

# fizikai szemle

An aerial photograph of a university campus. The campus is densely packed with green trees. Several multi-story buildings with various roof colors (grey, brown, white) are scattered throughout. A prominent feature is a tall, white and red striped chimney on the left side. In the bottom right, there are two tennis courts with red clay surfaces and a large green grassy field. The overall scene is bright and clear, suggesting a sunny day.

2020/9



A koronavírus-járvány miatt  
a nagyszerű GIREP-konferenciasorozat következő eseménye  
**2020. november 16. és 18. között**

## GIREP WEBINAR 2020

címen, Zoom platformon tartandó online konferencia lesz.

A konferencia honlapja:

<https://www.um.edu.mt/events/girep>

A konferencia témái:

<https://www.um.edu.mt/events/girep/GIREPWEBINAR2020/webinartopics>

A konferencián részt vehetnek: kutatók, tanárok, doktoranduszok és egyetemi hallgatók.  
Minden tag, akár új belépő részére is – belépés: <https://girep.org/register.html> –  
a konferencia költsége rendkívül alacsony – **csak 40 euró** –, **tanároknak ingyenes!**

Határidők:

A kivonatok beküldése előadóknak: **2020. október 10.**

Jelentkezés és részvételi díj átutalása: **2020. november 5.**

A szervezők reményei szerint 2021-ben  
személyes konferenciát is tarthatnak Máltán, az egyetemen.

A konferencia fő szervezői:

- GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique)  
az általános és középiskolában tanító tanárok, fizikusok, kutatók, oktatáspolitikusok egyesülete.
- University of Malta, Faculty of Education és Faculty of Science

honlap



**MPTL**  
Multimedia in Physics  
Teaching and Learning



L-Università  
ta' Malta

témák





## SZAKMAIAN VAGY ÉRTHETŐEN?

A kérdés kicsit részletesebben úgy hangzik, vajon a tudományos cikkeket úgy kell-e megírni, hogy azok legfeljebb csak a szűk szakterület művelői számára legyenek követhetők, vagy úgy, hogy a tágabb szakmai környezet, esetleg az érdeklődő közönség is legalább a mondanivaló lényegét megértse. A logikus válasz az, hogy az egyik nem zárja ki a másikat. Ennek ellenére a *Nature Index* 2020. szeptember 10-én érdekes írást jelent meg *D. S. Chawla*-tól arról, hogy a tudományos cikkek még a tudósok számára is egyre nehezebben olvashatók, egyebek között a szakzsargon túlzott elburjánzása és a rengeteg rövidítés miatt. A közkeletű rövidítések, betűszavak (például ebben a számunkban KFKI, NAT) alkalmazása hasznos és természetes, baj a kevésbé ismertekkel van, amelyeket egyes szerzők a szakmaiságuk, „profizmusuk” kimutatására használnak (a Szemlében ilyenekre, természetesen, nem találunk példát). A túlbonyolított nyelv nem csupán a nem-tudósokat és a médiát idegeníti el, de megnehezítheti a fiatal kutatók és a más területekről érkező érdeklődők életét is. Olvasóként, bírálóként, szerkesztőként sokszor találkozunk azzal a jelenséggel, hogy a szerzők bevezetnek egy rövidítést, amit csak egyetlen egyszer használnak a cikkükben, vagy egy rövidítés jelentését nem adják meg. Ausztrál statisztikusok elemezték a betűszavak használatát több mint 24 millió élettudományi cikk címében és 18 millió kivonatában. Azt találták, hogy a címek 19%-a és az absztraktok 73%-a legalább egy rövidítést tartalmazott. Az azonosított, nagyjából 1,1 millió betűszó közül a döntő többséget (79%) kevesebb, mint tízszer használták a szakirodalomban. Azt is megállapították, hogy a rövidítések gyakorisága az absztraktokban a múlt század ötvenes éveitől tízszeresére nőtt.

Nem csak az új betűszavak használata nőtt drámai módon a közelmúltbeli cikkekben, hanem a címek és kivonatok teljes hossza is. Pedig a túlságosan szövevényes mondatok és a nehezen érthető szakkifejezések mellett, hogy kevésbé olvashatóvá teszik a dolgozatokat, csökkentik az idézés valószínűségét is. Egy tavaly elvégzett elemzés a sokat idézett cikkekről azt találta, hogy a legnagyobb hatású címek legfeljebb mindössze 10 szóból álltak. Egy, ez év elején publikált tanulmány 21 486 cikk esetén elemezte a szaknyelv használata és az idézetek közötti kapcsolatot, és arra a következtetésre jutott, hogy a címekben és az absztraktban használt nehezen érthető szakkifejezések jelentősen csökkentik a cikkekre kapott hivatkozások számát.

Persze nagyszerű dolog az is, ha a kutató csak saját szakterületének szűk tábora számára érthető anyagot publikál. De a legjobb tudósok azt is fontosnak tartják, hogy szakterületük új eredményeit megismertessék a szélesebb közvéleménnyel is. A *Fizikai Szemle* szerzői e követelménynek tesznek eleget azzal az elhivatottságukkal, amellyel közérthető módon ismertetik meg a szakmai közvéleményt saját kutatási területük legérdekesebb újdonságaival. Ezáltal rávilágítanak saját kutatásuk jelentőségére és kapcsolódási lehetőséget, ötleteket is adhatnak a más területen aktív kollégáknak. Mi, a *Fizikai Szemle* szerkesztői, ehhez igyekszünk minden segítséget és támogatást megadni.

  
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:

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](mailto: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 borítón:

Az egykori Központi Fizikai Kutató Intézet

(fotó: Civertan Stúdió,

©Energiatudományi Kutatóközpont).

## TARTALOM

Lendvai János: Szakmaian vagy érthetően?	293
Sólyom Jenő: 70 éves (lenne) a KFKI Hogyan jött létre és hogyan szűnt meg a Központi Fizikai Kutatóintézet	295
Pipics János: Newton alakja a magyar forrásokban 1790 körül Hogyan jelenik meg Newton a kor magyar nyelvű írásaiban	302
Patkós András: Miért érdemes egyre pontosabban megmérni a fizikai adatokat, avagy a neutron sötét titka Mi lehet a magyarázata a neutron kétféle stratégiával megvalósított élettartammérései közötti szignifikáns különbségnek?	305
Jubász Laura, Pardútká Bence, Petrik Péter, Erdélyi Zoltán, Cserbáti Csaba: Porózus arany nanorészecskék optikai tulajdonságainak kevert fém-oxid rétegekkel történő hangolása A porózus arany nanorészecskék kiváló jelöltek orvosbiológiai, szenzorikai, természeti, valamint rákterápiás alkalmazásokhoz	309
<b>VÉLEMÉNYEK</b>	
Almási János: A fizikatanítás aktuális problémáiról Érvek és ötletek arra, hogy a tanulók generációs igényeiből alkalmazkodva tanítsuk a természettudományi tárgyakat	313
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b>	
Sükösd Csaba: A 22. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny – 2. rész A nukleáris technológia iránti érdeklődés fokozását szolgáló verseny feladatainak és azok megoldásának ismertetése	317
Ollé Hajnalka, Kovács Tamás: Mi rejlik a fényképen, avagy fénygörbe analízise az osztályban Exobolygó kutatás nyilvános adatbázisát felhasználó önálló adatelemzés a tanulók bevonásával	324
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	
Tisztelgés Eötvös Loránd előtt	328
Csatlakozz az EPS-hez! Most!	328
<b>SZÓRAKOZTATÓ FIZIKA</b>	
Horváth Dezső: Humor a tudományban, tudomány a humorban	328
<i>J. Lendvai: In professional language or in an understandable way? J. Sólyom: KFKI (would be) 70 years old J. Pipics: Newton in Hungarian sources around 1790 A. Patkós: Why is it worth measuring more and more accurately physical data, the dark secret of neutron L. Jubász, B. Pardútká, P. Petrik, Z. Erdélyi, Cs. Cserbáti: Tuning the optical properties of porous gold nanoparticles with mixed metal oxide layers</i>	
<b>OPINIONS</b>	
J. Almási: On current problems in physics teaching	
<b>TEACHING PHYSICS</b>	
Cs. Sükösd: The 22 <sup>nd</sup> Szilárd Leo National Nuclear Study Competition – Part 2 H. Ollé, T. Kovács: What's on the photo, or classroom analysis of lightcurves	
<b>EVENTS</b>	
A tribute to Loránd Eötvös Become a member of EPS! Now!	
<b>FUN PHYSICS</b>	
D. Horváth: Humor in science, science in humor	

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



70 évvel ezelőtt, 1950. szeptember 1-jén kezdte meg – legalábbis elvben – a működését a Központi Fizikai Kutató Intézet, ahogyan akkor és még sokáig írták a nevét (a későbbiekben is a neveket az akkor használatos alakban adom meg). Az intézetnek volt egy ideiglenes megbízással rendelkező igazgatója, egy gazdasági vezetője, egy titkárnője, valamint egy gépírója, valamivel később gépkocsivezetője és hivatalsegédje is, már csak a kutatók és a laborok hiányoztak. Így indult az a kutatóintézet, ahol fénykorában több mint kétezer ember dolgozott, de amelynek nevét ma már csak egy kft. és egy buszmegálló őrzi.

Az intézet történetét, ide értve az indulás körüli eseményeket, többen megírták. A *Fizikai Szemle* hasábjain is jelentek meg visszaemlékezések. Ezen a kerek évfordulón mégis érdemes újra visszagondolni arra, hogy milyen háttéren, hogyan jött létre a magyar fizika egyik meghatározó, ma már csak utódintézményeiben élő intézete. Ez a cikk elsősorban a megalakulás kevésbé ismert előzményeiről és körülményeiről szól, erősen támaszkodva *Elek István* 1970-ben készült, *A Központi Fizikai Kutató Intézet (1950–1965), Tudománytörténeti monográfia* című, csak kéziratban létező munkájára. A későbbi fejleményeket, az átalakulások sorát inkább csak vázlatosan sorolom fel, mivel azok még sokak emlékében élnek.

## Egyetem vagy kutatóintézet

A modern természettudományos gondolkodás bölcsői az európai egyetemek voltak. Kezdve *Galileitől*, aki a pisai, a padovai, majd a firenzei egyetemen tanított, és *Newtontól*, aki a cambridge-i Trinity College tanára volt, a 20. század elejéig a fizikai szinte minden nagy egyénisége egyetemen vagy hasonló intézményben oktatott és kutatott, a nagy felfedezések szinte mind egyetemeken születtek. A ritka kivételek közé tartozott *Einstein*, aki közismerten a berni szabadalmi hivatal tisztviselőjeként jutott a fizikát forradalmasító felismerésekre, és csak később lett egyetemi tanár.

Köszönöm *Kutnyánszky Anikónak*, a Wigner FK Könyvtára vezetőjének, hogy felhívta a figyelmemet Elek István nagyon alapos monográfiájára, a járványveszély idején lehetővé tette a hozzáférést, és rendelkezéseimre bocsátott a KFKI-ról készült régi felvételeket.



*Sólyom Jenő* elméleti szilárdtest-fizikus, az MTA rendes tagja, az ELTE TTK Fizikai Intézet és a Wigner Fizikai Kutatóközpont professor emeritusa. 1964-ben szerzett fizikus oklevelet az ELTE-n. Első munkahelye a KFKI volt, és külföldi, összesen közel tíz éves munkavállalásaitól eltekintve végig ott, illetve annak utódintézményeiben dolgozott. A rendszerváltozás után kapott egyetemi tanári kinevezést az ELTE-re.

A 20. század elején, amikor a fizika eredményei egyre inkább alkalmazást nyertek az iparban és a mindennapi életben, a kísérleti fizika túllendült azon a ponton, ahol egy-egy zseniális ember egyedül vagy egy asszisztenssel, az egyetemen rendelkezésre álló korlátozott anyagi lehetőségekkel, alapvetően új eredményeket tudott elérni. Megnőttek a kutatómunka anyagi igényei, és egyre inkább csapatmunkává vált a kutatás. Ezt ismerték fel Németországban, amely akkor kétségkívül a fizika legfontosabb fellegetője volt. Ezért alakult meg 1911-ben a Kaiser Wilhelm Gesellschaft (Vilmos császár társaság, a mai Max Planck Gesellschaft elődje), amely nem állami forrásokat használva hozott létre és finanszírozott az egyetemektől független intézeteket a természettudományok előmozdítása céljából.

A két világháború között inkább csak az erősen központosító társadalmi berendezkedésű országokban vette az állam a saját kezébe a tudomány irányítását. A Szovjetunióban a SZUTA (Szovjetunió Tudományos Akadémiája), a fasiszta Olaszországban a CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), a népfrontos Franciaországban pedig a CNRS (Centre national de la recherche scientifique) volt az a szervezet, amelynek keretében az egyetemektől független intézethálózatot hoztak létre a tudományos kutatások végzésére.

A háború után, amikor még világosabbá vált a természettudományi ismeretek hasznossága és fontossága, a mindennapi életre gyakorolt hatása, ezek a szervezetek és intézethálózatuk fennmaradt, más országokban is megjelentek, sőt feladatuk egy új elemmel bővült. Az atomenergia felszabadításával a fizika új fejezetet nyitott a tudomány alkalmazásában. Olyan kutatási területek jelentek meg, amelyeket eredményesen csak nagy kutatóintézetekben lehetett művelni. Ezért kezdte el 1947-ben az 1945-ben alapított francia CEA (Commissariat à l'énergie atomique) a saclay-i magfizikai központ építését, Amerikában pedig ugyanebben az évben alapították az atomenergia békés célú felhasználásával kapcsolatos kutatások végzésére a brookhaveni nemzeti laboratóriumot, a már a háború alatt működő, a Manhattan-terv keretében az atombomba kifejlesztésével foglalkozó Argonne, Los Alamos és Oak Ridge központok után.

Ezzel a világtendenciával összhangban Magyarországnak is újra kellett gondolnia tudományos stratégiáját, a tudományirányítás rendszerét. Többektől hallottam, hogy *Bay Zoltánnak* már 1948-as emigrálása előtt voltak elképzelései egy komoly fizikai kutatóintézet létrehozására, de ennek írásos nyomát nem találtam. Ha volt is ilyen elképzelés, a magyar kutatóintézetek – 1940-es évek végén, ötvenes évek elején – létrejött hálózata, benne a fizikai kutatóintézet megalakulása más utat követett. E történet tökéletes illusztrációja annak, hogyan alakult abban az időben a magyar tudománypolitika, miként próbálta a Magyar

Kommunista Párt, majd a politikai porondon egyedül maradt Magyar Dolgozók Pártja maga alá gyűrni a magyar tudományosságot, mily módon állította azt a Párt és állam politikai, gazdaságpolitikai, ideológiai céljainak szolgálatába. A fizika szerencséje, hogy természettudományként valamelyest függetleníteni tudta magát ettől a nyomástól, az uralkodó ideológiától.

## A hazai tudományirányítás új rendszere

A Magyar Kommunista Párt már 1947 elején megfogalmazta a maga javaslatát a tudományos élet megreformálására. Szovjet mintára a Magyar Tudományos Akadémiára lehetett volna bízni a tudományos élet irányítását, mintegy állami szervvé téve azt. A párt azonban nem bízott az akkori összetételű Akadémiában, az időt pedig nem tartotta alkalmasnak, hogy az Akadémia reformjával, annak radikális átalakításával előálljon. Ehelyett egy Országos Tudományos Tanács felállítását javasolták, amelynek „feladata a tudományos újjáépítés irányítása és a tudományos intézetek egységes vezetése”. A hároméves terv 22,5 millió forintot irányzott elő új műszaki kutatóintézetek és társadalomtudományi intézetek létesítésére.

Egy évvel később, 1948 májusában az MKP Politikai Bizottsága tárgyalta a Tudományos Tanácsra vonatkozó javaslatot. E szerint annak feladata lenne a tudományos kutatás és a tudományos intézmények országos irányítása, a legfontosabb országos érdekű tudományos kutatások programjának a kidolgozása, kidolgoztatása, a tudományos kutatások személyi feltételeinek, anyagi eszközeinek felmérése, a bel- és külföldi tudományos intézetek munkaprogramjának koordinálása, és az országos érdekű kutatási programok végrehajtásának az ellenőrzése, egyetemi tanárok, kutatóintézeti vezetők kinevezésének véleményezése, mindennemű tudományos munka támogatására fordítandó összeg feletti rendelkezés.

Amikor hamarosan ezután a kommunista és a szociáldemokrata párt egyesült, az egyesülési kongresszus programnyilatkozata is tartalmazta azt, hogy „Az eredményes tudományos kutatás biztosítására meg kell szervezni a tudományos munka tervszerűségét. Meg kell teremteni a magyar tudomány legfelsőbb irányító szervét.”

Az országgyűlés 1948 augusztusában fogadta el a XXXVIII. számú törvényt a Magyar Tudományos Tanács létesítéséről. A miniszterelnök irányítása alatt álló testület elsőrendű feladatákként a tudományos élet tervszerű irányítását jelölték meg. Tisztségviselőit és tagjait a kormány javaslatára a köztársasági elnök nevezte ki. Erre 1948 decemberében került sor. Elnök *Gerő Ernő*, társelnök *Ortutay Gyula* lett. Az ügyvezető titkári, később főtitkári tisztséget *Alexits György* matematikus töltötte be. A Természettudományi Szakosztály vezetője *Petényi Géza* orvos, egyetemi tanár, a szakosztály egyetlen fizikus tagja *Gombás Pál* lett. A tanács összesen 30 tagjából mindössze kilencen nem voltak az MDP tagjai.

Ilyen dominancia ellenére valójában mégsem a Magyar Tudományos Tanács volt a tudomány legfelső irányító szerve, hanem az MTT szűk körű Pártkollégiuma, amelynek *Gerő Ernő* elnök mellett *Révai József*, *Lukács György*, *Hevesi Gyula* és *Alexits György* volt még a tagja. Ők készítettek elő minden, a tudományos intézményeket érintő javaslatot.

Az Akadémiával kapcsolatban a Párt azt remélte, hogy egyre jelentéktelenebbé válik, és lassan magától elhal. A SZUTA Magyarországra érkező delegációja azonban világossá tette, hogy a Magyar Tudományos Tanácsot nem fogadják el Magyarország reprezentatív tudományos testületének. Gerőék ekkor taktikát változtattak, és azon kezdtek dolgozni, hogy az Akadémia maga végezzen tagrevíziót, maga mondja ki alapszabálya megváltoztatását, Úgy vélték, hogy „politikailag a jelen helyzetben biztosítani lehet, hogy az ily módon újjászervezendő Akadémiának a vezetése (autonómia és titkos szavazás mellett) a mi kezünkben legyen”.

A Párt nyíltan beavatkozott az Akadémia életébe. Az MDP Titkársága 1949. szeptember 14-i ülésén döntött az Akadémia átszervezéséről és az MTT megszüntetéséről, pontosabban a két testület összeolvadásáról. Az MTT Pártkollégiuma készítette elő az új alapszabályt, ők határozták meg, hogy ki maradhat tag. A párton kívüli Gombásra ebben szégyenletes szerepet osztottak. A párt lapjában, a *Szabad Népből* megjelent *A Magyar Tudományos Akadémia szerepe Népköztársaságunk életében* című cikkében élesen kritizálta az Akadémiát, dicsérte a Magyar Tudományos Tanácsot. Szerinte a haladó tudósok azt kívánják, hogy tudományos múltunk pókhálós múzeuma helyett az MTA váljon az MTT által megindított szellemben a „haladó tudomány aktív művelésének, a magyar dolgozó nép virágzó termőtalajává”.

Az akkori politikai légkörben ezt a programot végig is tudták vinni. 1949 októberében az Akadémia megcsonkította önmagát. Az új alapszabályban az akkori 258 tag helyett 128-ban maximálták a belső (hazai) rendes és levelező tagok számát. 103-at választottak újra taggá, 122-t tanácskozó taggá minősítettek. A levelező tagok csak az osztályüléseken rendelkeztek szavazati joggal, az összes ülésen nem, a tanácskozó tagok pedig az osztályüléseken sem. A külföldön tartózkodók tagságát felfüggesztették (később őket kizárták tekintették, köztük volt *Bay Zoltán* és *Békésy György*).<sup>1</sup> Ugyanakkor az Akadémia tagjai közé felvették a Magyar Tudományos Tanács azon tagjait, akik addig nem voltak akadémikusok. A reform során mindenkit eltávolítottak, aki nem felelt meg az ideológiai elvárásoknak. Az új akadémia tagjainak több mint 40%-a párttag volt.

Ezzel a párt elérte célját. Erre, a szája íze szerint átalakított Akadémiára már rábízhatta a magyar tudományos élet irányítását. 1949 decemberében az or-

<sup>1</sup>A visszaminősítettek és a külföldi tartózkodás miatt kizártak tagságát 40 évvel később az Akadémia 1989 májusában tartott közgyűlése állította vissza.



1. kép. A KFKI első igazgatója és két helyettese: középen Kovács István, balra Jánossy Lajos, jobbra Simonyi Károly (a Jánossy-család jóvoltából).

szágyúülés elfogadta az új akadémiai törvényt. Ezzel forma szerint az MTA lett a magyar tudományos élet legfőbb irányító testülete, a törvény szavai szerint „az ország legfelsőbb tudományos intézménye”. Feladatai közé tartozott „mind a fennhatósága alá rendelt, mind az egyéb tudományos kutatóintézetek munkájának tudományos szempontból való irányítása”.

## Előkészületek egy fizikai kutatóintézet létrehozására

Már a Magyar Tudományos Tanács megalakulásakor megfogalmazódott, hogy az országban új kutatóintézeteket kell létrehozni. Az elképzelések folyamatosan változtak. Eleinte egy nagy Központi Kutatólaboratóriumban gondolkodtak, de elég hamar körvonalazódott, hogy egy egész sor új tudományos kutatóintézetet kell létrehozni, ezek között meg kell építeni és megfelelően fel kell szerelni egy igen komoly, teljesen korszerű fizikai intézetet. A Tanácsnak az MDP Politikai Bizottsága által 1949 elejére kidolgozott munkatervében, a tudományos kutatás súlypontjairól szóló részben a fizika a honvédség fejlesztésével kapcsolatos részben fordult elő. A rövidhullámú technika és a robbanó anyagok gyártásával összefüggő kémiai kutatások mellett az infravörös sugarak fizikája és az atommagfizika került nevesítésre. A Központi Fizikai Intézettel kapcsolatban kiemelték, hogy az döntő befolyással lesz ipari és honvédelmi fejlődésünk alapkérdéseinek megoldására.

Kellő számú tapasztalt fizikus híján számba vették, hogy kiket lehetne külföldről hazahívni. Ketten, *Jánossy Lajos* és *Théo Kahan* válaszoltak pozitívan a megkeresésre. Mindkettőjüket meghívták egy látogatásra, hogy a leendő intézetről tárgyaljanak velük. Az MTT-nek készült előterjesztés szerint az intézet vezetésével kapcsolatban „elsősorban a Párizsban élő, *Joliot Curie*-vel együtt dolgozó Theo Kahanra kell gondolnunk, aki a francia pártban hosszú ideje aktív szerepet játszik és mind elméleti, mind gyakorlati fizikusként értékes eredményeket ért el. Tavaszi budapesti látogatásakor kijelentette, hogy szívesen jönne haza.” Théo Kahan, vagy Kahán Theo (ahogy az akkori iratokban többnyire szerepel), Máramarosszigeten született 1904-ben Kahán Tibor néven. Budapesten érettségizett, de a numerus clausus miatt Franciaországban végezte az egyetemet. Kutatási területe először a radioaktivitás volt, később a radar- és rövidhullámú technika szakértője lett. Nem világos, hogy hazajövele miatt esett kútba.

Látogatása után hivatalosan nem léptek vele újra kapcsolatba, illetőleg Párizsból küldött érdeklődésére a Tudományos Tanácstól azt a választ kapta, hogy hazahívása egyelőre nem aktuális. Unokaöccse szerint az ok feleségének „polgári” viselkedése lehetett. Jánossyval tovább folytak a tárgyalások, ő 1950. augusztus 13-án családjával végleg hazajött. Addigra azonban – az idő sürgetése miatt – ideiglenesen már mást neveztek ki az intézet igazgatójának.

Az MTT Pártkollégiumának 1949. május 14-i ülése napirendjén szerepelt a Központi Fizikai Intézet felállítására vonatkozó javaslat. Ennek előkészítésére és előterjesztésére *Kovács István* kapott felkérést. Az ülés másik fizikus meghívottja *Szamosi Géza* volt. Kovács István előterjesztésében nagyon lesújtó véleményt adott elő a fizika hazai helyzetéről. A budapesti egyetemeket még a fizika korszerű oktatására sem tartotta alkalmasnak, Debrecenben „primitív eszközökkel elemi atomfizikai vizsgálatok folynak”. Az előterjesztés szerint csak egy kivétel van, a spektroszkópiai intézet. Arról hallgatott az előterjesztő, hogy a spektroszkópia éppen véletlenül az ő területe.

Az intézetben négy osztály felállítását javasolták: radioaktivitási osztály *Imre Lajos* vagy *Szalay Sándor* vezetésével, atomfizikai osztály Jánossy Lajos vezetésével, rövidhullámú osztály Kahán Theo vezetésével, és spektroszkópiai osztály *Budó Ágoston* és Kovács István vezetésével.

A Pártkollégium támogatta az intézet létrehozására vonatkozó javaslatot. Szükségesnek tartották egy vázlatterv elkészítését, amely a költség- és ütemtervet, az

intézet végleges elhelyezésére vonatkozó elgondolást is tartalmazza, ugyanakkor az intézet létesítésének tervét a Párt Titkársága elé utalták.

Az MDP Titkárság négy nappal későbbi ülése, amelyen *Rákosi Mátyás* mellett többek között *Farkas Mihály*, *Gerő Ernő*, *Kádár János*, *Marosán György*, *Rajk László* és *Szakasits Árpád* is részt vett, elfogadta az előterjesztést. Másnap pedig már meg is indultak a megvalósításra irányuló tárgyalások az akkor éppen Magyarországon tartózkodó Jánossy Lajossal.

A párthatározat után az MTT a tervek koordinálására és végrehajtására egy előkészítő bizottságot állított fel *Erdey-Grúz Tibor* fizikokémikus akadémikus vezetésével. Tagjai *Szizeti György* és *Gerendás István* építészmérnökök voltak. Az előkészítő bizottság szeptemberre elkészült jelentése a több felmerült lehetőség közül Csillebércet jelölte meg telephelyül. Az intézet célja „a magyar fizikai kutatás eddigi, a többi tudományághoz képest is messze elmaradt állapotából kiemelni, és lehetővé tenni a termékeny tudományos kutatást a fizika minden területén, melyek a tudomány fejlesztése és alkalmazása szempontjából elsősorban fontosak”. Őt területet nevesítettek: általános fizika (elektronika, mágneses vizsgálatok, anyagszerkezeti kutatások), mikrohullám-fizika, atomfizika, radioaktivitás, kozmikus sugárzás.

