníthatóvá válnak (130. és 176. oldal), másrészt könnyebb lesz a tantárgyak integrált oktatása (165., 169., 181., 185. oldal). Fontos látni, hogy a fizikához a saját belső struktúrája is hozzá tartozik, a fizikusi gondolkodásnak része az is, ahogy a fogalmakat egymásra építi, így egy ettől eltérő tananyagszervezésben a fizika képe sérül. Ez azt is jelenti, hogy azok a tanulók, akik a fizikát éppen a fegyelmezettsége, fogalmi szerkezetének következetes felépítése, és e szerkezet hatékonysága miatt szeretnék meg, nem is találkoznak ezzel a kötelező tananyag keretében. Ugyanakkor semmi nem garantálja, hogy az így kialakított „fizika” tantárgy beváltja a hozzá fűzött reményeket, és eredményesebben lesz oktatható, mint a hagyományos. Végül fontos szempont, hogy a kontextusalapú oktatás feltételei (oktatás-módszertani háttér, megfelelő tankönyvek, segédanyagok, tanárok felkészültsége) nem biztosítottak, így általános előírása egy országos méretű oktatási kísérlet lenne. Javasoljuk, hogy a tantárgyak szervezésében továbbra is azok belső logikája kapja a döntő hangsúlyt, és a tantárgyak együttműködését a természetes kapcsolódási pontokra alapozva dolgozzák ki.

#### 5. Következetlenségek az elérni kívánt tudással kapcsolatban

A jelen változat sok témája **taníthatatlan**. Az eredménycélok felsorolásából sok helyen nem derül ki, hogy az adott jelenség milyen szintű megértése az elvárás. Az ilyen megfogalmazások, mint például „érti a közlekedési eszközök (elektromos háztartási gépek, hangszerek, optikai eszközök stb.) működési elvét” helyett **pontos megfogalmazást javasolunk**. (Ez különösen fontos lenne a 7–8. osztályok esetében.)

Az célként megjelölt tudástartalmak nehézségi szintje **érthetetlenül egyenetlen**. Nem szerepel például a vektorok összeadása (csak az azonos irányúaké), vagy kimarad a váltóáram, ugyanakkor elvárás a gravitációs vagy az elektromos mezőnek a megfelelő kölcsönhatások közvetítésében játszott szerepének a megértése.

A „környezet és természet-tudatosság” vagy a „természeti jelenségek, technikai eszközök, technológiák fizikája” fejlesztési területekhez kapcsolódó eredménycélok között olyan divatos, médiafigyelemmel kísért, esetleg a köznapi érdeklődés által generált elvárások is megjelennek, amelyek megértéséhez a „fizikai szakismeretek” keretében elvárt **tudás biztosan nem ad alapot**. (Ilyenek például: a digitális képrögzítés, korszerű világító eszközök stb.) Ezeket érdemes lenne megszüntetni, és így elkerülni azt a *hamis illúziót*, hogy ezek ilyen szinten megérthetők lennének. Hasonló a helyzet a globális környezeti kérdésekkel kapcsolatban is. A Nat szerzői túl sokszor és túl felszínesen akarnak ilyen kérdésekről állást foglaltatni a tanulókkal (például globális felmelegedés, időjárási/éghajlati jelenségek, megújuló és nem megújuló energiaforrások, fenntarthatóság), de ahhoz nem nyújtanak korrekt és átfogó természettudományi ismereteket.

#### 6. Függelék

**Szövegszintű kiemelések a tervezetből**, melyek konkrét példákkal illusztrálják a fentiekben megfogalmazott kritikák egy részét.

##### Taníthatatlanság

A következő témák a fizikai szakismeretek keretében elvárt tudás alapján nem érthetők meg a diákokkal, kihagyandók:

7–8. évfolyam:

„Ismeri a jövő tervezett energiaforrásait, az ezek birtoklására irányuló technológiai fejlesztések fizikai vonatkozásait.”



„Ismeri az aktuálisan használt elektromos fényforrásokat, azok fogyasztását és fényerejét meghatározó tulajdonságait, az elektromosenergia-forrásokat a háztartásban.”

„Tudja, miben nyilvánulnak meg a *kapilláris jelenségek*, ismer ezekre példákat a gyakorlatból.”

„Tisztában van az *önvezérelt járművek működésének* elvével, illetve a járműbiztonsági rendszerek működésének fizikai hátterével.” Megjegyzés: nem kellene előbb szenzorokról, visszacsatolásról tanulni? (166. o.)

„Tudja, hogy a Földnek mágneses tere van, ismeri ennek legegyszerűbb *dipól közelítését*.” (167. o.)

9–10. évfolyam:

„...a vízzel kapcsolatos jelenségek: *áramlatok, szökőkőr*), azok megfelelően egyszerűsített, a fizikai mennyiségeken és törvényeken alapuló magyarázatait”. Megjegyzés: ezek a témák nem részei a kötelező egyetemi fizikusi tananyagoknak sem, iskolában nem taníthatók. Ráadásul, a szökőkőr a legnagyobb magasságú dagály. A szerzők itt feltehetően nem erre, hanem cunamira, földrengéshullámra gondoltak, hiszen ez az, ami sokszor szerepel a médiában (amit ott gyakran tévesen valóban szökőkőrnak neveznek). Ennek a két témának a fizika tantárgy nem képes megadni az igényelt „törvényeken alapuló magyarázatait”, ezért ha a Nat írói meg kívánják őket tartani, akkor a földrajzba tudják áthelyezni. (171. o.)

„...tisztában van a *repülés elvével*, a légellenállás jelenségével. Megjegyzés: a Bernoulli-törvény nélkül a repülés nem érhető meg, de nemcsak ez, semmilyen áramlási téma nem szerepel az anyagban. (174. o.)

### Javítandó hibás megfogalmazások

„Ismeri a periodikus mozgás fogalmát, az ilyen mozgásokat jellemző fizikai mennyiségeket: amplitúdó, sugár, frekvencia, periódusidő.” – A sugár nem a periodikus mozgás jellemzője.

„...a hőről mint az energia egyik formájáról.” – A hő nem energia, a belső energia az, de itt nem arról van szó. (167. o.)

„Tudja, hogy a tudományos eredmények, törvények érvényessége általában korlátozott.” – Ez teljesen félrevezető. A törvényeket azért lehet törvényeknek hívni, mert érvényességi körük nagyon széles. Legfeljebb az írható, hogy érvényességi körük idővel tisztázódik. (170. o.)

„Értelmezi az anyag viselkedését hőközlés során, tudja, mit jelent az égéshő, a fajhő és a hatásfok.” – A hatásfok nem anyagi tulajdonság, nem illik ebbe a körbe. (173. o.)

„Tisztában van a Planck-féle fotonelmélettel, annak Einstein általi igazolásával, a fényelektromos jelenség értelmezésével, a frekvencia (hullámhossz) és a foton energiája kapcsolatával.” – Einstein nem igazolta a plancki fotonelméletet. (175. o.)

### Abszurd kívánalmak – törlendők

7–8. évfolyam:

„Felismeri a tudomány által vizsgálható jelenségeket, azonosítani tudja a tudományos érvelést, felismeri az áltudományos nézeteket.” (165. o.)

„...fizikai ismeretei alapján javaslatot tesz a károsító hatások csökkentésének módjára.”

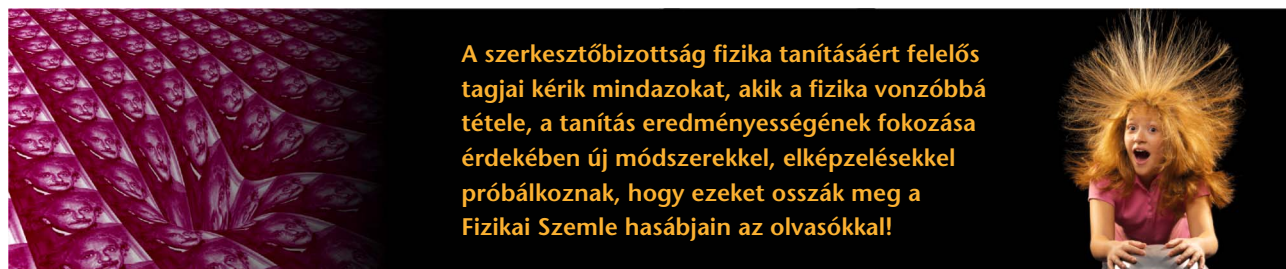
„Képes a természettudomány fejlődésével kapcsolatos alapvető etikai kérdések megfogalmazására.”

„Ismeri az ózonpajzs elvékonyodásának és az ultravioleta sugárzás erősödésének problémáját, és ehhez érvekkel alátámasztott magyarázatot ad.” (166. o.)

