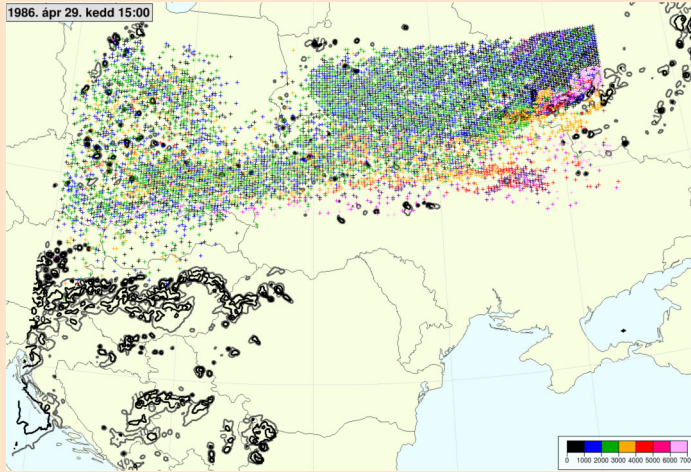


# fizikai szemle

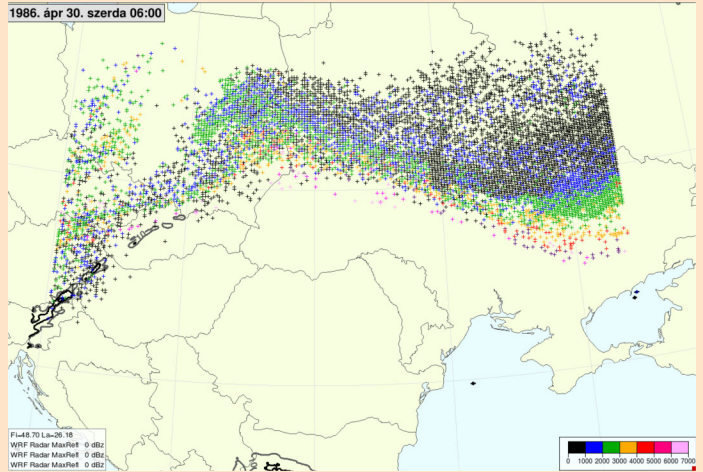
2016/9



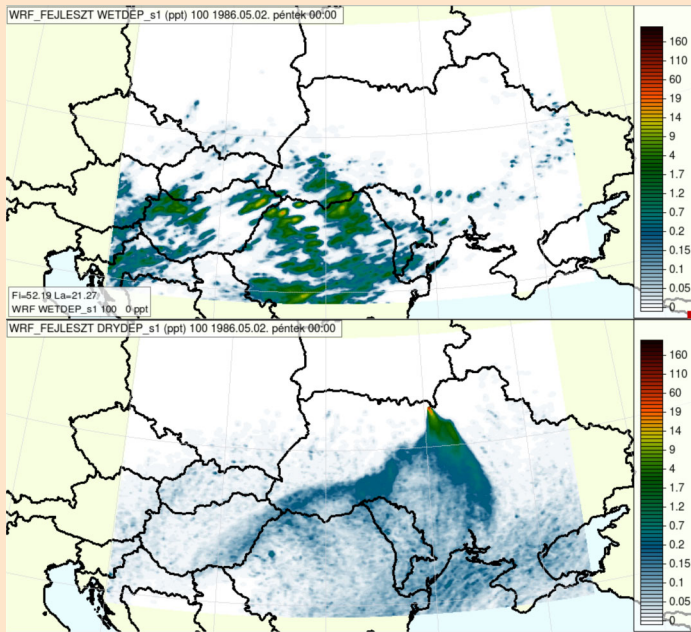
# Nagy Attila, Horváth Ákos: Radioaktivitás a légkörből színes ábrái



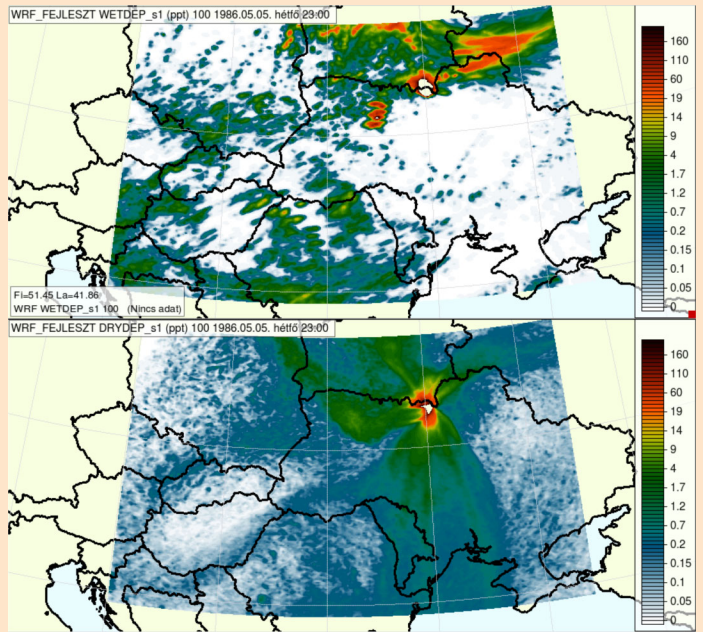
3. ábra. A modellezett radioaktív részecskék helyzete magasságukat jellemző színezéssel 1986. április 29. 15 UTC-kor. A fekete vonalak a WRF-modell által előrejelzett zivataros területeket jelölik.



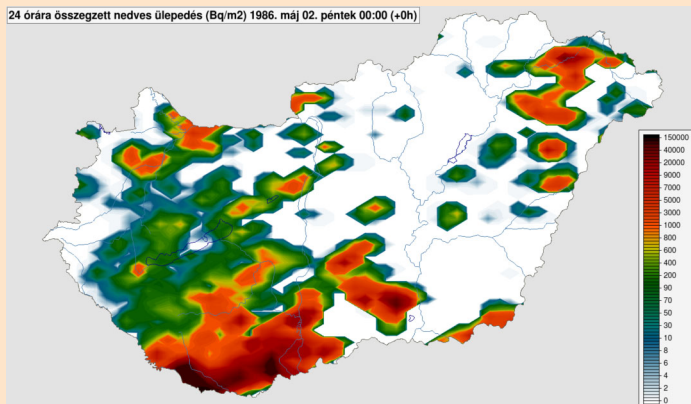
4. ábra. A modellezett radioaktív részecskék helyzete magasságukat jellemző színezéssel 1986. április 30. 06 UTC-kor. A fekete vonalak a WRF-modell által előrejelzett zivataros területeket jelölik. Az április 29-én kialakult zivatarlánc lokális áramlásmódosító hatása átmenetileg hátráltatta a radioaktív szennyezés érkezését Magyarország légterébe.



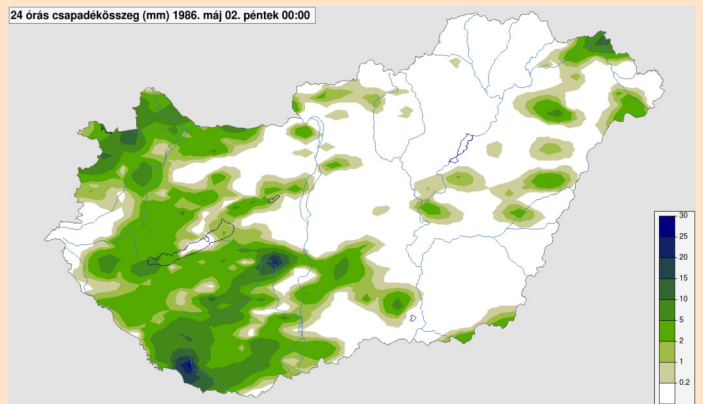
5. ábra. A Cs-137 összegzett nedves (felső kép) és száraz (alsó kép) ülepedése 1986. május 1-jén 00 UTC és 24 UTC között. A színezéssel megjelenő adatok  $\text{ng}/\text{m}^2$  egységben értendők.



6. ábra. A Cs-137 összegzett nedves (felső kép) és száraz (alsó kép) ülepedése a balesetet követő 10. napon (1986. május 5. 21 UTC). A színezéssel megjelenő adatok  $\text{ng}/\text{m}^2$  egységben értendők.



7. ábra. Az öt radioaktív elem összegzett nedves ülepedése 1986. május 1-jén, az aktivitás ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) egységben kifejezve.



8. ábra. Az 1986. május elsején lehullott csapadékösszeg mm-ben kifejezve.

**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:*

**Szatmáry Zoltán**

*Szerkesztőbizottság:*

**Bencze Gyula, Czitrovsky Aladár, Faigel Gyula, Füstöss László, Gyulai József, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor**

*Szerkesztő:*

**Lendvai János**

*Vendégszerkesztő:*

**Horváth Dezső**

*Műszaki szerkesztő:*

**Kármán Tamás**

*A folyóirat e-mail címe:*

**szerkesztok@fizikaiszemle.hu**

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

*A folyóirat honlapja:*

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



*A címlapon:*

**Az LHC CMS észlelőrendszeréhez Vesztergombi György kezdeményezésére és vezetése mellett készült detektorelemek tokozására várnak a CERN-ben.**

VESZTERGOMBI GYÖRGY EMLÉKÉRE

<i>Horváth Dezső:</i> Vesztergombi György, 1943–2016	286
<i>Siklér Ferenc:</i> Egy életút	287
<i>Nagy Elemér:</i> Emlékeim a kezdetekről	289
<i>Igor Szavin:</i> Levél Dubnából	291
<i>Boldizsár László:</i> Generációm mentora	292
<i>Rubin György:</i> Világpolgár és egyetemes kutató	294
<i>Veres Gábor:</i> Egy elmagányosodott iroda üzenetei	296
<i>Barnaföldi Gergely Gábor:</i> Virtuális és valós találkozások	299
<i>László András:</i> A tanítómester	301
<i>Fülöp Ágnes:</i> Iskolateremtő	302

*Nagy Attila, Horváth Ákos:* Radioaktivitás a légkörből 304

– a csernobili baleset légköri viszonyainak újraszámítása

*30 év elteltével a korszerű meteorológia modellek és a modern számítógépek lehetővé teszik az akkori időjárási helyzet újraelemzését*