Három év alatt 100 millió forintot igényelt volna az összesen ötszáz fővel, abból százötven kutatóval működő intézet megvalósítása. Az öt tématerületnek megfelelő öt, a kutatóhelyeket befogadó épület és még vagy tíz kisebb kiszolgáló épület megépítésére lett volna szükség.

Az MTT Pártkollégium még szeptember folyamán megtárgyalta a javaslatot. Azzal adták vissza a tervet, hogy az intézet teljes kiépítését három év helyett öt év alatt kell megvalósítani, a kutatói létszámot száz főre, a teljes költséget pedig 70 millió Ft-ra kell csökkenteni.

Az októberben elkészített módosított terveken a Pártkollégium további kisebb változtatásokat kért. Mire azok elkészültek, a Magyar Tudományos Tanács megszűnt, feladatát az átszervezett Akadémia vette át. Így a KFKI megvalósításával kapcsolatos feladatok is oda kerültek át. Mivel az intézet az ötéves tervbe is bekerült, az első évben 8 millió Ft-tal, szükség volt egyszemélyi felelősre. Az Akadémia elnöksége 1950. július 7-én ideiglenesen, „amíg az Intézet igazgatói állásának végleges betöltése megtörténik”, Kovács



2. kép. A KFKI elsőnek, 1951-ben elkészült, IV. számú épülete az eredeti, földszintes állapotában. Előtte a munkatársakat szállító buszok (a Jánossy-család jóvoltából).

Istvánt jelölte ki igazgatónak. (Ez az ideiglenes megbízás 1956 őszéig tartott, amikor Jánossy Lajos vette át az intézet igazgatását.) Az intézet titkári feladatait eleinte Szamosi Géza látta el.

## A KFKI megalakulása

A most már igazgatóval rendelkező intézet megszervezését egy tanácsadó bizottság segítette, amelynek tagjai *Gombás Pál*, *Erdey-Grúz Tibor*, *Szizeti György*, *Kónya Albert*, *Simonyi Károly*, *Pócza Jenő*, *Haiman Ottó*, *Szántó István* és *Nagy László* voltak. Két évvel később, amikor az Akadémia minden akadémiai intézethez hozzárendelt egy tudományos tanácsot, a KFKI Tudományos Tanácsának az elnöke Jánossy lett, titkára Szamosi Géza. A tagok között a két belső ember, *Kovács István* és *Simonyi Károly* mellett többségben voltak a külsősök: *Budó Ágoston*, *Erdey-Grúz Tibor*, *Gombás Pál*, *Rényi Alfréd* és *Tarján Rezső*.

3. kép. A IV. épület hátsó oldala a műhellyel (KFKI Fotóarchívum/Wigner Fizikai Kutatóközpont Könyvtár).





A tanácsadó bizottság 1950 nyarán több ülésen is foglalkozott az intézetre vonatkozó tervekkel. Addigra már biztos volt, hogy Théo Kahanra nem számítanak. Az eredeti tervekben szereplő mikrohullám-fizikai kutatások, egy mikrohullámú torony építése pedig kikerültek a KFKI programjából, mert közben megalakult a Távközlési Kutató Intézet, és ez a téma oda került át. Többszöri áttervezés után azt a javaslatot fogalmazták meg, hogy a központi műhely mellett négy, az iratokban sokszor intézetnek nevezett osztály alakuljon: spektroszkópiai intézet, kozmikus sugárzást kutató intézet, atomfizikai és radiológiai intézet, valamint általános és alkalmazott fizikai (elektronika, mikrohullám, vákuumfizika, akusztika, optika stb.) intézet. Legfontosabb ajánlásuk az volt, hogy az intézetet – az egyetemeken rendelkezésre álló csoportokra alapozva – még az építkezés megkezdése előtt meg kell szervezni.

Az intézet ügye 1950 augusztusában került a Gerő Ernő államminiszter által vezetett Népgazdasági Tanács elé. Augusztus 17-én született meg a 495/25/1950. N. T. számú határozat, amely szerint a Tanács több, különböző vállalatokat érintő döntése között elhatározta a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézete megszervezését.

Az intézet feladatát nagyon általánosan úgy jelölték meg, hogy végezze mindazokat a fizikai kutatásokat elméleti és gyakorlati téren, amelyekkel a Tudományos Akadémia megbízza. Az Akadémia elnökének hatáskörébe utalták az intézet igazgatójának és osztályvezetőinek, valamint a tudományos tanács elnökének, titkárának és tagjainak kinevezését, de formálisan is biztosítani kívánták a hatalom közvetlen beleszólási lehetőségét az intézet ügyeibe. A határozat ezért előírta, hogy a tudományos tanácsba „be kell hívni a nehézipari, a honvédelmi, valamint a vallás- és közoktatásügyi miniszterek, végül az Országos Terhivatal elnökének kiküldöttjeit”. Tudomással ilyen összetételű tudományos tanács végül nem alakult.

4. kép. A kozmikus sugárzási vizsgálatok számára készült faház, az V. számú épület (KFKI Fotóarchívum/Wigner Fizikai Kutatóközpont Könyvtár).



A Népgazdasági Tanács ülését követően, a minisztertanács másnapos ülésén is napirendre került az intézet ügye. Ezen 349/[10] 9. szám alatt, az Országos Terhivatal elnökének előterjesztésében szerepelt a Központi Fizikai Kutatóintézet létesítése. A végső döntés – vagy az előző napi döntés jóváhagyása, hiszen a minisztertanács ebben az ügyben rendeletet nem alkotott, csak határozatot hozott – tehát ekkor, 1950. augusztus 18-án történt meg. Így, amint a bevezetőben már említettük, az intézet – legalábbis elvben – 1950. szeptember 1-jén megkezdhette működését.

## Az első tudományos osztályok

Mivel a tervek folyamatosan változtak, érdemes megnézni, hogy melyik tudományos osztály valójában mikor alakult meg.

Az első két osztályra 1951. január 1-jével történtek meg a kinevezések. A tudományegyetem fizikai intézetében működő, a kozmikus sugárzást kutató csoportból jött létre a Kozmikus Sugárzási Osztály Jánossy Lajos vezetésével, a műegyetem atomfizikai tanszékén működő spektroszkópiai kutatócsoportból pedig a KFKI Spektroszkópiai Osztály Kovács István vezetésével. Tehát mindkét csoportba a korábban az egyetemeken dolgozó kollégák kerültek át. Egy ideig a régi helyükön maradván, új név alatt folytatva a munkát, csökkentve ezzel az egyetem tudományos súlyát. Ez a következő évekre is jellemző volt. Az első, fizikus oklevelet szerzők csak 1952-ben kerültek ki az egyetemről.

A kozmikus sugárzás vizsgálatát Magyarországon *Barnóthy Jenő* és *Forró Magda* kezdte el még az 1930-as években. Hozzájuk csatlakozott *Fenyves Ervin* és *Haiman Ottó*. A két szenior kutató Amerikába távozásával ez a kutatási irány megszakadt. Viszont Jánossy Lajos hazatértekor egy olyan tudományos háttérrel találkozott, amelyre alapozni tudott. Az egyetemi helyszűke miatt a legsűrűbb az ő elhelyezésük megoldása volt. A csillebérci telephelyen az első, számukra

épült, ma is IV. számot viselő, de akkor csak földszintes épület 1951 őszére készült el, decemberben vehették birtokba a kutatók. A következő év folyamán készült el a kísérletekhez szükséges faház, az V. épület, valamint a föld alatti laboratórium. Ekkor indulhattak meg a tényleges mérések. Fenyves Ervin és Haiman Ottó korábban a tatabányai szénbányában végezték méréseiket. Ebből az osztályból nőtt ki később nemcsak a magfizikával és részecskefizikával foglalkozó csoportok, osztályok egy része, hanem a hazai lézerkutatást elindító fizikai optikai laboratórium is.

A Spektroszkópiai Osztály alapját a háború előtt a műegyetem *Pogány Béla* által vezetett Kísérleti Fizikai

Intézetében *Schmid Rezső* és *Gerő Loránd* által megkezdett spektroszkópiai kutatások képezték. 1952 őszén, amikor a III. épület elkészült, csak az osztály egy csoportja költözött fel Csillebércre. A többiek az osztály 1959-es megszűnéséig a Budafoki úton maradtak, sőt azon túl is. A KFKI utolsó, nem Csillebércen működő részlege, a Fizikai Optikai Laboratórium spektroszkópiai csoportja 1962-ben került fel a kibővített IV. épületbe.

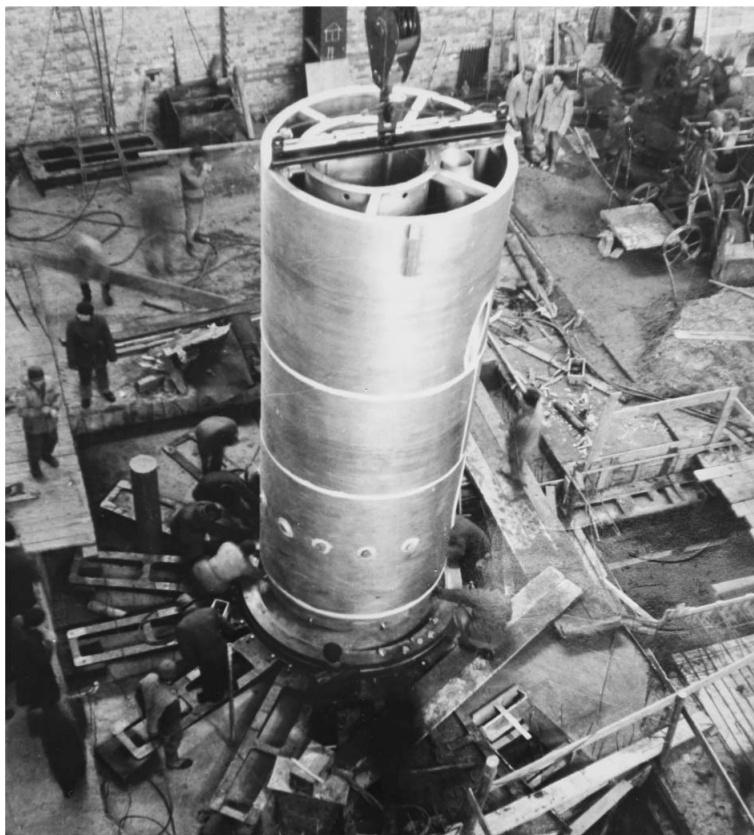
Papírforma szerint 1951. május 1-jével alakult meg az Elektromágneses Hullámok Osztálya *Faragó Péter* vezetésével, aki az ELTE Kísérleti Fizikai Intézete docense volt. Ők is nagyon szűkös helyen dolgoztak a Puskin utcai D épületben, de csak 1954 nyarán tudtak beköltözni a III. épületbe. *Faragó Péter* az 1956-os forradalom után Angliába emigrált. Az osztály tagjai részben a szilárdtest-fizikai területen folytatták munkájukat. Az 1950-es évek közepén kezdett munkákból nőni a mágneses magrezonancia szilárdtest-fizikai alkalmazásaival foglalkozó csoport.

Ugyancsak 1951. május 1-jével jött létre az Akusztikai és Ultrahang Kutató Osztály *Tarnóczy Tamás* vezetésével. Az osztály sorsa jól szemlélteti a tudománypolitika akkori működését.

Az intézetet létrehozó népgazdasági tanácsi határozat ugyan az Akadémia irányítása alá helyezte az intézetet, a Párt beleszólása ettől nem szűnt meg. Az intézet vezetősége 1952 nyarán beadványt nyújtott be az MDP Központi Vezetőség Agitációs és Propagandaosztályának. Ez 1953 elején került a Központi Vezetőség ülése elé. Az ekkor született párthatározat többek között rendelkezett arról, hogy mely részlegeket kell leépíteni (akusztika és ultrahang csoport) és melyeket fejleszteni (elméleti atomfizika Gombás vezetésével). A párthatározatot az Akadémia gyorsan végrehajtotta. Akusztikai és Ultrahang Kutató Osztályt 1953 nyarán áthelyezték a Posta Kísérleti Állomásra.

Megjegyezzük, hogy a Párttal együtt a honvédség is figyelt arra, hogy mi történik az intézetben. A honvédelmi minisztérium kutatási megbízásainak teljesítését a KFKI-ban a gépészmérnök végzettségű *Kurucz György* alezredes, a minisztérium Technikai Fejlesztő Bizottsága titkára ellenőrizte. Ő később, 1957 és 1970 között, műszaki igazgatóhelyettesként dolgozott a KFKI-ban.

A párthatározat másik részét is végrehajtották. Gombás Pál és kutatócsoportja a műszaki egyetemről a KFKI állományába került Elméleti Fizikai Osztály néven. Azonban ez az osztály sem élt sokáig. 1954 őszén – bár helyileg mindig is ott maradtak – formailag is visszatértek a műegyetemre. Az MTA Elméleti Fizikai Kutató Csoportjaként működtek tovább a Fizikai Intézetben.



5. kép. Az 1959-ben átadott kutatóreaktor még építése – a reaktortartály behelyezése – közben.

Az 1952-es évben két új osztály alakult. Forma szerint 1952. január 1-jével jött létre az Atomfizikai Osztály *Simonyi Károly* Sopronban már 1948 óta működő csoportjából. 1952 őszén költöztek fel Csillebércre, a III. épületbe, magukkal hozva a Sopronban már működött gyorsítót, így *Simonyi* akkor nevezték ki osztályvezetőnek. Később nem bocsátották meg *Simonyi*-nak, hogy 1956 októberében őt választották meg a KFKI Forradalmi Bizottság elnökének, ezért távoznia kellett az intézetből. Az osztály tagjai a magfizika területén folytatták munkájukat.

Az 1952 őszén alakult Radiológiai Osztályt *Bozóky László* vezette. Az osztály csak 1959-ig működött. Feladatainak egy részét később a Sugárvédelmi Osztály vette át.

Egy évvel később, 1953 őszén jött létre a Ferromágneses Osztály, amikor *Pál Lénárd* kandidátusi fokozatának megszerzése után hazajött a Szovjetunióból. Az osztályból nőtt ki később a szilárdtest-fizikai kutatások.

## Az első nagy átszervezés 1956 és 1960 között

1956-ban és az azt követő néhány évben, részben a forradalomtól függetlenül, részben annak következményeként, jelentősen átalakult a KFKI szervezete. *Kovács István* 1956 nyarán lemondott az eredetileg egyébként is ideiglenes igazgatói megbízásáról. Szeptember 25-től *Jánossy Lajos* kapott igazgatói kinevezést.

Simonyi Károly, aki a KFKI Forradalmi Bizottság elnökeként 1956 októberében és novemberében az intézet belső nyugalma, valamint az épületek és a felszerelés megőrzését tekintette elsődrendű kötelességének, 1957 végén olyan méltatlan helyzetbe került, hogy lemondott intézeti állásáról, és többet nem lépett annak területére. Így a korábbi három vezető személyiség, Kovács István, Jánossy Lajos és Simonyi Károly közül csak Jánossy maradt az intézetben.

Erős emberként csatlakozott hozzá Pál Lénárd, aki 1956 nyarától már igazgatóhelyettes volt. Ez a kinevezés azzal volt kapcsolatos, hogy 1955-ben a magyar kormány elfogadta a Szovjetunió ajánlatát egy kísérleti atomreaktor felépítésére. A megvalósítással kapcsolatos feladatok koordinálását, vezetését Pál Lénárdra bízta, mint aki a vezető munkatársak közül a legjobban tudott oroszul. A Jánossy–Pál-tandem azután 1970. január 31-ig vezette az intézetet.

A kísérleti atomreaktor 1959. március 25-i beindulása, kritikussá válása, a KFKI osztályszerkezetében is mélyreható változásokat indukált. Ez az átszervezés annál inkább esedékes volt, mivel – amint az előzőkben már utaltam rá – az eredeti tervekhez képest szinte minden megváltozott. Az első osztályvezetők közül Faragó Péter, Kovács István és Simonyi Károly már nem dolgozott az intézetben. Ugyanakkor a kísérleti atomreaktor új kutatási területek (neutronfizika, magkémia, reaktorfizika és -technika) indítására adott lehetőséget. A Kozmikus Sugárzások Osztálya folytatta tervezett kutatásait, de az osztály keretén belül megjelentek a fizikai optikai kutatások, és a két területet csak Jánossy Lajos személye kötötte össze. A Ferromágneses Osztályon folyó kutatások pedig Pál Lénárd személyén keresztül összeolvadtak a neutronfizikai kutatásokkal. Ezért a korábbi osztálystruktúra helyett 1959 októberétől kilenc laboratóriumban ( kozmikus sugárzási, fizikai optikai, magfizikai I., magfizikai II., reaktorfizikai és -technikai, szilárdtestfizikai, magkémiai I., magkémiai II., valamint elektronikai) folytak a kutatások.

Ez a szervezet azonban csak egy évig élt. 1960 októberében a kilenc laboratóriumot öt főosztályba vonták össze, és megalakult a Sugárvédelmi Osztály.

E kor történetéhez hozzátartozik még, hogy a kísérleti atomreaktor miatt az intézet jogállásában némi bizonytalanság támadt. Egy 1956-os kormányhatározat szerint a KFKI fölött a felügyeletet az Országos Atomenergia Bizottság és a Magyar Tudományos Akadémia „együtértésben” gyakorolja. Ez a kettős felügyelet 1966 végéig tartott. Akkor az intézet eredeti helyzetébe, az Akadémia kizárólagos felügyelete alá került vissza.

## További átszervezések

Apróbb átalakításoktól eltekintve – ilyen volt a Szilárdtest-fizika Laboratóriumnak 1962 márciusától a főosztályi szervezetből való kivétele és közvetlenül Pál Lénárd tudományos igazgatóhelyettes alá rendelése –,

az 1960-ban kialakított szervezet valamivel több mint tíz évig élt. 1971 áprilisától a Nagyenergiájú Fizikai, Magfizikai, Szilárdtest-fizikai, Kémiai, Reaktor, Elektronikus, továbbá Műszaki Főosztály mellett önálló Fizikai Optikai, valamint Számítástechnikai Osztály működött a KFKI-ban.

Ez a felállítás azonban még négy évet sem élt meg. 1975. január 1-jétől a KFKI-t négy, önálló jogi személyiséggel nem rendelkező intézetből álló kutatóközponttá szervezték át: Atomenergia Kutató Intézet, Mérés- és Számítástechnikai Kutató Intézet, Részecske- és Magfizikai Kutató Intézet, valamint Szilárdtest Kutató Intézet. Hat év múlva a négy intézetből öt lett, a Szilárdtest Kutató Intézet 1981 áprilisában szétvált Szilárdtestfizikai Kutató Intézetre és Mikroelektronikai Kutató Intézetre.

Ezután egy újabb közel tízéves, látszólag nyugalmas időszak következett, amely azonban nem volt feszültségektől mentes, különösen az elsősorban alapkutatással foglalkozó intézetek és a külső megrendelésre dolgozó, pénzkeresésre átvált MSZKI között. A rendszerváltás idejére a kutatási, fejlesztési és gyártási tevékenység különböző jellege miatti ellentétek odáig fokozódtak, hogy csak drasztikus lépéssel lehetett azt feloldani. Ez vezetett a KFKI megszűnéséhez.

## A KFKI szétDarabolása és megszűnése

Az MTA KFKI kutatóközpont utolsó főigazgatója *Lovas István* volt, aki 1990. július 1-jétől töltötte be ezt a tisztséget. Eleve azzal a programmal indult, hogy ő kíván a gazdasági nehézségekkel küzdő központ utolsó főigazgatója lenni. Elképzelése szerint a KFKI-t öt önálló jogi személyiségű kutatóintézetre kell szétvágni. Tulajdonképpen ezen átalakítás véghezvitelére vállalkozott, és másfél év alatt sikerült megvalósítania. 1992. január 1-jével megalakult az öt utódintézmény, a KFKI Anyagtudományi Kutatóintézet, a KFKI Atomenergia Kutatóintézet, a KFKI Mérés- és Számítástechnikai Kutatóintézet, a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, valamint a KFKI Szilárdtest-fizikai Kutatóintézet. E nevekben a KFKI betűszó csak márkanévként, eredeti jelentése nélkül szerepelt. A következő átalakítások során, amelyek az utóbbi majd három évtizedben sem ritkultak, már ez a márkanév is kikapott az utódintézetek nevéből.

Sic transit gloria mundi.

## Irodalom

1. *A KFKI 5 éve, 1950–1955.* Kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézete öt éves fennállása alkalmából. Kézirat.
2. Elek István: *A Központi Fizikai Kutató Intézet története (1950–1965), Tudománytörténeti monográfia.* Budapest 1970. Kézirat.
3. Fonyó Attila: Emlékeim Théó Kahanról. *Természet Világa*, 127 (1996) 12. sz.
4. Jéki László: *KFKI.* Arteria Stúdió, Budapest, 2001.
5. Kónya Sándor: *A Magyar Tudományos Tanács (1948–1949). A Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárának közleményei.* Budapest, 1998.

# NEWTON ALAKJA A MAGYAR FORRÁSOKBAN

## 1790 KÖRÜL

Pipics János

ELTE Berzsenyi Dániel Pedagógusképző Központ

Isaac Newton alakja (1. ábra) a 18–19. század fordulóján több magyarországi kiadványban is előfordul, köztük az első folyóiratokban is, a reformkortól kezdve pedig a gyakorisága nő. A kérdés vizsgálata hosszabb fizikatörténeti kutatás lenne, ezért itt csupán néhány érdekesebb példát mutatok be e századforduló „terméséből”. Hírek, könyvbemutatók és versek is szerepelnek majd, ezek olyan témák tárgyalásánál említik az angol fizikust, amelyekről alapvetően nem rá asszociálnánk először. Az ismertetésre kerülő források így a magyar fizikatörténet egy érdekes peremterületére kalauzolják a kíváncsi olvasót.

Newtonról tudjuk, hogy aktívan folytatott teológiai kutatásokat, sőt, úgy hitte, e téren alkotott elméletei talán még fontosabbak is. Nem csoda tehát, ha vallási témájú írásokban megemlítik nevét. Erre példa a *Szent János apostolról* szóló szócikk *Thomas Broughton* lexikonában *Mindszenti Sámuel* fordításában [1]. Itt Newton Biblia-kutatóként jelenik meg, a szerző pedig ismerteti elméletét arra nézve, hogy mikor keletkezhetett a *Jelenések könyve*. Ezt Newton a lexikon szerint *Néró* korára teszi – [1] 321. oldal –, míg *Irénéusz* egyházatya *Domitianus* uralkodásának idejére, ahogy a legtöbb mai tudós is (2. ábra).

Érdekesebb azonban a következő írás, amely viszont inkább a korszakról árul el többet. A *Magyar Kurir* 1792. évi 37. számához tartozó „Tóldalék” egy verset közöl *Segesvári István* (1762–1826) tollából [2]. Segesvári végzettségét és munkáját tekintve orvos volt. Legfontosabb műve *William Derham* (1657–1735) *Physico-theologia* című könyvének magyarra fordítása, főleg az eleje írt ajánlás, ami az addigi magyar irodalom vázlatos áttekintését tartalmazza, ezáltal pedig az egyik első magyar irodalomtörténetnek tekinthető [3]. Témánk szempontjából kiemelendő, hogy Derham a vallási tanokat a tudomány segítségével kívánta védelmezni. A természeti törvények megismerése és matematikai formába öntése több ponton is megkérdőjelezte a teológusok állításait, nem beszélve a felvilágosodás eszméiről. A vallásos gondolkodóknak védekezniük kellett, amiben segítségükre lehetett az, ha olyan szerzőkre hivatkoznak, akik szerint a két nézőpont és a „két igazság” megférhet egymás mellett.



Pipics János az ELTE BDPK negyedéves tanárszakos hallgatója Szombathelyen, történelem-fizika szakpáron. Kutatási területe főleg a közép- és kora újkor művelődéstörténete. Jelenleg többek között a természettudományok történetéhez kapcsolódó, még kiadatlan források feltárásával és elemzésével foglalkozik.

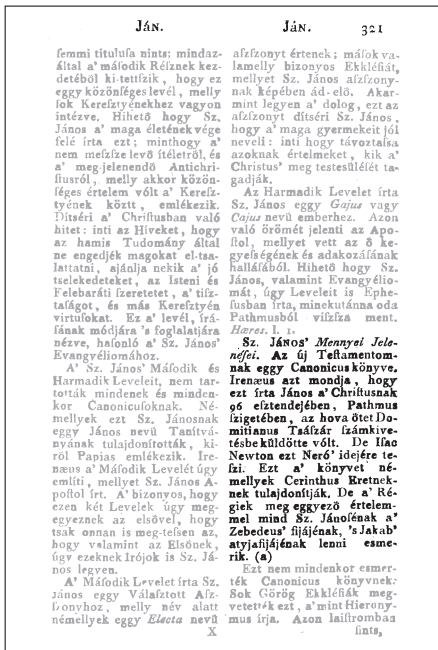
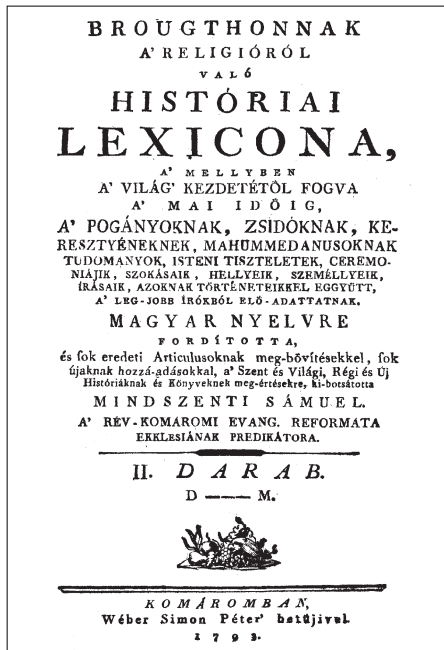


1. ábra. Isaac Newton *Godfrey Kneller* (1646–1723) olajfestményén, a National Portrait Gallery gyűjteményéből (forrás: <https://www.npg.org.uk/collections/search/portrait/mw04660/Sir-Isaac-Newton>).

Ilyen gondolkodónak tekintették Newtont is, elő is kerül Segesvári versében, aki a művet *Hell Miksa* emlékére írta, a bevezető összefoglalja a csillagász érdekeit, titulussait. A költemény maga azonban nem annyira Hellenek szól, hiszen „a Természetet vizsgáló böltsekhez közönségesen” íródott, a tudós halálának „alkalmatosságával”. A közlők szükségét érezték a magyarázatnak, ez viszont nem csak itt jelentkezik, a verset végig jegyzetekkel látták el, egy ilyenben szerepel majd Newton is. Mielőtt azonban rátérnénk arra a szövegrészre, tekintsük át, mire hivatkoznak a kiadók a költemény világszemlélete kapcsán.