9–10. évfolyam:

„Tisztában van az űrkutatás ... tágabb értelemben vett céljaival (értelmes élet keresése, új lakóhely az emberiség számára stb.).” (171. o.)

„Ismeri a világegyetem felépítését, átlátja időbeli fejlődését, lehetséges jövőjét.” (175. o.)



**A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kérik mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Fizikai Szemle hasábjain az olvasókkal!**

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: [elft@elft.hu](mailto:elft@elft.hu)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtítkár, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egy számlán.

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 900.- Ft (duplaszámé 1800.- Ft) + postaköltség.

**HU ISSN 0015-3257** (nyomtatott) és **HU ISSN 1588-0540** (online)

# XXI. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY – 4. rész

Sükösd Csaba  
BME Nukleáris Technikai Intézet

## Számítógépes feladat

*Compton-szórás tulajdonságainak vizsgálata  
koincidenciaspektrométerek segítségével*

A 2018. évi számítógépes feladat kapcsán a versenyzőknek a Compton-szórást kellett vizsgálniuk két gamma-spektrométer segítségével. Itt összefoglaljuk azt az útmutatót, amit a versenyzők kaptak.

A szimulációs program részletes használati utasítása a „Súgó” menüpont alatt érhető el. A szimulációs program jóval bonyolultabb mérések elvégzését is lehetővé teszi, mint amit most végezni fogunk, ezért nincs feltétlenül szükségünk minden funkciójára. Itt röviden összefoglaljuk a mérés végrehajtásához szükséges legfontosabb információkat.

## Rövid elméleti összefoglaló a Compton-szórásról

A sugárzás és anyag kölcsönhatásának egyik legalapvetőbb formája a fotonok szóródása (szabad, illetve szabadnak tekinthető, a foton energiájához képest elhanyagolható kötési energiájú) elektronokon. Az effektust először *Arthur H. Compton* írta le, amiért 1927-ben Nobel-díjat is kapott. A Compton-szórás további jelentősége, hogy bizonyítja a fény részecske-természetét, mert pusztán hullámmodellel nem lenne magyarázható a szórt foton energiájának (hullámhosszának) változása.

Nagy energiájú (például gamma) fotonok esetén praktikus a foton energiájára vonatkozó képlettel dolgozni. Ha a bejövő és kimenő energiák

$$E_i = \frac{hc}{\lambda_i}, \text{ valamint } E_f = \frac{hc}{\lambda_f},$$

továbbá

$$\varepsilon = \frac{E_i}{m_e c^2},$$

a bejövő foton normált energiája (hasonlóképpen  $\varepsilon_f = E_f/m_e c^2$ ), úgy:



*Sükösd Csaba* (1947) a BME címzetes egyetemi tanára, az ELFT elnökségi tagja. Kísérleti magfizikus, aki kísérleti munkáját nagyrészt külföldi kutatóintézetekben végezte. Kutatási területe a magreakciók, óriásrezonanciák és némely asztrofizikailag releváns magreakció vizsgálata radioaktív ionnyalábokkal. Marx György tanítványaként részt vett a 70-es évek MTA oktatási kísérletében. Azóta is szoros kapcsolata van a fizikatanárok közösségével, több tanár- és oktatóval kapcsolatos program vezetője.

$$E_f = \frac{E_i}{1 + \frac{E_i}{m_e c^2} (1 - \cos\theta)} \Rightarrow \quad (1)$$

$$\Rightarrow \varepsilon_f = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon(1 - \cos\theta)}.$$

A szimulációs gyakorlat során fő feladatunk az (1) szórási összefüggés igazolása.

(A versenyen a diákok még rövid leírást és grafikonokat kaptak a fotonok különböző szögekkel történő szóródásának valószínűségi eloszlásáról is [Klein-Nishina-formula], ezt azonban e beszámolóban nem közöljük, mivel a mérés elvégzésekor egyik versenyző sem használta.)

## A szimulációs program rövid ismertetése

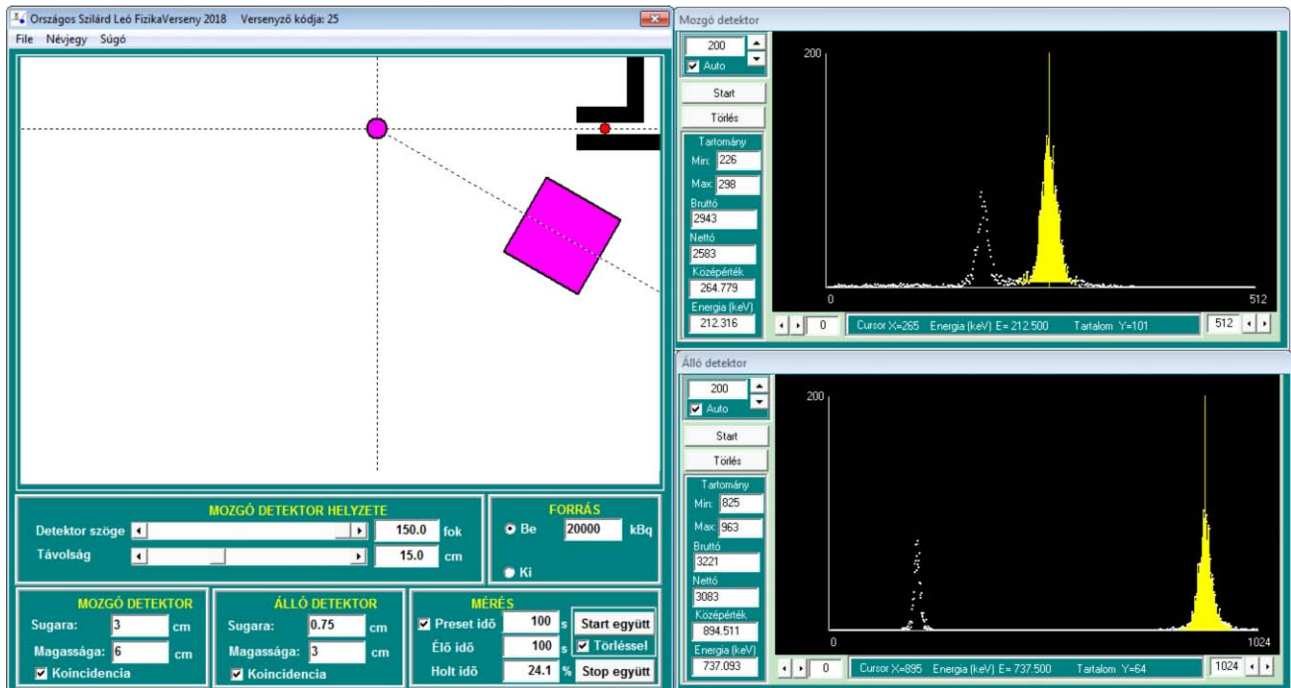
*Sugárforrásunk* (kis piros pont a szimuláció képernyőjén, lásd a szimuláció képernyője *ábrát*) egy kevert forrás, két karakterisztikus gamma-energiával:  $E_1 = 312$  keV (20% gyakorisággal),  $E_2 = 950$  keV (80% gyakorisággal). Ezáltal egyszerre két különböző energián is tudunk mérni.

Mivel  $E_1 < E_2 < 2 \cdot 511$  keV, így a párkeltés jelenségével most nem kell foglalkoznunk.

A szimuláció során két  $\gamma$ -spektrométer áll rendelkezésünkre. Fontos tudni, hogy a spektrométerek detektorai a bennük leadott energiát mérik. Mivel párkeltés nem történhet, a fotonok a detektorok anyagával (NaI kristály) csak Compton-effektussal és fotoeffektussal léphetnek kölcsönhatásba. A fotoeffektusnál a foton a teljes energiáját leadja a kristálynak és megszűnik, míg Compton-szóródás során csak az energia egy része – a meglökött elektron energiája – marad a kristályban (feltéve, hogy a szóródott foton nem hoz létre újabb kölcsönhatást a detektorkristályban).

A képernyő bal oldalán a kísérleti elrendezést felülől látjuk. Az egyik spektrométer detektora („álló detektor”) rögzített helyzetű függőleges henger (lila kör az ábrán), amelynek sugara és magassága állítható. A másik spektrométer detektora vízszintesen fekvő henger (lila téglalap), szintén állítható hosszal és átmérővel („mozgó detektor”). A mozgó detektor álló detektorhoz képesti távolsága és szöge változtatható. Mindkét detektor geometriai középpontja mindig a képernyő síkjában marad.

A kísérlet során az álló detektort használjuk „szóró” célpontként! A kristály anyagában Compton-szórást szenvedett fotonok elérhetik a mozgó detektort, és ott észlelhetjük őket. A mozgó detektor különböző szó-



A szimuláció képernyője.

gekbe állításával kiválaszthatjuk, hogy milyen szögben szóródott fotonokat akarunk vizsgálni. Eközben információt nyerünk arról is, hogy mennyi energiát adott le a szórt foton az álló detektorban.