### IN MEMORIAM...

*Radnai Gyula:* Centenárium megemlékezések, 2016 – 2. rész 311

– száz éve született angolszász fizikusok

*Négy jelentős tudós életútjának ismertetése*

### A FIZIKA TANÍTÁSA

*Kiss Miklós:* Ütközésekről középiskolában – másként 316

*Tömegközépponti rendszer alkalmazása az ütközések leírásában*

### HÍREK – ESEMÉNYEK

Kitüntetések augusztus 20-a alkalmából 319

Európai érdekességek a *Europhysics News* válogatásában 320

REMEMBERING GEORGE VESZTERGOMBI

*D. Horváth:* George Vesztergombi, 1943–2016

*F. Siklér:* A life path

*E. Nagy:* My recollections of the early years

*I. Szavin:* A letter from Dubna

*L. Boldizsár:* Mentor of my generation

*G. Rubin:* Cosmopolitan and universal scientist

*G. Veres:* Messages from an abandoned office

*G. G. Barnaföldi:* Virtual and real meetings

*A. László:* The master teacher

*Á. Fülöp:* A new school of thought

*A. Nagy, Á. Horváth:* Radioactivity from the atmosphere

– Reanalysis of the atmospheric processes after the Chernobyl accident

### IN MEMORIAM...

*Gy. Radnai:* Centenary commemorations 2016 – Part 2

Anglo-Saxon physicists born 100 years ago

### TEACHING PHYSICS

*M. Kiss:* Collisions in secondary school physics – a less conventional treatment

### EVENTS





# VESZTERGOMBI GYÖRGY, 1943–2016

Vesztergombi György eltávozott. Korunk egyik legnagyobb kísérleti részecskefizikusa volt, meghatározó szerepet játszott csaknem valamennyi magyar vonatkozású részecskefizikai együttműködés megalapításában. A *Fizikai Szemle* jelen számát jórészt neki szenteljük, a cikkeket tanítványai és munkatársai írták, és azokból hihetetlenül sokoldalú fizikus képe bontakozik ki.

Gyuri egészen fiatalon kitűnt remek ötleteivel és kimeríthetetlen munkabíráásával. Még nem is találkoztam vele, de már regéltek róla a 70-es években, Dubnában. Az egyik ilyen legenda szerint az együttműködés délutáni megbeszélésén felmerült egy megoldatlan probléma és Gyuri másnap reggel jelentkezett a megoldás 20 oldalas jelentésével. Amikor hosszú külföldi munka után hazatért Magyarországra, azonnal nekilátott az RMKI Részecskefizikai Osztály átszervezéséhez. A cikkekből kiderül, hogyan szervezte meg az L3-együttműködés magyar csoportját, vitte be Magyarországot az NA49- (később NA61-), ALICE- és CMS-együttműködésekbe.

Nem lehetett neki nemet mondani. Engem, aki addig csak alacsony energiás fizikával foglalkoztam, rábeszélte, szervezzek csoportot a LEP elektron-pozitron ütköztető OPAL-kísérletéhez, pedig ezzel a saját L3-csoportjának csinált konkurenciát. Rávette a magyar részecskefizikus-közösséget, támogassa Magyarországot csatlakozását az LHC két kísérletéhez, a CMS-hez és az ALICE-hoz (*Élet-halál kérdése, hogy mindkettőhöz csatlakozunk!* – mondta mindenütt), majd a döntéshozókat, hogy írják alá a csatlakozást és fizessék be a magyar hozzájárulást a két kísérlet megépítéséhez. Akkor az a furcsa helyzet állt elő, hogy Magyarországot utolsónak írta alá a csatlakozást és elsőként fizette be a hozzájárulást.

Jórészt neki köszönhető Magyarországot számos részecskefizikai tevékenysége:

- a *Budapest-fal* nevű detektorelem megépítése az NA49-kísérlethez;
- sikeres részvétel a CMS-kísérlet *Hadron Forward* kaloriméterének megépítésében;
- a hihetetlenül sikeres *Detector Data Link* gyors adatgyűjtő rendszer létrehozása és legyártása eredetileg az ALICE-kísérlethez, amelyet utána tucatnyi más, nagy kísérlet is felhasznált;
- a *CERNtech* kisvállalkozás létrehozása az RMKI-CERN együttműködés technikai támogatására;
- Magyarország belépése az LHC Computing Grid rendszerbe és a CMS egyik legsikeresebb Tier-2 adatelemző központjának létrehozása az MTA KFKI RMKI-ban;
- a Wigner FK bekapcsolódása a CERN gyorsító-technikai fejlesztésébe, különös tekintettel a lézeres plazmagyorsításra.

Mind ezt határozottan, lelkesen, mindig optimistán, jó humorral és elképesztő kitarással vitte végbe.

Részecskefizikát oktatott az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, tanítványai mindenütt ott vannak, ahol kísérleti részecskefizika folyik. Részt vett az L3-kísérlet fotonütköztetési tanulmányaiban, és amikor ottani tanítványa, *Csilling Ákos* e témában megszerzte PhD-fokozatát, majd átjött hozzánk, az OPAL-kísérletbe, hozta magával a témát és abból számos diplomamunka és PhD-fokozat született nálunk is.

Kitűnő előadásokat tartott mindig alkalmazkodva a hallgatóság érdeklődési szintjéhez, kisiskolásoktól egészen a saját csoportszemináriumunkig. Megalapításától kezdve ő volt a magyar CMS-csoport vezére és a magyar CERN-bizottság fizikus tanácsadója.

Reméljük, a tisztelt magyar fizikusközösség ugyanolyan szeretettel fogadja ezt az emlékszámot, amilyenel szerzői megírták.

*Horváth Dezső*  
vendégszerkesztő





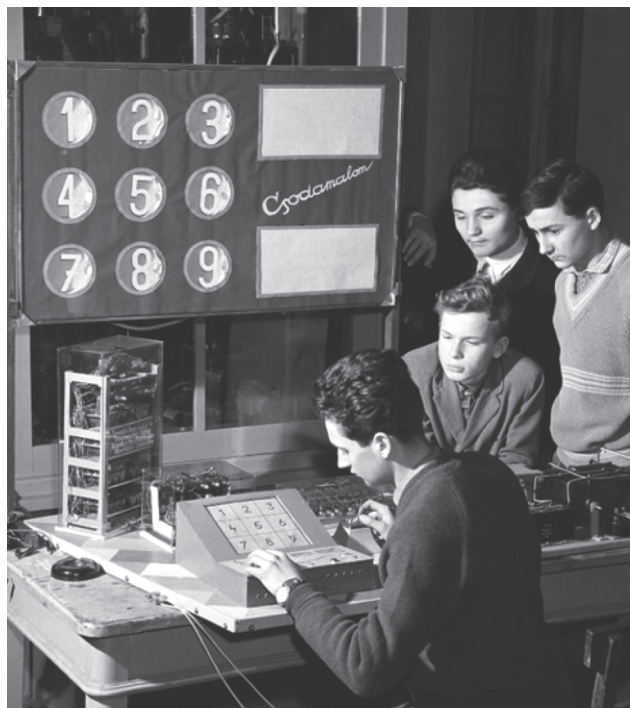
Életének 73. évében elhunyt *Vesztergombi György*, a magyar nagyenergiás fizikai kutatások meghatározó alakja, az MTA Wigner FK professzor emeritusa, az ELTE TTK nyugalmazott egyetemi tanára.

Vesztergombi György – számunkra Gyuri – 1943-ban Mohácson született. A budapesti Piarista Gimnázium elvégzése után tanulmányait az ELTE TTK fizikus szakán folytatta. Diplomamunkáját a KFKI-ban a Magfizikai Osztályon neutronok által előidézett reakciók vizsgálatából írta. 1967-ben szerzett fizikusi oklevelet.

Gyuri kísérleti fizikusi pályafutását a Nagyenergiás Osztályon, a buborékkamra-felvételeket feldolgozó csoportban kezdte. *Nagy Elemérrel* a semleges kaonok négyfotonos bomlásának kiértékelésében vett részt. Hamarosan csatlakozott a szerpuhovi gyorsítón végzett kísérletekhez. Kifejlesztett módszere lehetővé tette, hogy fotók helyett az adatokat tartalmazó mágnesszalagok feldolgozására térjenek át. A szénen való kaonregeneráció vizsgálata szolgált kandidátusi disszertációjának alapjául (Egyesített Atommagkutató Intézet, Dubna, 1974).

A kísérletek sikeres befejezése után Gyuri a Genf melletti CERN-ben dolgozott tovább. A proton-proton ütközőnyalábos gyorsítón *Pierre Darriulat* csoportjában a nagy merőleges impulzusú jelenségek vizsgálatával foglalkozott. 1976-tól a protonok kvarkszerkeze-

1962: A Mikszáth téri gimnázium kibernetikai szakkörének egyik büszkesége a csodamalom, amely a malomjátékot játssza élő ellenféllel. A 40 jelfóval működő asztali készülék ugyanannyit tud, mint a Philips gyár 136 elektroncsővel és ugyanannyi germánium dióddal működő szobanagyságú berendezése. Vesztergombi György, a gép egyik építője ellenőrzi a játék működését. (MTI Fotó: Mikó László)



tének vizsgálatát az SPS gyorsító müon-nyalábján folytatta, a később Nobel-díjjal kitüntetett *Carlo Rubbia* csoportjában. A Nagy Elektron-Pozitron Ütköztető L3-kísérletének tagjaként részt vett a W- és Z-bozonok részletes tanulmányozásában. A kísérletek egyik fontos eredménye volt, hogy csak háromféle neutrínó létezik a természetben.

A 80-as évek közepén már Münchenben, az MPI-ben dolgozva csatlakozott az NA35 streamerkamrás kísérlethez. Ez volt az első próbálkozás az anyag korábban nem ismert halmazállapota, a kvark-gluon plazma felfedezésére. Gyuri 1990-es hazatérése után itthon, az alacsonyabb energiákon dolgozó magyar kísérleti csoportokra támaszkodhatott, a téma pedig jól illeszkedett a *Zimányi József* vezette elméleti nehézion-fizikai műhely tevékenységéhez is. A magyar CERN-csatlakozást kihasználva megalapította az NA49-együttműködés magyar csoportját *Pálla Gabriellával*, *Fodor Zoltánnal* és *Sziklai Jánossal*. Fontos magyar hozzájárulásként megépítettük és üzemeltettük a Budapest-fal nevű repülési idő-spektrométert. *Kvark és mértékbozon kölcsönhatások* című akadémiai doktori értekezését 1992-ben védte meg.

Erre az időszakra esik első találkozásunk is: szakdolgozati témát kereső egyetemi hallgatóként jártuk a KFKI-t. A 2-es épületet látogattuk meg utoljára, Vesztergombi professzorral szerettünk volna beszélni. Meglepetésünkre egy közvetlen, fiatalos kutatóval ismerkedtünk meg, aki lelkesen hívott Kolumbusz hajójára, a lehetőségek hajójára. Így is lett: kinyílt az új világ, magával ragadott minket a kísérleti nagyenergiás fizika birodalma.