Az első mindjárt *Szent Pál rómaiakhoz írt első levele*. A második pedig *Browne* (valószínűleg *Thomas Browne* 17. századi angol polihisztor) azon megjegyzése, miszerint a világ megismerésének egyik útja *Isten* és a *Biblia*, a másik a természet, a pogányok pedig csak ez utóbbit figyelték, abból tanulták a teológiát. Beazonosítható még a szintén vezetéknevekkel említett filozófusok közül *Christoph Meiners* (1747–1810), rá annak kapcsán utalnak, hogy megmutatta a pogányok természetszemlélete is lehetett vallásos, megtalálhatták a természetben az istenséget.

A probléma, amely révén előkerül Newton, a Föld alakja. Gömbölyűségét *Magellán* útjával bizonyítja a



A fizika, mint egy tudományág megnevezése ekkoriban még nem általánosodott, bár a kifejezést már használták a században, sőt sokan *Pieter van Musschenbroek* (1692–1761) 1737-es *Fizikai vizsgálat* című művét tekintik az önálló tudományág születésének is [6]. A természettudomány és a természettudomány tehát még nem minden esetben válik szét, Newton kiemelkedő szerepe ellenben már kétségtelen. A *Mindenes gyűjtemény* 1790-ben, Komáromban kiadott 4. kötetében például két helyen is megtalálhatjuk a nevét. A 8. levélben [7] a Westminsteri apátság kapcsán: Newton sírja – a szerző szerint – a legszebb helyen található. A 9. levélben [8] szintén egy verses szöveg-

2. ábra. Thomas Broughton lexikonjának címlapja és az idézett szócikk, kiemelve Newton, mint Biblia-kutató elmélete (forrás: <http://real-r.mtak.hu/858>).

2. számú jegyzet, de Segesvári azon kérdésére, hogy merre laposabb és merre dombosabb a bolygó, a betoldott magyarázat Newton, *Huygens* és a *Cassinik* elképzeléseit említi. Itt valószínűleg *Jacques Cassini* (*Giovanni Domenico* fia) szerepel. A jegyzet szerint a forgásiellipszoid-modellnek, így Newtonnak és Huygensnek volt igaza a gömbalak elméletével szemben, amit a Francia Akadémia két expedíciója bizonyított. A kérdés ennél bonyolultabb, ezt például *Timár Gábor* akadémiai doktori értekezése részletesen le is vezeti [4].

A költemény a későbbiekben még számos témát érint az élő és az élettelen környezetet is beleértve, Newton megjelenése azonban nem is annyira a Föld alakjának kérdésköre, sokkal inkább a szerző iránultsága kapcsán különleges. Nem csak a sokoldalúságára találunk azonban bizonyítékot, nagyságát is kiemelik a korabeli munkák. A 18. század végére Newton már a tudomány elismert, megkerülhetetlen alakja, s a hazai művek is jelentős személyként említik. Ennek megfelelően ezek a szövegek a Newton-emlékezetről is tanúskodnak. Mindemellett a természettudósokat sokszor még bölcseknek, filozófusoknak tekintik. Erre utal a *Magyar Hírmondó*<sup>1</sup> 1796. évi 40. számának egy értekezése is [5], amikor azt mondja, hogy a nagy gondolkodók rájöttek, jobb, ha csak egy-egy dologgal foglalkoznak, ezért oszlott ágakra a filozófia, vagyis a mai szóval szaktudományoknak hívott részterületek csak ennek elemei. Newton egyébként ebben az írásban, amely *Az észbeli különbségről* címet viseli, matematikusként jelenik meg, sőt a terület *Eukleidésszel* egyenrangú alakjaként.

<sup>1</sup>Ez a *Magyar Hírmondó* a második, 1792-ben indult ilyen nevű kiadvány, az első magyar nyelvű hírlapot is így hívták nem sokkal korábban.

ben bukkan fel a tudós, és ugyancsak a sírhelye révén. Érdekesebb azonban az ehhez készített jegyzet, amely, talán kissé moralizáló stílusban, a tudományos eredmények értékelésére is buzdít. Newtont ugyanis „mély tudományáért annyira megbetsülték az Anglosok [angolok], hogy midőn [midőn] 1727-dik eszt: meghalna: Fő méltóságú személyek vitték holt testét; és a' Királyok közzé helyeztették”. Ehhez teszi hozzá a szerző: „Szép dolog ez, melly akár mi más érzékeny Nemzetet is követésre indíthat.”

Hasonló gondolatmenet szerepel a *Magyar Hírmondó* 1797. évi 40. számában is [9], ahol *Gaspard Monge* (1746–1818) beszél tudósokról és tudományról a francia Direktórium audienciáján. Főszereplőnk *Napoleon* közeli barátja volt, a Direktórium vele együtt fogadja Bonaparte másik követét is, aki pedig az a *Berthier*, aki ekkor *Napoleon* egyik fő segítőtársa Itáliában.

1791-ben a *Hadi és más nevezetes történetek* 4. kötetében a Franciaországról szóló résznél [10] Newton párhuzamként, az őt övező tisztelet pedig követendő példaként jelenik meg. A szöveg a nép „Mirabó”, azaz *Mirabeau* halála miatti gyászáról szól, arról, hogy hányan mondtak magasztaló beszédet, s hogy milyen ötletek adódtak arra nézve, hol is nyugodjon a halott. A döntés értelmében a temetést állami költségen tartották, a hely pedig a Párizs védőszentjéről, *Szent Genovéváról* elnevezett templom lett. *Mirabeau* volt az első, akit ide temettek, s a Pantheonnak elkeresztelt épület később még számos francia kiválóság végső nyughelye lett. Az írás – keletkezésének ideje (1791) miatt – természetesen még eredeti nevén említi a templomot, de szerinte ezt a helyszínt egy bizonyos *Rocheffoucault*, párizsi előljáró ajánlotta, mondván Londonban is a Westminsteri apátságot nevezték ki erre a célra. A mű azt is ecseteli még, hogy mit mondott bizonyos

„Goupil úr” arról, mi illet meg egy ilyen kiválóságot. Itt kerül elő Newton, mint példa: „Midőn Newton meg holt, az ő teste, a’ Királyok’ testei közzé tétetett.”

A *Mindenes gyűjtemény* 5. kötetében is megtaláljuk Newtont [11]. Itt a szerző *Bernard le Bovier de Fontenelle* (1657–1757) francia filozófusról írja, hogy kora miatt nem lett Newton „tanítványa”, a „párizsi akadémián” (Francia Akadémia) betöltött tiszte miatt viszont kötelessége volt az ő tanait valamennyire megismerni, ami sikerült is neki, s erről az írás elismerően szól.

A *Molnár János* (1728–1804) által írt és szerkesztett *Magyar Könyv-Ház* szintén nagy érdemeket szerzett a hazai ismeretterjesztésben. Ennek 1783. évi 2. kötete ismerteti *Diogenész Laertiosz* (180 k. – 240 k.) könyvét (LVIII. könyv) [12] a nagy bölcsek életéről és munkásságáról. Laertiosz az ókori görög filozófiai iskolákkal és azok gondolkodóival foglalkozik, így különösen tűnhet Newton felbukkanása. Az előtte tárgyalt görög valószínűleg *Arkhelaosz*, i. e. 5. században élt bölc. Diogenész szerint ő volt *Szókratész* egyik mestere. Molnár azt írja, hogy egyrészt a könyvében vele zárul a természetfilozófia részletezése, utána erkölcsi kérdések tárgyalása jön, másrészt pedig szerinte Arkhelaosz mondta először a hangot a levegő „mozdítottatásának”. Ennek kapcsán kéri az olvasót, hogy e témához (és más hasonlókhöz) használja egy másik munkáját, amely *A természetiokról Newton tanítványának nyomdoka szerént hat könyv* címet viseli. Valóban volt ilyen műve, 1777-ben jelent meg, sőt a címben szerepel még ez is: „A’ fisikának eleji.” Ez nem csak a kifejezés magyarországi használatára utal, Molnár munkája egyben az első hazai fizikakönyv is, amelynek 6 fejezete két kötetben látott napvilágot. A magyar szakkifejezések egy részét szintén ő alkotta meg [13].

A 3. kötetben a CLXXXII. könyv ugyancsak egy filozófusokról szóló művet [14] ismertet, de ebben már tudósként és nem „könyvcímként” szerepel Newton. Konkrétan azt írja Molnár János már az összefoglaló végén, hogy az addigiak után Newton, *Leibnitz* és mások következnek „egész végig”, de hozzáteszi: „Megragattatnak a’ tévelygések-is egyetemben”. A könyv *Handerla Ferenc*, budai professzor *Historia critica literaria philosophiae in usum auditorum suorum concinnata* című műve, ami 1782-ben jelent meg Budán.

Végezetül egy újabb olyan darab, ahol Newton szinte szimbólumként kerül elő. A *Magyar Hírmondó* 1798. évi 22. számában megjelentetett levél [15] kifejezett kérésre került bele a kiadványba, mint ahogy erről a szöveg elé helyezett bevezető is tájékoztat bennünket. *Peretsényi Nagy László* levelében *Landerer Mihályt* (1760–1807) méltatja, aki lehetőséget ad a tudományok megismerésére és gyakorlására, ezért kiérdemelte a Nemes Hazafi megnevezést. Ő ugyanis nyomdász, az 1848-as eseményekből ismert *Landerer Lajos* apja. A levél írásának idején (1798) a kufsteini börtönben ült, mivel a jakobinus mozgalomban való részvételéért elítélték. Eredetileg halálbüntetést szabtak ki rá 1795-ben, de azután kegyelmet kapott.

A szerző az aláírás szerint „Galsa Mező-Városának esküdt Notáriussa”. Galsa valóban mezőváros volt ak-

koriban, Arad vármegyében. Peretsényi magasztalta írásában *Landerert*, sőt még verset is költött a dicsőítésére. Newton neve a levélben fordul elő, amikor azt mondja, hogy *Landerer* hozzá és *Kopernikuszhoz* hasonló érdemeket szerzett magának, azzal a különbséggel, hogy a bölcsek munkáit csak a tanultak élvezhetik, *Landerer* kiadványait viszont a „katzagányos és gubás” magyarok is. Az kérdéses, hogy a szerző mennyit tudhatott a nyomdász részvételéről az összeküvésben, mindenesetre a levél közlését a *Hírmondó* készítői hazafias megnyilvánulásnak tekintették.

Newton tehát valóban sokféleképpen megjelenhetett a 18. század végi forrásokban. Kevésbé ismert tevékenységei, mint például teológiai kutatásai révén éppúgy, mint impozáns temetése és az őt övező tisztelet alapján. Felvethető a kérdés, hogy mennyire hatott a magyarországi gondolkodókra. *M. Zemplén Jolán* szerint az ország nem vett részt a nyugati tudományos fellendülésben, mert jelentősebb tudósainak elméletei nem váltak ismertté, a külföldi tanok pedig csak lassan értek el ide [16]. *Descartes* és a jezsuiták hatása egyaránt érezhető volt, a 18. század végén pedig a felvilágosodás növelte az érdeklődést a francia kultúra iránt, az amúgy is érezhető német hatás mellett. A vizsgált forrásokból látható, hogy 1790 körül Newtont már jelentős tudósnak tartották, előkerült a hazai munkákban, ahogy elméleteiről is találunk magyar nyelvű összefoglalót. Az elsődleges közvetítő nyelv azonban továbbra is a latin, mivel a magyar használata tudományos téren még korántsem volt általános, hivatalos nyelv is csak 1844-ben lett. Newton műveinek elérhetősége, vagy esetleges magyar nyelvű kiadásainak kérdése már más irányba indítana minket, áttekintésünk mindenesetre fizikatörténeti adalék lehet a hazai nyomtatott sajtó születésének korához.

## Irodalom

1. Mindszenti S.: *Broughtonnak a’ Religióról való históriai lexiconna D–M.* (1793) Komárom, 316–327.
2. Segesvári I.: *Hell Maximilián 1792. ápr. 14. történt halálának alkalmatosságával írott versek.* *Magyar Kurír* (1792) 37. sz. Toldalék, 1–32.
3. Tóth B.: *Első magyar nyelvű „irodalomtörténetünk” szerzője: Segesvári István.* *A Hajdú-Bihar Megyei Levéltár évkönyve, 1983.* 189–197.
4. Timár G.: *A Föld alakjának ismerettörténete – az archív térképek georeferálásának geofizikai alapja.* MTA doktori értekezés, Budapest, 2018.
5. *Magyar Hírmondó* 9. (1796) Bécs, 654–658.
6. Mészáros E.: *A természettudományok rövid története.* MTA Történettudományi Intézet, Budapest, 2011.
7. *Mindenes gyűjtemény* 4. (1790) Komárom, 113–128.
8. *Mindenes gyűjtemény* 4. (1790) Komárom, 129–144.
9. *Magyar Hírmondó* 12. (1797) Bécs, 647.
10. *Hadi és más nevezetes történetek.* 4. köt. (1791) Bécs, 526–532.
11. *Mindenes gyűjtemény* 5. (1791) Komárom, 384–393.
12. Molnár J.: *Magyar Könyv-Ház* 2. (1783) Pozsony, 205–222.
13. Gazda I. (szerk.): *A korai magyar nyelvű nyomtatott reáltudományi és műszaki könyveink, 16–19. század.* *A Magyar Tudománytörténeti Intézet Tudományos Közleményei* 19. (2005) Budapest.
14. Molnár J.: *Magyar Könyv-Ház* 3. (1783) Pozsony, 428–431.
15. *Magyar Hírmondó* 14. (1798) Bécs, 350–352.
16. M. Zemplén J.: *A magyarországi fizika története 1711-ig.* (1961) Akadémiai Kiadó, Budapest, 50.

# MIÉRT ÉRDEMES EGYRE PONTOSABBAN MEGMÉRNI FIZIKAI ADATOKAT, AVAGY A NEUTRON SÖTÉT TITKA

Patkós András  
ELTE Fizikai Intézet

A legezotikusabb elemi kölcsönhatás a 19. század végén jelentkezett először a radioaktív sugárzás *béta*-komponenseként, amelyről hamarosan kiderült, hogy egyes atommagokból kibocsátott elektronokból áll. Egészen az 1930-as évekig tartotta magát az a felfogás, hogy az atommagok izotópjait a protonokkal együtt létező bizonyos számú elektron alkotja. A vita azt követően érte el csúcspontját, amikor 1932-ben *Chadwick* kimutatta a neutron létezését, majd azt, hogy a szabad neutron nagyjából 15 perces élettartammal protont és elektront tartalmazó végállapotba bomlik el. Ez a megfigyelés látszólag azokat támogatta, akik a neutron proton és elektron instabil kötött állapotának gondolták. Ám a bomlás energiamérlege az energia megmaradásának sérülésével fenyegetett, amelyet *Pauli* egy harmadik bomlástermék létezésének javaslatával orvosolt, a kizárólag igen gyengén kölcsönható neutrínóval. A neutronbomlás megértésének vágya vezette *Fermi*t az általa *gyenge kölcsönhatásnak* keresztelt új erőhatás feltételezésére és a neutronbomlás első elméletének megalkotására. Az erőhatás erősségét meghatározó egyetlen paramétert, a Fermi-állandót a neutron élettartamának mérésével állapították meg.

A szabad neutron élettartama ma is a standardizált részecskefizikai elmélet egyik kísérleti oszlopa, bár az eredeti Fermi-elmélet számos lényeges kiegészítést kapott. Érthető, hogy több módszerrel is folyamatosan törekedtek pontosabb meghatározására, de a közelmúltig a mérsékelt érdeklődést kiváltó rutinszerű kutatások között tartották számon. Ám két független módszerrel történt meghatározásában a szisztematikus bizonytalanságok kiküszöbölésére az elmúlt két-három évtizedben tett erőfeszítések oda vezettek, hogy immár 4 standard eltérésnyi a távolság az élettartamok körülbelül 1%-ban eltérőnek mért értékei között. Ez azt jelenti, hogy a két módszerrel folytatott mérések eredményeinek egyezésére  $10^{-4}$ -nél kisebb az esély.

Erről az úgynevezett neutronrejtélyről szeretnék alább beszámolni. De miért is fontos a neutron élettartamának minél pontosabb ismerete?



*Patkós András* (1947) akadémikus az ELTE emeritus egyetemi tanára. Elméleti fizikus, aki a kvantumtérelméletek megoldási módszereit fejleszti, az erős és az elektromos anyag fázisátalakulásait, azok kozmológiai szerepét kutatja. Számos tankönyv (társ)-szerzője. Rendszeresen ír tudományos-népszerűsítő cikkeket is.

## A neutron-élettartam meghatározásának kozmológiai jelentősége

A szigorúan részecskefizikainak tűnő információ meghatározóan befolyásolja a könnyű elemek előfordulási gyakoriságát az Univerzumban. Ez azért alapvetően fontos adatsor, mert az ősrobbanás (az Univerzum korai forró állapota) egykori létezésére vonatkozó első tudományos érvet a feltételezett robbanást követő tágulással egyidejűleg az első 20 percben végbeménő magreakciókból kialakuló forró D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  keverék összetételének a megfigyelt értékekkel történt összevetése szolgáltatta. Ezen ismeretek jelentik mindmáig a Világegyetemről nyert, az ősrobbanás pillanatához legközelebbi információkat.

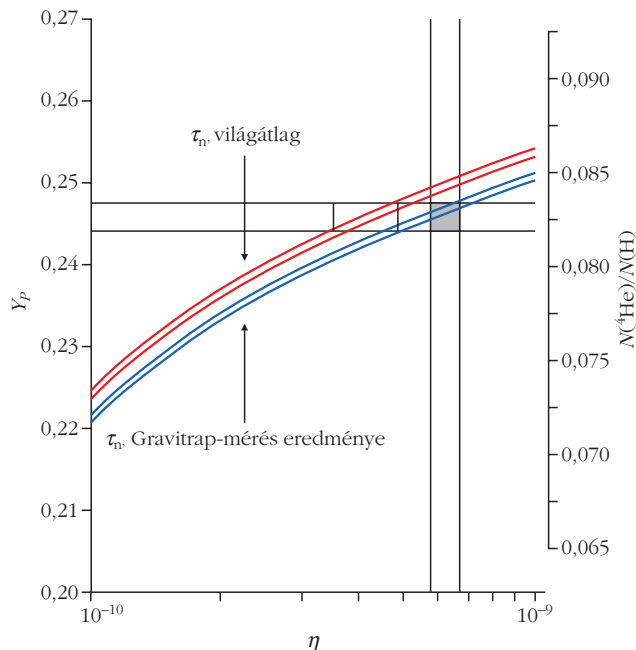
A megfigyeléseknek az ős-nukleosintézis jóslataival történő összevetését a csillagokban zajlott folyamatok módosító hatása nehezíti. A hidrogén után második leggyakoribb előfordulású  $^4\text{He}$  esete annyiban „könnyű”, hogy gyakorisága a csillagok fúziós folyamatai révén időben monoton nő. Megfigyelésének receptje ennek megfelelően olyan tartományokban végzett spektrálemzés, amelyben a  $^7\text{Li}$ -nél nagyobb atomszámú magok előfordulása a lehető legkisebb. Erre a mérésre a HII jelzésű, ionizált hidrogénfelhőkből álló kék galaxisok tűnnek a legalkalmasabbnak. A legfrissebb publikált mérés a „szennyező” nehezebb elemeket eltérő, de nagyon kis mértékben tartalmazó 16 tartomány elemzéséből származik. Az eredmények lehetővé teszik a zérus „szennyező-tartalomhoz” történő extrapolációt. A héliumba beépült nukleonok sűrűségét az  $n_b$  teljes barionsűrűséghez viszonyítva adják meg:

$$X_{4\text{He}} = \frac{4 n_{4\text{He}}}{n_b} = 0,2449 \pm 0,0040$$

(a csillagászok ezt a hányadost  $Y_p$ -vel szokták jelölni).

Az alfa-részecskében 2 neutron van, így a héliumban megőrzött neutronok gyakorisága ezen adat fele. Szabad állapotban a neutronok már rég elbomlottak, a többi könnyű elembe beépülve pedig mindössze  $10^{-5}$  nagyságrendű járulék adódik a neutron előfordulási gyakoriságához. Tehát  $X_{4\text{He}}$  primordiális előfordulása a neutron teljes kozmikus előfordulására hordoz információt.

A neutron és a proton állandósultan akkor jelent meg az Univerzum objektumai között, amikor a hőmérséklet 1 GeV (körülbelül  $10^{13}$  K) alá csökkent. A proton- és a neutronsűrűségek közötti termodinami-



1. ábra. Az alfa-részek primordiális előfordulási gyakorisága a fotonokhoz viszonyított barionsűrűség  $\eta$  függvényében A. P. Szerebrov számítása szerint. A vízszintes sáv a  ${}^4\text{He}$  akkor elfogadott megfigyelési értéke és hibája. A függőleges sáv  $\eta$  új mérésekkel összeférő tartományát mutatja.

kai egyensúly a gyenge kölcsönhatások révén egészen a kifagyási hőmérsékletig,  $T_F \approx 0,28$  MeV-ig (körülbelül  $3 \cdot 10^9$  K) fennmaradt. A kifagyáskor a neutron kissé nagyobb tömege ( $\Delta m = 1,29333205(51)$  MeV) miatt eltérő Boltzmann-tényezőik hányadosa szabta meg arányukat, ami

$$\frac{n}{p} = \exp\left(-\frac{\Delta m}{T_F}\right) \approx 1/6 \approx 0,17$$

volt. A primordiális magreakciók akkor indultak be, amikor a deuteriummag stabilná vált a hőfürdő fotonjainak hasító hatásával szemben ( $T \approx 0,078$  MeV). A magreakciókat leíró reakcióegyenletek hálózatának integrálása határozza meg a könnyű magokba beépült végső neutrongyakoriságot,  $X_n \approx 0,125$ .

Korunk a precíziós csillagászat időszaka, a csillagászok a közeljövőben (körülbelül másfél évtizeden belül) remélik elérni az elemek előfordulási gyakoriságainak ezrelék pontosságú megfigyelését.

Bár szokás a primordiális nukleoszintézis teljes végbemenését a  $T = 0,01$  MeV ( $10^8$  K) hőmérséklethez kötni, a  $10^{-3}$  pontosságú gyakorisági elméleti jóslathoz  $T \approx 6 \cdot 10^7$  K-ig kell követni a reakcióegyenletek megoldását. Az elméleti előrejelzések szisztematikus hibájának leszorítása számos részfolyamatnak is jóval pontosabb tárgyalását igényli. A legjelentősebb hibaforrást a szintézis kezdeti neutronkoncentrációját meghatározó  $\tau_n$  neutron-élettartam értékében 2005-öt követően felismert bizonytalanság jelenti. Ennek hatását jól érzékelteti az akkor közölt új mérési eredmények egyik vezető szerzőjének, A. P. Szerebrovnak 2007-es cikkéből származó ábra, amelyen jól látszik

az akkor új technikaként használt gravitációs csapdás élettartammérés eredményének hatása a  ${}^4\text{He}$  kozmikus gyakoriságának számított értékére, összevetve a neutron-élettartamra korábban elfogadott világtól számított előfordulási gyakorisággal.

Az 1. ábra azt a közismert tényt is ábrázolja, hogy a  ${}^4\text{He}$  gyakoriságát egyetlen fizikai adat befolyásolja, a fénylő anyag energiasűrűségének részaránya az Univerzum teljes anyagsűrűségében. Az ábrán látható függvénykapcsolatot megfordítva elmondható, hogy a  ${}^4\text{He}$  előfordulásának pontos megfigyelésével a fénylő anyag egészének előfordulási gyakoriságára végezhető mérés!

Az eltelt másfél évtizedben a neutron-élettartamra vonatkozó mérési eredmények – a két eltérő mérési módszer szerint – két nagy csoportra oszlottak. A továbbiakban a két mérési módszert ismertetem, majd a szignifikáns eltérés „magyarázatára” hivatott elméleti elképzelésekből adok ízelítőt.<sup>1</sup>

## Neutron-élettartam meghatározása lassú neutronárammal

A klasszikusnak nevezhető módszert használták már a szabad neutron béta-bomlásának első kvantitatív vizsgálatában is, 1950-ben *Snell, Pleasonton* és *McCord* az Oak Ridge Graphite Reactornál és tőlük függetlenül *Robson* a Chalk River reaktornál Kanadában. A kor technikáját használva mindkét mérés arra jutott, hogy a neutron élettartama 10 és 30 perc közé esik.

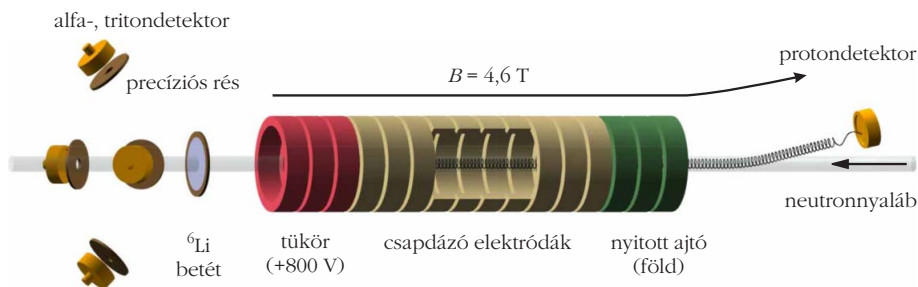
A mérési elv: lassú (termikushoz közeli sebességű) neutronnyaláb elnyelési rátáját mérik valamilyen abszorbens anyagon egyidejűleg a bomlást szenvedett neutronokból származó töltött részecskéket (elektron vagy proton) is detektálva. A kettőből származó eredményeket kombinálva Robson eredménye az élettartamra  $1110 \pm 220$  s volt.

Az első mérési eredmények pontosságán jelentős javítást értek el *Christensen* és munkatársai a Risø reaktornál Dániában, 1971-ben. Ők a bomlási elektronokat mágneses tér alkalmazásával a szcintillációs detektorlapokhoz „vezették”. Ezzel a bomlástermékek észlelését lényegében hibamentessé tették. A dán kutatók  $\tau_n$ -re  $918 \pm 14$  s eredményt közöltek.