Amennyiben például az álló detektorban egyszeres Compton-szórás után a foton egyből a mozgó detektorba szóródik (és ott fotoeffektussal minden energiáját leadja), akkor a mozgó detektorban mért fotonenergia és az álló detektorban mért (szórt elektron) energia összege ki kell adja a foton eredeti energiáját.

Ha a mozgó detektor méreteit és pozícióját úgy választjuk meg, hogy a forrásból közvetlenül is éri sugárzás, akkor az is lehetséges, hogy a mozgó detektorból az álló detektorba (vissza)szóródott  $\gamma$ -fotonokat is észleljük.

*Koincidenca*-üzemmódban lehetőségünk van arra, hogy az adott spektrométerben csak azokat a beütéseket rögzítsük, amelyek egyidejűleg (nagyon kis időn belül) jelet adtak a másik detektorban is. A koincidenca-kapcsolót külön-külön és egyszerre is használhatjuk, ezáltal a detektorokban külön is tanulmányozhatjuk a másik detektorban történő szórásból érkező fotonok spektrumát. (Az *ábrán* mindkét detektornál be van kapcsolva a koincidenca.)

A spektrométerek már energiakalibráltak állnak rendelkezésre. Ha azonos fotonenergián<sup>1</sup> szeretnénk beütésszámok (csúcsterületek) összehasonlítását végezni, akkor figyelembe kell vennünk a holtidő-korrekciót is. A holtidő fizikai oka, hogy a detektor egy-egy beérkező  $\gamma$ -foton jelét véges idő alatt tudja feldolgozni, és ha ez idő alatt újabb foton érkezik, úgy azt

nem érzékeljük.<sup>2</sup> A program becslést végez a – program megvalósításából adódóan a két detektorban együttesen fellépő – holtidőre. Ha  $dt$  [%] a holtidő százalékos értéke, akkor segítségével

$$N_{\text{igazi}} = \frac{N_{\text{mért}}}{1 - 0,01 \cdot dt [\%]}$$

Fontos, hogy a mérés végrehajtásához elégséges beütésszámra van szükségünk. Túl alacsony beütésszám mellett a csúcshely súlyozott átlagból történő automatikus meghatározása pontatlan lehet. Ugyanakkor, ha egy-egy mérés túl sokáig tart, a megadott idő alatt nem tudjuk majd befejezni a mérési feladatot, ezért szükséges kompromisszumot találni.

### A szimulációval végrehajtandó feladatok

A [x] szögletes zárójelben feltüntetett számok tájékoztató jelleggel mutatják az egyes részfeladatokra maximum adható részpontokat. A maradék 2 pont a jegyzőkönyv általános érthetőségére, követhetőségére jár. A versenybizottság a beérkezett megoldások értékelése során (például ha van olyan részfeladat, amire nem érkezett jó megoldás) ettől kismértékben eltérő pontozást is alkalmazhat.

1) [0] Gondosan olvassuk végig a mérésleírást!

#### Az álló detektor vizsgálata

2) [1] Ismerkedjünk meg a program és a spektrométerek kezelésével! Próbaképpen az álló detektor

<sup>1</sup> A detektor érzékenysége energiafüggő. Ennek számszerű ismerete nélkül egymástól távol lévő energiákon észlelt beütésszámokat nem tudunk összehasonlítani.

<sup>2</sup> A szimulációban a „holtidő” a számítógép processzorának sebességéből adódik: egy másodperc alatt nem minden processzor tudja az aktivitásban megadott számú gamma-fotont feldolgozni.



felhasználásával (koincidencia-üzemmód *nélkül*) mérjük meg a forrás  $\gamma$ -energiáit, és hasonlítsuk össze a megadott  $E_1 = 312$  keV,  $E_2 = 950$  keV értékekkel! Értelmezzük a látható spektrum „lapos” részeit is, ne csak a csúcsokat!

3) [1] Próbáljuk (nagy lépésekben) változtatni az álló detektor méretét, és vizsgáljuk a spektrum alakjának a megváltozását azonos idők (például 10 s) alatti méréseknél! Értelmezzük a látottakat! Milyen méretű álló detektort érdemes választani a Compton-szórás vizsgálatára?

#### A mozgó detektor vizsgálata

4) [1] Hogyan állapíthatjuk meg, hogy a mozgó detektorba közvetlenül is érkeznek fotonok a forrásból?

5) [3] Gondoljuk végig és *írjuk le*, milyen eredményt várunk! Adott szög mellett milyen szórt  $\gamma$ -energiát (és körülbelül mekkora szórás valószínűséget)? (Ez hogyan befolyásolja a geometriát és a mérést?)

6) [2] Milyen mozgódetektor-méretekkel és -távolsággal/okkal érdemes a mérést végezni? Van olyan paraméter, ami pozitívan és negatívan is befolyásolhatja a mérést? Milyen geometriai hatásokat várunk?

#### A Compton-szórás energiatfüggésének vizsgálata

7) [6] Mérjük meg a szórt  $\gamma$ -energia szögfüggését *legalább* 5 különböző szög mellett, és hasonlítsuk össze várakozásunkkal! Ügyeljünk a kellő statisztikára, és mentsük el a végső spektrumunkat!

8) [3] Készítsünk ábrát *a várt és a mért* eredményekről! A Compton-szórt foton energiáját mutató (1) összefüggést kényelmesen ábrázolhatjuk, ha egyenesre transzformáljuk. Ehhez praktikus a bejövő és kimenő foton energiájának arányát felírni, ekkor ugyanis  $\varepsilon/\varepsilon_f$  a  $\cos\theta$  függvényében egyenes lesz,  $\varepsilon$  meredekséggel:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_f} = 1 + \varepsilon(1 - \cos\theta) = (1 + \varepsilon) - \varepsilon \cos\theta.$$

9) [2] Elemezzük a várt eredménytől való esetleges eltéréseket, és végezzünk hibaanalízist! Milyen hatások befolyásolhatják a mérést, ezekből melyik vezethet szisztematikus hibához?

10) [2] Figyeljük meg, hogy a szórt fotonok energiaeloszlása (a spektrumban mért csúcs alakja) hogyan változik a szög függvényében! Mi lehet ennek az oka? Hogyan befolyásolhatja ez a mérést?

#### Szorgalmi feladat

11) [2] Egy kiválasztott szög mellett elemezzük a mozgó detektor pozíciójának hatását a mért spektrum alakjára és a beütésszámra! Mit várunk, illetve mit tapasztalunk, ha a detektort közelítjük vagy távolítjuk?

#### Tanácsok

a) Ügyeljünk arra, hogy ne keverjük össze a „csatornaszámban” és az energiában kiírt értékeket!

b) Ne felejtjük el, hogy szimuláció (és a részecskék pályája) 3 dimenziós, mi azonban csak síkban tudjuk mozgatni a detektort!

c) Ne ijedjünk meg, ha eltérést tapasztalunk a várt értéktől! Ilyenkor próbáljuk meg azonosítani az eltérés lehetséges okát vagy okait. Gondolatmenetünket rögzítsük a jegyzőkönyvben!

d) A pontokat alapvetően a munka dokumentációja és a gondolatmenet határozza meg, nem pedig az irodalmi értékekkel való minél jobb egyezés.

#### Kísérleti feladat

*Az  $e/k$  bányados (elektrontöltés/Boltzmann-állandó) meghatározása tranzisztor kollektoráramának mérésével*

A természeti, illetve fizikai állandók minél pontosabb mérése (például az elektron töltése, tömege, a fénysebesség, vagy akár a Planck- vagy a Boltzmann-állandó) alapvető fontosságú a fizikában. Bár a legfontosabbakat már több mint száz éve megmérték, de a mért értékek más módszerekkel történő mérése és pontosítása az időközben létrejött újabb tudományos-technikai vívmányok segítségével minden korban aktuális.

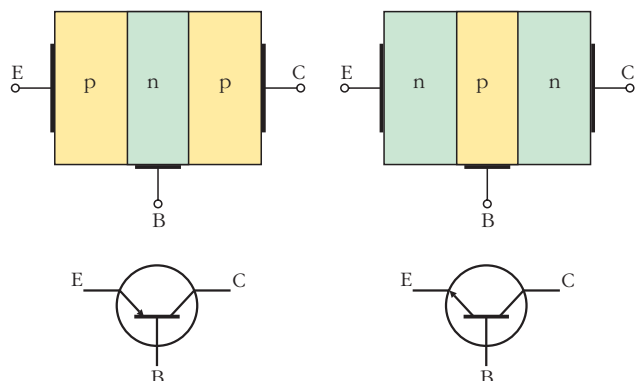
*A mostani mérésben félvezető (tranzisztor) segítségével mérjük meg az elektrontöltés és a Boltzmann-állandó bányadosát.*

A tranzisztor egy félvezetőkből álló, alapvetően erősítés céljából készített elektronikai alkatrész. Legkönnyebben egy háromrétegű szendvicsnek képzelhetjük el, ahol két, elektrontöbbséggel rendelkező réteg (n típusú félvezető) között helyezkedik el egy igen vékony, elektronhiányos, „lyukakkal” rendelkező réteg (p típusú félvezető), vagy ugyanez ellenkező polaritással. Az előzőt *n-p-n* tranzisztoroknak, az utóbbit *p-n-p* tranzisztoroknak nevezzük.