Gyuri az NA49-ből kinövő NA61-kísérletnek egy ideig társ-szövívője és az együttműködés tanácsának elnöke volt. Ezzel párhuzamosan megkezdte az előkészítő munkát a CERN Nagy Hadronütköztetőjén tervezett kísérletekre.

A KFKI-RMKI kutatói irányítása alatt készítették el a CMS-kísérlet *Hadron Forward* kaloriméterét. Csoportjának feladata volt továbbá a nyomkövető detektor

pozicionálása, a gyenge deformációk kiszűrése. A kísérletek végül elvezettek a Higgs-bozon felfedezéséhez. Fontos, kezdeményező szerepet játszott a *Rubin György* és *Kiss Tivadar* mérnökcsoportja által megalkotott, a detektorok adatait nagy sebességgel elszállító, üvegszálalás átviteli eszköz (DDL) kifejlesztésében. Az elkészült berendezéseket több nagyenergiás kísérletben, elsőként az ALICE-nél alkalmazták.

Gyuri előre látta, hogy az LHC-n előálló hatalmas adattömeg klasszikus módszerekkel már nem lesz kezelhető. Kollégáival – köztük *Ódor Gézával* – egy asszociatív programozáson alapuló számítógép kifejlesztésében vett részt, amely több ezer processzort tartalmazott. A párhuzamos algoritmusok kérdésköre még nagyon hosszú ideig érdekelte, legutóbb *Fülöp Ágnes-sel* dolgozott ilyen eljárásokon. Az utolsó években erősen foglalkoztatta az adatfeldolgozás nem processzoro-

kon, hanem programozható logikai kapukon történő közvetlen, digitális elektronikai megvalósítása, valamint ezek részecskefizikai, orvosbiológiai alkalmazásai.

Gyuri úttörő szerepet játszott új ötletek kidolgozásában, forradalmi elképzelések megismertetésében és terjesztésében. A neutrínók kölcsönhatásainak tanulmányozására megálmodott egy, az LHC protonjaival előállított nyalábot: a Genfi-tó vizét használta volna gigantikus detektorként. Élénken foglalkoztatták a műonokkal katalizált fúzió gyakorlati megvalósítási lehetőségei is. Itthon az elsők között ismerte fel a gerjesztett plazma által hátrahagyott térhullámmal működő gyorsítók jelentőségét. Reménykedett abban, hogy a TeV-ek után megnyílhatnak a magasabb energiatarományok, és felbonthatjuk az eddig pontszerűnek ismert kvarkokat.

Vesztergombi György hosszú ideig volt a KFKI-RMKI Részecskefizikai Főosztályának vezetője, tuda-

## Vesztergombi György, a tudományszervező



Göncz Ápád a CERN-ben (1997).



Magyar küldöttség a CMS-detektornál (2008).



A Wigner Adatközpont átadása a Wigner Fizikai Kutatóközpontban, 2013. Jobb oldalt Pálkás József MTA-elnök, mellette Orbán Viktor miniszterelnök, középen Rolf-Dieter Heuer, a CERN főigazgatója, mellette Pokorni Zoltán polgármester, balról a harmadik Vesztergombi György.



mányos tanácsadó, majd az MTA Wigner FK professzor emeritusa. Nagyon fontosnak tartotta az egyetemi hallgatók oktatását, a kapcsolattartást a fiatal kutatókkal. Az ELTE TTK Atomfizikai Tanszékén először címzetes egyetemi tanárrá, majd egyetemi tanárrá nevezték ki. Több, mint 25 éven át tanított kísérleti részecskefizikát. Számatalan tudományos diákköri, diploma- és doktori dolgozat témavezetője volt.

Munkája elismeréseként 1982-ben az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Schmid Rezső-díját, 1992-ben az MTA Akadémiai Díját, 2009-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend Tisztikeresztjét vehette át. Szerteágazó ismeretterjesztő tevékenységét a *Fizikai Szemle* 1999-ben Nívódíjjal jutalmazta. Az MTA Fizikai Osztálya Részecskefizikai Tudományos Bizottsága, a Magyar CERN Bizottság, valamint számos CERN-központú testület tagja, magyar delegáltja vagy képviselője volt. A Magyar Tudományos Művek Tára több, mint 1100 tudományos közleményét tartja számon.

Az utolsó találkozás során már súlyos betegen, otthon, ágyban fekvébe fogadott minket. Nagyon gyorsan a fizikára terelődött a beszélgetés: nagyintenzitású nyalábok, magfúzió, egybites processzor. Tele volt kidolgozott és még kidolgozásra váró, nagyszabású tervekkel. Tudta, hogy ezeket már nem ő valósítja meg. A végén egymásra nézve kezét fogtuk.

Személyében egy nagy hatású, sokoldalú, ötletekkel teli tudóst veszítettünk el. Gyuri tevékenységével sokaknak adott lendületet, kutatók új generációit indította el pályájukon, akik szellemi örökségét továbbvisszik és emlékét jószívvel megőrzik.

### Vesztergombi György a *Fizikai Szemlében*

Semleges kaonok vizsgálata Szerpuhovban – 1982/1116  
A jövő kísérleti fizikája és a párhuzamos számítógépek – 1994/168  
A bölcsek kavicsa – az irracionális elektron – 1997/356  
Magyarország, CERN és a részecskefizika jövője – 1999/5  
Találkozásaim Telegdi Bálinttal – 2002/4

## EMLÉKEIM A KEZDETEKRŐL

Először 1967-ben találkoztam *Gyurival*. Buborékkamrás felvételeket hoztam párizsi tanulmányutamról azzal a céllal, hogy ezeket a KFKI Kozmikus Sugárzási Osztályán értékeljük ki. Akkortájt a részecskefizika központi témája a kombinált tér- és töltéstükrözési (CP) szimmetria sérülésének tanulmányozása volt, és ehhez fontos információval szolgált a

Vesztergombi György a CERN Intersecting Storage Ring (egymást metsző tárológyűrűk) gyorsítójánál épülő mérőberendezést vizsgálja Igor Szavinnal 1975-ben. (CERN képanyag)



Nagy Elemér

Centre de Physique des Particules de Marseille

rövid életű semleges kaonok töltött, illetve semleges pionokra történő bomlási gyakoriságának pontos meghatározása. A felvételek kiértékelése ehhez járult hozzá. *Telbisz Ferenc*, aki a számítógépes rekonstrukciót irányította, azzal a jó hírrel fogadott, hogy az Osztályra éppen akkor vett fel egy „igen tehetséges fiatal kutatót”, aki a felvételek kiértékelésében segítségemre lesz. Gyuri, a fiatal kutató valóban minden várakozásomat felülmúlta, miután igen hamar egy egészen eredeti algoritmust javasolt és valósított meg, amivel azonosítani tudtuk a semleges pionokra történő bomlást azzal, hogy a kamrában lefényképeztett 4 (esetenként 3) foton egy közös térbeli pontból indul ki. Mindannyiunk számára, akik ebben az analízisben részt vettünk, világos volt, hogy egy nem mindennapi tehetséggel dolgozunk együtt, aki ígéretes jövő előtt áll. Igyekeztem erről többször is biztosítani aggódó édesanyját. Az időben Gyuri ugyanis súlyos operáción esett át, de hála a kiváló orvosi beavatkozásnak és nem utolsósorban Gyuri hatalmas akaraterejének és az őt mindvégig jellemző nagyfokú fegyelmezettségének, úgy tűnt, hogy teljesen visszanyerte egészségét.

Nem sokkal ezután csatlakoztunk egy Szerpuhovban tervezett kísérlethez, amelynek célja a híres Pomerancsuk-tétel ellenőrzése volt. A tétel szerint a részecskék és antirészecskék hatáskeresztmetszetének különbsége aszimptotikusan zérus értékhez tart. A 70-es évek elején a szerpuhovi protongyorsítón lehetett megvalósítani a világ legnagyobb energiájú ütközéseit, így igen érdekesnek tűnt annak megvizsgálása, hogy ez a rekordnak számító energiatartomány már aszimptotikusnak mondható-e. A javasolt

kísérletben közvetlenül meg lehetett határozni a semleges kaon és semleges antikaon hatáskeresztmetszetének különbségét. Minthogy a semleges kaonok tanulmányozásában már rendelkezünk bizonyos tapasztalattal, a kísérlet vezetője, *Igor Szavin* örömmel fogadta csatlakozásunkat, különösen azért, mert Gyuri vállalta, hogy az alkalmazott detektorban rekonstruálja majd a kaonok bomlásából származó töltött pionok trajektóriáját. Vállalását ebben az esetben is teljesítette, bár a feladat itt különösen nehéz volt, miután nem vizuálisan megjelenített, hanem szabad szemmel nem látható, 2-dimenziós elektronikus adatokból kellett visszaállítani a 3-dimenziós részecskepályákat. A sok hamis kombináció hathatós kiszűrése nagy leleményességet igényelt. A dubnai EAI-ban, ahol a számítógépes programot írtuk és teszteltük, akkoriban egyetlen központi, nagy teljesítményű CDC-gép üzemelt. A normális üzemmód az volt, hogy a felhasználó este 6 óráig leadta lyukkár-

tyáit, majd másnap reggel mehetett az eredményért. Nyilvánvalóan ilyen körülmények között véges idő alatt nem lehetett részletesen tesztelni egy bonyolult rekonstrukciós programot, ami igen sok futtatást igényelt. A megoldást Gyuri találta ki. Engedélyt kért arra, hogy éjszakánként beengedjenek a gépterembe, és a gép üresjárataiban lehetővé tegyék, hogy a program eredményét a helyszínen ellenőrizzük, és ha kellett, a paraméterek megváltoztatásával újrafuttassuk. Mai nyelven, rendszeres éjszakai műszakokat végeztünk a számítógép mellett – első alkalommal az EAI történetében. Mindez döntő szerepet játszott abban, hogy az együttműködés a kijevi „Rochester Konferencián” 1970-ben be tudta mutatni első eredményét.

Téves lenne a fentiek alapján azt gondolni, hogy Gyuri csak a részecskefizika technikáját űzte igen magas szinten. Vérébeli fizikus volt. Sohasem vesztette szem elől a kísérlet fő célját. Elsősorban mindig az ér-

## Vesztergombi György és a Nagy Hadronütköztető (LHC)



Az LHC-alagútban 2008-ban, az LHC indulásakor.