A Sussexi Egyetem (UK), az ILL (Laue-Langevin Intézet, Grenoble, Franciaország) és a NIST (National Institute of Standards & Technology, USA) kutatóiból szervezett csoport négy évtizede tökéletesíti mérőberendezését (2. ábra). A bomlásból származó protonokat a neutronnyaláb körül elhelyezett henger-elektrodákkal létrehozott hosszanti feszültségcsapdában tartják a cső belső térfogatában, míg a tengelyvel párhuzamos mágneses térrel eléri, hogy a protonok radiálisan sem távolodnak el. A neutronnyalábból 10 ms hosszúságú időszakokban gyűjtik a

<sup>1</sup>Ajánlott irodalom a kísérletek részletei iránt érdeklődőknek: F. E. Whitfeldt: Measurements of the neutron lifetime. *Atoms* 6/4 (2018) 70. (MDPI)





2. ábra. A Sussex-ILL-NIST berendezés vázlatja. A jobbról érkező neutronáramot növekvő elektromos feszültségű gyűrűsoron vezetik keresztül, amelyek az átrepülés közbeni bomlásból származó protonokat csapdába ejtik. A protonokat a csapda kapujának időnkénti kinyitásával vezetik a detektorokhoz, az átrepülő neutronokat pedig magreakcióval detektálják.

bomlási protonokat, amelyeket a csapdát egyik végén körülbelül 8  $\mu$ s-nyi időre „kinyitva” (a feszültséget nullára csökkentve) számolnak meg a protondetektorokkal. Ezt a ciklust ismétlik az adatgyűjtés statisztikájának növeléséhez. A neutronokat a nyaláb haladási irányában elhelyezett lítiumtartalmú anyagban végbemenő  $n+{}^6\text{Li}$  magreakciókban keletkező  $\alpha$ -részecskékkal detektálták.

A módszer hibája a neutrondetektálásra használt Li-sűrűség és az  $n+{}^6\text{Li}$  reakció hatáskeresztmetszetének hiányos ismeretéből adódik. Mindez 2,5 s bizonytalanságot okoz az élettartam becslésében. Első méréseiket 2005-ben közzölték, majd 2013-ban újraértékeltek a mérési módszer megnövelt pontosságú hibaelemzése után. Eredményük:  $\tau_n = (887,7 \pm 1,2 [\text{stat.}] \pm 1,9 [\text{syst.}] \text{ s}$ . Az első hiba a statisztikus ingadozásokból ered, amelyet egyre több adat gyűjtésével lehet csökkenteni. A második hiba csökkentéséhez a mérőrendszerben zajló folyamatok még pontosabb megismerésére van szükség. Fejlesztési folyamatban lévő mérésükkel 1 s-ra kívánják lecsökkenteni a szisztematikus hibát.

Egyidejűleg folyik egy újabb berendezés fejlesztése is, amelyben erősebb mágnes, nagyobb neutronfluxust befogadni képes csapda és abban homogénabb protoneloszlás elérésével az élettartam meghatározásának bizonytalanságát 0,1 s-ra tervezik csökkenteni.

Legújabb független fejleményként megemlítem, hogy a japán J-PARC gyorsítónál 2016-ban indítottak el egy kísérletet, amelynek szintén a 0,1 s bizonytalanság elérése a végső célja. 2018-ban előzetes eredményt közöltek:  $896 \pm 16 \text{ s}$ .

## Neutron-élettartam mérése ultrahideg neutronokkal

Ultrahidegnek azokat a neutronokat nevezik, amelyek mozgási energiája kisebb 100 nano-eV-nál (hőmérsékletük kisebb 1 mK-nél, de Broglie-hullámhosszuk nagyobb 100 nm-nél). Érdekes véletlen, hogy az ilyen energiájú neutronokat hosszú időre csapdázták alkalmas anyagból készült „dobozokban”. Például az alacsonyenergiás neutron koherens szóródásából származó kölcsönhatási energia sokféle anyagon 100-300 neV, ami a neutron – ilyen anyagból készült do-

boz falain történő – teljes visszaverődésére vezet. Mágneses momentumának kölcsönhatási energiája erős inhomogén mágneses terekkel körülbelül 60 neV/tesla, így mágneses csapdáza is lehetséges. Végül nehézségi potenciális energiája a Föld gravitációs terében körülbelül 100 neV, ami jól kihasználható a neutronok függőleges csapdázására. Mindezen jelenségek felismerése alapján az

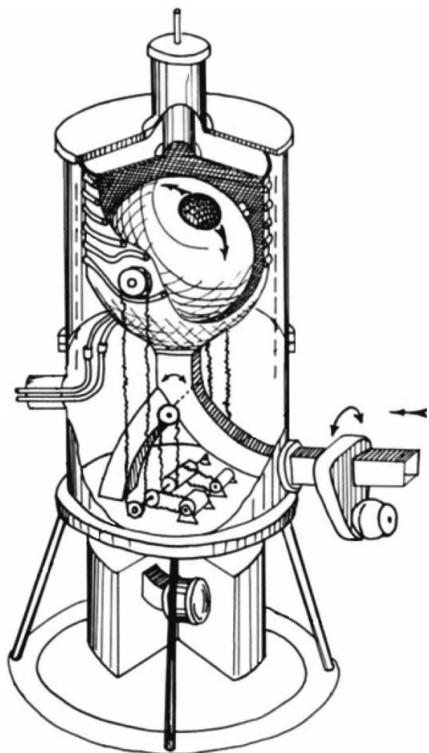
1970-es évek elején kezdték el az ultrahideg neutronok számának – bomlás miatt bekövetkező – időbeli csökkenésére alapozott élettartam-mérési kísérleteket.

A mérés elve és az élettartam kiszámítására használt képlet nagyon egyszerű. Exponenciális bomlástörvényt feltételezve két egymást követő időszakokban megméri a dobozban lévő neutronok számát és a csökkenés üteméből számítják ki a neutron élettartamát. Tehát ez esetben nem szükséges a bomlástermékek észlelése. És éppen ez a lényeges különbség!

A gyakorlati kivitelezés során először, az anyagfelületről való teljes visszaverődés jelenségére alapozva, speciális anyagból készült dobozt használtak csapdaként. Az ennek falán lévő szennyezések azonban abszorpciós veszteségre vezetnek. Továbbá, a falról visszapattnó neutronok – a fal magasabb hőmérséklete miatt – extra mozgási energiára tehetnek szert, ami meghaladhatja a fal állította potenciálgát magasságát és az ilyen neutron kiszökik a dobozból. Végül a hullámként viselkedő neutron bizonyos mélységig behatol a doboz falába és ott el is nyelődhet. Így a mért élettartam a valódi bomlási jelenség mellett további eltűnési járulékokat is kap.

Ezen hibaforrások kiküszöbölésére egy, elsőként Szentpétervárott megvalósított gravitációs csapdás berendezést telepítettek át, majd fejlesztették tovább Grenoble-ban (3. ábra). Neutronokkal történt feltöltése után kissé oldalt fordították a berillium-borítású, 15 K-re lehűtött gömb alakú edényt, hogy a tetején lévő nyíláson keresztül a nagyobb energiájú neutronok eltávozhassanak. A visszamaradt neutronok mozgási energiája kevés volt a gravitációs potenciálgát átugrásához. 2005-ben a korábbi kísérleteknél lényegesen kisebb hibájú, ám a lassú neutronárammal történő mérés eredményétől lényegesen (körülbelül 9 másodperccel) eltérő eredményt publikáltak:  $(878,5 \pm 0,7 [\text{stat.}] \pm 0,3 [\text{syst.}] \text{ s}$ . Ez az eltérés lett a neutron-élettartam-rejtély kezdőpontja.

A legutóbbi mérést, amelynek eredményét 2018-ban publikálták, teljes mértékben Grenoble-ban végezték egy új, a korábbinál ötször nagyobb térfogatú, tetején nyitott félgömbben gravitációsan csapdázott neutronokkal. Az eredmény 3 másodperccel megnőtt,  $\tau_n = (881,5 \pm 0,7 [\text{stat.}] \pm 0,6 [\text{syst.}] \text{ s}$ , de még mindig fennáll a közel négyszeres standard eltérés a két módszerrel nyert élettartamok között.



3. ábra. A neutronok gravitációs csapdájának eredeti orosz építésű példánya. Könnyen felismerhető a neutronokat tároló, kissé oldalt fordítható gömb alakú edény nyílással a tetején. A neutronok a nyíl irányából érkeznek és vezetősővön keresztül töltik fel a gömböt. A többi alkatrész a gömb környezettől való szigetelését és az ultrahideg tulajdonság fenntartását szolgálja.

Az ideálisan falmentes kísérlethez polarizált neutrongázt kell használni, amelyet inhomogén mágneses tér alkalmazásával mágneses „palackba” zárnak. Ezt a technikát a legtokéletesebben megvalósító eszköz jelenleg Los Alamosban üzemel (4. ábra). A berendezés falán elhelyezett mágneskonfigurációval hozzák létre a neutronok mágneses momentumával kölcsönható inhomogén bezáró mágneses teret. A „rossz” spinállású és a túl nagy mozgási energiájú neutronok elszöknek a térfogathoz, így hosszabb pihentetés után állandósul a felülről nyitott félgömbben elhelyezkedő neutronok száma. Ezek depolarizációját 6,8 T erősségű homogén térrel akadályozták meg.

<sup>2</sup>Ajánlott áttekintés az aktuális elméleti és kísérleti helyzetről: B. Fornal, B. Grinstein: *Neutron's Dark Secret*. arXiv:2007.13931 (2020. július 27.).

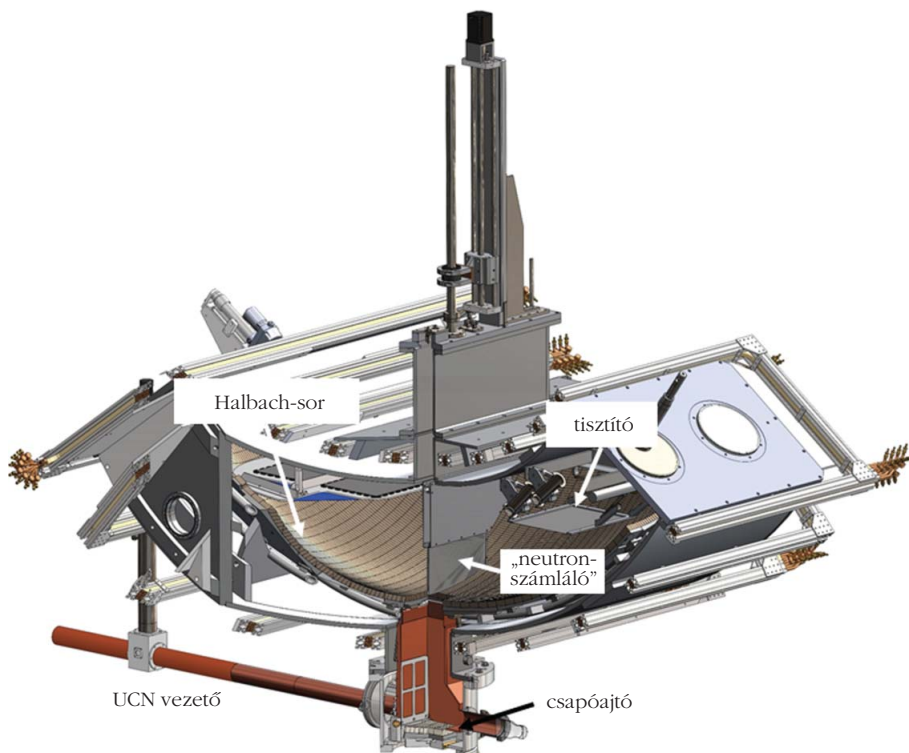
A tárolási idő végén a neutronok számát egy beeresztett, bórbevonatú falban bekövetkező reakcióban keletkező  $\alpha$ -részecskék okozta lumineszcencia segítségével számlálták meg. A technikai újítások révén csak 0,24 s becsült szisztematikus hiba maradt vissza, amelynek oka az edény falainak termikus rezgéséből származó neutronfűtés.

A kétféle módon megmért, és legfeljebb 10 s szisztematikus hibájú eredmények a pontosság előrehaladásával egyértelműen elváltak egymástól. A lassúneutronáramos mérések világátlaga  $\tau_n = 888,1 \pm 2,0$  s, míg a csapdázott ultrahideg neutronosoké  $\tau_n = 879,37 \pm 0,58$  s. Az eltérés okát a kísérleti fizikusok eddig még meg nem értett szisztematikus effektusokban remélik megtalálni.

## Új fizikát feltételező elméleti fizikai értelmezési kísérlet és ellenőrzése<sup>2</sup>

Az elméleti fizikusok oldaláról az elmúlt másfél évtizedben számos magyarázó javaslat született új fizika feltételezésével. A legnagyobb visszhangot *Fornal* és *Grinstein* 2018-ban tett javaslata kapta. Ők feltételezték, hogy a neutron bomlásakor a gyenge kölcsönhatási reakció mellett egzotikus részecskébe is történhet bomlás. Így pusztán a proton észlelésére korlátozódva látszólag ritkábban (hosszabb élettartammal) bomlik a neutron. A neutron más bomlási csatornáját is feltételezve, a mért élettartamok eltéréseiből az ismeretlen bomlási módusra 1%-os relatív gyakoriság adódik.

4. ábra. A Los Alamos-i gravitációs neutroncsapda. A jól felismerhető félgömb alakú tányér oldalát befedő mágnessorral (Halbach-sor) állítják elő a tányér falától távoltartó inhomogén mágneses teret. A leereszthető gát („neutronszámláló”) falában bekövetkező magreakcióval számlálják meg a meghatározott benntartózkodási idő után megmaradt neutronokat. A feltöltés az alul látható vezetősővön keresztül történik.



Kísérletileg legkönnyebben az a feltevés ellenőrizhető, amely egy semleges sötétanyag-részecskét kísérő gamma-sugárzást tételez fel. A sötétanyag-részecske tömege nagyobb kell legyen a proton és az elektron tömegkülönbségénél, hogy ez a „magyarázat” ne kerüljön ellentmondásba a protonstabilitásra vonatkozó igen pontos eredményekkel.

Ha ez a folyamat létezik, akkor a neutron egzotikus bomlása révén atommagokban is bekövetkezhet hasonló átalakulás eggyel alacsonyabb atomszámú, ám változatlan rendszámú magba (hiszen ebben a folyamatban a nukleonok száma állandó protonszám mellett eggyel csökken). E lehetőség kizárásának követelményéből, az alkalmas izotópok tömegtáblázatát átvizsgálva, a  ${}^9\text{Be} \rightarrow {}^8\text{Be}$  átmenet hiányából az egzotikus bomlásban keletkező sötét részecske tömegére 937,900 MeV nagyságú alsó korlátot vontak le.

A feles spinű  $\chi$  sötétanyag-részecskét vagy egy  $\gamma$ -foton vagy egy  $\phi$  sötét bozon kísérheti. Végül a következő reakciók elemzését végezték el:

$$n \rightarrow \chi + \gamma, \quad n \rightarrow \chi + \phi, \quad n \rightarrow \chi + e^+ + e^-.$$

A kísérő foton energiájára a nehéz  $\chi$  fermionra vonatkozó tömegkorlát és az energiamegmaradás alapján:

$$0,782 \text{ MeV} < E_\gamma < 1,664 \text{ MeV}$$

megengedett tartomány adódik. Az elektron-pozitron végállapotú pár virtuális foton révén jöhet létre, így a fenti korlátok lefordíthatók a pár teljes energiájára is. Természetesen ez a bomlás, ha létezik, a csapdázott neutronokra is fellép. Ezt felismerve az elméleti felvételt követő egy hónapon belül germániumdetektort is hozzáépítettek a Los Alamos-i kísérlet berendezése köré. Ám a várt jel nem jelentkezett.

A tisztán sötét részecske-párba történő bomlás lehetősége persze még megmaradt. Számos további elméleti magyarázó próbálkozást közöltek, de egyelőre egyikre sincs bizonyíték.

A két mérési eljárás közötti szisztematikus eltérés technikai vagy fizikai okának megtalálása mind az alapvető kölcsönhatások fizikája, mind a kozmológia számára izgalmas kihívás, alapvető ismeretet rejt a gyenge kölcsönhatás természetét illetően, és tisztázása nyilván nem igényel dollármilliárdokat!

# PORÓZUS ARANY NANORÉSZECSKÉK OPTIKAI TULAJDONSÁGAINAK KEVERT FÉM-OXIDRÉTEGEKKEL TÖRTÉNŐ HANGOLÁSA

Juhász Laura,<sup>1</sup> Parditka Bence,<sup>1</sup> Petrik Péter,<sup>2</sup> Erdélyi Zoltán,<sup>1</sup> Cserháti Csaba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szilárdtest Fizikai Tanszék

<sup>2</sup>Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Budapest

A porózus arany nanorészecskék – kedvező felszín/térfogat arányuknak, valamint kiváló plazmonikai tulajdonságaiknak köszönhetően – igen népszerűek. Munkánk során ilyen nanorészecskéket állítottunk elő, majd vontunk be különböző, vékony fém-oxidrétegekkel és vizsgáltuk a részecskék termikus stabilitását, illetve optikai tulajdonságait. A nanorészecskék

bevonatát képező rétegben az alumínium-oxid és titán-dioxid arányának változtatásával sikeresen tudtuk hangolni a nanorészecskék optikai tulajdonságait.



A porózus anyagok rendkívül érdekesnek számítanak a tudomány, különösen a nanotechnológia területén, hiszen a nanoméretben előállított porózus struktúrák a tömbi anyagokhoz képest jelentősen eltérő fizikai és kémiai tulajdonsággal rendelkezhetnek.

Készült a 30. Magyar Fizikus Vándorgyűlésen (Sopron, 2019. augusztus 21–24.) bemutatott poszter alapján.



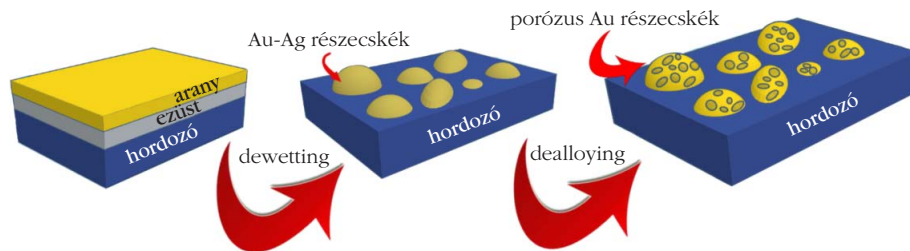
*Juhász Laura* okleveles fizikus, 2016-tól a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizikai Tanszékének PhD-hallgatója. Doktori témája atommozzgási folyamatok vizsgálata 2D és 3D fém-oxidrendszerekben, jelenleg porózus arany nanorészecskék termikus stabilitását és optikai tulajdonságait vizsgálja.



*Parditka Bence István* a Debreceni Egyetemen és a marseille-i Aix-Marseille Egyetemen szerzett doktori diplomát fizika és anyagtudomány területen. Kutatási területe korábbiakban különböző, fizikai rétegleválasztással, vékonyrétegekben készült szilicidfázisok kialakulása és növekedésük kezdeti fázisainak vizsgálata volt. Jelenleg – többek között – kémiai rétegleválasztással előállított oxidrétegek antibakteriális és fotokatalitikus tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozik.

A nanorészecske definíció szerint olyan mikroszkopikus objektum, amelynek legalább egy karakterisztikus dimenziója 100 nanométernél kisebb. A tömör fém nanorészecskék optikai viselkedésük miatt, amelyek közül kiemelkedik azon tulajdonságuk, hogy a megvilágító fény hatá-

sára a plazmonrezonancia – azaz a vezetési sávban lévő elektronok kollektív oszcillációjának – jelenségét mutatják különleges szerepet töltenek be számos alkalmazás tekintetében [1, 2]. Ez a rezonancia ráadásul térben lokalizáltan jelenik meg, hiszen a vezetési sávban lévő szabad elektronok fizikailag a nanorészecskébe vannak „zárva”. A részecskék alakja és mérete, valamint lokális környezete meghatározza a plazmonrezonancia hullámhosszát, ami tömör részecskék esetében a látható fény hullámhossztartományában jelentős. A tömör fém nanorészecskék mellett egyre nagyobb figyelmet kapnak porózus párjaik, amelyeknek nem csak felszín/térfogat arányuk nagyobb, hanem a porozitás hatására optikai tulajdonságaik is megváltoznak, ami azt jelenti, hogy a tömör nanorészecskék láthatófény-tartományban jellemző plazmonrezonancia-csúcsa a pórusok hatására a közeli infravörös tartomány felé tolódik. A porózus arany nanorészecskék



1. ábra. Porózus arany nanorészecskék előállításának sematikus rajza.

(Porous Gold Nanoparticles = PGN) ennek köszönhetően szintén kiváló jelöltek orvosbiológiai, szenzorikai, szemészeti, valamint rákterápiás alkalmazások számára is [3–6].

Porózus arany nanorészecskéket kontrollált részecske-, illetve pórusmérettel az úgynevezett „dewetting – dealloying” módszer segítségével állíthatunk elő [7, 8]. Ennek során arany-ezüst biréteget hőkezelünk magas, 850 °C hőmérsékleten. A hőkezelés hatására a hordozó felületén arany-ezüst ötvözet nanorészecskéket kapunk (dewetting), amelyből az ezüst szelektív kémiai oldásával ( $\text{HNO}_3$ ) és aranyatomok új, háromdimenziós szerkezetté történő átrendeződésével porózus arany nanorészecskék alakulnak ki (dealloying). Az 1. ábra sematikus szemlélteti a porózus arany nanorészecskék előállításának folyamatát.

Korábbi megfigyelések is igazolják, hogy ezen nagy felület/térfogat aránnyal rendelkező nanorészecskék szerkezete termikusan instabil, alacsony hőmérsékleten történő hőkezelés hatására struktúrájuk a felületi diffúzió miatt változhat, vagy akár teljesen el is tűnhet [4]. Ismert, hogy a pórusos nanorészecskéket vékony (~5 nm) fém-oxidréteggel ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) bevonva, a szerkezet a hőkezelés után is megőrizhető [8, 9]. Azt is megmutatták, hogy ez a mindössze 5 nm vastag fém-oxidréteg magas hőmérsékletig képes megőrizni nem csak a morfológiai, hanem az optikai tulajdonságokat is [7, 8]. Saját kísérleteinkben bizonyítottuk, hogy a különböző fém-oxidrétegek – eltérő törésmutatóik miatt – más-más módon befolyásolják az optikai tulajdonságokat [9]. A terület irodalma szerint az optikai tulajdonságok leginkább a részecskék méretének változtatásával módosíthatók [3]. Célunk az volt, hogy a részecskék méretét nem változtatva, csupán a bevonó réteg  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , illetve  $\text{TiO}_2$  arányának (azaz a bevonó réteg törésmutatójának) módosításával, kontrolláltan tudjuk változtatni a minta optikai elnyelési spektrumát.

## Kísérleti összefoglaló

A részecskéket termikusan növesztett oxidréteggel el látott  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  szilíciumhordozóra, illetve zafírra gyártottuk. A zafírhordozót az optikai vizsgálatokhoz használtuk. Első lépésben 6 nm Au/16 nm Ag biréteget állítottunk elő magnetronos porlasztással. A biréteget 30 percig 850 °C-on dinamikus atmoszférán (95% Ar – 5%  $\text{H}_2$ ) hőkezeljük. Ezt az eljárást nevezzük dewet-



*Petrik Péter* az Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete Fotonika Laboratóriumának vezetője. Diplomája (BME, 1994), PhD-értekezése (BME, 2000) és MTA doktora (2015) is optikai vizsgálati módszerek fejlesztéséhez alkalmazásához kötődik. Vendégkutatóként közel öt évet töltött Németországban, az USA-ban és Hollandiában. Vékonyrétegek és szilárd-folyadék határfelületek folyamatkövető vizsgálati módszereinek fejlesztésével foglalkozik.



*Erdélyi Zoltán* az MTA doktora, a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizikai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára. PhD-fokozatot anyagtudományból Franciaországban, fizikából a Debreceni Egyetemen szerzett. Több európai és egy japán egyetemen volt vendégprofesszor, vendégkutató. Főbb kutatási területe az atommozgási folyamatokkal összefüggő jelenségek kísérleti és elméleti vizsgálata. Munkásságát Selényi Pál-díjjal ismerték el.



*Cserbáti Csaba* egyetemi docens, okleveles fizikus, 1989-től a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizikai Intézetének munkatársa. Több külföldi egyetemen volt vendégkutató. Kutatási tevékenysége a szilárdtestekben különböző méretskálán lejátszódó diffúziós, valamint szilárdtest-reakciós jelenségek, elsősorban kísérleti vizsgálata. Az ELFT Anyagtudományi szakszempontjának elnöke.

1. táblázat

## A különböző bevonó rétegek összetétele

réteg neve	réteg összetétele
1. típusú réteg	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2. típusú réteg	65% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 35% TiO <sub>2</sub>
3. típusú réteg	35% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 65% TiO <sub>2</sub>
4. típusú réteg	TiO <sub>2</sub>

tingnek. A hőkezelés eredményeként ~300 nm átmérőjű Au-Ag félgömb alakú ötvözetrészcsek formálódnak a hordozó felszínén. Ezután a mintákat 65 wt. % salétromsavba merítettük. A maratás az ezüstöt szelektíven oldja az ötvözetrészcsekből, illetve az arany atomok új, háromdimenziós szerkezetté alakulását okozza („dealloying”), így alakítva ki a porózus arany nanorészecskéket. A részecskék bevonását plazmasegített atomi rétegleválasztási módszerrel végeztük. Ezzel az eljárással alacsony hőmérsékleten lehet háromdimenziós szerkezeteket vékony, folytonos fém-oxidréteggel bevonni. Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-, TiCl<sub>4</sub>- és oxigénplazma segítségével állítottunk elő négy, különböző bevonó réteggel ellátott PGN-t. A bevonó rétegek pontos összetétele az 1. táblázatban olvasható.

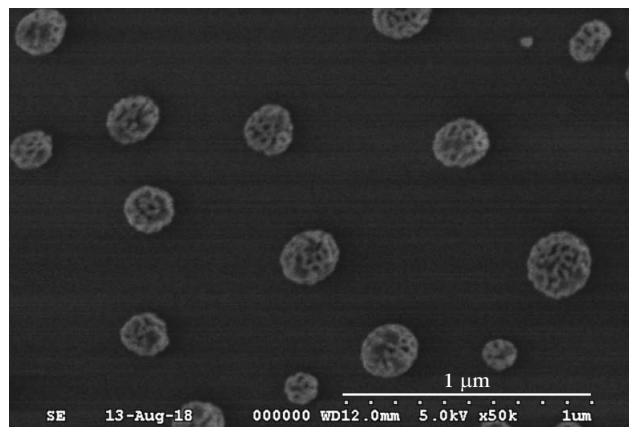
A mintákat 350 °C és 700 °C közötti hőmérsékleteken 1 órán keresztül levegőn hőkezeltük, majd a morfológiai változásokat pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Az optikai tulajdonságok vizsgálatát spektrofotométerrel végeztük 300–2000 nm hullámhossztartományban. A bevonó rétegek törésmutatójának meghatározása ellipszométerrel történt.