#### A félvezető dióda

A *p-n* rétegek határfelületén – külső feszültség rákapcsolása nélkül – semleges, szigetelő réteg, és kis potenciálkülönbség alakul ki – kicsit hasonlóan, mint két különböző, összeérintett fém határfelületén. Ha a *p-n* átmenetre a kialakult feszültséggel megegyező polaritású külső feszültséget kapcsolunk, akkor az elektronok és a lyukak által kiürített, szigetelő réteg megnő, a *p-n* átmenet szigetel. Ellenkező polaritású

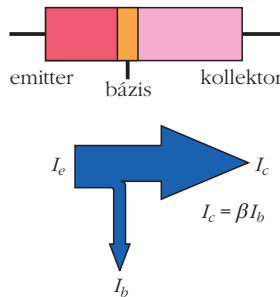
A p-n-p és az n-p-n tranzisztor.



külső feszültség rákapcsolása esetén viszont a kiürített réteg lecsökken, illetve megszűnik, a töltéshordozók át tudnak haladni a határfelületen – áram indul meg. Így működnek a félvezető diódák, amelyek tehát a rájuk kapcsolt feszültség polaritásától függően, vezetnek az áramot, illetve szigetelnek.

#### A tranzisztor

A tranzisztorban – mint fentebb írtuk – két p-n átmenet is van: az emitter és a bázis között, valamint a kollektor és a bázis között. Az elrendezés azonban annyiban speciális, hogy a bázisréteg igen vékony, így például a nyitott emitter-bázis diódán áthaladó töltéshordozók legnagyobb része áthalad a vékony bázisrétegen, és a kollektorba kerül. Ezt a helyzetet mutatja a következő *ábra*. Ennek eredményeként a működési tartományban a kollektoron mérhető áram egyenesen arányos lesz a bázison mérhető árammal  $I_c = \beta I_b$ . Ráadásul ez a  $\beta$  arányossági tényező igen nagy is lehet ( $\beta \approx 50 \dots 300$ ). Ezen alapul a tranzisztor „erősítő” hatása. A tranzisztor, vezérelt kapcsolóként / erősítőként alapvető fontosságú a modern elektronikában.



A  $\beta$ -t erősítési tényezőnek hívják, és mint az *ábrán* is látható, a kollektoráram és a bázisáram arányát adja meg. Természetesen

$$I_e = I_b + I_c = (1 + \beta) I_b.$$

Fontos, hogy a félvezetőkben lévő szabad töltéshordozók mennyiségét (itt nem részletezett okokból) komolyan befolyásolja a hőmérséklet is: magasabb hőmérséklet jobb vezetőképességet jelent.

A mérés során a tranzisztor emitter-bázis diódájára kapcsolunk majd nyitóirányú feszültséget, azaz ezen az átmeneten folyó áramot kellene vizsgáljuk. Egy dióda p-n (pozitív-negatív) átmenetén átfolyó áramot a következő képlettel lehet leírni:

$$I_b = I_0(T) \left[ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right].$$

Esetünkben ez az áram a bázisáram, ezért jelöltük  $I_b$ -vel. Itt  $I_0(T)$  a p-n átmenetre jellemző hőmérsékletfüggő állandó,  $U$  a bázis-emitter nyitóirányú feszültség,  $T$  a tranzisztor hőmérséklete,  $e$  az elemi töltés és  $k$  a Boltzmann-állandó. A tranzisztor működése (erősítése) miatt azonban sokkal célszerűbb a jóval nagyobb kollektoráramot mérni, amely – mint láttuk – egyenesen arányos a bázisárammal. Azaz

$$I_c = \beta I_b = \beta I_0 \left[ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right].$$

Mivel a mérést nem túl magas hőmérsékleteken végezzük,  $eU > kT$ , azaz

$$\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \gg 1,$$

így az egyenletben az exponenciális tag mellett az 1 elhanyagolható, és jó közelítéssel érvényes:

$$I_c \cong \beta I_0 \exp\left(\frac{eU}{kT}\right).$$

Ha az egyenlet mindkét oldalának természetes alapú logaritmusát („e” alapú logaritmusát) vesszük, akkor kapjuk, hogy

$$\ln I_c = (\ln \beta + \ln I_0) + \frac{e}{kT} U = \text{konst.} + \frac{e}{kT} U,$$

ahol a konstans az  $I_0$  hőmérsékletfüggése miatt szintén hőmérsékletfüggő. Ez azt jelenti, hogy ha a *hőmérsékletet állandó értéken* tartva megmérjük a kollektoráram erősségét különböző, nyitóirányú bázis-emitter feszültségek mellett, majd a feszültség függvényében ábrázoljuk a kollektoráram természetes alapú logaritmusát, akkor a kapott mérési pontokra egy egyenest illeszthetünk. Az egyenesek meredeksége a fenti képletből:

$$M = \frac{e}{kT}.$$

A képletből a  $T$  hőmérséklet ismeretében ki lehet számítani az  $e/k$  hányados értékét.

### A verseny értékelése

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására 3 óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot, a számítógépes feladat teljes megoldása 25 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 25 pontot hozhatott. Maximálisan tehát 100 pontot lehetett szerezni. Az idei verseny nehezebbnek bizonyult a tavalyinál, főleg a számítógépes szimulációs feladat tűnt különösen nehéznek a versenyzők számára. A versenybizottság azért merete ezt a feladatot feladni, mert a korábbi versenyeken (2006., 2007., 2013. évek), más feladatok megoldása során többször szerepelt egy lényegében teljesen hasonló gamma-spektrométer kezelése. Tehát azok a versenyzők, akik a korábbi versenyek szimulációs feladatait átnézték és megoldották a versenyre való felkészülés során, már „ismerősként” üdvözölhették a szimulációs feladatban szereplő  $\gamma$ -spektrométereket. Számukra az egyedüli újdonság a két detektor használata és a koincidencia lett volna.

A 3. *táblázat* a két életkor-kategóriában az egyes feladattípusokra lebontott átlagos teljesítményt (szórással együtt) mutatja.

A maximális 100 pontból legtöbb pontot (70 pont) két II. kategóriás (Junior) versenyző érte el, akik holtversenyben I. helyezettek lettek. Az I. kategóriában ugyancsak holtverseny alakult ki, ott a két I. helyezett

3. táblázat

## A 2018. és 2017. évi eredmények összehasonlítása

	I. kategória	II. (Junior) kategória
Elméleti példák (max. 50 pont)	22,7±6 pont (45,3%) 2017-ben (43,8%)	22,3±8,3 pont (44,6%) 2017-ben (42,8%)
Kísérlet (max. 25 pont)	16,3±6 pont (65,1%) 2017-ben (67,0%)	17,1±6,3 pont (68,4%) 2017-ben (59,1%)
Szimuláció (max. 25 pont)	9,1±2,5 pont (36,4%) 2017-ben (39,2%)	8,1±3,1 pont (32,4%) 2017-ben (32,9%)

62 pontot ért el. (Tavaly 80/59 pont volt a legjobb eredmény az I./II. kategóriában).

2018-ban a következő diákok érték el a legjobb helyezéseket:

## I. kategória (11–12. osztályosok)

## I. helyezettek

*Krasznai Anna* (62 pont), Vajda János Gimnázium, Keszthely, tanára *Farkas László*

*Makovsky Mihály* (62 pont), Baár-Madas Gimnázium, Budapest, tanára *Horváth Norbert*

## III. helyezettek

*Boldis Bercel* (60 pont), Batthyány Kázmér Gimnázium, Szigetszentmiklós, tanárai *Bülgözdi László* és *Juhász Róbert*

*Csire Roland* (60 pont), DRK Dóczy Gimnáziuma, Debrecen, tanára *Tófalusi Péter*

## „Junior” kategória

## I. helyezettek

*Fajsi Bulcsu* (70 pont), Fazekas Mihály Fővárosi Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium, Budapest, tanárai *Horváth Gábor* és *Csefkó Zoltán*

*Pácsonyi Péter* (70 pont), Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert*

## III. helyezett

*Lipovics Tamás Dániel* (57 pont), Piarista Gimnázium, Budapest, tanára *Chikán Éva*



A záróülés és díjátadó ünnepség előtt a jelenlevők megkoszorúzták *Marx György*, az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny alapítójának, és haláláig a Versenybizottság vezetőjének emléktábláját az Energetikai Szakgimnázium és Kollégium halljában.