LHC-bögrét vizsgálva.



Nyílt nap a Wigner Fizikai Kutatóközpontban, Csillebércen, 2014-ben, Pokorni Zoltán polgármesterrel és mögötte Török Ádámmal, az MTA főtitkárával.



dekelte, mit mondanak az *adatok*. Módszereit is mindenekelőtt azokon próbálta ki. A gyorsítók által kapott adatokat hatalmas kincsbányának tekintette. Az vezette, hogy olyan jelenségeket fedezzen fel bennük, amit addig még senki sem látott, sőt talán még el sem képzeltek, hogy léteznek. Emlékszem, hogy a c-kvark felfedezését követően éjt nappallá téve dolgozott azon, hogy a dubnai adatokban olyan rezonanciacsúcsokat találjon, amelyek mindaddig mindenki előtt rejtve maradtak. Manapság, amikor a részecskefizika is rendkívül fejlett szimulációs és kiértékelési technikát alkalmaz, a primer adatok iránti megkülönböztetett figyelem példaértékű kell maradjon a fiatal generáció számára.

Dubnai együttműködésünk után a sors úgy hozta, hogy kutatói pályánk párhuzamos vágányokon haladjon tovább. Bár több alkalommal dolgoztunk ugyanazokon a gyorsítókon, például a CERN ISR protonütköztetőjén, a CERN SPS 450 GeV-es protonszinkrotronjának műon-nyalábján, vagy akár a CERN Nagy Hadronütköztetőjén, többé soha sem vettünk részt ugyanabban a kísérletben.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kivételt képez a CERN LEP elektron-pozitron tárológyűrűjén az L3-kísérlet, de Gyuri oda azután érkezett meg, amikor én a neutrínó oszcillációjának kutatására tértem át.

## LEVÉL DUBNÁBÓL

Kedves Dénes!<sup>1</sup>

Nekünk, *Vesztergombi György* dubnai kollégáinak nagy szomorúságot okozott a hír, hogy régi barátunk eltávozott. Kérlek, add át részvétnyilvánításunkat rokonainak.

György elismert kollégánk volt itteni tartózkodása és közös munkánk alatt mind a dubnai Egyesített Atommagkutató Intézetben, mind sok más, Dubnán kívüli részecskefizikai kísérletben. Kutatóként mindig nyitott szemmel várta az új felfedezéseket ezen a területen, és aktívan állt hozzá a bonyolult problémák megoldásához. Nagyon fontos volt hozzájárulása az elektronikus kísérletek adatelemzési módszereinek fejlesztéséhez.

Vesztergombi György nagyon intelligens személy volt, akivel remekül lehetett tárgyalni nemcsak tudományos kérdésekről, hanem a mindennapi élet problémáiról is. Emberi kvalitásai segítettek hozzá, hogy sok nemzetközi kísérletben vezethessen magyar kutatócsoportot.

Sokáig fogunk emlékezni rá.

Vesztergombi György kollégái nevében:  
*Igor Szavin*

<sup>1</sup> A levelet Nagy Dénes Lajosnak írták.

Így másoktól értesültem arról, mivel foglalkozik, milyen sikereket ért el. Személyesen csupán konferenciákon vagy a CERN kávézójában találkoztunk, néhány esetben családja körében, vagy mint utoljára is, a balatoni gyorsvonaton. Minden alkalommal élményt jelentett a vele történő beszélgetés. Emlékszem, egyszer azt vitattuk, vajon *Sam Ting* csoportjának sikerült-e rátalálni a sötét anyag egyik forrására a Nemzetközi Űrállomáson elhelyezett berendezésével. Gyurit főképpen azért foglalkoztatta akkor ez a friss hír, mert már be akarta építeni másnap reggeli előadásába.

Gyurit minden érdekelte, ami a fizikával kapcsolatos. Még felsorolni is nehéz hiánytalanul, mennyi témában vett részt személyesen. Emellett, felhasználva kiváló meggyőző erejét, tanítványainak seregét indította el ötleteinek megvalósítására. Meghatározó alakja volt a hazai részecskefizikai kutatásoknak, és mindig büszkeséggel töltött el, hogy egyike voltam azoknak, akik elindították pályáján. Mindannyiunknak nagyon fog hiányozni, kiváló tanácsaival, néha kritikus, de mindig építő meglátásaival, csillogó tekintetével, szelíd, finom humorával. Osztom családtagjai bánatában. Őket is pótolhatatlan veszteség érte a szerető férj és a nagyszerű édesapa eltávozásával.

Vesztergombi György és Igor Szavin 1975-ben. (CERN képanyag)



„...nem keresnénk egyetlen örömről mások megszólításában, ha abszolút magányunkban bizonyosak lehetnénk az igazság felől...”  
(Karl Jaspers)

1991–96 között végeztem az ELTE fizikus szakát, s negyedévesként kellett diplomamunkát választanunk. Bennem már valamivel korábban megérlelődött, hogy a részecskefizikát választom, ráadásul annak a kísérleti ágát. Az egyetem elsősorban az elméletiek fellegvára volt, és lehetett tudni, hogy kísérleti részecskefizikát inkább a KFKI RMKI-ban lehet úzni.

Gyuri ekkor bevezető előadást tartott nekünk kísérleti részecskefizikából, így kézenfekvő volt, hogy tőle lehetne a témához kapcsolódó diplomamunkát kérni.

El kell mondani, hogy sok dologban nagyszerű volt, viszont az egyetemi kurzusok tartása nem tartozott ezek közé, ami elbizonytalanító tényező volt. Ez nem azt jelenti, hogy rossz előadó volt. Ha épp egy öt érdeklő témáról beszélt, azt nagyon lelkesen, összeszedetten és szuggesztíven tudta előadni, az egyetemi alapozó órái azonban – legalábbis az én időmben – nem ilyenek voltak.

Ennek ellenére jelentkeztem nála, méghozzá konkrétan azzal, hogy a LEP gyorsító valamelyik kísérletében szeretnék dolgozni, annak ellenére, hogy ő ebben az időszakban főleg az NA49-re koncentrált, és inkább ide irányította a diákokat. Később is mindig úgy éreztem, hogy a nehézion-fizika van nála a középpontban, s a LEP (és azon belül az L3-kísérlet) kicsit másodlagos volt.

Azt hiszem, talán már a dubnai évek óta érdekelték a semleges kaonok, amelyeket az L3-ban keresni kezdtünk. A hadronikus eseményekben, két pionon keresztül 4 fotonra bomló végállapotot kerestünk (*Fülöp Ágnessel és Tóth Józseffel*), de elég hamar kiderült, hogy a hatalmas statisztikai háttér miatt ez elég reménytelen vállalkozás.

Végül fél évvel később CERN nyári diákjaként sikerült közelebb kerülni a fotonfizikai folyamatokban keletkező semleges kaonokhoz, igaz csak a töltött pionokra bomlókhöz (ami valamivel egyszerűbb probléma), és ez elég jó alap volt egy diplomamunkához.

Azt hiszem, Gyuri minden diákja elmondhatja, hogy a kezdeti nehézségek leküzdése után meglehetősen önállóságot kapott a munkája során. Erre nagyon jellemző – bár magam sem tudom, miként alakult így –, hogy Gyuri, mint témavezetőm, már csak akkor találkozott a diplomamunkámmal, amikor azt bekötte letettem az asztalára. Ő pedig fogta a közel 120 oldalas dolgozatot és elkezdte olvasni az elejétől fogva, oldalról oldalra, miközben ott álltam az íróasztala mellett, és kezdtem magam furcsán érezni. Végül úgy 20 oldal után kérdezett valamit, és utamra engedett.

Gyuriról mindenkinek az jut eszébe, hogy rendkívül sok és szerteágazó téma érdekelte. És valóban, vannak kutatók, akik talán egész életüket egyetlen téma dédelgetésével töltik el, de Gyuri nem ilyen ember volt. Ahogy a természetben is vannak fajok, amelyek csupán pár utódot hoznak létre, és azokat óvják a végletekig, mások viszont rengeteg leszármazottal próbálják biztosítani a fajfenntartást. Nos, azt hiszem, Gyuri is inkább a nagy számok törvényében hitt.

A '90-es évek vége még az a „hőskorszak” volt, amikor nem léteztek fapados repülőjáratok, és a CERN-be való utazás megfizethető módját a végtelen autótak jelentették. Mai fejjel egyre inkább elképesztőnek tűnik ez a sok autózás, télen hóban, nyáron légkondi nélküli autókban, közel 1400 km, ami 14-16 órát vett igénybe. Számos kaland és vicces történet kapcsolódik ezekhez az utakhoz, amelyeket a résztvevők azóta is széles körben mesélnek. Emlékszem, hogy volt egy sorozat, amikor 3-4 egymást követő út során mindig az a kerék lett defektes, amelyiknél én ültem. Egyik alkalommal pár km-re Genf előtt, sötétben, esőben, egy híd alatt cseréltünk kereket. Mindenki tudja, hogy Gyuri egy esernyőt használt „tempomatként”, s az egyre nagyobb sebesség hajszolása helyett inkább a megállások számát próbálta redukálni. Akkor örült, ha az egész utat egyetlen müncheni tankolással kellett csak megszakítani, sőt, a maga szelíd módján mindig azon bosszankodott, hogy miért nem gyártnak olyan autót, amelynek a hatótávja elérné az 1400 km-t, hogy megállás nélkül lehessen eljutni Genf.

Nem tudok felidézni egyetlen alkalmat sem, amikor Gyurit igazán ingerültnek láttam volna. Félelmetesen nyugodt volt. Emlékszem egy alkalomra, amikor korán reggel kellett volna elindulnunk a CERN-be, ám a kocsija másként gondolta. Fél nap szereltük, mire valamikor délután útnak indulhattunk. Szerintem bármelyik átlagos idegrendszerrel rendelkező ember már rég fogott volna egy nagy kalapácsot, hogy azzal a felismerhetetlenségig verje szét a makacs gépet, de ő nem ilyen volt. A legdurvább bosszankodás, amit valaha hallottam tőle a mosollyal kísért „A csudába!” felkiáltás volt.