## Eredmények

### Morfológia

A 350 °C hőkezelés nem okoz változást a morfológiában a 2. típusú kevert fém-oxiddal bevont részecskék esetében, ezt az állapotot szemlélteti a 2. ábra. Magasabb hőmérsékleten (700 °C) történő hőkezelés esetében a PGN szerkezete továbbra is stabil, viszont az

2. ábra. Az 2. típusú kevert réteggel bevont részecskék elektronmikroszkópos képe 1 órányi, 350 °C-os hőkezelés után.



arany diffúziója megkezdődik, amelyet sötét és világos részek mutatnak a részecskék felszínén. Energiaszperzív röntgenspektrometria segítségével megmutattuk, hogy a sötét részek nem, a világos tartományok viszont tartalmaznak aranyat.

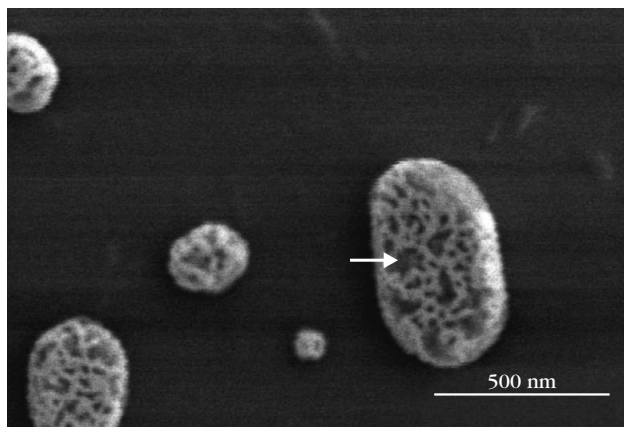
A korábbi eredmények szerint az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 900 °C hőmérsékletig képes megőrizni a PGN szerkezetét [4, 7–9], emiatt a magasabb Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-tartalmú 2. típusú mintát 900 °C-ig hőkezeltük. A mérések szerint a bevonó réteg még ezen a hőmérsékleten is stabilitást adott a részecskéknek. A 3. típusú kevert fém-oxidréteggel bevont PGN esetében a sötét és világos területek már alacsonyabb, ~450 °C hőmérsékleten történő hőkezelés hatására is megjelentek, amely a 3. ábrán is jól látható. Az ilyen típusú réteggel bevont részecskék viszont 700 °C felett – köszönhetően a réteg magasabb TiO<sub>2</sub>-tartalmának – már nem képesek megőrizni a részecskék stabilitását.

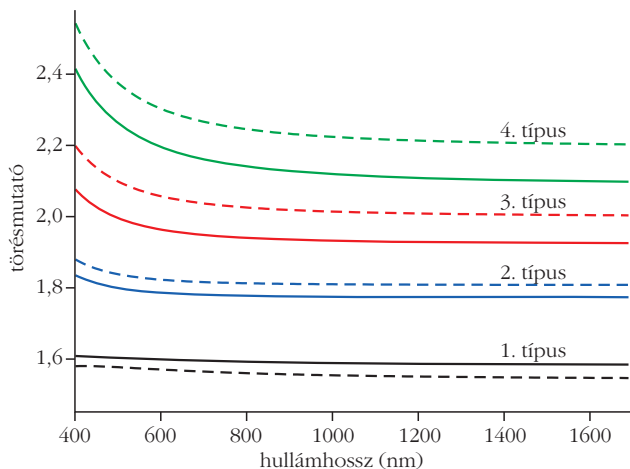
### Optikai tulajdonságok

Az optikai vizsgálatok során extinkciós spektrumokat mértünk 300–2000 nm hullámhossztartományban. A spektrumban 2 plazmoncsúcs volt megfigyelhető [7]. A közeliinfravörös-tartományban található plazmoncsúcsot (~1200–1400 nm) dipól plazmoncsúcsnak nevezzük. A részecskék optikai tulajdonságai rendkívül érzékenyek az azokat fedő anyagra. Korábbi munkánk során megmutattuk, hogy az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-dal történő bevonás esetében ~100 nm nagyságú eltolódás figyelhető meg a hosszabb hullámhossztartomány felé a dipólcsúcs pozíciójában, míg a TiO<sub>2</sub> esetében ez az érték közel négyszer nagyobb (~400 nm) [9].

A 4. ábrán a különböző bevonó rétegek, illetve a hőkezelt rétegek törésmutatója látszik. A törésmutatók változásában is jól látható, hogy a kezdetben amorf TiO<sub>2</sub>-réteg (4. ábra legfelső folytonos vonala) a 650 °C hőkezelés után anatóz fázissá alakul, törésmutatója jelentősen megnő (4. ábra legfelső szaggatott vonala). A TiO<sub>2</sub> anatóz fázissá alakulását transzmissziós elektronmikroszkóppal végzett elektron diffrakciós vizsgálataink is igazolták. Az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a hőkezelések

3. ábra. Az 3. típusú kevert réteggel bevont részecskék elektronmikroszkópos képe 1 óra hosszú, 450 °C-on történt hőkezelés után. A nyíl azt a sötét területet mutatja, ahol már nem található arany.



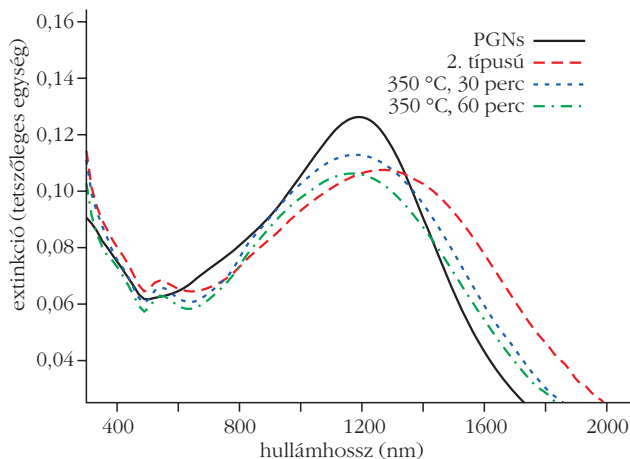


4. ábra. Hőkezeletlen (folytonos) és 650 °C-on, 1 órán át levegőn hőkezelt (szaggatott) bevonó rétegek törésmutatója a hullámhossz függvényében.

után is amorf marad az általunk vizsgált hőmérséklet-tartományban, emiatt törésmutatója sem változik a teljes hullámhossztartományon. Az 2. és 3. típusú rétegek törésmutatójának értékét az határozza meg, hogy milyen arányban tartalmazza a két fém-oxidot. A 650 °C-os hőkezelés hatására a kevert fém-oxidrétegek törésmutatója enyhén növekszik a teljes hullámhossztartományon.

Az 5. ábrán a 2. típusú kevert fém-oxidréteggel bevont nanorészecskék elnyelési spektrumai láthatók. Az ábra folytonos vonala mutatja a részecskék extinkciós spektrumát a bevonás előtt, míg a szaggatott a bevonás után. Ezen vonalakat összehasonlítva láthatjuk, hogy az 2. típusú kevert fém-oxidréteg enyhe eltolódást okoz az infravörös-tartomány felé a dipól plazmoncsúcs pozíciójában. Az aprón szaggatott, illetve pontozva szaggatott vonalak a spektrumokat 30, illetve 60 perces hőkezelések után mutatják. Látható, hogy a hőkezelések hatása a maximumok enyhe eltolódása a rövidebb hullámhosszak felé. Korábbi eredményeink alapján tudjuk, hogy a TiO<sub>2</sub>-dal bevont részecskék spektrumában már alacsony hőmérsékleten történő hőkezelés esetén is enyhe eltolódás figyelhető meg a kék szín irányába [9].

5. ábra. Az 2. típusú kevert réteggel bevont porózus arany nanorészecskék extinkciós spektrumai 350 °C-os hőkezelés után.



Megfigyeléseink alapján ez a rövidebb hullámhossztartomány felé történő eltolódás már a 2. típusú kevert oxidréteggel bevont részecskék 350 °C hőmérsékleten történő hőkezelése esetében is látható. Ebben az esetben magas hőmérsékleten történő hőkezelések után is megőrződnek – a morfológiai tulajdonságok mellett – az optikai tulajdonságok, köszönhetően a bevonó réteg magas Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-tartalmának. A 900 °C-on 30 percig történő hőkezelés hatására az eltolódás sokkal jelentősebb (~300 nm), ami újabb 30 perces hőkezelés hatására már nem változik jelentősen.

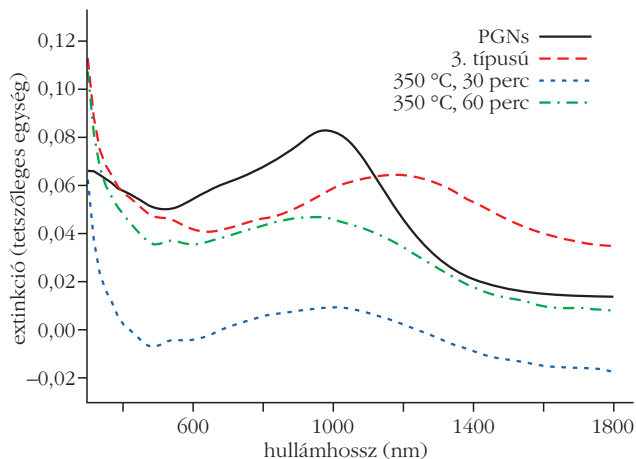
A 6. ábrán láthatók a 3. típusú kevert réteggel bevont részecskék extinkciós spektrumai a 350 °C-os hőkezelés után. A bevonás hatására a dipólcsúcs kezdeti eltolódása a hosszabb hullámhossztartomány felé nagyobb (~200 nm), mint a 2. típusúak esetében (köszönhetően a réteg magasabb TiO<sub>2</sub>-tartalmának), ami a 6. ábra folytonos, illetve szaggatott vonalát összehasonlítva jól látható. A 3. típusú réteggel bevont részecskék esetében a hőkezelések eredménye is jelentősebb (~150 nm) eltolódás a rövidebb hullámhossztartomány felé (6. ábra aprón szaggatott, illetve pontozva szaggatott vonala). A hőkezelési hőmérséklet növelésével az eltolódás itt is egyre jelentősebbé válik.

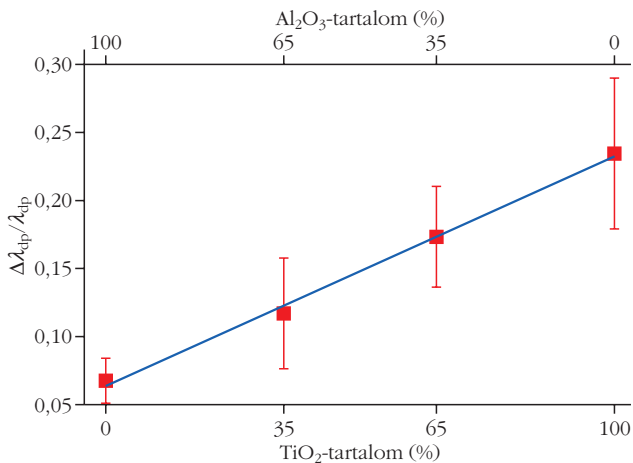
A 7. ábra különböző arányú bevonó rétegek esetében mutatja a dipól plazmoncsúcs pozíciójának relatív eltolódását. Jól látható, hogy minél nagyobb a bevonó réteg TiO<sub>2</sub>-tartalma, annál jelentősebb relatív eltolódást figyelhetünk meg a dipól plazmoncsúcs pozíciójában.

## Összefoglalás

Munkánk során Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> és TiO<sub>2</sub> keverékével vontunk be porózus arany nanorészecskéket plazmasegített atomi rétegleválasztási eljárással. Két különböző összetételű, kevert fém-oxidréteggel bevont arany nanorészecskéket vizsgáltunk és megmutattuk, hogy a bevonó réteg Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> és TiO<sub>2</sub> arányának változtatásával, azaz a bevonó réteg törésmutatójának kontrollált módosításával, a részecskék plazmonikai tulajdonságai hangolhatóvá válnak anélkül,

6. ábra. A 3. típusú kevert réteggel bevont porózus arany nanorészecskék extinkciós spektrumai 350 °C-os hőkezelés után.





7. ábra. A dipól plazmonsúcs pozíciójának relatív eltolódása a bevonó rétegek TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tartalmának függvényében.

hogy a részecskeméretet változtatnánk. Mindemlélt a keverék fém-oxiddal bevont porózus arany nanorészecskék termikus stabilitását is vizsgáltuk. Azt találtuk, hogy a TiO<sub>2</sub> fázisátalakulási hőmérsékletéig a részecskék termikusan stabilak maradnak, szerkezetük, valamint optikai tulajdonságaik magas hőmérsékletű hőkezelés után is megőrződnek.

## VÉLEMÉNYEK

# A FIZIKATANÍTÁS AKTUÁLIS PROBLÉMÁIRÓL

Almási János

Budapesti Egyetemi Katolikus Gimnázium

A fizikatanítás során az elmúlt években iskolánkban kommunikációs problémákat, a motiváltság hiányát, a fizika tantárgy kedveltségének csökkenését, az érettségizők számának csökkenését, a koncentráció és figyelem hiányát, általános iskolából hozott hiányosságokat, a természettudományi tantárgyak összehangolásának hiányát tapasztaltuk. Ezen problémák okát próbálja feltárni, az okokra magyarázatot találni és egyfajta választ és megoldást nyújtani a következő gondolatsor.



Almási János a Budapesti Egyetemi Katolikus Gimnázium matematika-fizika-kémia szakos tanára, innovátor mesterpedagógus, az ELFT tagja. Közel 30 éve tanít fizikát általános iskolában, gimnáziumban, esti gimnáziumban. 2001-ben az Öveges József Fizikaverseny országos döntőjén elért I. helyezés okán az ELFT Öveges-érmével díjazta őt és Nagy Róbert tanítványát.

## Irodalom

1. M. A. Garcia: Surface plasmons in metallic nanoparticles: fundamentals and applications. *Journal of Physics D Applied Physics* 44 (2011) 283001.
2. C. L. Nehl, J. H. Hafner: Shape-dependent plasmon resonances of gold nanoparticles. *J. Mater. Chem.* 18 (2008) 2415–2419.
3. A. M. Hodge, J. R. Hayes, J. A. Carol, J. Biener, A. V. Hamza: Characterization and mechanical behavior of nanoporous gold. *Adv. Eng. Mater.* 8 (2006) 853–857.
4. A. Kosinova, D. Wang, P. Schaaf, O. Kovalenko, L. Klinger, E. Rabkin: Fabrication of hollow gold nanoparticles by dewetting, dealloying and coarsening. *Acta Materialia* 102 (2016) 108–115.
5. Y. Sun, B. Mayers, Y. Xia: Template-Engaged Replacement Reaction. A One-Step Approach to the Large-Scale Synthesis of Metal Nanostructures with Hollow Interiors. *Nano Lett.* 2 (2002) 481–485.
6. Y. Sun, B. Mayers, Y. Xia: Metal nanostructures with hollow interiors. *Adv. Mater.* 25 (2003) 641–646.
7. A. Kosinova, D. Wang, E. Baradács, B. Parditka, T. Kups, L. Klinger, Z. Erdélyi, P. Schaaf, E. Rabkin: Tuning the nanoscale morphology and optical properties of porous gold nanoparticles by surface passivation and annealing. *Acta Materialia* 127 (2017) 108–116.
8. W. Rao, D. Wang, T. Kups, E. Baradács, B. Parditka, Z. Erdélyi, P. Schaaf: Nanoporous Gold Nanoparticles and Au/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hybrid Nanoparticles with Large Tunability of Plasmonic Properties. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9/7 (2017) 6273–6281.
9. L. Juhász, B. Parditka, S. S. Shenouda, M. Kadoi, K. Fukunaga, Z. Erdélyi, Cs. Cserhádi: Morphological and in situ local refractive index change induced tuning of the optical properties of titania coated porous gold nanoparticles. *Journal of Applied Physics* 128 (2020) 054303.

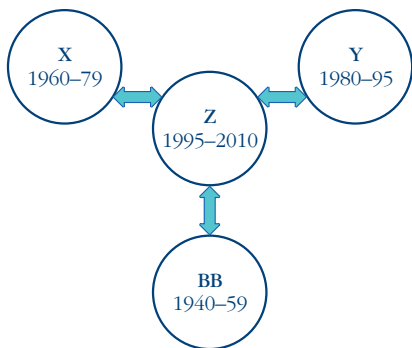
## A generációs problémák oka

A kommunikációs problémák nagy részét – szerintünk – a generációk közti különbség okozza. Ha ennek körülményeit jobban megismerjük-megértjük, áthidalhatóvá válik a szakadék és a kommunikáció javulni fog.

A *Baby Boomers generáció*: akik 1940–59 között születtek, a mai vezető réteg legnagyobb részét adják. Életüket jelentősen meghatározta a szocializmus, a teljesítményelv, a szabályok és a munka tisztelete.

Az *X generáció*: a mai 40–60 évesek – 1960 és 1979 között születtek – generációját jelenti. Számítógépet használnak, de többségük ragaszkodik a kézíráshoz, illetve e-mail helyett inkább telefonál. Képesek a megújulásra és alkalmazkodásra, megfelelő társadalmi pozíciót, jövedelmet és státuszt szeretnének elérni.

Az *Y generáció*: akik 1980 és 1995 között születtek. A csoportra jellemző a „technológiaörület”. Nem ter-



A generációk interakciója.

veznek hosszú távra. Kötődnek barátaikhoz és elfogadják a kulturális különbségeket, könnyen magukévá teszik a változást. Számukra a siker, a karrier, a pénz a legfontosabb; a munkahely csak egy a sok közül, amit bármikor meg lehet változtatni.

A *Z generáció*: (más néven millenaristák, Facebook-generáció, digitális bennszülöttek, „zappers”, azaz kapcsolgatók, C generáció, ami az angol connection szó után kapta a nevét) ők az ezredforduló táján, de 2010 előtt születtek, mai diákjaink. A szabadság nagyon fontos számukra, életüket a nyilvánossággal megosztják, gyorsabb ritmusban élnek. Nem a szavak és érzelmek jellemzik őket, a változástól nem félnek, inkább magukban, mint a körülöttük lévő világban bíznak. Rájuk a praktikus szemlélet jellemző, inkább okosak, mint bölcsék, bátrak és kezdeményezők. A szabályok betartására nem mutatnak hajlandóságot, az elektronikus felületeket profin kezelik. Ők a Homo Globalis.

Az *α generáció* a mai óvodások, alsó tagozatosok. Pár év múlva lesznek a diákjaink. Hamarabb tanulnak meg telefonnal és tablettel bánni, mint beszélni.

Jó, ha a fizikatanárnak van saját honlapja, közös csoportja; közösségi média igénybevétele szinte kötelező, a házi feladat lehet diasor kiselőadással, használni kell az IKT eszközöket, mert diákjaink korosztálya ezt igényli.

## Fizika tantárgy kedveltsége a diákok körében

Tapasztalatunk szerint is a fizika az egyik legkevésbé kedvelt tantárgy a diákok körében. A diákok mindössze 3–4%-a érettségizik belőle. A fizika iránt leginkább a bejövő, 7–8. osztályos tanulók érdeklődnek, sokat várnak a fizikától, de sok esetben, sajnos, csalódnuk kell. Azokban az iskolákban, ahol nincs természettudományos osztály, csak szakkörön lehet külön foglalkozni ezekkel a tehetséges, fizikát kedvelő gyerekekkel. Itt, ebben a korban lehet és kell a legnagyobb erőfeszítést tenni, hogy megszeressék a tantárgyat!

A következő okot leginkább abban látom, hogy a fizika nehezen feldolgozható, az egyik legtöbb figyelmet igénylő reál tárgy. Tanulásához komoly matematikaapparátus szükséges, ami a tananyagban rendszerint később kerül sorra, mint kellene. A szöveges fel-

adat megoldása matematikaórán is gyengébben megy, nos a fizika csupa szöveges feladatból áll. Tehát már itt kezd nyílani az olló.

A diákok pontosan tudják, hogy az érettségi vizsgán a fizika csupán egyike a választható tantárgyaknak, tehát ha továbbtanulásukhoz nem szükséges, nem fogják választani. Más tantárgyakból – most szándékosan nem említem ezeket – lényegesen egyszerűbb érettségizni. A diákok bevallása szerint a fizikatanárok túlnyomó hányada nem kísérletezik, nem használ szimulációt, sajnos nincs csoportmunka, pedig a tanulók szerint erre lenne igazán igény.

## A fizika tantárgy megítélése a tanárok körében

Köztudott, hogy alig van jelentkező az egyetemeken fizikatanári szakjaira. Országos jelenség az is, ha egy tanár választhat, milyen tantárgyat ne tanítson, a két-három szakos kolléga elsőként a fizikát fogja leadni. Érdekes kutatási téma lenne, hány matematika, informatika vagy bármilyen szakos kollégának van fizika szakja is, amit esze ágában sincs tanítani. Az okok érthetőek, hiszen itt kevés az érettségiző, kevesen akarják tanulni, csökkent a tantárgy tekintélye a diákok körében, eszközigénye nagy, továbbá ügyesség, kísérletező készség kell hozzá, ráadásul a NAT-ban elfoglalt súlya folyton változik (általában csökken). Mindezek felett sokkal egyszerűbb egy tantárgyat tanítani, csak egy feladatra készülni.

Sajnos a második, harmadik szakért pedig ma már nem jár pótlék.

Vidéki iskolák egy részében évtizedek óta nincs stabil képesített fizikatanár, nem szakos tanárokkal – vagy jobb esetben szakos óraadókkal – próbálják megoldani a hiányt. De sok helyen nem is keresnek vagy alig próbálnak keresni szakembert, megoldják helyettesítésekkel, amelyekért sokszor még fizetni sem kell.

Szintén vidéki iskolákban legtöbbször nincs semmilyen eszköz, nincs szertár, marad a krétafizika és a videók nézése, ami – jogosan – elveszi a tanár kedvét a fizika tanításától.

## Figyelem- és koncentrációproblémák

Mivel a tanulók olvasása, szövegértése gyenge, ezért néhány percnél tovább nem tudnak egy dologra koncentrálni. Életkorukból adódóan hang- és képi ingerküszöbük is egészen más, mint a felnőtteké. Figyelmük egy ideig játékos tanulóssal, az interaktív tábla használatával, a kivetítővel, az online tanulási lehetőség biztosításával, a mobilra letölthető alkalmazásokkal (de ez lehet rossz is, lásd: Photomath), más szóval a kézzelfogható tevékenységekkel fenntartható. Vegyük figyelembe, hogy gyorsan, de ugyanakkor felszínesen dolgozzák fel az információt; ne felejtsek el, ha megunták, akkor a kellős közepén „exit”-tel kilépnek. Sokkal jobban megértik a tananyagot,



ha egymásnak kell elmagyarázniuk (erre a kiselőadás és a csoportos munka a legjobb).

A fizikának vannak olyan eszközei, amivel más tantárgy nem rendelkezik: a kísérlet, az érdekes animációk, a technológia ismerete, a sci-fi ígérete!

## A fizikai kísérlet

A sikeres kísérletnél a következőket kell figyelembe venni:

- az előismereteket (matematika, természetismeret);
- használjunk gyakorlati élethez köthető eszközöket, gyerekek által ismert anyagokat;
- a kísérlet koruknak megfelelő színvonalú legyen (hetedikben ne felhajtóerőből számoljunk sűrűséget, ne lejtőn számoljunk sűrűlódási együtthatót);
- a kollektív munkaformákat (kooperáció);
- szaknyelvet használjunk, amennyire lehet (de ne menjen a megértés rovására).

A diák azt várja a kísérlettel, hogy rövid, érdekes, látványos, meghökkentő legyen. Utána lehessen nézni a neten, érezzék, hogy ezt nem mindenki láthatja, ne kelljen sokat jegyzetelni és az is jó, ha valami először rosszul sikerül, mert az felkelti a figyelmet.

A tanár szemszögéből az a fontos, hogy a kísérlet könnyen kivitelezhető, megismételhető, veszélytelen legyen, szolgálja a megértést, mindenki számára jól látható és hallható legyen. Ne igényeljen túl sok rákészülést, a tanulók figyelmét kösse le, érezzék, hogy a kísérletezés a fizika kiváltsága, teremtsen jó légkört.

A kísérlet sikerének egyik titka, hogy modern eszközöket kell használni, amelyeket könnyebben felismerhet a tanuló.

### Néhány bevált ötlet, példa

Héliumos lufi, pillecukor megnövekedése vákuum alatt, mobiltelefon alufóliába csomagolva, sűrűségmérésnél jó egy darabka „aerogél”.

Ha fénytant tanítunk, akkor nélkülözhetetlen a lézer, UV- és infravörös lámpa; egyensúlynál kell a „gömböc”; ha vezetőképeség, akkor „touch” kesztyű; vonatkoztatási rendszernél pedig GPS. A plazmagömb népszerű; a mikrohullámú sütővel végzett kísérletek is mindenkinek tetszettek; lehet grillezni CD-t, de alufóliát is. A nagyon lehűtött LED-lámpák színe sárgásabbá válik, a víz tényleg forrhat hidegen is, az emelő lehet igazi erővágó, a hajszálcső lehet az általuk is ismert „nedvszívó” eszköz közül az egyik. Állóhullámokat kézi mixerrel és kalapgumival is létre lehet hozni. Optikai lencsét lehet készíteni zseléből, telefonra pedig letölthető az „úrállomáskép” ... és a sor végtelen!

Új ötleteket lehet szerezni fizikatanári ankétokon, versenyek alkalmával, megbeszélésen, óralátogatáson, szakmai kirándulásokon, továbbá a szakmai szervezetek, egyetemek által szervezett továbbképzéseken.

A gimnáziumunkban bemutatott vagy diákokjaink által végzett kísérlet típusok

- *A nyílt napok kísérletei.* Tanári bemutató kísérletek, ahol 30 perc alatt kell elvarázsolni a közönséget. Ez egy „stand-up” kategória, egy kis „hókuszpókusz”, lehet harsány, hangos, vicces. A kihívás nagy, akkor is fel kell készülni, ha már sokszor csináltuk. Csak nagy tapasztalattal és jó előadókészséggel rendelkező tanároknak ajánlott!

- *Az Arkhimédész-verseny kísérletei.* Iskolánk természettudományos háziversenyén a fizika természetesen csak egy a sok műhely közül. A tanulók csoportokban dolgoznak (nem tartjuk be a csoportalkotás klasszikus lépéseit, a csoportok egyszerűen szimpátia szerint jönnek létre), többnyire mérőkísérleteket végeznek, amelyek számolással és jegyzőkönyvkészítéssel végződnek. Itt nincs vesztes, csak jó és nagyon jó, valamint még jobb és persze a legjobb. Fontos a pozitív visszacsatolás.

- *Tanórai kísérletek.* Ritkán van idő és lehetőség tanóra keretén belül komoly mérőkísérlet elvégzésére, azonban fontosnak tartjuk, hogy minden órán legalább egy rövid kísérletet bemutassunk. Előfordul, hogy a kísérletnek nincs köze a tananyaghoz, csupán az előző óráról ott maradt eszközök adják az ötletet – és egy látványos, emlékezetes óra kerekedik belőle.