A koszorút *Süli János*, a paksi atomerőmű két új blokkja tervezéséért, megépítéséért és üzembe helyezéséért felelős tárca nélküli miniszter, valamint *Kovács Antal*, az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. kommunikációs igazgatója helyezte el az emléktáblán.

A záróülést és a díjátadást megtisztelte jelenlétével a fentebb már említett *Süli János* és *Kovács Antal* mellett *Frányó István*, az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. oktatási főosztályvezetője, *Groma István*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT) főtítkára, *Ördög Miklós*, a Magyar Nukleáris Társaság (MNT) elnöke, *Radnóti Katalin*, az MNT Nőtagozata (WIN) Magyarország budapesti alelnöke, *Csanádi Zoltán*, az Energetikai Szakközépiskola igazgatója és *Horváthné Szűcs Marianna*, az ESZI intézményfenntartó és Működtető Alapítvány ügyvezetője.

Ebben az évben több *különdíj* átadására is sor került. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat egy-egy éves *Fizikai Szemle* előfizetést ajánlott fel a két kategória első öt helyezettjének, amelyet *Groma István*, az ELFT főtítkára adott át. Az MNT képviselőjében *Ördög Miklós* elnök nyújtott át kedvezményes részvételi jegyeket az MNT által szervezett Nukleáris Szaktáborra a két kategória első három helyezettjének. A WIN a legjobb lányversenyzőt – az I. kategóriás *Krasznai Annát* (Vajda János Gimnázium, Keszthely) – *különdíjként* meghívta egy egynapos látogatásra a Paksi Atomerőműbe, hogy megismerhesse az atomerőműben dolgozó, mérnöki beosztásban lévő nők munkáját. A *különdíjat* *Radnóti Katalin*, az MNT WIN budapesti alelnöke adta át.

A záróülésem a tanulói díjak, *különdíjak* és oklevelek átadása után került sor az idei *Delfin-díj* átadására, amelyet minden évben a tanárok pontversenyben legjobb eredményt elért *tanárnak* ítél oda a versenybizottság. Ebben az évben a *Delfin-díjat* *Chikán Éva*, a Piarista Gimnázium (Budapest) tanára vehette át.

A *Marx György Vándordíjat* – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért *iskolának* ítél oda a Versenybizottság – idén a *Piarista Gimnázium* (Budapest) nyerte el.

Az ünnepélyes eredményhirdetés végén *Sükösd Csaba* köszönetét fejezte ki a versenyt támogató MVM Paksi Atomerőmű Zrt.-nek, az Emberi Erőforrások Minisztériuma Oktatási Államtitkárságának és a paksi Energetikai Szakgimnázium és Kollégiumnak, valamint minden további támogatónak és *különdíjat* felajánló szervezetnek a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért.

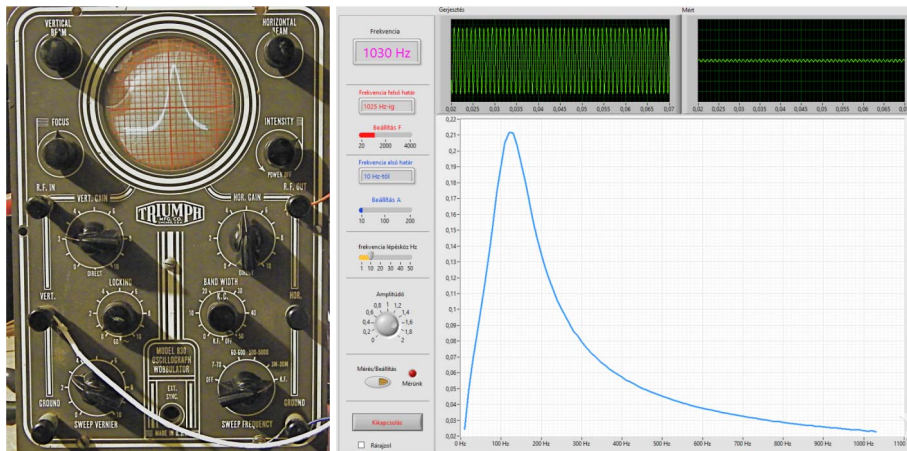
A versenyt 2019-ben is megrendezzük változatlan tematikával. Ismételten *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák* tanulóit is, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre. Nevezni a verseny honlapjáról – <http://www.szilardverseny.hu> – kiindulva lehet.



# KÍSÉRLETEK myDAQ-RA HANGOLVA

Koczka Vencel, Lipták Zoltán, Piláth Károly  
ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium

Már régóta terveztük, hogy mi is kipróbáljuk az NI LabVIEW-myDAQ párost, de a korábbi években nem igazán maradt energiánk erre a feladatra. Miután 2017-ben sikeresen regisztráltunk az ELFT-NI-pályázatra, átvehettük a fejlesztéshez szükséges eszközöket. Így kölcsönkaphattunk egy myDAQ adatgyűjtőt, egy szenzorokat tartalmazó alapkészletet és egy jogtisztá LabVIEW programot. Igyekeztünk olyan méréseket választani, amelyek többféle témakörhöz is használhatók és jól ötvözik a hagyományos mérési elveket a 21. századi mérési technológiákkal. Az általunk fejlesztett mérési konfigurációk közül, sokrétű felhasználhatósága miatt, elsőként wobblert mutatnánk be. Legtöbbször a 11. évfolyam fizikaóráin lenne szükség olyan mérésekre, amelyekben valamilyen fizikai mennyiséget a frekvencia függvényében mérhetnénk. Az ilyen berendezéseket összefoglaló néven wobblereknek hívják. Wobblereket már közel 80 éve gyártanak, de áruk egy iskola számára gyakorlatilag még ma is megfizethetetlen. A myDAQ-LabVIEW párosnak köszönhetően nekünk sikerült létrehozni egy olyan virtuális wobblert, amely meglepően jól használható a hangfrekvenciás tartományban.



1. ábra. Egy Triumph 830 wobbler és a Trefort virtuális wobblere.

A wobblerek alapvetően két fő egységből állnak. Az elsőben egy olyan jelgenerátor található, amelynek frekvenciája adott lépésközzel folyamatosan változtatható. A másodikban az első egységben előállított frekvenciákon egy feszültségjellé konvertált fizikai mennyiséget mérünk. Ily módon például a frekvencia függvényében mérhetjük meg egy rezgőkör impedanciájának változását. A hagyományos berendezések a megjelenítéshez katódsugárcsővet használtak. A myDAQ-LabVIEW páros lehetővé teszi, hogy virtuális műszerünkön a megjelenítés egy számítógép képernyőjén vagy egy kivetítőn – jól láthatóan akár egy egész osztály számára is – történjék. Mielőtt virtuális mérőeszközünk részleteit bemutatnánk, tegyünk egymás mellé egy hagyományos, még ma is elérhetetlen áru wobblert és az általunk fejlesztett virtuális mérőeszközt. Az 1. ábrán a közös képen egy Triumph 830 wobblert és az általunk létrehozott virtuális berendezést láthatjuk. Fejlesztés közben jöttünk rá, hogy egy ilyen virtuális mérőeszköz elkészítéséhez néhány esetben még a myDAQ adatgyűjtőre sincs feltétlenül szükség, hiszen a berendezés a PC-khez tartozó hangkártyákra alapozva, a LabVIEW megfelelő moduljait alkalmazva is felépíthető. Bár nagyon valószínű, hogy ez a lehetőség csak egy LabVIEW licenc birtokában használható jogtisztán, azért ezt az alternatív lehetősé-

Az írás alapjául szolgáló munka I. helyezést nyert az ELFT és National Instruments 2017–18. évi Tanári myDAQ pályázatán.



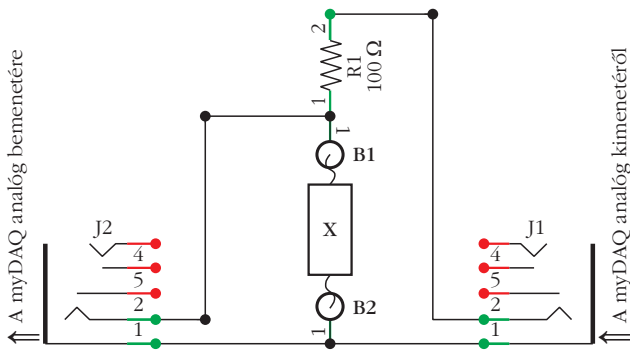
Koczka Vencel 11.A osztályos tanuló az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Lipták Zoltán 11.A osztályos tanuló az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Piláth Károly fizika-kémia szakos tanár 1979-ben végzett az ELTE-n. Ezt 2005-ben informatikatanári végzettséggel egészítette ki a Veszprémi Egyetem Informatika Karán. Korábban a Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnáziumban tanított, majd 2005 óta a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára. 2013-tól a Trefort fizika-informatika munkaközösségének vezetője.