E maratoni autózások legemlékezetesebb momentumai azonban a hosszú, az egész utat végigkísérő beszélgetések voltak, amelyek során szinte minden témakör előkerült; a fizika talán kevésbé, annál több történelem, politika és kultúra. Az egyik kétszemélyes utunkra azóta is különös örömmel emlékszem vissza. Szinte repült az idő, az egész utat végigbe-



széltük, újabb és újabb témákat érintve. Életem egyik legnagyobb élménye volt. Gyurit az egész világ érdekelte, rendkívül széles látókörű volt, az élet minden területén kereste az összefüggéseket, törvényszerűségeket, igazi fizikus módon szeretne volna megismerni és megérteni nem csak a fizikai, hanem a társadalmi problémákat is, ráadásul nem az a fajta beszélgetőpartner volt, aki igazából csak a saját hangját akarta hallani, őszintén kíváncsi volt arra, hogy a másik ember mit gondol.

Azt hiszem, Gyurinak igazán kivételes tehetsége volt arra, hogy korán felismerje az egyes kínálkozó lehetőségek súlyát. Emlékszem rá, amikor egy alkalommal (még a LEP idejében) minden, épp a CERN-ben lévő magyart meginvitált egy előadásra, amely a leendő, sok-sok nagyságrenddel nagyobb adatmennyiség kezeléséről szólt, és amelyet elég nehéz volt komolyan venni... Pár évvel később ebből nőtt ki a grid, amelynek ma a Wigner Adatközpont a gerince.

Az utolsó téma, amelyen igazán szorosán együtt dolgoztam vele 2005–2006 táján, a CBM-kísérlethez kapcsolódik. Gyurinak volt egy rendkívül elegáns megközelítése, hogy lehetne majd a CBM-kísérletben Y-mezonokat megfigyelni; és igazán lelkesen, gyakorlatilag kézenfogva végigvezetett az elgondolása mentén, aminek a végén sikerült a megfelelő szimulációkkal kimutatni, hogy az ötlet valóban működőképes.

A leginkább megdöbbentő és zavarba ejtően példamutató Gyuri személyiségében pontosan ez a végtelenül szelíd, őszinte lelkesedés volt, amellyel élete végéig a különböző problémákhoz viszonyult.

Mint minden ember, ő sem volt tökéletes; de nagyon sokan nagyon sokat köszönhetünk neki. Rengeg embert, főként diákokot vont be szerteágazó ötletei mentén a kísérleti részecskefizika kultúrájába. Ezen a területen ma a részecskefizikusok egész generációja hiányozna az ő munkája nélkül.

Kedves Gyuri, őszinte tisztelettel búcsúzunk tőled!

## Vesztergombi György, a tanítómester



Piarista gimnázium (2011).



Lelkesítő magyarázat kollégáknak...



Az LHC indulása (2009).



...és kollégának.

## Világpolgár és magyar

Vékony, csontos, kortalan alakja, fontos papírokkal tömött, anyag eleganciával hordott zakója a világ minden táján, kutatóintézetekben, egyetemeken, bizottságokban, politikusok irodáiban gyakran megjelent. Ehhez a nagy mozgékonyasághoz segítségére volt nyelvtudása, jónéhány nyelven írt és beszélt. Bárhol a világon sikeres lehetett volna, rengeteg meghívást kapott, de mindig hangsúlyozta, magyar akar lenni, itthon akar boldogulni, még ha sokszor nehézségekbe ütközik is. Magyar fiatalokat akar nevelni, és segíteni őket a tudományos pályán. Tanítványait nehéz lenne összeszámolni.

## A szuggesztív előadó

Olyan szuggesztív előadó volt, és olyan költői elragadtatással beszélt a tudomány eredményeiről és lehetőségeiről, hogy az még egyetemi és kutatóintézeti falakon kívül is ámulatba ejtett sok embert. Megvolt az a ritka tulajdonsága, hogy bonyolult dolgokról is egyszerűen és közérthetően tudott beszélni. Hadd mondjam el két, ezzel kapcsolatos élményemet. Nem is egyszer Többször volt vegyes érdeklődésű társaság nálunk, ahol Gyuri is megjelent. Szó szót követett, majd egyszerre már csak Gyuri hangja hallatszott, és a vendégsereg apraja-nagyja Gyuri felé fordulva varázsolódott el a kozmosz rejtelmeiben, a világ és a tudomány nagyszerűségében, az emberi elme nagyságában gyönyörködve. Barátaink hazamenetel előtt azt mondogatták, mindig ilyen érdekes, hasznos és izgalmas baráti találkozókra szeretnének járni. Azután ott volt a 70., a feleségemmel közös születésnapunk. Sokan gyűltünk össze. Gyuri mondta a köszöntőt, ami persze pár kedves mondat után átalakult tudományos előadássá. Vendégeink sokáig emlegették a nevezetes találkozót, nemcsak Gyuri rabul ejtő beszéde miatt, hanem mert sokan lemaradtak a desszetről, mivel a hosszú előadás végét nem tudták kivárni, indultak a vonatok, buszok, ágyba kellett dugni a gyerekeket...

## Megvilágosodás, avagy mire jó néhány karton cigaretta

Mesélte, hogy otthoni és iskolai (piaristák) szigorú, konzervatív, vallásos neveltetése következtében milyen idealista, ártatlan és naiv volt, amikor bekerült az egyetemre. Az NDK-ban töltött nyári gyakorlat alatt azonban egy pillanat alatt megvilágosodott, és attól kezdve teljesen más ember lett. Egy idősebb, tapasztaltabb (dörzsöltebb) egyetemi társával együtt ment az NDK-ba nyári gyakorlatra, aki már korábban is járt ott. Szólt Gyurinak, hogy vegyen néhány karton cigarettát, amit

majd az utcán esténként árulnak, és így lesz egy kis költőpénzük a sovány ösztöndíj mellett. Gyuri azelőtt elképzelni sem tudta, hogy ilyet tegyen, fogalma sem volt arról, hogy ez mivel jár, de bízott a barátjában, és megvette a cigarettákat. Azután az NDK-ban egyik este kiálltak az utcára, árulni a dohányt. Zavartan álldogált a utcasarkon, és csak akkor jött rá, hogy mibe keveredett. Rettegett attól, hogy jönnek a rendőrök, és letartóztatják, hogy bűnei miatt villám sújtja az égből, de csak addig, amíg nem jöttek a vevők, pár perc alatt elfogyott a készlet, és egész szép hasznot zsebeltek be. Nem tartóztatták le a rendőrök, nem szakadt rá az ég. Gyuri egy pillanat alatt megvilágosodott: „Ja, hát a Világ az nem is olyan, mint ahogyan én eddig gondoltam! A Világról gyerekként tanultam valamit, a Világ működik valahogy, és ez a kettő nem mindig azonos!” Ez a felismerés azután egész életében segítette, hogy a merev és sokszor életidegen szabályok között ügyesen lavírozva elérje fontosnak érzett céljait.

## A ház

Azt mondta, egy férfinak építenie kell egy házat. Épített is egyet, nem is akármilyet, nagy panorámával számtalan szobával. Olyan házat, amelyik sosem készült el, mert mindig új ötlete támadt, mindig épített hozzá valamit, mindig lebontott valamit, mindig változtatott rajta. Tele volt ötletekkel. Gondoltam is, hogy ő maga is olyan, mint a háza, nagyszerű, levegős, különleges, és félbehagyott... Korán ment el. Annyi ötlete volt még! A Jóistennel folytatott párbeszédében állandó megerősítést kapott, hogy hittel és bizalommal építkezzen, alkosson, ötleteljen, de valahogy a végén egy kicsit korábban hívták az égiek.

## A munkatárs

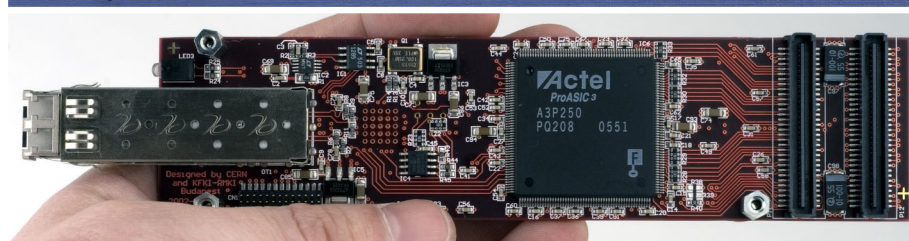
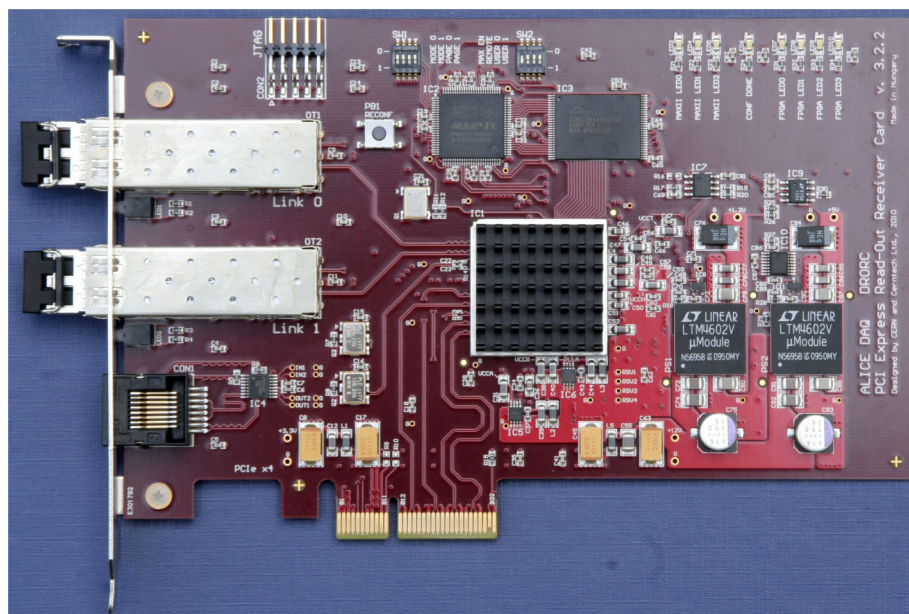
Gyurit 49 éve, 1967-ben ismertem meg. Életutunk sokszor találkozott, és életünk két időszakában intenzíven együtt is dolgoztunk. Nem csak kollégák, hanem barátok is voltunk.

1967-ben kezdtem dolgozni a KFKI-ban. Mindketten a 4. épületben, ugyanazon a folyosón dolgoztunk, ő a Nagyenergiás Osztályon, én a Fizikai Optikai Laboratóriumban. Akkor még csak felületesen ismertük egymást.

1975-ben kimentem dolgozni Dubnába. Vesztergombiék már 2 éve ott voltak. Akkor kezdődött barátságunk, és ismerkedtek meg a családjaink. Szakmai kapcsolatunk nem volt, de mindig érdeklődtünk egymás szakmai munkája iránt.