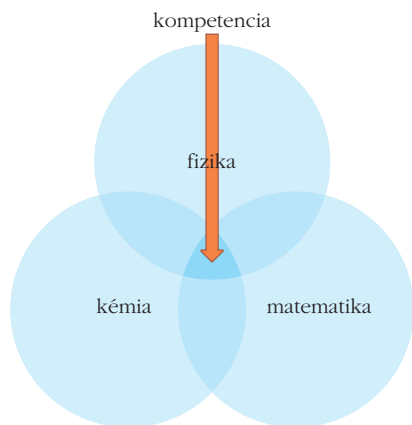
- *Mérőkísérletek a fakultáción.* Itt elsősorban az érettségihez kapcsolódó kísérletek elvégzésére koncentrálnak. Ide az érdeklődő, matematikából és fizikából a megfelelő előképzettséggel rendelkező diákok jelentkeznek, tehát lehet „feszíteni” a húrt.

- *Kísérletek külső segítséggel.* Régen „Fizibusz”, most már „Zöldjárat” (Tóth Pál tanár úr előadásában). Ezek olyan kísérletek, amelyekhez nehéz beszerezni az eszközöket. Tanulók (150 fő) általában két turnusban nézik meg az előadást, másfél-másfél órás időtartammal.

- *Mérőkísérletek versenyekre készülőknek.* Minden fizikaverseny-típusnál szükség van kísérletek elvégzésére. Ennek köszönhető, hogy 2018-ban *Nyéki Mónika* tanítványom az Öveges József Kárpát-medencei Fizikaverseny országos döntőjében maximális pontot kapott a mérőkísérleti feladatra (külön öröm, hogy I. helyezést ért el tudománytörténeti feladatból). A Károly Iréneusz verseny elvégzendő kísérletei is komoly kihívást jelentenek, igényes tervezés és kivitelezés szükséges a pontos munkához és szép eredményekhez.

- *Pályázathoz kapcsolódó kísérletek.* Legutóbb a Science on Stage kísérletek voltak azok, amelyeket gyakorlásként bemutattam osztályaimnak, nagy sikert arattam. Nem gondolom, hogy mindenki pontosan értette, amit látott, de az biztos, hogy megjegyezték és nagyon tetszett mindenkinek.

- *Mentortanári kísérletek egyetemistáknak.* Mentortanárként azt tapasztalom, hogy nagy segítség a kezdő vagy leendő – sok esetben a már gyakorlott – tanárkollégáknak, ha segítünk új eszközt bemutatni,



A tantárgyak összefonódása-összehangolása.

kipróbálni, beüzemelni. A 2019/2020 tanévben abban a szerencsében volt részünk, hogy *Radnóti Katalin* tanárnő személyesen is részt vett kistanárom bemutatkozó óráján és örömmel hallgattuk elismerő szavait a kísérleti fizikaóráról és a csoportmunkáról.

A kísérlet nem nyűg, hanem lehetőség – maga a fizika

Fontos lenne a szertárak felszerelése korszerű anyagokkal, eszközökkel.

Természetesen a sikeres kísérlethez mindig szükséges egy jó szimuláció, videó, diasor, gyakorlólap, interaktív tábla és a legfontosabb, az emberi tényező, ezért hivatását magas szinten végző lelkes fizikatanárookra is nagy szükség van.

Szeretném felhívni a kedves kollégák figyelmét *Rudolf Tamásné Profizika* (<https://rudolftamasne.gportal.hu>) honlapján található zseniális videókra, amelyekből a diákok és – számos esetben – mi tanárok is sokat tanulhatunk. Ezek – a középiskolai elméleti anyaggal kiegészítve – gimnáziumban is nyugodtan használhatók.

A fizikaszimulációk ismerete és használata kötelező kell legyen minden fizikatanár számára, könnyen belátható, hogy léteznek olyan kísérletek, amelyek egy körülbelül harminc fős osztálynak csak így mutathatók be sikeresen.

A kísérletek gyorsaságát, változatosságát, nyelvezést át kell alakítani, felelősségteljesen eldöntve, meddig „butítjuk” a magyarázatot.

## Projekt alapú szakkör

Iskolánkban bevezettük a projekt alapú szakkört. Előnyei: nem kötött a tananyag, versenyekre jól fel lehet készülni, csak a motivált gyermek fog oda járni, itt felfedezhetjük a tehetséges tanulókat és fejleszthetjük tudásukat. Népszerűsíthetjük a fizikát és még a szertárrendezésre is szakíthatunk időt. Lényeges lenne, hogy mindez beleszámítson a kötelező óraszámába! A részvétel csak egy projekt erejéig legyen kötelező, ezt pedig érdeklődés alapján választhatják ki a diákok. Legyen évfolyamszintű, a tanulmányi átlag

nem döntő szempont, igazán az a fontos, hogy a jelentkező érdeklődjön a tantárgy iránt, mert motivált, kreatív gyerekeket keresünk. A munka egy projektre vonatkozik, de éves tanmenet alapján történik, amit folyamatosan értékelünk és szükség szerint módosíthatunk. A motiválásnál minden trükköt be kell vetni, legyen ez érzelmi-értelmi motiváció, egyéni bánásmód, kötelességtudat, dicséret. Az érdeklődést kisebb kiváltságokkal, versenyztetéssel, jutalmazással is fenntarthatjuk. További előnyei, hogy jobban látjuk egymás munkáját, az információk, a feladatlapok könnyebben cserélnek gazdát, ötleteinket átadhatjuk, a szakmai kérdés megoldásában együttműködhetünk, a felelőség is jobban megoszlik.

## Tantárgyak összehangolása

A matematika kompetenciamérésének is jót tenne, ha matematikaórán nem tankönyvet tanítanánk, hanem NAT-ot, kihegyezve a kompetenciaalapú matematika tanításra. Szerintem ez annyit jelent, hogy az órák egy része legyen kifejezetten „alkalmazott matematika”, amely fizika-, kémia-, informatikafeladatok megoldását jelentse. Ehhez az is kell, hogy hozzuk összhangba a matematikát a többi reál tárggyal. Ezek nélkül nem lehet kiemelkedő eredményeket elérni.

## Végszó

Az új NAT talán az előbbieken vázoltak irányába próbálja terelni a fizikatanítást, ami csak akkor lehet sikeres, ha mi tanárok is elhisszük, hogy ideje megújulni, néhány dolgot érdemes elhagyni-elengedni, viszont másokat-újakat meg kell tanulni. Tudomásul kell vennünk, hogy ez a generáció tőlünk eltérően gondolkodik, információit is máshonnan szerzi. Nagy többségüket nem érdeklik a jelenségek alapjai, csak a felhasználói szint, akárcsak az informatikában.

Különbséget kell tennünk a között, amikor a gyermekek nagyobb részének tanítjuk a fizikát – ami a hétköznapokról és a gyakorlatról kell szóljon – és a között, amikor a leendő mérnökök, informatikusok, fizikusok, tehát a természettudományok iránt érdeklődő tanulóinkkal foglalkozunk. Ez utóbbi már a tehetséggondozás irányába mutat.

Azt gondolom nincs egy üdvöztető megoldás, senki sem fogja megmondani a biztosan jól működő módszert, erről nekünk kell beszélünk, ezt egymástól kell tanulnunk, és folyamatosan újabb megoldásokkal próbálkozunk.

## Irodalom

- Pál Eszter: *A „Z” generáció – Irodalmi áttekintő, összefoglaló*. Készült a TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0016 – Tudománykommunikáció a Z generációnak projekt keretében (2013).
- Radnóti Katalin: A fizika tantárgy helyzete és fejlesztési feladatai egy vizsgalat tükrében. *Fizikai Szemle* 53/5 (2003) 170.
- Radnóti Katalin: A fizika tantárgy helyzetét és fejlesztési feladatait feltáró tanulmány. (OFI 2009. 06. 17.)

## XXII. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY – 2. rész

Sükösd Csaba  
BME Nukleáris Technika Tanszék

A 22. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny döntője 2019. április 17–19. között volt Pakson. A verseny történetében először a döntő helyi szervezését két paksi intézmény közösen vállalta: a Paksi Vak Botytyán Gimnázium, valamint az Energetikai Szakgimnázium és Kollégium (ESZI). Ennek oka az volt, hogy a Verseny eddigi fő szervezője – *Csajági Sándor* tanár úr, az Energetikai Szakgimnázium és Kollégium korábbi igazgatóhelyettese – új, nagy kihívást jelentő feladatot kapott: ő lett a Paksi Vak Botytyán Gimnázium igazgatója. A döntő jó megszervezéséhez szükség volt (és van) Csajági tanár úr több mint két évtizedes szervezési tapasztalataira éppúgy, mint az ESZI infrastruktúrájára. Az új felállás bár adott néhány új egyeztetési és munkamegosztási feladatot, ám az első ilyen összetételben szervezett döntő végülis sikeres volt.

További gondot jelentett, hogy 2019-ben az országos versenyek, olimpiai felkészítők – amelyekkel való ütközések elkerülésére figyelni szoktunk a verseny időpontjának a meghatározásakor – valamennyi áprilisi hétvégét lefoglalták a naptárban, a húsvét kivételével. A két iskolával való egyeztetés eredményeképpen választottuk ki végül a húsvét előtti hét közepét (április 17–19., szerdától péntekig). Ekkor ugyan már nem volt tanítás az iskolákban, ám többek számára ez az időpont éppen egy lehetséges többnapos hosszabb vakációt szakított meg.

Mindezek ellenére sikerült a verseny döntőjét a szokásos színvonalon megrendezni. Talán egyedül az eredményhirdetésen lehetett érezni az időpont problematikussá: a meghívott VIP vendégek közül senki sem tudta elfogadni invitálásunkat.

Az új felállásban a tanulók helyszíni regisztrációja és a verseny megnyitója, az elméleti feladatok megírása, a kísérő tanárok számára tartott előadások, valamint a zsűri ülései a Vak Botytyán Gimnáziumban voltak, a verseny kísérleti fordulójának és a számítógépes szimulációknak pedig az ESZI biztosított he-

lyet. Az ESZI-ben étkeztek, illetve kollégiumában volt a versenyzők és kísérőtanáraik szállása is. A feladatok megoldásának ismertetését, valamint a verseny ünnepélyes eredményhirdetését – a Vak Botytyán Gimnázium kérésére – a paksi Csengey Dénes Kulturális Központ színháztermében tartottuk.

A kísérő tanárok és a paksi tanárkollégák részére *Horváth Dezső* (Wigner FK) *Kozmológia: a Világ keletkezése – Teremtés és Ősrobbanás* címen, valamint *Pokol Gergő* (BME) professzorok *A fúziós energia-termelés barátai és ellenségei: gyors részecskék és plazmahullámok* címmel tartottak lebilincselő előadásokat.

E havi részben a döntő elméleti feladatait, míg az októberi számban a kísérleti fordulót, valamint a számítógépes szimulációs feladatot ismertetjük.

Az első hét elméleti feladat mindkét korcsoportnak közös, a maradék három-három feladat azonban különböző volt.

## 1. feladat

kitűzte: *Radnóti Katalin*

A nyomottvízes atomerőművek aktív zónájában az urán-dioxid üzemanyagot tartalmazó cirkóniumcsövekbe (üzemanyagpálca) körülbelül  $4 \cdot 10^5$  Pa (4 bar) nyomású héliumot töltenek. A reaktor üzemeltetése során a csövek mellett áramló víz körülbelül  $1,2 \cdot 10^7$  Pa (~120 bar) nyomású.

a) Vajon miért héliumot alkalmaznak?

b) Miért nem nagyobb nyomásra töltik fel az üzemanyagpálcákat?

## Megoldás

a) A hélium nemesgáz, ezért kémiaiilag inaktív. Reaktorfizikai szempontból is inaktív, mivel a maghéjszerkezete zárt, így nem fog be neutron, nem befolyásolja a láncreakciót. A hélium a gázok között jó hővezetőnek is számít, miután a gázzészecskék (atomok) tömege kicsi, ezért azonos hőmérsékleten gyorsabban mozognak, mint például a  $N_2$ , a  $CO_2$ , az Ar, a Ne stb. gázok részecskéi, ugyanis gázok esetében a hővezetés egyre jobb a részecskék átlagos sebességének növekedtével.

b) A pálcákat azért nem töltik nagyobb nyomású héliummal, mert az üzem során keletkező hasadási termékek között gázok is vannak (például kripton, xenon), amelyek az üzemanyagpálcában maradnak, és nyomásuk hozzáadódik a héliuméhoz. Ha a pálcát rögtön a teljes nyomásra töltenék, akkor a kampány végére az akár ki is durranhatna.



*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.

## 2. feladat

kitűzte: *Mester András*

Az orvosi diagnosztikában a  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  izotópot radioaktív nyomjelzőként használják.

a) Mely elem negatív béta-bomlását követően keletkezik ez az izotóp?

b) Milyen sugárzást bocsát ki a  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  izotóp? Milyen elem keletkezik?

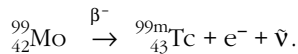
c) A sugárzó anyag hány százaléka marad még a páciens testében 24 óra múlva?

d) Mennyi lesz 24 óra elteltével egy technéciumizotóp bejuttatásával vizsgált 70 kg-os páciens aktivitása, ha testébe 4,63 ng (nanogramm) izotópot juttatnak be intravénásan?

*Adatok:* a  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  felezési ideje 6 óra, biológiai felezési ideje (amely idő alatt a bevitt radioaktív anyag mennyisége az anyagcsere-folyamatok miatt felére csökken) 1 nap.

*Megoldás*

a) A negatív béta-bomlásból következik, hogy a technéciumot az eggyel kisebb rendszámú elemből, a molibdénből nyerik:



b) A gerjesztett állapotban keletkezett  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  gamma-sugárzó (hosszú felezési idejű, izomer állapot), ezért bomlása után alapállapotú  $^{99}_{43}\text{Tc}$  keletkezik.

c) A biológiai kiürülésre hasonló exponenciális törvény érvényes, mint a fizikai bomlásra. A két csökkenési mód egymástól független, ezért a maradék aktivitás  $t$  idő elteltével:

$$A(t) = A(0) \cdot 2^{-\frac{t}{T_1}} \cdot 2^{-\frac{t}{T_2}} = A(0) \cdot 2^{-t\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)}.$$

Mivel a kérdés  $t = 1$  napra szól, ezért praktikus a felezési időket is „nap” egységben megadni. Ezzel

$$t = 1 \text{ nap és } \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1/4} = 5 \frac{1}{\text{nap}}.$$

Tehát egy nap alatt a sugárzás az eredeti  $2^{-5} = 1/32 = 3,125\%$ -ára csökken.

d) A vizsgált személybe  $4,63 \text{ ng} = 4,63 \cdot 10^{-9} \text{ g}$  izotópot juttatnak be, ez összesen

$$N = \frac{m}{M} N_A = 2,82 \cdot 10^{13} \text{ darab atom.}$$

A kezdeti aktivitás:

$$A(0) = N \frac{\ln 2}{T_1} = 9,04 \cdot 10^8 \text{ Bq} \approx 900 \text{ MBq.}$$

Itt  $T_1$  a fizikai bomlás felezési ideje (6 óra), továbbá másodpercben kell behelyettesíteni, hogy az aktivitást Bq-ben kapjuk. Az 1 nap utáni aktivitás a c) pont alapján pedig  $904/32 \sim 28,25 \text{ MBq}$ .

*Megjegyzés:* az eredmény független a vizsgált személy testtömegétől.

## 3. feladat

kitűzte: *Papp Gergely*

Vegyünk három különböző részecskét

elektron ( $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ),

töltött  $\pi^\pm$  mezon ( $m_\pi \approx 273 \cdot m_e$ ) és

proton ( $m_p \approx 1836 \cdot m_e$ ).

Első lépésben gyorsítsuk fel őket oly módon, hogy mozgási energiájuk a nyugalmi energia kétszerese legyen. Ez az 1. gyorsító fokozat.

a) Milyen gyorsító feszültséget kell alkalmazunk, ha azt szeretnénk, hogy egy 2. lépcsőben történő további gyorsítás hatására a részecskék teljes energiája megduplázódjon?

b) Mekkora lesz a részecskék sebessége fénysebesség egységekben ( $\beta \equiv v/c$ ) az 1. és a 2. fázis után?

*Megoldás*

Jelölje  $E_0$  a részecskék nyugalmi energiáját. A feladat szerint az első gyorsító fokozat után a részecskék mozgási energiája ennek kétszerese, azaz a teljes energiája:  $3E_0$ . A második fokozat után a teljes energia duplázódik, tehát a teljes energia  $6E_0$  lesz, amiből a mozgási energia  $5E_0$ . Ennek eléréséhez a második fokozatban  $5E_0 - 2E_0 = 3E_0$  energiát kell adni a részecskéknek.

A részecskék tömegét praktikusabb eV egységekben kifejezni. Az elektron esetén ez  $511 \text{ keV}/c^2$ , azaz  $E_0(e) = 0,511 \text{ MeV}$ . Tudjuk, hogy az elektronnak (és a többi részecskének is) egységnyi elektromos töltése van, ezért következik, hogy a 2. gyorsító feszültség:  $3 \cdot 0,511 \text{ MV} = 1,533 \text{ MV}$ . Mivel a tömegek az elektrontömeg arányában vannak megadva, ezért ez eV egységekben is igaz lesz. Így a három részecskére írhatjuk:

	tömeg ( $m_e$ )	$E_0$ (MeV)	2. feszültség (MV)
elektron	1	0,511	1,533
$\pi^\pm$ mezon	273	139,503	418,509
proton	1836	938,196	2814,688

b) A részecskék teljes energiájának és nyugalmi energiájának aránya:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \text{ ahonnan } \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}.$$

Mivel a feladat szerint a teljes és a nyugalmi energia aránya mindhárom részecskére azonos, ezért a  $\beta$  értékek is azonosak lesznek. Tehát az első gyorsítás után:

$$\beta_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} \approx 0,943,$$

a második gyorsítás után pedig

$$\beta_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{6}\right)^2} \approx 0,986.$$

*Megjegyzés:* az egyszerűség kedvéért a feladat szövegében a pion- és a protontömegek egész értékre kerekítve szerepelnek.

4. feladat

kitűzte: *Halász Máté*

A  ${}^7_4\text{Be}$ -atommagok protonfeleslegüktől gyenge kölcsönhatással (a béta-bomlások valamelyikével) elvileg két módon szabadulhatnak meg.

a) Melyik ez a két lehetséges mód? Vizsgáljuk meg a megadott adatok alapján, hogy közülük energetikailag melyik valósulhat meg?

b) A lehetséges bomlás felezési ideje a Földön 53,6 nap, a Nap belsejében viszont átlagosan 83,2 nap. Mi lehet az eltérés magyarázata?

Adatok:  $M({}^7_4\text{Be}) = 7,016929 \text{ u}$ ,  $M({}^7_3\text{Li}) = 7,016003 \text{ u}$  (atomtömeg,  $1 \text{ u} = 931,494 \text{ MeV}/c^2$ ),  $m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV}$ .

*Megoldás*

a) A  ${}^7_4\text{Be}$ -izotópnak protontöbblete van, amelytől pozitív béta-bomlás, illetve elektronbefogás útján szabadulhat meg. A pozitív béta-bomlás energiamérlege:

$$Q_{\beta^+} = [M({}^7\text{Be}) - M({}^7\text{Li}) - 2 m_e] c^2 = -0,1594 \text{ MeV} < 0.$$

Az elektronbefogás energiamérlege:

$$Q_{\beta^+} = [M({}^7\text{Be}) - M({}^7\text{Li})] c^2 = 0,8626 \text{ MeV} > 0.$$

Tehát a  ${}^7_4\text{Be}$ -atommag alapállapotból, külső energia befektetése nélkül csak elektronbefogással képes bomlani.

b) Az elektronbefogás időegységre eső valószínűsége függ az atommagot körülvevő elektronsűrűségtől. Mivel a Napban az anyag nagyrészt plazmaállapotban van, ezért a  ${}^7_4\text{Be}$ -atommagok túlnyomó többségben ionizált állapotban vannak, ezért jelentősen kisebb elektronsűrűség van az atommagok körül. Innen az eltérés a Földön, illetve a Napban mérhető átlagos felezési idők között.

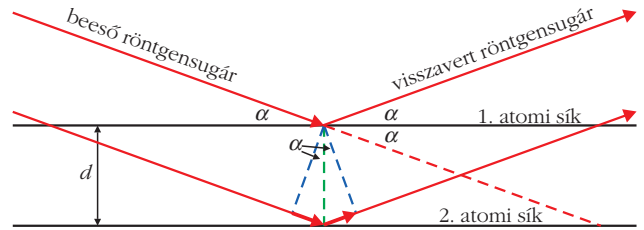
*Megjegyzés:* elektronbefogás legnagyobb valószínűséggel az atommaghoz legközelebb lévő,  $1s$  állapotban lévő elektronnal történik. Ezért ennek valószínűségét az  $1s$  állapotban lévő elektronok száma befolyásolja leginkább. Kérdés, hogy vajon van-e a Nap belsejében elég magas hőmérséklet ahhoz, hogy a legbelső,  $1s$  héjról is hiányozzon elektron, azaz legalább 3 elektron hiányozzon az elektronszélből? Táblázatok<sup>1</sup> szerint a 3. elektron leszakításához  $154 \text{ eV}$  kell, és ez már  $1,8$  millió K-en megtörténhet. Az utolsó, 4. elektront pedig körülbelül  $212 \text{ eV}$  energia befektetésével lehet leszakítani. A részecskék mozgási energiája körülbelül  $2,5$  millió K-en ekkora. A Nap magjában, ahol a fúziós reakciók lezajlanak, ekkora hőmérséklet biztosan van.

5. feladat

kitűzte: *Tarján Péter*

Grafít egykristályt  $0,153 \text{ nm}$  hullámhosszú röntgensugárral vizsgálunk Bragg-geometriában (lásd az *ábrát*). A visszavert röntgensugarak 3. erősítési maximumának iránya a beeső sugarak irányától  $40^\circ$ -kal tér el. Mekkora a grafitkristály rácsállandója?

<sup>1</sup>Lásd például [https://en.wikipedia.org/wiki/Ionization\\_energies\\_of\\_the\\_elements\\_\(data\\_page\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionization_energies_of_the_elements_(data_page))



*Megoldás*

A röntgen-diffrakciónál a beesési és a visszaverődési szöget nem a beesési merőlegetől, hanem a kristály felszínétől mérjük. Itt is igaz viszont a visszaverődés törvénye, azaz a feladat feltételei mellett mind a beesési, mind a visszaverődési szög  $20^\circ$ . Az egymással szomszédos atomi síkokról „visszaverődött” röntgensugarak útkülönbsége tehát  $2d \cdot \sin \alpha$ . Az erősítés feltétele, hogy az útkülönbség a hullámhossz egész számú többszöröse legyen. A feladat a harmadrendű maximumra vonatkozó szöveget adja meg, tehát  $3\lambda = 2d \cdot \sin \alpha$ . Innen kapjuk:

$$d = \frac{3 \lambda}{2 \sin \alpha} = 6,71 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

6. feladat

kitűzte: *Ujvári Sándor*

Pionok és müonok egyforma,  $130 \text{ MeV}/c$  lendülettel haladnak át egy átlátszó közegen. Milyen tartományba esik a közeg törésmutatója, ha csak a müonok keltenek Cserenkov-sugárzást?

Adatok: a pion nyugalmi tömege  $140 \text{ MeV}/c^2$ , a müoné  $106 \text{ MeV}/c^2$ . (Cserenkov-sugárzás akkor keletkezik, ha a közegben haladó töltött részecske sebessége nagyobb, mint a fény sebessége az adott közegben.)

*Megoldás*

A vákuumra vonatkozó törésmutató definíció szerint  $n = c/v$ , ahol  $c$  a fénysebesség vákuumban, míg  $v$  a fény sebessége az adott közegben, és  $n \geq 1$ . A Cserenkov-sugárzás küszöbsebessége

$$v > \frac{c}{n} \Rightarrow \frac{v}{c} \equiv \beta > \frac{1}{n}.$$

Fejezzük ki  $\beta$ -t a részecske lendületével és energiájával:

$$E = \sqrt{(pc)^2 + E_0^2} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Ebből átrendezéssel kapjuk:

$$\beta = \frac{pc}{E}.$$

Ismerve a müon lendületét:  $p_\mu c = 130 \text{ MeV}$ , a müon energiája:

$$E_\mu = \sqrt{(p_\mu c)^2 + (m_\mu c^2)^2} = \sqrt{130^2 + 106^2} = 167,73 \text{ MeV}.$$

Ezért

$$\beta_{\mu} = \frac{p_{\mu} c}{E_{\mu}} = \frac{130}{167,73} = 0,775.$$

Hasonló számolással a pionra kapjuk:

$$\beta_{\pi} = \frac{p_{\pi} c}{E_{\pi}} = \frac{130}{191,05} = 0,680.$$

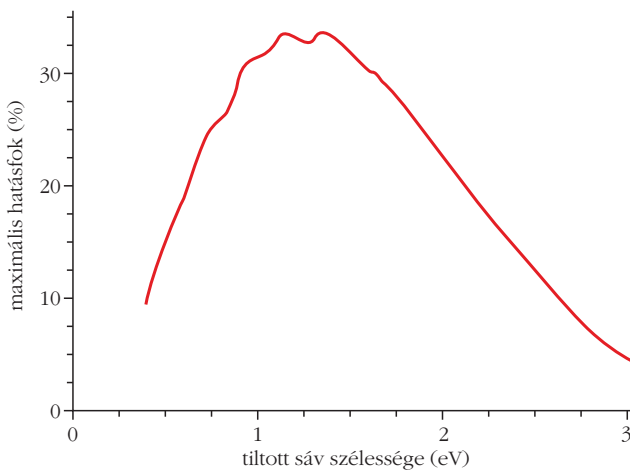
Ebből a közeg  $n$  törésmutatójára adódik:

$$n_{\mu} = \frac{1}{\beta_{\mu}} = 1,29 < n < n_{\pi} = \frac{1}{\beta_{\pi}} = 1,47.$$

## 7. feladat

kitűzte: Papp Gergely

Az egyszerű p-n átmenetű félvezető napelemek hatásfokának van egy elméleti felső határa, az úgynevezett Shockley–Queisser-limit. Maximumát 33,7%-nál éri el, azaz 1000 W/m<sup>2</sup> beeső napsugárzásból csak maximum 337 W/m<sup>2</sup> teljesítmény nyerhető ki. A hatásfok függését a félvezető tiltott sáv szélességétől az *ábra* mutatja.



a) A Nap felszíni hőmérséklete 5778 K. Milyen hullámhosszon sugározza a legtöbb energiát? Hány eV ennek a hullámhossznak megfelelő fotonenergia? *Vázlatosan* rajzoljuk le a sugárzási spektrumot!

b) Próbáljuk megmagyarázni a hatásfoklimit létezését kvalitatívan (nem számszerűleg)!

c) Miért függ a hatásfok a tiltott sáv szélességétől, és miért nem monoton ez a függés?