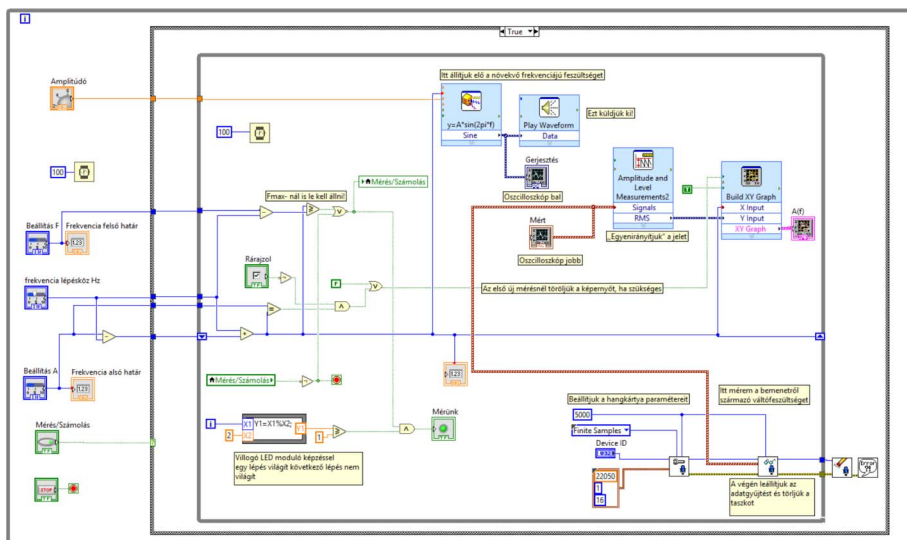
2. ábra. A wobbler elvi vázlata.

get is elkészítettük. Ez különösen hasznos lehet azon iskolák számára, ahol jelenleg még nem tudják megvásárolni a myDAQ adatgyűjtőt, de számítógéppel és kivetítővel már rendelkeznek.

A hosszú bevezető után beszéljünk végre a műszer érdemi felépítéséről. Először fogalmazzuk meg, hogy mit várnánk egy ilyen műszertől! A legfontosabb, hogy ne egy célműszert fejlesszünk, hanem multifunkcionális legyen, olyan értelemben, hogy a berendezés elvi vázlatán (2. ábra) látható  $X$  helyébe – a  $B_1$  és  $B_2$  csatlakozók közé – a lehető legtöbb mérendő objektumot beilleszthessük.

Ezen elvnek megfelelően a myDAQ egyik analóg (például Audio Out) kimenetén egy változtatható frekvenciájú állandó amplitúdójú szinuszos feszültséget állítunk elő. Ez az időben változó frekvenciájú feszültség lesz a gerjesztő jel. A frekvencia változásával szinkronban a myDAQ egyik analóg bemenetén (például Audio Input) a frekvencia függvényében mérjük az  $R_1$ - $X$  feszültségosztóból származó váltakozó feszültség effektív értékét. Az  $X$  ebben az esetben bármilyen impedanciával rendelkező elem (például induktivitás, kondenzátor, rezgőkör stb.) lehet. Egy másik mérésnél ugyanez az összeállítás hullámtani mérésekhez is jól használható, hiszen a szinuszos gerjesztő jelet egy hangszóróhoz csatlakoztatva, annak hangjával egyszerű sípokat, gitártesteket stb ger-

3. ábra. A wobbler blokkdiagramja.



szethetünk. E rezonátorok válaszjeleit egy mikrofonnal váltófeszültséggé konvertálva a gerjesztett eszközök rezonanciagörbéit kaphatjuk meg, amelyek segítségével például a hangsebesség is mérhető. Egy harmadik esetben a gerjesztő feszültséggel – egy tekercs és egy mágnes segítségével – mechanikus elemeket is kényszerrezgésbe hozhatunk, így akár a Takoma-híd katasztrófáját (áldozatok nélkül!) is modellezhetjük. Ebben az esetben egy olyan szenzorról, vagy egy megfelelő konverterről kell gondoskodni, amely a gerjesztett mechanikai rezgés amplitúdójával arányos váltófeszültséget állít elő. Miután megfogalmaztuk a céljainkat, összerakhatjuk virtuális berendezésünket a LabVIEW segítségével. A LabVIEW program használatáról ebben az összefoglalóban nem szeretnénk feleslegesen beszélni, hiszen mások azt már többszörösen megtették helyettünk [1–4].

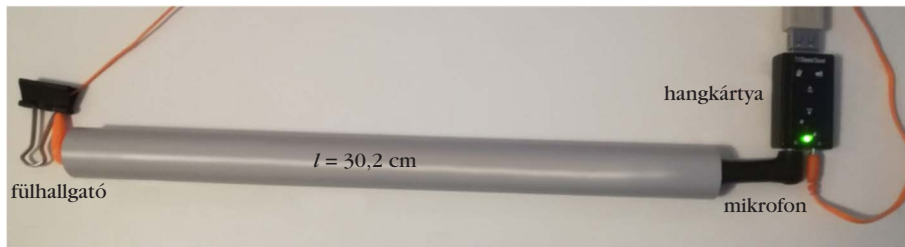
## A wobbler vezérlőprogramja

A mérőrendszer motorja egy loop-in-loop ciklus [5]. A külső while ciklus a program kikapcsolását, illetve a folyamatos működést biztosítja (Stop kapcsoló). Egy ilyen ciklusra (3. ábra) azért van szükségünk, mert esetenként a mért görbéket egymásra szeretnénk rajzolni, de egy újramérést követően a korábban mért görbe(ék) elveszik/nek, így a meglévő diagramra rajzolás már nem lenne lehetséges. Programunkban egy szelektor dönti el, hogy mérünk-e, vagy éppen a mérési paramétereket állítjuk be. Ez egyben védelem is, hogy mérés közben ne tudjuk változtatni a paramétereket. A külső while ciklus bal oldali részében beállíthatjuk vagy módosíthatjuk a mérés főbb paramétereit (Fmin, Fmax, DeltaF, Amplitúdó). A mérés során a belső while ciklusban azonos (100 ms) időközönként DeltaF lépésközökkel Fmin értéktől az Fmax értékig növeljük a frekvenciát. Minden ilyen lépés közben néhány mintát veszünk a válaszjelet detektáló analóg bemenetről. E minták RMS (négyzetes közép) értékét

egy grafikus kijelző  $y$  tengelyén jelenítjük meg, miközben az aktuális frekvencia értéke az  $x$  tengelyt látja el adatokkal. A diagramról leolvasható, hogy a frekvencia léptetését egy, a while ciklushoz adott shiftregiszter és egy összeadó egység segítségével oldottuk meg. A mérés közben két külön ablakban látható a gerjesztő jel és a gerjesztett objektum válaszjele.

A műszer használata szerintünk nagyon egyszerű, és reméljük, hogy majd azok is annak találják, akik mérni fognak vele. A bekapcsolást követően először az alsó és a felső frekvenciahatárokat állítjuk

be. A sorrend tetszőleges, de arra azért ügyeljünk, hogy az alsó határ kisebb legyen a felsőnél. Ezt követően a frekvencia-lépésközüket állíthatjuk be. A kisebb lépésköz pontosabb mérést, nagyobb rövidebb mérési időt eredményez. A gerjesztő jel amplitúdóját is igazítsuk a mérés körülményeihez. Ha egy próbamérés során nem az elvárt eredményt kapjuk, akkor a Mérés/Beállítás kapcsolóval visszaválthatunk beállítás üzemmódba és változtathatunk rajta. A kapcsoló állásáról a mellette található virtuális LED tájékoztat. Ha ez villog, akkor mérünk, egyébként várunk vagy beállíthatjuk a következő mérés paramétereit. Egy mérést követően a mérési adatok excelbe exportálhatók és a mérési eredmények csoportmunka céljára is felhasználhatók. Ha a „Rárajzol” pipa be van kapcsolva, az új mérés eredménye nem üres grafikonon jelenik meg, hanem a korábbira rajzolja az új mérés eredményét is. Ez a funkció nagyon hasznos lehet, ha bizonyos mérési eredményeket szeretnénk összehasonlítani. A program forráskódja a Trefort tárhelyéről letölthető [6].



4. ábra. A hangsebességmérés összeállítása.

ciájú feszültségből előállított hangjellel gerjesztettük. A gerjesztő hangjelet egy kisméretű fülhallgatóval vezetjük a csőbe. A szükséges hangerősséget egy PC-hez készített hangdoboz erősítőjének a közbeiktatásával érhetjük el.