Legközelebb 1991-ben, a CERN-ben kapcsolódott össze az életünk. Ő már évek óta ott dolgozott. Én ösztöndíjjal *Robert McLaren* csoportjába kerültem, ahol új





Két eszköz a gyors adatátvitelre, amelyet Vesztergombi György vezetésével építettek 2001-ben (fölül), illetve 2002-ben (alul) magyar kutatók.

generációs, nagy sebességű adatátviteli rendszerek kifejlesztésén dolgoztak. Gyurit nagyon érdekelte a téma, és sokat beszélgettünk erről. Néhány évvel az LHC-projekt elindítása előtt voltunk, és a szakemberek számára már akkor is világos volt, hogy az egyik legnehezebben megoldható technikai probléma a hatalmas tömegű adatátvitel lesz a detektorokból a számítóközpontokba. Ösztöndíjam lejártakor Robert McLaren azt javasolta, hogy szervezzek egy fejlesztő csoportot otthon a KFKI-ban, és működjünk együtt az adatátviteli rendszerek fejlesztésében. Hazatérésem után tárgyaltam intézetem, az SzFKI igazgatójával, aki azt mondta, hogy én egyedül foglalkozhatok a témával, de ehhez az SzFKI semmilyen támogatást nem nyújt. Néhány nap múlva véletlenül találkoztam Gyurival, és elmeséltem neki a történetet. Azonnal megkérdezte, hogy át akarok-e jönni az RMKI-ba, mert ha érdekel a dolog, megpróbálja elintézni. Néhány nap gondolkodás után igent mondtam. Ezt követően viszonylag rövid időn belül az RMKI-ban, a Nagyenergiás Főosztályon megszervezték a Detektorépítési Osztályt, amelynek élére kineveztek osztályvezetőnek. Hatékony együttműködést alakítottunk ki Robert McLaren csoportjával, és végrehajtottunk néhány sikeres, közös projektet is. Hozzákezdünk a nagy sebességű adatátviteli rendszerek architektúrájának kidolgozásához az LHC detektorai számára. Robert elképzelése az volt, hogy ugyanazt az adatátviteli rendszert fogja használni az összes detektor. Mivel Gyuri már évek óta a CERN-ben dolgozott, rendkívül

kiterjedt kapcsolatrendszerrel rendelkezett. Tájékozódott az ügyben, és világossá vált számára, hogy Robert koncepcióját valószínűleg nem fogják elfogadni. A CERN egyes vezetői ugyan mellette álltak, de Gyuri úgy gondolta, hogy a detektorok technikai vezetői nem fognak támogatni egy ennyire nagyszabású fejlesztő projektet, mivel annak végrehajtása nagyon bonyolult lenne, és túl sok kompromisszumot kellene kötniük az egyes detektorok különböző követelményei miatt. Ehelyett inkább a saját detektorokra optimalizált adatátviteli rendszerek kifejlesztése mellett teszik le a voksukat. Gyuri azt javasolta nekem, hogy a Detektorépítési Osztály csatlakozzon az ALICE-kísérlethez. A bonyolult diplomáciai manőverezést ő végezte, amelynek eredményeként elkezdődhetett együttműködésünk az ALICE adatgyűjtő csoportjával. Felkértek, hogy a követelményrendszerük alapján dolgozzuk ki az adatátviteli

rendszerük (Detector Data Link – DDL) architektúráját és protokollját. Ezen a területen azonban nem voltunk egyedül, egy svéd egyetem és egy német kutatóintézet is meg akarta szerezni a DDL-projektet. Két évig tartó kemény versenyben győztünk, és ránk bízta a DDL kifejlesztését. Ebben a harcban Gyuri háttér-információval sokat segített nekünk. Ezt követően, a projekt végrehajtása során mindenben számíthatunk rá. Sokat segített például pályázatok elnyerésében és kapcsolatok megteremtésében. A legnagyobb harcot ő egyedül vívta meg. A DDL kifejlesztésének költségeit legnagyobb részben a ALICE állta. A CERN-es szabályok szerint azonban a gyártás költségeit a beszállító országnak kell fedeznie. Emiatt teljesen lehetetlennek tűnt számunkra, hogy a gyártás Magyarországra kerüljön. Gyurinak minden ügyességére, tapasztalatára és egy nagy adag szerencsére is szüksége volt ahhoz, hogy a pénzt meg tudja szerezni a gyártáshoz. A CERN-ben a DDL-projektet az egyik legsikeresebb kelet-európai technológiai projektnek tartják. Ezen sikerek tették lehetővé, hogy a világ számos más kutatóintézete is a DDL használata mellett döntsön. A magyarországi gyártás nélkül ez a projekt nem kötődött volna egyértelműen az országhoz. Gyurinak ebben a sikerben elvülhetetlen érdemei vannak.

Több mint tíz évnek kellett eltelnie ahhoz, hogy ismét együtt dolgozzunk. 2011-ben nyugdíjasként hazatértem az USA-ból. Az volt a tervem, hogy néhány év otthoni „levezetés” után végleg abbahagyom

a szakmai munkát, és teljesen a hobbijaimnak élek. Sajnos vagy szerencsére ez nem így történt. 2014-ben Gyuri megkeresett azzal, hogy van egy ötlete a bioinformatika területén. Arra kért, hogy segítsék neki az ötletet szabadalomként érlelni. Eleinte nem akartam teljes erővel beszállni a munkába, és csak annyit ígértem, hogy szakértőként tanácsokat adok neki. A lelkesedése azonban hamarosan engem is elragadott, és teljes erővel belevetettem magam a munkába. 2015 elején már benyújtottuk a magyar szabadalmi kérelmet és 2016 elején a nemzetközi szabadalmi kérelmet is. Az utolsó találkozásunk és egyben búcsúnk alkalmával megkért arra, hogy foglalkozzam a szaba-

dalom hasznosításával. Nagyon remélte, hogy sikerülni fog nekem ez a munka. Az időm egy részében tehát most ezzel foglalkozom, a hobbijaimra így kevesebb időm marad.

A szabadalmunk alapján egy olyan eszköz építhető, amely lehetővé teszi, hogy a DNS-analízis egy fontos és erőforrásigényes részfeladatát sokkal gyorsabban és olcsóbban el lehessen végezni, mint a jelenleg használatos módszerekkel. Gyuri évtizedeken keresztül foglalkozott több ezer – több millió nagyon egyszerű processzor segítségével végrehajtható párhuzamos algoritmusokkal. A DNS-analízis szabadalom ezen elv egy specializált alkalmazása.

## EGY ELMAGÁNYOSODOTT IRODA ÜZENETEI

Veres Gábor

ELTE Atomfizikai Tanszék

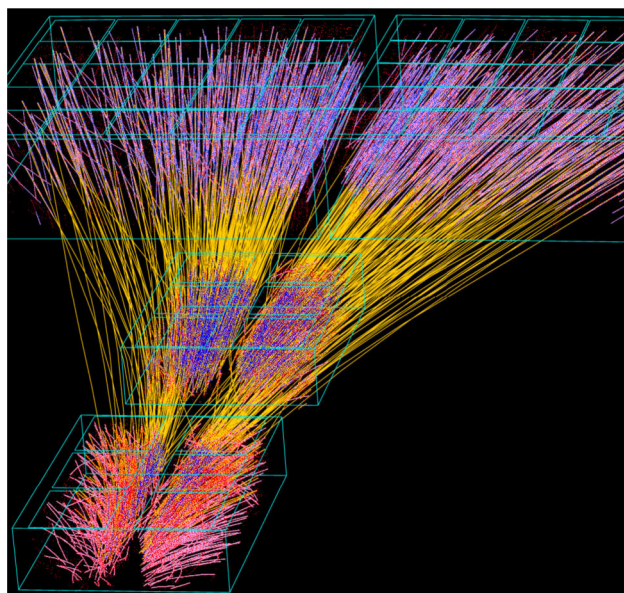
Ebben a számban *Vesztergombi Györgyre* emlékezünk. Az én emlékezetem pedig nagyon szubjektív: így főleg a velem létrejött szakmai és emberi kapcsolatán keresztül tudom bemutatni személyiségét és a tudományban, valamint az oktatásban kifejtett hatását. Ez tehát csak egy nagyon kis részét jelenti az ő szerteágazó és sokszínű életútjának, és meg sem próbálhatok teljességre törekedni. Maradnom kell annál a szerény epizódnál, amit a közös munkánk során tapasztaltam és kaptam tőle.

Vesztergombi György nem sokkal Magyarországról CERN-hez való csatlakozása után, 1995-ben lett a tudományos témavezetőm, és ebben a minőségében egészen 2002 áprilisáig, a PhD-fokozatom megszerzéséig elkísért. Első beszélgetésünk nagyon élénken megmaradt bennem, amikor diákként kutatómunkát kerestem. Gyuri – ahogy a kollégái és tanítványai szólították – ahelyett, hogy aggodalmasan levizsgáztatott volna annak megállapítására, vajon elég hasznos segítőtársa leszek-e, azonnal bevitt a laboratóriumba a KFKI RMKI-ban, és megkért, hogy *Barna Dániellel* – aki hasonló cipőben járt mint én – vizsgáljuk meg a fény terjedési sebességét az akkoriban épülő Repülési Idő detektor szcintillátorrúdjaiban, amelyet az NA49-kísérletben akartunk használni, a CERN SPS gyorsítójánál. Azonnali bizalma nagy hatással volt rám, és később is rendkívül motiváló volt

Gyuri, mint témavezető részéről. Ekkor határoztam el, hogy vele maradok szakdolgozatot írni.