### Megoldás

a) Közelítsük  $b \approx 2897 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ -nel a Wien-törvényt állandóját. Ebből a Nap sugárzásának maximuma:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} = \frac{2897 (\mu\text{m} \cdot \text{K})}{5778 (\text{K})} \approx 501,4 \text{ nm}.$$

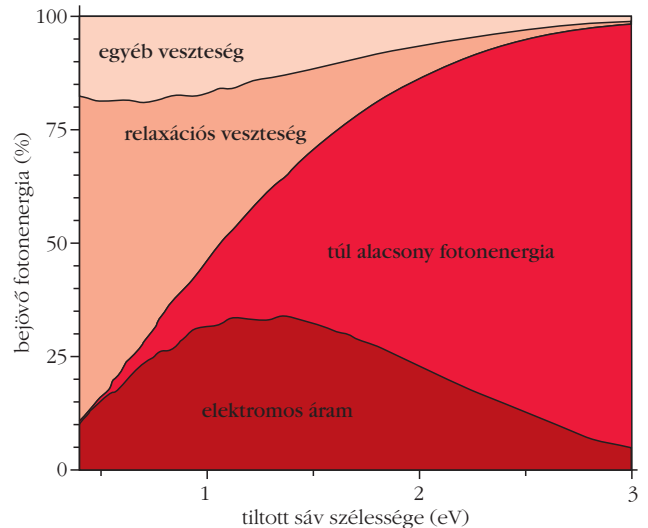
Az ilyen hullámhosszúságú fotonok energiája 2,47 eV.

b) A hatásfokban három effektus játszik szerepet:

1) A napsugárzás spektruma folytonos, alakját a fekete test sugárzási törvényből kaphatjuk meg.

2) A félvezetőben a tiltott sáv szélességénél kisebb energiájú fotonok nem tudják a valenciasávból a vezetési sávba gerjeszteni az elektronokat. Ezért a spektrumból a tiltott sáv szélességénél kisebb energiájú fotonok a folyamat szempontjából elvesznek.

3) A vezetési sávba került elektron csak a sáv szélességének megfelelő mennyiségű energiát tudja elektromos áram formájában leadni, a „maradék” energia hővé alakul.



c) A b) pontban írtak alapján: ha a sáv szélessége alacsony, akkor ugyan több foton nyel el a félvezető, de fotonként kevés elektromos energiát tudunk kinyerni. Ha a tiltott sáv szélessége nagy, akkor pedig fotonként több energiát tudunk ugyan kinyerni, de kevesebb foton tudunk hasznosítani. Az adott energián elérhető fotonok számát a napsugárzás spektruma határozza meg. Így az optimum valahol a kettő között van.

## 8. feladat (Junior kategória) kitűzte: Radnóti Katalin

Egy liter asztali fehér bor 77 g etilalkoholt (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>-OH) és 1 g káliumot tartalmaz. Határozzuk meg, hogy a bor elfogyasztását követő percekben hogyan aránylik a felszívódó kálium <sup>40</sup>K izotópjától származó aktivitás (A<sub>K</sub>) az alkohol <sup>14</sup>C tartalmától származó aktivitáshoz (A<sub>C</sub>)!

*Adatok:* A kérdéses izotópok részarányai, valamint felezési ideik:

$$\frac{N(^{14}\text{C})}{N(\text{C})} = 1,14 \cdot 10^{-12}, \quad \frac{N(^{40}\text{K})}{N(\text{K})} = 1,18 \cdot 10^{-4};$$

$$T_{1/2}(^{14}\text{C}) = 5730 \text{ év}, \quad T_{1/2}(^{40}\text{K}) = 1,248 \cdot 10^9 \text{ év}.$$

### Megoldás

Az aktivitás képlete:

$$A = N \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \left( \frac{m}{M} N_A \right) \frac{\ln 2}{T_{1/2}}.$$

Ezért a két aktivitás felírható:

$$A_K = \left( \frac{1}{40} \cdot 6 \cdot 10^{23} \right) \cdot \frac{0,693}{1,248 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \frac{1}{s} = 31,288 \text{ Bq.}$$

Illetve (figyelembe véve, hogy az alkoholmolekulában 2 szénatom van):

$$A_C = 2 \cdot \left( \frac{77}{46} \cdot 6 \cdot 10^{23} \right) \cdot \frac{0,693}{5,730 \cdot 10^3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \frac{1}{s} = 8,816 \text{ Bq.}$$

Ebből pedig az aktivitások arányára kapjuk:

$$\frac{A_K}{A_C} = \frac{31,288 \text{ Bq}}{8,816 \text{ Bq}} \approx 3,55.$$

9. feladat (Junior kategória) kitűzte: Kis Dániel

Az uránizotópok a neutronokkal indukált hasadás, illetve radioaktív bomlás mellett spontán hasadásra is képesek. Az  $^{238}\text{U}$  izotóp esetében a bomlások  $f_{\text{sf}} = 5,4 \cdot 10^{-5}\%$ -ban következnek be spontán hasadás.

a) A paksi atomerőműben átlagosan mennyi *spontán*  $^{238}\text{U}$ -hasadás történik egy nap alatt?

b) Ez mekkora energiafelszabadulást jelent?

*Adatok:* a spontán hasadásból felszabaduló energia  $3,2 \cdot 10^{11}$  J, az urán mennyisége 42 t/blokk, az átlagos dúsítás 4% (atomszázalék). Ezen a dúsításon az urán moláris tömege 237,93 g/mol, a  $^{238}\text{U}$  radioaktív felezési ideje  $4,468 \cdot 10^9$  év. Az erőműnek 4 blokkja van.

*Megoldás*

Az  $^{238}\text{U}$  magok számát a tömeg, a dúsítás és a moláris tömeg értékéből számíthatjuk:

$$\begin{aligned} N_{238} &= \frac{(1-d) m}{M_U} N_A = \\ &= \frac{0,96 \cdot 4 \cdot 4,2 \cdot 10^7 \text{ g}}{237,93 \text{ g/mol}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = \\ &= 4,08 \cdot 10^{29}. \end{aligned}$$

A felezési időt célszerű nap egységekben megadni, és ekkor az egy napra számított aktivitás (egy nap alatt bekövetkező spontán hasadások száma):

$$\begin{aligned} A_{\text{sf}} &= N_{238} f_{\text{sf}} \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \\ &= 4,08 \cdot 10^{29} \cdot 5,4 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,693}{4,468 \cdot 10^9 \cdot 365} = \\ &= 9,37 \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{nap}}. \end{aligned}$$

b) Az atomerőmű négy blokkjában a spontán hasadások miatt egy nap alatt felszabaduló energia tehát:  $E_{\text{sf}} = 3,2 \cdot 10^{11} \cdot 9,37 \cdot 10^{10} = 2,998 \approx 3$  J.

10. feladat (Junior kategória) kitűzte: Mester András

0,2 T erősségű homogén mágneses térben azonos sugárforrásból, az indukcióvonalakra merőleges síkban, egyszerre, egy irányban indul egy  $6,64 \cdot 10^{-27}$  kg tömegű alfa-részecske  $1,5 \cdot 10^7$  km/s, egy béta-részecske  $8 \cdot 10^4$  km/s sebességgel, és egy gamma-foton. (A relativisztikus hatásoktól tekintünk el.)

a) Mennyi idő múlva lesz az alfa-részecske sebessége merőleges a gamma-foton pályájára?

b) Mekkora utat tesz meg ezen idő alatt az alfa- és a béta-részecske, illetve a foton?

*Megoldás*

a) Homogén mágneses térben mind az alfa-, mind a béta-részecske körpályán mozog. A gamma-foton egyenes pályán halad. Az alfa-részecske sebessége egy negyed kör megtétele után lesz merőleges a foton pályájára. Az alfa-részecske pályájának sugara:

$$\begin{aligned} r &= \frac{m v}{Q B} = \frac{6,64 \cdot 10^{-27} \text{ (kg)} \cdot 1,5 \cdot 10^7 \text{ (m/s)}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (C)} \cdot 0,2 \text{ (T)}} = \\ &= 1,55 \text{ m.} \end{aligned}$$

Az alfa-részecske körmozgásának periódusideje:

$$T = \frac{2 \pi r}{v} = \frac{2 \pi \cdot 1,55 \text{ (m)}}{1,5 \cdot 10^7 \text{ (m/s)}} = 6,51 \cdot 10^{-7} \text{ s.}$$

Negyed kört tehát  $T/4 = 1,63 \cdot 10^{-7}$  s alatt tesz meg.

b) Mivel a részecskék sebességének abszolút értéke állandó (a körpályán tartó Lorentz-erő csak a sebesség irányát változtatja meg, nagyságát nem), ezért a részecskék által megtett utat az egyenletes mozgás út-idő összefüggéséből könnyen meghatározhatjuk:

$s_\alpha = v_\alpha t = 1,5 \cdot 10^7 \text{ (m/s)} \cdot 1,63 \cdot 10^{-7} \text{ (s)} = 2,44$  m (körpálya mentén megtett út).

$s_\beta = v_\beta t = 8 \cdot 10^4 \text{ (m/s)} \cdot 1,63 \cdot 10^{-7} \text{ (s)} = 13,02$  m (körpálya mentén megtett út).

$s_\gamma = c t = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} \cdot 1,63 \cdot 10^{-7} \text{ (s)} = 48,8$  m (egyenes vonalban megtett út).

11. feladat (I. kategória) kitűzte: Tarján Péter

A debreceni Atommagkutató Intézetben található Magyarország legnagyobb részecskegyorsító berendezése, amely 1985 óta szolgáltat részecskenyalábokat alap- és alkalmazott kutatások számára, illetve orvosi és ipari alkalmazásokhoz is. A gyorsító D alakú üreges fém elektródái (duánsok) a síkjukra merőleges  $1,4$  T erősségű homogén mágneses térben helyezkednek el. A gyorsított részecskék legnagyobb pályasugara  $R = 45$  cm.

a) Legfeljebb hány MeV energiára tudja gyorsítani ez a ciklotron a protonokat, illetve az alfa-részecskéket?

b) 5 MeV végenergiára gyorsításnál az alkalmazott mágneses tér nagysága  $0,72$  T. Mekkora frekvenciájú váltakozó feszültséget kell kapcsolni a duánsokra,

hogy a proton, illetve az alfa-részecske a duánsok között mindig gyorsuljon? Hogyan tudnak ilyen alfa-részecskéket gyorsítani, ha a gyorsítófeszültség frekvenciája csak a 8–24 MHz intervallumban változtatható?

### Megoldás

A részecskék a duánsok közötti résben gyorsulnak. A duánsok belsejében azonban nincs elektromos tér (Faraday-kalitka), így ott csak a mágneses tér hatásával kell számolni, a részecske állandó nagyságú sebességgel, körpályán halad. Ennek dinamikai feltétele:

$$m \frac{v^2}{r} = Q v B \Rightarrow v = \frac{Q B r}{m}.$$

A legnagyobb sebességet – és ezzel a mozgási energiát – tehát a maximális pályasugár és a mágneses tér erőssége korlátozza. A klasszikus ciklotron nem működik relativisztikus energiákon,<sup>2</sup> ezért az elérhető legnagyobb energiát közelítőleg lehet klasszikusan számolni:

$$E_{\max} = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = \frac{Q^2 B^2 R^2}{2 m}.$$

Vegyük észre, hogy a maximális energia a részecske  $Q^2/m$  arányától függ. Mivel  $m_\alpha \approx 4 m_p$  és  $Q_\alpha = 2 Q_p$  így ez az arány ugyanaz az alfa-részecskére, mint a protonra. Emiatt:

$$E_p = E_\alpha = 3,046 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 19,01 \text{ MeV}.$$

b) A részecske a duánsok belsejében félkör alakú pályán halad. A félkör megtételéhez szükséges idő alatt a gyorsító feszültségnek éppen ellenkező polaritására kell váltania. Ezért a gyorsító feszültség  $T$  periódusidejére felírhatjuk:

$$\frac{T}{2} = \frac{r\pi}{v} = \pi \frac{m}{Q B} \Rightarrow f = \frac{Q B}{m 2\pi}.$$

Az adatokat behelyettesítve kapjuk:

$$f_p = 1,098 \cdot 10^7 \text{ Hz} = 10,98 \text{ MHz}$$

és

$$f_\alpha = 5,526 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 5,526 \text{ MHz} \approx \frac{1}{2} f_p.$$

Látható, hogy a szükséges frekvencia az alfa-részecskék esetében a rendelkezésre álló tartomány alá esik. Ehelyett annak a frekvenciának a háromszorosát (16,58 MHz) használják, ami már hozzáférhető. Ekkor is fennáll ugyanis, hogy a polaritás ellenkezőjére vált, mire a részecske befutja a félkört a duánsok belsejében.

<sup>2</sup>Az Atomki ciklotronja nem teljesen klasszikus, hanem szektorfókuszált ciklotron, amivel a relativisztikus tömegnövekedést bizonyos mértékig kompenzálni lehet.

## 12. feladat (I. kategória)

kitűzték: Szűcs József és Sükösd Csaba

Mintegy 100 évvel ezelőtt, az 1920-as évek elején – amikor még a kvantummechanika nem született meg, és a neutron sem fedezték fel (1932. Chadwick) – az atommagok összetételét a tudósok még úgy képelték el, hogy a magban  $A$  számú proton és  $A-Z$  számú elektron van kötött állapotban. Így például az  $^{16}\text{O}$  atommagban 16 proton tart kötött állapotban 8 elektront. Az atommag méretére is csak a Rutherford-kísérlet adott egy felső korlátot:  $R < 10^{-14}$  m. Az 1920-as években azonban Louis de Broglie felfedezte a róla elnevezett összefüggést, és ezzel minden részecskéhez hullámot is rendeltek, amely a részecske lendületével van kapcsolatban.

a) A de Broglie-összefüggés felhasználásával mutassuk meg, hogy egy elektron nem lehet kötött állapotban a  $A = 16$  protont tartalmazó,  $10^{-14}$  m sugarú atommagban!

b) Legalább mekkora sugarúnak kellene lennie az  $A = 16$  protont tartalmazó atommagnak, hogy fogva tudjon tartani akár csak egyetlen elektront?

### Megoldás

Ha a Rutherford-féle becsült magméretet vesszük a de Broglie-hullámhossz becsült méretének is, akkor  $\lambda_B \approx 10^{-14}$  m. Ekkor az elektron mozgási energiája a következő lenne:

$$E_m = \frac{p^2}{2 m_e} = \frac{h^2}{2 m_e \lambda_B^2} = 2,41 \cdot 10^{-9} \text{ J} \approx 15000 \text{ MeV}.$$

Az elektron kötését biztosítani hivatott negatív elektrostatikus potenciális energia viszont:

$$E_p \approx -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{16 e^2}{R} = -3,68 \cdot 10^{-13} \text{ J} \approx -2,3 \text{ MeV}.$$

Mivel a mozgási energia négy nagyságrenddel nagyobb, mint a potenciális energia, ezért az elektron nem lehet kötött állapotban.

b) Az elektron kötött állapotának feltétele:  $E_{\text{teljes}} = E_m + E_p < 0$ . Kírva:

$$\frac{h^2}{2 m R^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{16 e^2}{R} < 0 \Rightarrow R > 6,25 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

Ekkora méret viszont ellentmond a Rutherford-szórás kísérleti eredményeinek ( $R < 10^{-14}$  m).

*Megjegyzés:* a b) pontban számolt méret a klasszikus Bohr-sugárral (alapállapotú hidrogénatom) összemérhető.

## 13. feladat (I. kategória)

kitűzte: Sükösd Csaba

Az ELI-ALPS szegedi kutatóintézet szuperlézereinek HF-PW nevű ága 2 PW maximális teljesítményű, 17 fs hosszúságú lézerimpulzusokat szolgáltat 800 nm közepek hullámhosszon.



a) Mekkora egyetlen lézerimpulzusban tárolt energia? (Tegyük fel, hogy az átlagos teljesítmény a maximális teljesítmény fele!)

b) Hány koherens foton van egyetlen ilyen impulzusban?

c) Mekkora az elektromos télerősség maximális amplitúdója, ha ez a nyaláb  $1 \text{ mm}^2$  felületre van fókuszálva?

d) Hasonlítsuk össze a c) pont eredményét a proton által létrehozott télerősséggel az alapállapotú H-atom sugaránál!

e) Mekkora lehet az ebben az impulzusban lévő fotonok hullámhossz-bizonytalansága?

*Javaslat:* használjuk ki, hogy egy vákuumban terjedő elektromágneses hullámban az egységnyi felületre eső  $S$  teljesítmény kifejezhető a hullám elektromos télerősségének amplitúdójával:  $S = c \epsilon_0 E^2$ , ahol  $c$  a fénysebesség és  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ , a vákuum permittivitása. *További tipp:*  $\Delta(1/x) = \Delta x/x^2$ .

### Megoldás

a) Az átlagos teljesítmény  $1 \text{ PW} = 10^{15} \text{ W}$ . Az ebben tárolt energia:

$$W = P t = 10^{15} \left( \frac{\text{J}}{\text{s}} \right) \cdot 17 \cdot 10^{-15} \text{ (s)} = 17 \text{ J.}$$

b) Egyetlen  $800 \text{ nm}$  hullámhosszúságú foton energiája:

$$\epsilon_f = h \frac{c}{\lambda} \approx 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ J,}$$

ezért a  $17 \text{ J}$  energiát

$$n = \frac{17}{2,5 \cdot 10^{-19}} = 6,84 \cdot 10^{19}$$

koherens foton tudja szolgáltatni.

c) Ha ezt a nyalábot  $1 \text{ mm}^2$  felületre fókuszáljuk, akkor a maximális felületi teljesítménysűrűség:

$$S = \frac{P}{A} = \frac{2 \cdot 10^{15} \text{ (W)}}{(10^{-3} \text{ (m)})^2} = 2 \cdot 10^{21} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Felhasználva a megadott  $S = c \epsilon_0 E^2$  összefüggést, kapjuk, hogy

$$E = \sqrt{\frac{S}{c \epsilon_0}},$$

illetve behelyettesítve az adatokat:

$$E \approx 8,7 \cdot 10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

d) A hidrogénatom sugara  $r_0 = 52,92 \cdot 10^{-12} \text{ m}$  (ez a Bohr-sugár). A protontól ilyen távolságban az elektromos télerősség:

$$E = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{e}{r_0^2} = 5,142 \cdot 10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Látszik, hogy egy ilyen lézerimpulzus által létrehozott télerősség akár még az elektront fogva tartó télerősségnél is nagyobb lehet, azaz akár ki is tudja szakítani az elektront az atom/molekula kötelékéből. Azaz ionizálni is tud, annak ellenére, hogy egyetlen fotonja erre képtelen lenne (mikroszkopikus szempontból ez többfotonos ionizáció).

e) Induljunk ki a helyre és a lendületre vonatkozó Heisenberg-féle határozatlansági összefüggésből:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}.$$

A helyre vonatkozóan  $\Delta x = c \Delta t$ , ahol  $\Delta t$  a lézerimpulzus időbeli „hossza”. A lendületre vonatkozóan pedig:

$$\Delta p_x = h \Delta \left( \frac{1}{\lambda} \right) = \frac{h}{\lambda^2} \Delta \lambda,$$

ahol kihasználtuk a feladat kiírásában adott tippet. Ezekből kapjuk:

$$c \Delta t h \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2} \geq \frac{\hbar}{4 \pi}.$$

Azaz

$$\Delta \lambda \geq \frac{\lambda^2}{4 \pi c \Delta t} \approx 10 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

A lézer hullámhossztartománya tehát  $\lambda = 800 \pm 5 \text{ nm}$ . Mivel az összefüggés csak alsó korlátot adott meg, azt is elfogadtuk, ha valaki a  $\lambda = 800 \pm 10 \text{ nm}$  eredményt adta meg.

### Értékelés

Minden feladatra maximálisan 5 pontot lehetett kapni. A feladatsor nehéznek bizonyult a diákok számára, a korábbi évekhez képest alacsonyabb pontszámok születtek.

Az elérhető 50 pontból az I. kategóriások legjobbjainak maximum 34 pontot sikerült szerezniük, a junioroknak (a három könnyebb feladatnak köszönhetően) 41 pontot.

Meglepő módon a leggyengébben az első feladat sikerült; erre a maximálisan lehetséges pontszám (5) helyett az átlagosan elért eredmény mindössze 0,95 pont volt az I. kategóriánál és 1,3 pont a junioroknál. Az első, a hetedik, és a tizenkettedik feladat (I. kategóriás) kivételével valamennyi feladatra érkezett tökéletes (5 pontos) megoldás is. A 7. és a 12. feladatra maximum 4 pontos megoldások érkeztek, az első feladatra maximum 2 pontot értek csak el egyes tanulók.

A legjobb átlagos pontszámot a második feladatra érték el az I. kategóriás versenyzők (3,85 pont), a Junior tanulók legjobb átlaga (4,9 pont) a kilencedik – kifejezetten junior versenyzők számára készült – feladatnál volt.

*Folytatjuk.*

# MI REJLIK A FÉNYKÉPEN, AVAGY FÉNYGÖRBE ANALÍZISE AZ OSZTÁLYBAN

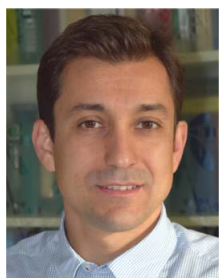
Ollé Hajnalka – Magyar Tanítási Nyelvű Magángimnázium, Dunaszerdahely, Szlovákia  
Kovács Tamás – ELTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék

Az oktatás mindennapi problémája, hogy hagyományos módszerekkel nehezen tudja felkelteni a hallgatóság érdeklődését. E felett nem szabad elsiklanunk. A tanárnak kell olyan módszereket, témákat bevinnie az órára, amelyek képesek kielégíteni a diákok igényeit, mindemellett önálló gondolkodásra, összefüggések felismerésére készítetnek. A tapasztalat egyértelműen azt mutatja, hogy az aktuális kutatások eredményein túl maga a módszer is érdekes számukra. A tanulók kíváncsiak a lehetőségekre, ahogy egy adathalmazból használható információhoz juthatnak.

Ezt igyekeztünk megmutatni nekik egy mindenki számára elérhető adatbázison. A Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) weboldalán [1] egy könnyen kezelhető, nyilvánosan elérhető felületet találtunk, ahol többek között a Kepler műhold által észlelt fedési exobolygórendszerek fénygörbéjét és hozzájuk tartozó fluxusadatokat tekinthetjük meg, tölthetjük le. Ezek olyan rendszerek, ahol a bolygó – számunkra szerencsés – élről látszó pályasíkjában kering. Ez azt jelenti, hogy az égbolt síkja, illetve a bolygó keringési síkja egymással  $90^\circ$ -hoz közeli szöveget zárnak be, így amikor bolygó elhalad központi csillaga előtt, a korong egy részét kitakarja, ami a Kepler érzékelőlapján fénycsökkenést eredményez. Ezt a fénycsökkenést (is) tartalmazza az említett adatbázis, amit az oktatásban könnyedén felhasználhatunk. A kurzor mozgatásával egyszerűen leolvasható a fluxus és az észlelési időpont értéke, amelyek a további számítások során szükségesek lesznek.



*Ollé Hajnalka* csillagász, az ELTE Fizika Tanítása Doktori iskola PhD-hallgatója, valamint a dunaszerdahelyi Magyar Tanítási Nyelvű Magángimnázium fizikatanára. Fontosnak tartja, hogy diákjai megismerkedjenek a korszerű kutatási módszerekkel, és megmutassa szerzett tudásuk gyakorlati hasznát.



*Kovács Tamás* csillagász, az ELTE Elméleti Fizikai Tanszékének munkatársa. Doktori értekezését égi mechanikából írta. Jelenlegi érdeklődési területei a nemlineáris dinamikai rendszerek, idősor-analízis, komplex hálózatok, valamint fázistérbeli transzport statisztikus fizikai leírása és ezek csillagászati alkalmazásai. Bolyai ösztöndíjas. A Fizika Tanítása Doktori Iskola aktív témavezetője.

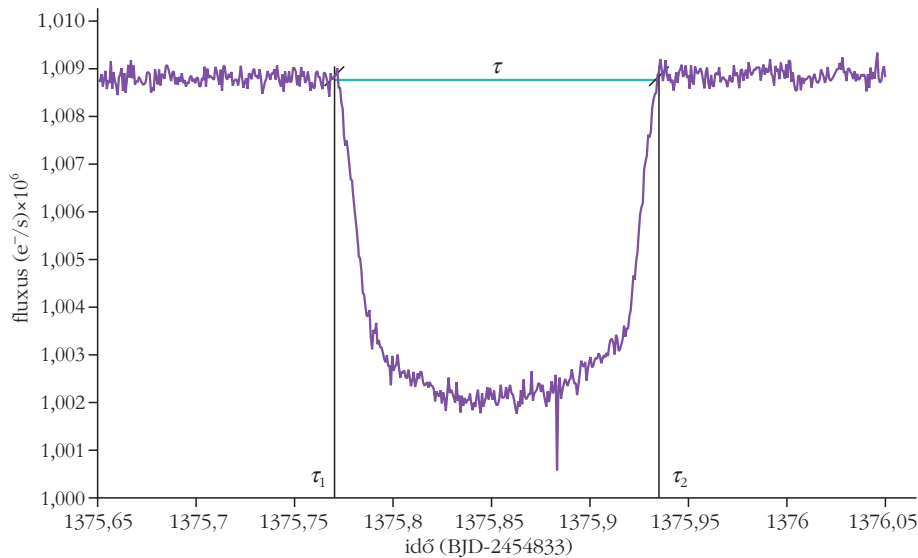
Diákjaimmal azt teszteltük, hogy a tranzit hosszát, illetve mélységét egyszerűen megbecsülve mennyire pontos eredmény érhető el. Így a bonyolult matematikai modellek illesztését elkerülve, középiskolai módszerekkel szemléletes képet kapnak arról, hogy a csillagászok miként határozzák meg a fedési bolygórendszerek paramétereit. Az általunk becsült adatok, egy 53 diák bevonásával készült felmérésből származnak. A diákokat kis létszámú – 10-12 fős – csoportokra osztva vizsgáltuk az adatbázis nyújtotta lehetőségeket. Célravezetőbb kis létszámmal dolgozni, hogy minden diáknak saját számítógépet biztosítsunk, ami az iskola informatikai szaktantermében adott volt. Elsődleges célunk egy kiszemelt exobolygórendszer – mind az 53 diák a Kepler-2 rendszer fénycsökkenését figyelte – paramétereinek lehető legpontosabban meghatározása volt. Fontos megemlíteni, hogy a tanulók különböző időpontokhoz tartozó fedésekből becsülték meg a tranzit hosszát, mélységét, illetve a két fedés közt eltelt időt. Ezek átlagolásával kapták meg a végső eredményt, amelyet a további számítások során is alkalmaztak.