#### Mérés helye a fizikaórán

- 11. évfolyam
- rezgések és hullámok
- hangsebesség mérése az emelt szintű érettségien

#### Mérendő paraméterek

- mérjük a cső hosszát
- valamint az adott hosszhoz tartozó rezonanciafrekvenciát és a felhangok frekvenciáit

#### A mérés kivitelezése

Csatlakoztassuk a fülhallgatót a hangkártyához kapcsolt hangfal fülhallgató-kimenetéhez, vagy közvetlenül a hangkártya fülhallgató-kimenetéhez. A mikrofont is csatlakoztassuk a hangkártya megfelelő bemenetéhez. Ezt követően a Windows keverőpultján válasszuk ki a mikrofont és állítsuk be érzékenységét. Ha mikrofonunk illesztő programja tartalmaz AGC beállítási lehetőséget, akkor azt feltétlenül kapcsoljuk ki, hiszen nem szeretnénk, hogy a mikrofon erősítője automatikusan alkalmazkodjon a mikrofon jelszintjéhez. Miután beállítottuk a hangkártyát, indítsuk el a wobblert. Mérés közben a wobblert oscilloszkópablakokban figyeljük a jeleket. Elsősorban arra ügyeljünk, hogy nem vezérlünk-e túl valamit (ilyenkor színusz helyett trapéz alakú jel látható az ablakban). A mérés összeállítása a 4. ábrán látható.

#### A mérés eszközigénye

- 1 darab körülbelül 30 cm hosszú 2 cm átmérőjű PVC cső, hangkártya, mikrofon, fülhallgató.

#### Mérési eredmények

A 4. ábrán látható 30,2 cm hosszú csővel elvégeztünk egy mérést. A mindkét végén nyitott síp rezonanciafrekvenciája a mérés eredményét bemutató 5. ábra szerint 528 Hz-nek adódott. A mért értékek alapján a hangsebességet a  $c = \lambda f$  összefüggésből számíthatjuk. A hullámhosszat a cső hosszából az átmérővel korrigálva a következő összefüggés alapján számíthatjuk ( $d = 2$  cm,  $l = 30,2$  cm):

$$\lambda = 2 \left( l + \frac{2d}{3} \right) = 0,63 \text{ m,}$$

## Mérések a wobblerral

### Hangsebesség mérése sípok rezonanciája alapján

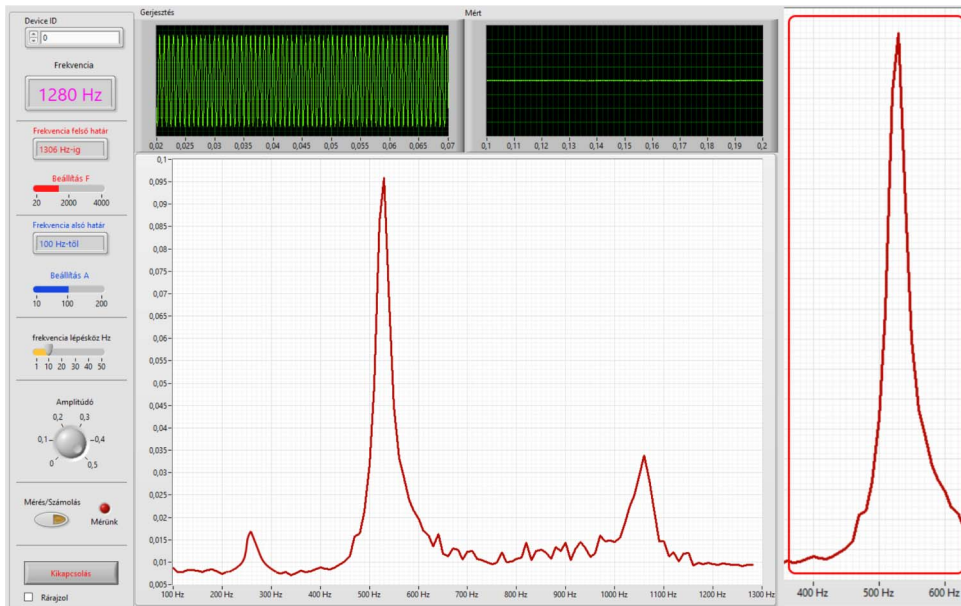
Az összes fúvós hangszer alaphangját a benne lévő légoszlop rezgéseinek köszönheti. Nagyon leegyszerűsítve, ha egy mindkét végén nyitott cső egyik végén hullámokat gerjesztünk, akkor a cső vége felé haladó hullámok a cső másik végén a kinti közeg eltérő akusztikai ellenállásába ütköznek és visszaverődnek. Ha a cső hossza és a gerjesztési frekvencia lehetővé teszi, hogy a visszavert hullám és a cső elejéről érkező hullám megfelelő fázisban találkozzon, akkor a csőben állóhullám alakul ki. A mindkét végén nyitott cső végein duzzadóhelyek alakulnak ki, míg a cső közepén csomópont található. A cső egyik végét le is zárhatjuk. Ilyenkor a hullám kénytelen visszaverődni a zárt végről. Az *emelt fizikaérettségi* egyik kísérleti feladatában is hasonló méréseket<sup>1</sup> kell elvégeznie a diákoknak. E hangsebesség-mérési feladatot wobblerünkkel oly módon oldottuk meg, hogy nem a cső hosszát változtatjuk egy ismert frekvenciájú hangvillához alkalmazkodva, hanem a gerjesztő frekvenciát változtatjuk és azon frekvenciákat figyeljük, amelyekben a csőbe zárt levegőoszlop rezonanciába jöhet.

#### A kísérlet leírása

A kísérletben a cső egyik végéhez érzékelőként egy mikrofont csatlakoztatunk, míg a cső másik végét a wobblert kimenetéről származó, váltakozó frekven-

<sup>1</sup> „Ismert frekvenciájú hangra rezonáló levegőoszlop hosszának mérésével határozza meg a hang terjedési sebességét levegőben!”





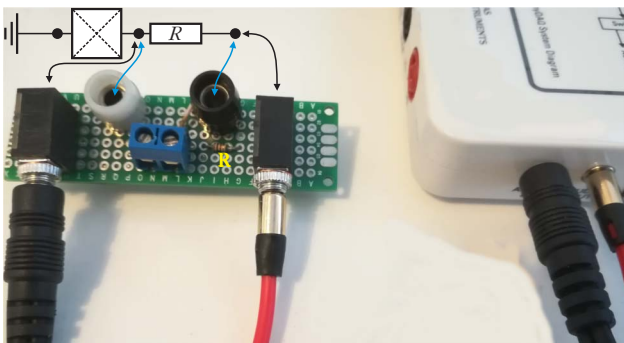
5. ábra. Hangsebesség mérése egy kicsit másként.

Így mérésünkben  $c = 0,63 \cdot 528 = 332$  m/s-nak adódott. A mért érték 2,5%-os hibahatáron belül van az irodalmi 340 m/s értékhez képest. Az ábrán látható, hogy 264 Hz-nél egy kisebb csúcs tapasztalható. Ez a fülhallgató torzításának köszönhető. A 264 Hz-es, a fülhallgató által kissé torzított (részben négyszög-alakú) hang egy kevés 528 Hz-es összetevőt is tartalmaz, így már ez a kis intenzitású összetevő is gerjeszti a csőben lévő levegőt. Ez a módszer olyan pontosnak bizonyult, hogy segítségével a hangsebesség hőfokfüggése is mérhető. Ha a hangsebesség közegetől való függésére vagyunk kíváncsiak, egy kis szárazjég segítségével szén-dioxidra cserélhetjük a levegőt.

### Mérjük impedanciát!

Váltakozó áramú elektromos hálózatokban az áramerősség a fogyasztók impedanciájától függ. Tankönyveinkben nagyon szép ábrák láthatók az egyes elemek ellenállásainak frekvenciafüggéséről. Ezen elemek soros vagy párhuzamos kapcsolásaiból olyan új elemek építhetők fel, mint például egy rezgőkör, amely még rezonanciafrekvenciával is rendelkezik.

6. ábra. Univerzális illesztőkártya impedanciamérésekhez.