A következő feladat a CMS HF (Hadron Forward) kaloriméterének tervezése volt, amellyel kapcsolatban Gyurinak voltak ötletei, de ezek pontos kidolgozásában számított ránk. Ez a fontos detektor sok évvel később valóban megépült, meghozzá részben Csillebércen, a KFKI RMKI telephelyén. Azóta számtalan mérésben alkalmazták, és ma is működik a CERN-ben. Mégis, a legfontosabb dolog, amit Gyuri értem tett, az az NA49-kísérletben való stratégiai elhelyezésem: felvettem, hogy én esetleg meg tudnám oldani az akkoriban a világ legnagyobb időprojekciós kamrájának (Time Projection Chamber, *2. ábra*) kalibrációját, ami a részecskék azonosításához volt szükséges a nehézion-ütközé-

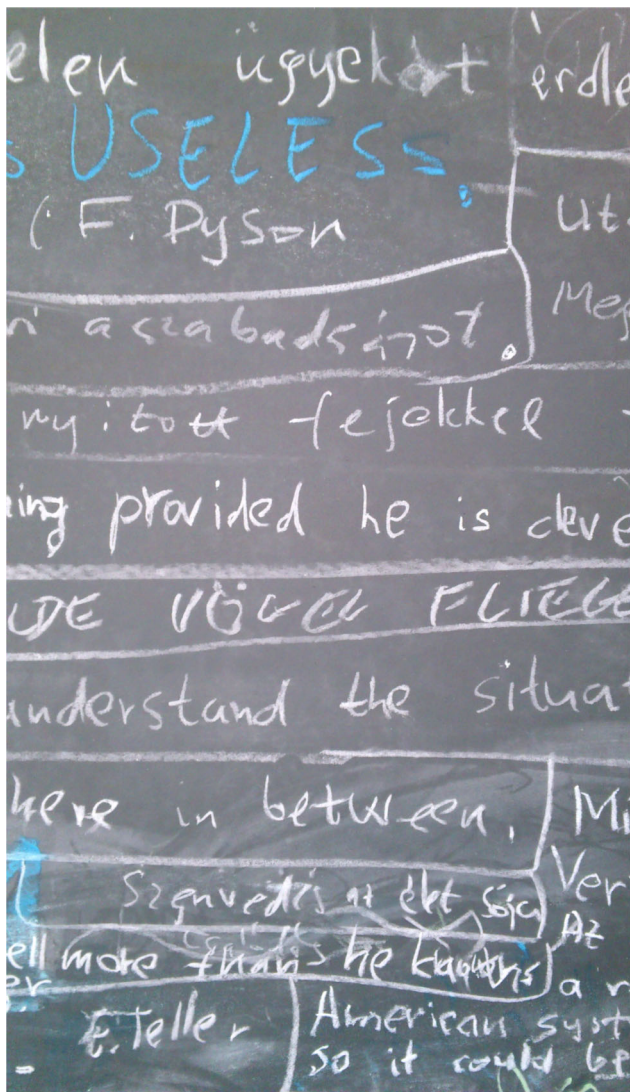
2. ábra. Az NA49 TPC-jében rekonstruált részecskepályák.



1. ábra. Gyuri irodájának ajtaja a CERN-ben.







3. ábra. Gyuri táblájának részlete.

sekben. A detektorrendszer a Világegyetem őanyagának tanulmányozását sokféle mérésen keresztül segítette, és még ma is használatban van.

Gyuri nemcsak arra bízott sikeresen, hogy pályázzam meg a CERN Nyári Diák ösztöndíját 1997-ben, hanem a többi nyáron is ellátott izgalmas és sokszor igen ambiciózus feladatokkal a CERN-ben. Így lehettem részese számtalan autós utazásnak Budapest és Genf között, amelyek alatt Gyurival nemcsak a fizika legkülönbözőbb területeiről és olyan híres fizikusokról folytattunk beszélgetéseket akikkel együtt dolgozott (Carlo Rubbiától Pierre Darrulatig), hanem a fizika kultúrtörténetéről, a nagy felfedezésekről, a kalandor típusú ötletelésről és életmódról, kultúráról, technikai vívmányokról, irodalomról, történelemről, közéletéről is. Lenyűgöző volt Gyuri széles és mély érdeklődése, végtelenül megértő és kedves hozzáállása, humora, kritikáink elviselésében tanúsított türelme, háboríthatatlan nyugalma, szerénysége, és a kihívásokkal szemben mutatott bátorsága is. Gyurit lehetetlen volt felidegesíteni, kihozni a sodrából, illetve eltántorítani célkitűzései megvalósításától, akármilyen ambiciózusak

voltak is ez utóbbiak. Életének utolsó évében is többször lelkesen mesélte el CERN-beli irodájában legújabb nagyratörő ötleteit, segítségemet és támogatásomat kérve. Még ekkor is legalább harminc évre előre tervezett – világos volt, hogy egyetlen pillanatig sem unatkozna ilyen időtávtalban sem.

Ez az iroda ma szomorúan, üresen áll a CERN-ben. Úgy éreztem, ezen emlékezés megírásához a legtöbb ihletet ebben a szobában kaphatom. Emlékeztem, hogy Gyuri kedveli a magvas idézeteket, amelyekkel teleírta a falitábláját (3. ábra), amelyeket most összegyűjtöttem. Ezeket sok éve olvasgatom, és mindig találtam köztük elgondolkodtatót, miközben Gyuri hosszas magyarázatait hallgatva rájuk tévedt a tekintetem. Furcsa és szívszorító érzés a nyári hőségben, az elmagányosodott irodában ezeket most már egyedül olvasgatnom. A harmincnégy idézet eredete nem mindig ismert számomra, de fontosabbnak tartom, hogy ezek sok évig kísérték őt napi munkája közben, és azt hiszem, ő sem ellenezné, hogy néhányat ebben az írásban közlőgyek. Azokat választottam, amelyekről eszembe jut néhány jellemző, közös kalandunk, vagy amelyeket legtipikusabbnak találtam Gyuri kutatói és emberi karakterére nézve, és amelyeket alább röviden megemlítek. Az idézeteket a hűség kedvéért a Gyuri által használt eredeti nyelven közlöm, de ahol szükséges, a magyar fordítással együtt.

„Only for hopeless cause is worth to fight.”

„Csak reménytelen ügyekért érdemes harcolni.” Ez a gyűjtemény első darabja, és nem véletlenül kerülhetett a tábla tetejére. Nem is lehetne Gyurira jellemzőbbet találni köztük. Sosem lelkesedett unalmas rutinfeladatokért, amiket mások is el tudnak végezni. A nagy ötletek motiválták. Az, hogy az ember azzal a reménnyel jöjjön be a CERN-be reggelente, hogy épp aznap születhet egy Nobel-díjas javaslata egy mérésre. Nem volt híve energiánk elaprózásának. Minél kevesebben hittek az aktuális ötletében, annál több erőt merített ebből az idézetből, hiszen kevés nagy felfedezést fogadtak azonnal megértéssel a kollégák a fizika történetében.

„You can persuade a man to believe almost anything, provided he is clever enough.”

„Egy embert szinte bármiről meg lehet győzni, feltéve, hogy elég okos” (Sir Tom Stoppard). Ez az idézet szorosan kapcsolódik az előzőhöz. Gyuri arcán nagyon sokszor láttam az örömet, amikor valamit sikerült megértetnie velem, amit mások nem hittek el neki, mondván, hogy mindig is tudta, hogy én talán elég okos vagyok ehhez. Gyakran alkalmazta az ehhez hasonló pszichológiai motivációs eszközöket, és tényleg nagyon sok tanítványát lelkesítette ezzel egy-egy, kevesebb reménnyel kecsegtető tervének megvalósításához is.

„If you are not confused, you don't understand the situation.”

„Ha nem vagy összezavarodva, akkor nem érted a szituációt” (Edward Roscoe Murrow). Gyuri magyarázatai végén mindig egy tesz is következett: nem ké-

telkedem-e abban, amit mond? Átgondoltam-e én is a problémát, vagy csak bóloggattam? Akkor lett a leglelkesebb, amikor látta rajtam, hogy megkérdőjelezem levezetéseit – ellenkező esetben tényleg nem értettem volna a szituációt!

„An intellectual is a man who takes more words than necessary to tell more than he knows.”

„Az entellektüel olyan ember, aki a szükségesnél több szóval és többet mond el, mint amennyit tud” (Dwight D. Eisenhower). Gyuri igyekezett mindig takarékosan bánni a részletek kifejtésével, és a fő gondolatmenetre, ötleteinek lényegére koncentrálni. Sosem szégyellte bevallani, ha egy-egy területen még nem teljesen dolgozta ki a problémát, viszont ilyenkor nem is játszott meg az eisenhoweri értelemben vett entellektüelt.

„Az lesz a mienk, amit ki tudunk küzdeni magunknak” (Kós Károly).

A CERN-beli nagy kísérletek megtanították Gyurit arra, hogy csak állandó erőfeszítéssel lehet akár csak a legszerényebb sikert is elérni, egy érdekes téma vagy analízis kidolgozását végigvinni, hiszen a vetélytársak legalább olyan elszántak. Sokszor igyekezett inkább a tanítványai önbizalmát növelni, és szerénységüket háttérbe szorítani, amikor egy-egy projekt megvalósításának ígéretéről volt szó. Élete utolsó éveiben valóban sikerült egy CERN-ben működő kollaboráció, az NA61 társ-vezetőség eljutnia.

„Soba egyetlen hópehely sem érzi magát felelősnek egy lavínában” (David Vaughan Icke).

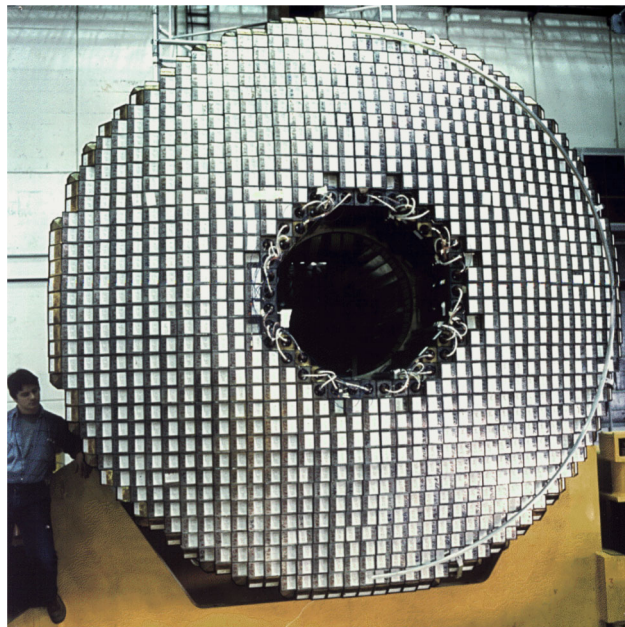
Az egyik legnehezebb és legfontosabb kérdés az egyéni felelősség vállalása egy nagy, sokszor több ezer résztvevővel rendelkező kísérleti együttműködésben, és ezt Gyuri jól átérezte.

„I have always found that plans are useless, but planning is indispensable.”

„Mindig úgy találtam, hogy a tervek haszontalanok, de a tervezés elengedhetetlen” (Dwight D. Eisenhower). Kísérleti fizikusként Gyuri mérhetetlenül realista is tudott lenni, és egyúttal szkeptikus, hogy bármi, amit jó előre eltervezünk, valóban a terv szerint fog megvalósulni. Ezt sosem problémának, hanem természetesnek tekintette. Annak ellenére, hogy nem pontosan a mi tervünk valósult meg a CMS HF kaloriméterének építésekor, mégis sokat tanultunk a tervezésből, és a kivitelezésből is kivettük a részünket.