## A Kepler adatbázisa

Nézzük meg, miként juthatunk el addig, hogy jól használható fénygörbe jelenjen meg a képernyőn. A megadott linkre [1] ellátogatva a következő teendő:

- a „Target Name” mezőbe beírjuk a kívánt objektum azonosítóját (például Kepler-2),
- majd a „Search” gombra kattintva egy táblázatot kapunk,
- itt a „Dataset Name” oszlopban dátum szerint rendezett adatsorokat találunk. Gyakorlatilag bármelyikre kattintva rögtön egy fénygörbe jelenik meg.

A vízszintes tengelyen az idő, a függőleges tengelyen pedig a beeső fluxus található. Ami szinte azonnal szembe tűnik, hogy van egy zöld (SAP Flux – Simple Aperture Photometry Flux) és egy rózsaszín görbe (PDCSAP flux – Pre-search Data Conditioning SAP Flux). A rózsaszín egy korrigált fluxus, ami kiküszöböli az előismereteken alapuló hosszú távú trendeket és a szisztematikus hibákat [2]. Becsléseink során inkább ezt, a már korrigált fluxus változását vizsgáltuk. A pontosabb eredmény érdekében célszerű belenagyítani az ábrába. Egérrel egyszerűen kijelöljük a kívánt területet, és ezzel automatikusan ránagyíthatunk a részletre. A kurzor mozgatásával, közvetlenül az ábra alatt, megjelenik az adott pozícióhoz tartozó idő és fluxus értéke. Ezeket az adatokat kell feljegyeznünk. Az egyszerűsítés kedvéért létrehoztunk egy Excel-táblázatot [5], amely a diákok számára is könnyen



1. ábra. A HAT-P-7b bolygó fénygörbéje a MAST adatbázis weboldaláról.

használható. Ha ide beírjuk az egyes adatokat, automatikusan kiszámolja a rendszerre vonatkozó paramétereket.

## Fizikai paraméterek meghatározása

A fedési bolygórendszerek fénygörbéinek tanulmányozása során információhoz juthatunk a bolygó és a csillag sugaráról, a bolygó keringési síkjának pályahajlásáról, a csillag átlagos sűrűségéről, a keringési időről, valamint a pálya fél nagytengelyéről. Az exobolygórendszer fent említett tulajdonságai további bolygók, illetve holdak jelenlétére utaló információkat hordozhatnak, úgy, mint a pályaelemek változása, vagy a fénygörbe alakjában megjelenő anomáliák [3]. Nyilvánvaló, hogy bizonyos hatások olyan kis mértékben jelennek meg a fénygörbén, hogy ilyen egyszerűbb módszerekkel nem mutathatók ki.

Számunkra a tranzit hossza, a csillag és bolygójának sugararánya, a keringési idő, a pálya fél nagytengelye, a csillag tömege lényeges. Nézzük sorra őket!

### Fedés hossza

Példának nézzük meg a HAT-P-7b (Kepler-2) bolygó fénygörbéjét. Az 1. ábrára nézve rögtön megbecsülhető a tranzit  $\tau_1$  kezdetének és  $\tau_2$  végének időpontja. E két adatot kivonva egymásból a tranzit napokban mért  $\tau$  hosszát kapjuk. Mi esetünkben ez az érték  $0,1667 \pm 0,009$  nap lett, míg az irodalmi érték  $0,1669 \pm 0,003$  nap [4].

### A bolygó és csillag sugararánya

Amikor a bolygó kitakarja a csillag egy részét, a megfigyelt fényesség lecsökken. Geometriai megfontolásból kapjuk, hogy a csillag látszó korongjának és az előtte elhaladó bolygó látszó korongjának aránya, megadja a  $\Delta F$  relatív fénycsökkenést. Ennek mértéké-

ből egyszerűen meghatározható a bolygó és a központi csillag sugararánya:

$$\Delta F = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_{\max}} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2},$$

ahol  $r$  a bolygó,  $R$  pedig a csillag sugara. Tehát:

$$\frac{r}{R} = \sqrt{\Delta F}.$$

A fluxuscsökkenésből a diákok megállapították a rendszer sugararányát, amelyre  $0,0807 \pm 0,0036$ -ot kaptak. Ez hibahatárán belül megegyezik a HAT-P-7b sugararányának irodalmi értékével, azaz  $0,077590 \pm 3 \cdot 10^{-5}$ -nel [4].

Ebben az esetben egy másik módszerrel is megvizsgáltuk a rendszert. A MAST weboldalán lehetőség van arra is, hogy a mérési adatokat letöltsük. Azért, hogy ezen adatok a diákok számára is könnyen kezelhetővé váljanak, egy a rövid Python programot és a használatát megkönnyítő leírást készítettünk [5]. A program segítségével egy Excelben szerkeszthető állomány jön létre, mi is ezt elemeztük.

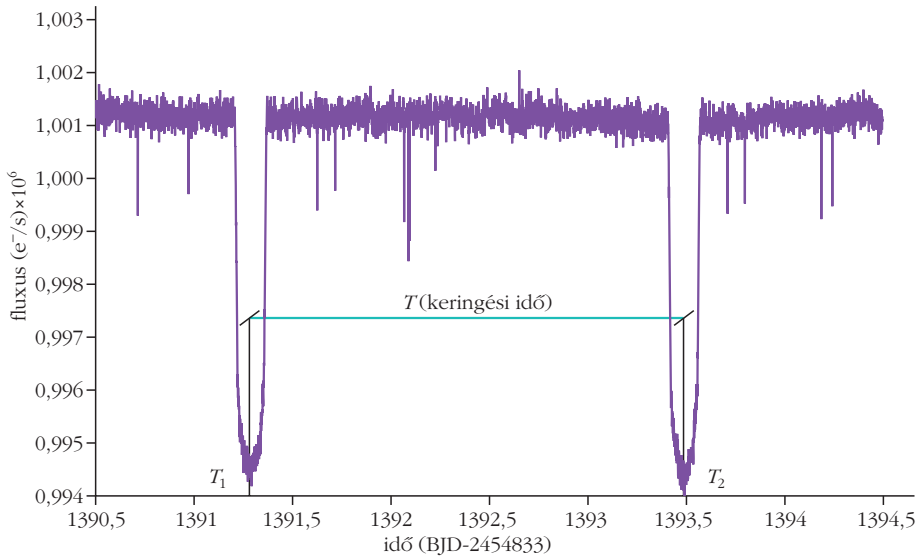
A diákoknak bizonyára kihívás lesz egy ekkora terjedelmű adatsorral dolgozni. Rákényszeríti őket, hogy az egyszerűbb kezelhetőség érdekében módszereket, eljárásokat találjanak ki. Az adatokat módszeresen végignézve, és a fedéseket megkeresve egy egyszerű átlagszámolással meghatározhatjuk a két fedés közti maximális és a fedések idején beeső minimális fluxust. Ilyen módon a sugararányra  $0,0772 \pm 0,0052$ -et kaptunk, ami középiskolai eszközökkel meglehetősen jó eredménynek számít.

### Keringési idő és pályanézet

A keringési idő meghatározásához két egymást követő fedést kell észlelni, hiszen ekkor van azonos pozícióban a bolygó az egymást követő keringések alkalmával. Szerencsére, a használt weboldalon ehhez is egyszerűen hozzáférünk.

A keringési idő meghatározásához úgy állítsuk be a nézetet, hogy két, egymást követő fedés látszódjon, majd a kurzort mozgatva a két,  $T_1$  és  $T_2$  minimum közt eltelt  $T$  idő leolvasható, ami nekünk  $2,201631 \pm 0,011335$  napnak adódott (2. ábra). Ez ismét jó becslés, hiszen az irodalmi érték  $2,204737 \pm 1,7 \cdot 10^{-5}$  nap [4].

Most határozzuk meg ugyanezen rendszer keringési pályáját, azaz a bolygó és csillaga közti átlagos távolságot. Itt nagymérvű egyszerűsítéssel élünk, feltételezzük, hogy a bolygópálya kör alakú. Ez a Naprendszerre nem nagy bűn, de léteznek nagyon elnyúlt, excentrikus pályán mozgó exobolygók. Szerencsére a Kepler-2 (HAT-P-7b) rendszer excentricitása nagyon kicsi [4], így ezt az egyszerűsítést könnyedén megtehetjük.



2. ábra. A keringési idő meghatározása. Ha egyszerre két fedés látszódik, akkor a minimumok időpontja könnyen meghatározható.

Egyszerű középiskolai szintű fizikával belátható, hogy a keringési sebesség felírható a kör kerületének és a periódusidőnek a hányadosaként:

$$v = \frac{2 \pi a}{T}$$

Ahol  $T$  a már említett keringési idő,  $a$  a pálya sugara,  $v$  pedig a pályamenti sebesség. A 3. ábrából az is kiderül, hogy a keringési idő közelíthető olyan összefüggéssel, amely csak a csillag  $R$  sugarát és a tranzit  $\tau$  hosszát tartalmazza:

$$v = \frac{2 R}{\tau}$$

Ha a két egyenletet megfeleltetjük egymásnak, és kifejezzük a pálya sugarát, akkor a következő összefüggésre jutunk:

$$a = \frac{R T}{\pi \tau}$$

Egyetlen probléma, hogy a fénygörbéből csak a sugárarányok határozhatók meg, tehát a csillag konkrét sugarára még szükségünk van. Ezt az egy információt kikeresve a keringési pálya sugara könnyen meghatározható. A szükséges adatok néhány bolygórendszerre a 2. táblázatban megtalálhatók. Mindemellett kiváló feladat lehet az is, ha az információkeresést a diákra bizzuk, ami többszörösen is tanulságos lehet. Rádöbentí őket, hogy az irodalmi értékek is folyamatosan frissülnek, megtanulnak válogatni a rendelkezésre álló források között, va-

lamint a keresés közben sokkal több információhoz jutnak.

A tanulók becslése alapján a fél nagytengely mérete  $0,0366 \pm 0,0011$  CSE, míg a jelenleg elfogadott érték  $0,03796 \pm 0,00063$  CSE [4].

### A csillag tömege

A pálya sugarát (fél nagytengelyét) tudva, *Kepler* harmadik törvénye szerint becsüljük meg a csillag tömegét [6–7]. Meg kell jegyezni, hogy – az egyszerűség kedvéért – a bolygó tömegét elhanyagolhatóan kicsinek tekintettük, az nem jelenik meg az egyenletben. A csillagtömeg a következő összefüggéssel határozható meg:

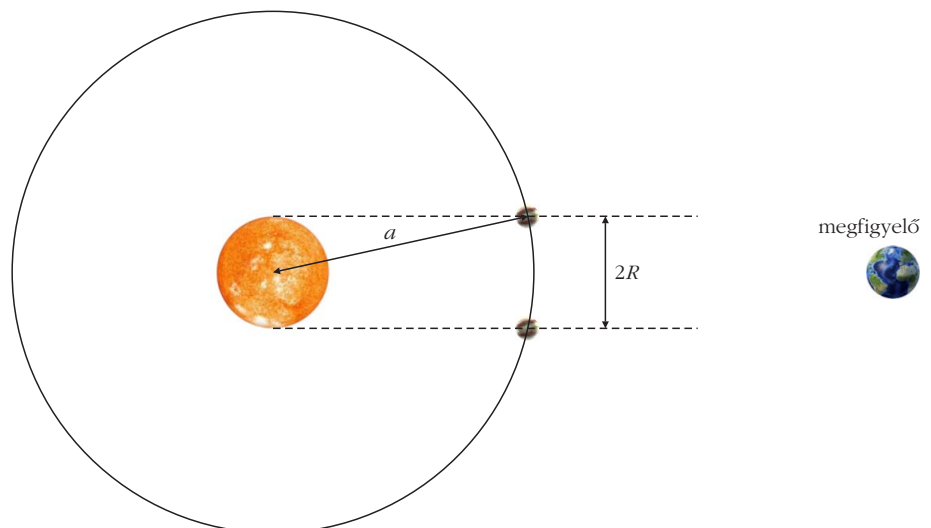
$$M_{\star} = \frac{4 \pi^2 a^3}{G T^2},$$

ahol  $M_{\star}$  a csillag tömege kilogrammban,  $a$  a pálya fél nagytengelye méterben,  $G$  a gravitációs állandó (értéke  $6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ),  $T$  pedig a keringési idő másodpercben. A képletbe a fénygörbéből kapott értékeket helyettesítettük. A csillag tömegére így  $1,4823 \pm 0,4107$  naptömeg adódott, a valóságban ez  $1,500 \pm 0,03$  naptömeg [4].

### Összefoglalás

A feladat megoldása közben mindenképpen tudatosítsuk a diákokban, hogy ezek a módszerek csak egy szemléletes képet mutatnak arról, miként nyerhetünk ki információt a fénygörbe-analízisből, de a kapott

3. ábra. Szemléletes kép a bolygó keringési síkjának elhelyezkedéséről.



1. táblázat

**A diákok, HAT-P-7b (Kepler-2) rendszer paramétereire vonatkozó becslései  
összevetve az irodalmi értékekkel [4].**

paraméter	a diákok által becsült érték	irodalmi érték
fedés hossza ( $\tau$ )	0,1667 $\pm$ 0,009 nap	0,1669 $\pm$ 0,003 nap
bolygó és csillag sugáraránya ( $r/R$ )	0,0807 $\pm$ 0,0036 (ábrából) 0,0772 $\pm$ 0,0052 (adatokból)	0,077590 $\pm$ 3 $\cdot 10^{-5}$
keringési idő ( $T$ )	2,201631 $\pm$ 0,011335 nap	2,204737 $\pm$ 1,7 $\cdot 10^{-5}$ nap
pálya fél nagytengelye ( $a$ )	0,0366 $\pm$ 0,0011 CSE	0,03796 $\pm$ 0,00063 CSE
csillag tömege ( $M_*$ )	1,4823 $\pm$ 0,4107 naptömeg	1,500 $\pm$ 0,03 naptömeg

A fénygörbék elemzését – természetesen – tovább is lehetne folytatni. Figyelembe kellene venni, hogy a több bolygót tartalmazó rendszereknél a bolygók egymás pályáját is perturbálják, ami azt eredményezi, hogy a pályaelemek szekulárisan változnak. Itt egyértelmű kapcsolatot lehet találni a tranzithossz változása (illetve a két tranzit közt eltelt idő változása) és a pályaelemek változása között.

2. táblázat

**A módszer tesztelésére alkalmas, viszonylag nagy relatív fluxuscsökkenésű rendszerek és a fél nagytengely kiszámításához szükséges központi csillag sugara [4].**

név	csillag $R_*$ sugara (napsugár)
Kepler-1	1,003 $\pm$ 0,033
Kepler-7	1,843 $^{+0,048}_{-0,066}$
Kepler-12	1,483 $^{+0,025}_{-0,029}$
Kepler-15	0,992 $^{+0,058}_{-0,07}$
Kepler-41	0,966 $\pm$ 0,032
Kepler-43	1,420 $\pm$ 0,07
Kepler-45	0,55 $\pm$ 0,11

Ötvenhárom tanuló bevonásával meghatároztuk a HAT-P-7b (Kepler-2) rendszer paramétereit. A becsült adatokban voltak kiugró értékek, ami természetes, ennek ellenére – az irodalmi értékekkel [4] összevetve – nagyon jó eredményeket kaptunk a fedés hosszára, a bolygó és csillag sugárarányára, a keringési időre, a pálya fél nagytengelyére, illetve a csillag tömegére. Egyértelműen látható, hogy a módszer alkalmas bolygórendszerek bizonyos paramétereinek meghatározására, amit az 1. táblázat is összefoglal.

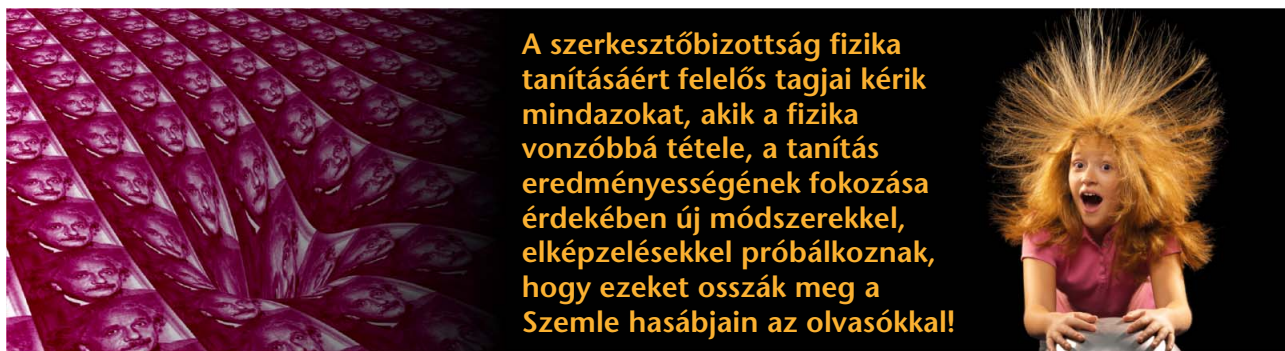
A további munka megkönnyítése érdekében, összegyűjtöttünk néhány olyan bolygórendszert (2. táblázat), amelyek alkalmasak a bemutatott módszer használatára. Az összeállítás során figyelembe vettük, hogy a fedés relatív fluxuscsökkenése nagy, illetve a keringési idő viszonylag kicsi, így gyakori a fénycsökkenés legyen.

eredmények mindenképpen csak közelítő jellegűek. Éppen ezért kiegészítésként össze kell vetni az adatbázisokban található tényleges adatokkal.

Didaktikai szempontból azért fontos, mert a probléma több szempontból is közelíthető, ezáltal kapnak komplex képet a rendszerről. Figyelembe kell venni az égi mechanikai tényezőket, geometriai elrendeződést, fotometriai tulajdonságokat. Igazából egyetlen adatot kellett kikeresni, a csillag valódi sugarát, minden mást magából a fénygörbéből állapítottunk meg.

#### Irodalom

1. [http://archive.stsci.edu/kepler/data\\_search/search.php](http://archive.stsci.edu/kepler/data_search/search.php)
2. <https://docs.lightcurve.org/tutorials/01-lightcurve-files.html>
3. Szabó M. Gy., Simon A., Szalai T.: Újdonságok az exobolygók világából. *Fizikai Szemle* 61/7–8 (2011) 217.
4. [http://exoplanets.org/detail/HAT-P-7\\_b](http://exoplanets.org/detail/HAT-P-7_b)
5. <http://www.mgds.eu/exo/exo.zip>
6. <https://www.astro.umass.edu/~weinberg/a114/handouts/concept1.pdf>
7. Horváth Zs.: Exobolygók minden szinten. *Fizikai Szemle* 67/3 (2017) 93.



**A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a 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 egyszámlán.

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 1000.- Ft (duplaszámé 2000.- Ft) + postaköltség.

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

# TISZTELGÉS EÖTVÖS LORÁND ELŐTT

Henk Kubbinga: A Tribute to Loránd Eötvös<sup>1</sup>

Olvasóink joggal gondolhatják, hogy ismerik *Eötvös Loránd* életét és munkásságának jelentőségét, de Eötvös Loránd esetén mindig adódik valami újdonság. Például *Henk Kubbinga* (EPS – Fizika-történeti Csoport) alapvetően európai látásmódjával nemrégiben olyan dokumentumokat tárt fel, amelyek új megvilágításba helyezik Eötvöst, a Heidelbergi Egyetem 1860-as évekbeli hallgatóját.<sup>2</sup> Eötvösnek a gravitációs és tehetetlenségi tömeg azonosságát egyre növekvő pontossággal igazoló munkája alapvető volt *Albert Einstein* számára az általános relativitáselmélet felé vezető úton. Ezt természetesen minden fizikushallgató már alapkollégiumaiban megtanulja, de relevanciája nagymértékben megnőtt, mióta Kubbinga megtalálta, hogy miként tudta Einstein az elsők között megismételni *Planck* számítását a *h* állandóról.



## A TRIBUTE TO LORÁND EÖTVÖS

Henk Kubbinga – University of Groningen (The Netherlands) – DOI: <https://doi.org/10.1051/epn/2020405>

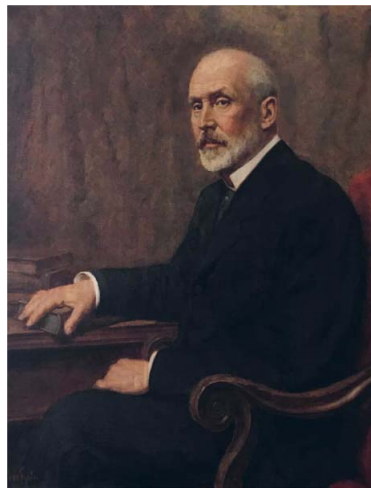


FIG. 1. Loránd Eötvös by Gyula Eder (oil on canvas; 89×73 cm; 1941), after a photograph made by Kálmár Székely (1913). Courtesy: Eötvös University, Budapest.

### Politics, science, fundamental science

In order to be prepared for an eventual political career, like that of his father, Loránd Eötvös studied law at Budapest's University (1865–1867), before definitely switching to physics, mathematics and chemistry. On 7 July 1870, he passed the PhD under supervision of Gustav Kirchhoff in Heidelberg without a formal dissertation. In 1872 he was nominated Professor of Physics at the University of Budapest, the university which, since 1950, carries his name.

In the mid 1880s an interest in gravitation became apparent, in all probability initiated by the first results of the triangulation campaign of the territory of Austria-Hungary (1860–1913) with the European degree measurement in the background. Gravitation—or gravity, if you please—had been part of the physicist's subconsciousness since Newton, and every now and then it resurfaced, mostly in the context of a debate on conservation laws.

### Instruments and their accuracy

Eötvös started by considering the instruments that would allow for an exact measurement of the gravitational constant (his *y*, our *g*), or perhaps better: its 3D-variation. Among his new instruments featured the torsion balance of 1891. It consisted of two equal weights of about 30 g fixed at the ends of a horizontal beam of 25 cm, the beam being attached in the middle to a platinum wire carrying the whole. That wire also carried a small mirror such that the reflection of a ray of light, produced e.g. by a storm lantern, could be observed from a distance. It was affected by heavy masses like lead balls, so it worked indeed. With a brass sphere at the one end, the material at the other end could be varied (glass, cork, an empty glass sphere, ...). When the beam was put orthogonal to the local meridian, its behaviour was observed, first, when the brass

<sup>1</sup>*Europhysics News* 51/4 (2020) 27–29. DOI: <https://doi.org/10.1051/EPN/2020405>; <https://epn.eps.org/epn-51-4/#28>

<sup>2</sup>Lendvai János: Eötvös-dokumentumok a Heidelbergi Egyetemen. *Fizikai Szemle* 70/2 (2020) 37.

## CSATLAKOZZ AZ EPS-HEZ! MOST!

Az Európai Fizikai Társulat egyedülálló lehetőséget ad egyéni vélemények európai szintű kifejtésére. Az EPS honlapján ([https://eps.org/page/membership\\_im](https://eps.org/page/membership_im))



részletes információk találhatóak az egyéni tagság előnyeiről és a különböző tagsági kategóriák (diák, tanár, nyugdíjas, harminc év alatti, teljes tagság munkahelytől függő) díjairól.

## SZÓRAKOZTATÓ FIZIKA

# HUMOR A TUDOMÁNYBAN, TUDOMÁNY A HUMORBAN

Megy a derivátoroperátor az utcán, egy kivétellel hajlonganak előtte a függvények.

– Te miért nem hajolsz meg előttem? – kérdezi felháborodva.

– Én vagyok az  $e^x$ .

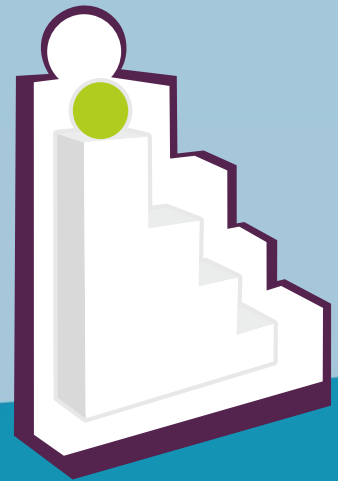
Pap a templomban: „Az igazsághoz vezető út  $y = x^2 - 4x + 4$ .” Egy hívő a szomszédjához: „Most miről beszél?” „Hagyd el, egyike a paraboláinak.”

Matematikus kislfia: – *Papa, hogy kell írni a nyolcast?*  
– *Egyszerű:  $\pm\pi/2$ -vel elfordítjuk a végtelent.*

A kocsmapultnál végtelen sok matematikus áll sorban. Az első: – *Kérek egy korsó sört.* A második: – *Kérek egy fél korsó sört.* A harmadik: – *Kérek egy negyed korsó sört.* Pultos: – *Szórakozzatok az öreganyátokkal!* – és levág eléjük két korsó sört.

(Horváth Dezső)

# 30. IFJÚSÁGI TUDOMÁNYOS ÉS INNOVÁCIÓS TEHETSÉGGUTATÓ VERSENY



## AZ IFJÚ FELTALÁLÓKAT ÉS TUDÓSJELELTEKET KERESSÜK!

### A verseny támogatói:

**Fő támogató:** Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, az NKFI Alap

**Kiemelt támogató:** Magyar Tehetségszolgáltató Szervezetek Szövetsége  
Emberi Erőforrások Minisztériuma Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala  
VALOR HUNGARIAE Zrt.

**Kiemelt szponzor:** AUDI HUNGARIA Zrt.

**Jelentős támogató:** Magyar Suzuki Zrt. | B. Braun Medical Kft. | Tungsram Operations Kft.  
Richter Gedeon Vegyészeti Gyár Nyrt. | Ericsson Magyarország Kft. | Egis Gyógyszergyár Zrt.  
77 Elektronika Műszeripari Kft. | Sanatmetal Kft. | Mediso Kft.

**Támogató:** Innomed Medical Zrt. | NI Hungary Kft. | BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. |  
Értelmiségi Szakszervezeti Tömörülés

**Szakmai-stratégiai partner:** Klebelsberg Központ, Startup Campus,  
Kárpát-medencei Tehetséggutató Alapítvány

**Médiatámogatók:** Fő támogató:  MS Támogató:  **KARC FM**



Részletes felhívás: [www.innovacio.hu](http://www.innovacio.hu)  
További információ: tel.: 06-1-430-3330  
[innovacio@innovacio.hu](mailto:innovacio@innovacio.hu)

## Beküldési határidő: 2020. november 25., 15 óra

### Fővédnök:

Dr. Palkovics László miniszter,  
Innovációs és Technológiai Minisztérium  
Dr. Kásler Miklós miniszter,  
Emberi Erőforrások Minisztériuma

A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési  
és Innovációs Hivatal támogatásával,  
az NKFI Alapból valósul meg.



AZ NKFI ALAPBÓL  
MEGVALÓSULÓ  
PROJEKT

AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE