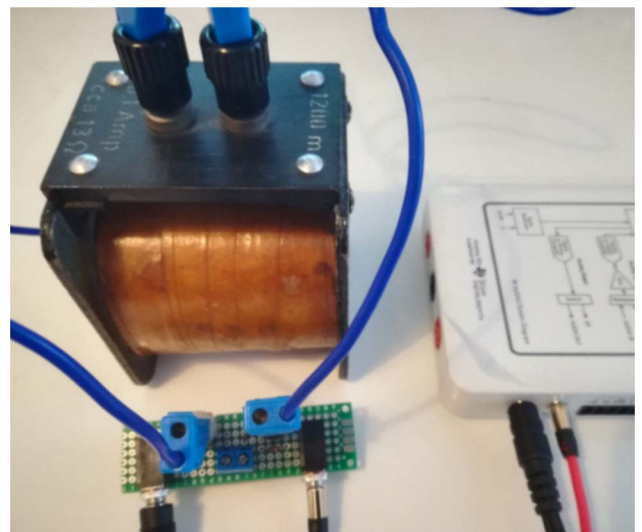
### Mérendő paraméterek

- Az  $X_L$ ,  $X_C$  illetve a párhuzamos és soros rezgőkörök impedanciájának frekvenciafüggését mérjük. A gyakorlatban egy univerzális NYÁK-lemez és két 3,5 jackaljzat segítségével egy univerzális illesztőeszközt érdemes elkészíteni, és két röpszinóron keresztül ehhez csatlakoztatni a mérendő  $X$  elemet. A mérésekhez egy 100  $\Omega$ -os ellenállást építettünk a 6. ábrán látható „hardverbe”.

### $X_L$ a frekvenciafüggésének mérése

A vizsgálni kívánt tekercset (1200 menet, 13  $\Omega$ ) a 7. ábra szerint két röpszinórral kapcsoljuk az illesztőkártyához, majd indítsuk el a wobblerprogramot 10 Hz alsó, 500 Hz felső frekvenciák között 10 Hz lépésközzel. A mérés eredménye a 8. ábrán látható, és nagyon szépen demonstrálja az órákon tanult  $X_L = L\omega$  összefüggést.

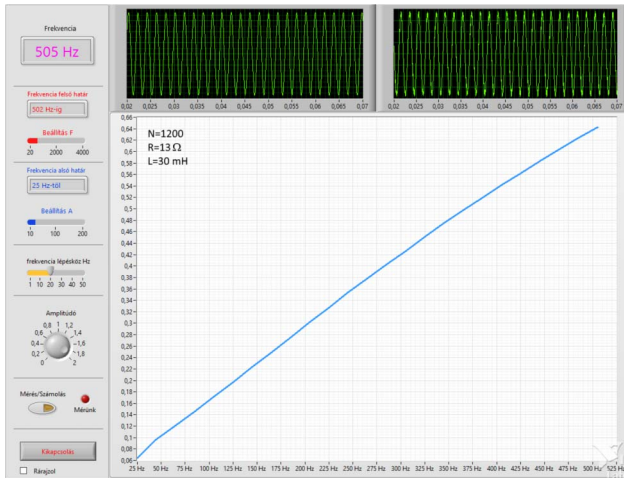
7. ábra.  $X_L$  mérése.



Az  $X_L(\omega)$ ,  $X_C(\omega)$ , valamint  $Z(\omega)$  függvényeket eddig csak a tankönyvek oldalain láthattuk. A LabVIEW-myDAQ párosnak és a Trefortban kifejlesztett wobblernek köszönhetően ezek a mérések a jövőben akár 5 perc alatt elvégezhetőkké válnak, segítve ezen kissé elvontnak tűnő fogalmak jobb megértését.

### Mérés helye a fizikaórán

- 11. évfolyam
- elektromágneses jelenségek
- induktív és kapacitív ellenállás, rezgőkörök



8. ábra. Egy ~30 mH induktivitás impedanciájának frekvenciafüggése.

### Mérjük meg $X_C$ frekvenciafüggését is!

Ha az előző mérésben használt tekercset a 9. ábrának megfelelően kondenzátorra cseréljük, akkor  $X_C$  frekvenciafüggését mérhetjük meg. A mérés eredménye az 10. ábrán látható, és ez a mérés is szépen demonstrálja az órákon tanult  $X_C = 1/\omega C$  összefüggést.

### Párhuzamos LC-kör frekvenciafüggésének vizsgálata

Ha az előzőekben mért két elemből ( $L = 30$  mH,  $13 \Omega$ ;  $C = 47 \mu\text{F}$ ) egy párhuzamos rezgőkört alakítunk ki, akkor egy rezgőkör impedanciájának frekvenciafüggését mérhetjük meg (11. ábra, balra). A mérési eredményből leolvasható, hogy az impedancia maximuma a rezonanciafrekvencián található és értéke alig kisebb, mint a tekercs ohmos ellenállása. A mérésről készült videó [7] a YouTube videomegosztón megtekinthető. Mérési eredményeink 10% alatti hibahatáron belül igazolják  $X_L$ ,  $X_C$  vagy a rezgőkörök frekvenciafüggéséről tanultakat. Kézelfogható közelségbe hozzák a tankönyvek oldalain látható ábrákat. Az  $L$  és  $C$  értékei változtathatók, és a görbék alakjának változásai az egyes reaktív elemek értékének függvényében jól megfigyelhetők. A 11. ábra jobb oldala egymás mellett mutatja be két különböző kondenzátorral eltérő rezonanciafrekvenciára hangolt rezgőkör impedanciagörbéjét a frekvencia függvényében.

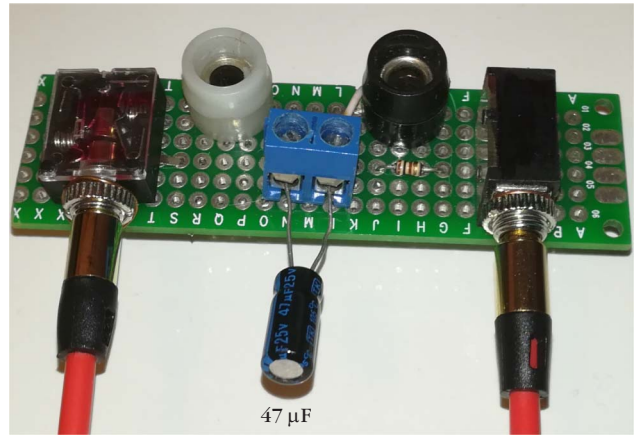
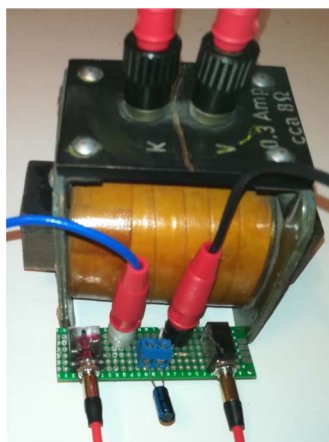


11. ábra. Párhuzamos rezgőkör csatlakoztatása (balra). Két rezgőkör egymáshoz viszonyítva (jobbra).

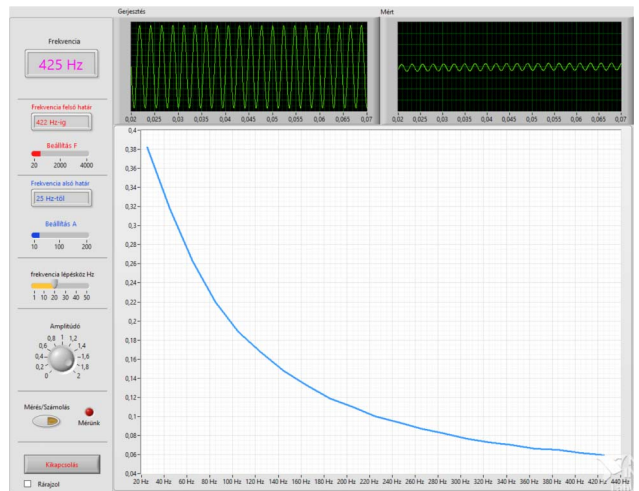
Terjedelmi okokból pályázatunk csak egy rövid, kivonatos része olvasható ebben a cikkben. Nem állt módunkban a többi szintén érdekes mérőeszközünket bemutatni, mert az az érthetőség rovására ment volna. A téma iránt érdeklődők a teljes pályázatot letölthetik [8].

### Irodalom

1. Vizi Tibor: *A világot meg is mérheted.* <http://hungary.ni.com/akademia>



9. ábra. Kondenzátorok bekötése a méréshez.



10. ábra. Egy 47  $\mu\text{F}$ -os kondenzátor impedanciájának frekvenciafüggése.

2. Sudár Sándor, Oláh László, Zilizi Gyula: *Méréstechnika, mérés-és folyamatirányítás számítógéppel.* Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszék (pdf)
3. Friedl Gergely: *LabVIEW segédlet*
4. <http://forums.ni.com>, <http://www.ni.com/hu-hu.html>
5. LabVIEW how to make a while loop (2) inside a while loop (1)
6. <http://www.trefort.elte.hu/fizika/pilathlabwievforraskod.rar>
7. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_XOOo9Lt0MM&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=_XOOo9Lt0MM&feature=youtu.be)
8. [http://www.trefort.elte.hu/fizika/ni\\_palyazat.pdf](http://www.trefort.elte.hu/fizika/ni_palyazat.pdf)