„A cél tökéletlen alkatrészekből tökéletességre törekvő rendszert létrehozni.”

Ez talán a legfontosabb dolog, amit Gyuritól tanultam: hogyan lehet egy-egy tökéletlen kísérleti eszközt sokkal több mindenre használni, mint amire azt tervezték. Nemcsak az NA49-kísérletben, hanem később – már Gyuri segítségével nélkül – a brookhaven-i PHOBOS-, illetve a CERN-beli CMS-kísérletekben is jó szolgálatot tett az idézett tanács. Gyuri sosem látta teljesen remény-



4. ábra. Az OPAL-kísérlet elektromágneses kalorimétere.

telennek, hogy valami értékeset hozzunk létre, akár a kiselejtezés szélén álló eszközökből – jó példa erre az OPAL-detektor kristály-kalorimétereihez (4. ábra) tartozó nagy mennyiségű kábel leszerelése, amelyet közösen végeztünk, nem mindennapi erőfeszítéssel.

„An eye for an eye leaves the whole world blind.”

„Szemet szemért – és az egész világ megvakul” (Mohandas Karamchand Gandhi). Gyuri nemcsak hitt ebben a bölcsességben, de meg is valósította azt: soha nem volt haragtartó vagy dühös, és mindenkivel a lehető legjobb viszonyt alakította ki. A bosszúállás, egymás jogtalan kritizálása távol állt tőle, és a tudományos együttműködések kártékony gátjának tartotta ezeket.

„A tömeg nagy, de kevés az ember” (Szinópéi Diogenész).

Sejthető, hogy Gyuri azért szimpatizálhatott ezzel az idézettel, mert felismerte, hogy a nagy kollaborációkban milyen kevés kulcsembert van, akik igazán kompetensen működtetik ezeket – mindig próbált rájuk koncentrálni, és felkutatni őket.

„Okos ember hülyéskedik, a hülye meg okoskodik.”

Gyuri nagyra értékelte a humort, de ki kellett fejlesztenie azt az érzéket, hogy a tudományos csoportok, diákok, kollégák képességeit – megnyilvánulásai alapján – gyorsan és pontosan felmérje.

„The necessity is the mother of invention.”

„A szükség a találmányok anyja” (angol közmondás). Gyuri sokszor nagyvonalúan hitt abban, megelőlegezte, illetve előre látta, hogy a technikai fejlődés lépést tud tartani a fellépő igényekkel, különösen a részecskefizikai detektorok, mágnesek, adattárolási és számítási kapacitás a kísérletek sokszor extrém követelményeivel.



„Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser.“

„A bizalom jó dolog. Az ellenőrzés még jobb” (V. I. Lenin). Amellett, hogy Gyuri nagyon bízott a diákjaiban, azért megragadta az alkalmakat arra, hogy a teljesítményüket időnként ellenőrizze. Ezt azonban sosem formálisan vagy bántóan tette, inkább szinte észrevétlenül. Az elismeréssel, dicsérettel, ha reálisnak érezte, viszont sosem bánt szűkmarkúan.

„The American system was designed by geniuses so that it could be run by idiots.”

„Az amerikai rendszert zsenik tervezték, úgy, hogy idioták is működtetni tudják.” Úgy sejtem, Gyuri képzeletét megragadhatta ez az idézet, hiszen egy jó részecskefizikai berendezés tervezése rendkívüli ötletességet igényel, részben azért, mert fel kell készülni arra, hogy később az azt felügyelő kollégák figyelmessége ellenére se legyen probléma.

„Az oktatás célja az üres fejeket nyitott fejekkel felcserélni.”

Válogatásom utolsó darabja Gyuri egyik fontos örökségére emlékeztet, a kutatók újabb generációjára,

amelynek magam is egyik szerencsés tagja vagyok. Gyuri oktatási tevékenysége során is azt tartotta elsődlegesnek, hogy a diákok érdeklődését felkeltse, mivel a részleteket megtanulniuk úgyis maguknak kell majd – az ehhez szükséges nyitottságot pedig Gyuri nemcsak tanította, hanem kifejezetten sugározta magából.



Megilletődve és nehéz szívvel sétáltam ki Gyuri immár üres irodájának ajtaján: ez volt az első alkalom, hogy már nem hallatszott a szokásos, baráti elköszönése a hátam mögött. Mielőtt magam után bezártam volna az ajtót, még egy utolsó pillantást vettem a táblára kézzel írt idézeteire: „Zahme vögel singen von freiheit, wilde vögel fliegen...” (A szelíd madarak a szabadságról énekelnek, a vadmadarak repülnek...).

Remélem, Gyuri most megszabadulva a test szenvedéseinek kalitkájából, lélekben valahol magasan felettünk, szabad madárként figyelni utolsó ötleteinek megvalósulását, tanítványainak boldogulását a fizika kihívásokkal teli világában.

Nyugodj békében, Gyuri!

## VIRTUÁLIS ÉS VALÓS TALÁLKOZÁSOK

Barnaföldi Gergely Gábor  
MTA Wigner FK RMI

### Virtuális és valós találkozások Gyurival

Mindjárt az elején tisztázandó Gyuri (Vesztergombi) bármikor elérhető volt e-mailen, azonnal válaszolt a feltett kérdésekre, de sem telefonon, sem élőben nem volt vele egyszerű a kommunikáció.<sup>1</sup> Ez alól csak természetes környezete, a CERN volt kivétel, ahol esténként nyugodt körülmények között lehetett eszmét cserélni vele a „Restaurant 1”-ben.

Tanulmányaim során sokáig nem is tudtam személyesen találkozni vele. Diáktársaimmal még vicceltünk is azon, hogy ő igazán egy nem valódi, hanem virtuális fizikus, aki mindenütt ott van, amolyan kvantumosan. Most furcsa, mert hiába írnék neki, az eddigi „virtuális-Veszter” sem érhető el...

Egyetemista évfolyamtársaim – mostani kollégáim – akkoriban sokat meséltek a „CERN Gururól” aki a nagy gyorsító és a legnagyobb, legizgalmasabb kísérletek közelében él. Aki segítségével be lehet jutni a „Részecskefizikusok Paradicsomába”. Több féléven át fel is vettem egyetemi kurzusait. De talán csak a harmadik egyetemi vizsgám volt Gyuri tárgyából, amikor először találkoztam vele személyesen – mind a saját, mind az ő kiküldetései miatt éveken keresztül nem sikerült össze-futnunk. Ennek ellenére, természetesen „részt vettem” az elektronikus előadásain és az online vizsgán. Emel-

<sup>1</sup> A szerző tudomása szerint mobiltelefonja sem volt, csak a feleségén keresztül lehetett elérni telefonon.

lett e-mailben, talkon keresztül tartottuk – ismeretlenül – a kapcsolatot. Manapság ez nem tűnik furcsának, de a '90-es évek végén a világon és talán Magyarországon is elsőként működött a nagyenergiás kísérleti fizika elektronikus távoktatással a KFKI szerverein.

Noha a személyes találkozó nem jött össze éveken át, valahogy mindig bekerült a jeles és a „vgyu” aláírás az indexbe. Az utolsó alkalommal az indexem vittem be épp a KFKI RMKI 2. épületébe és kérdeztem az NFO egyik nyitott ajtajú szobájában ülő, laza eleganciával öltözött kutatót, hogy merre találom Vesztergombi György professzor urat, amikor mondta, ő az, jó helyen járok. A jegybeírást akkor nem úsztam meg virtuálisan. Hosszasan beszélgettünk arról, hogy a tetrakvarkok létezhetnek-e, és hogyan lehetne őket kimérni – ez volt ugyanis akkor a Lévai Péter által vezetett TDK-munkám.

Következő találkozásunk a MAFIHE CERN-kiránduláson volt, ahol szuggesztív előadása után komolyan fontolóra vettem, hogy kísérleti oldalról kezdjek el a nagyenergiás magfizikával foglalkozni. Nem így lett, az elmélet felé fordultam, de a sors fintora, hogy a feladat nem szaladt el előlem.

### Kísérlet versus elmélet

2001-ben a MTA KFKI RMKI Részecskefizikai Főosztály (RFFO) ifjú kutatója lettem, ahol Vesztergombi Gyuri lett a főnököm – Lévai Péter témavezetőségé-

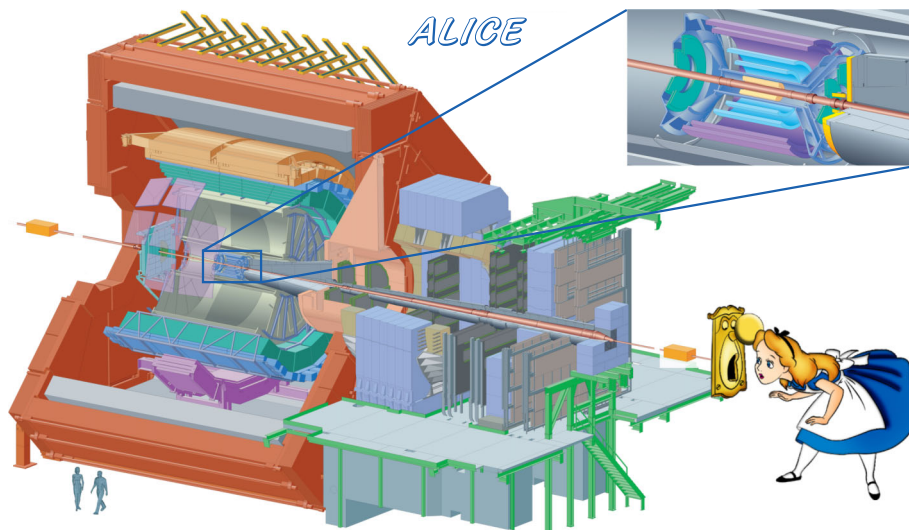
mellett. Amikor szeptember vége felé, először le tudunk ülni beszélni, bejött a szobámba és a kutatási témámról, a Cronin-effektusról kérdezett. A diszkusszió végén azt mondta nekem, hogy nagyon fontos szerepem lesz, mint elméleti fizikus az RFFO kötelékében. Elkerekedett szemmel hallgattam, hogy nekem, mint újonnan bekevert ifjú kollégának milyen feladatom lehetne itt a szakmai elitben. Hosszasan kifejtette, hogy segítenem kell kapcsolatot építeni a nagyenergiás kísérleti kollégák irányába, és le kell majd bontanom a több évtizedes falat, amely a hazai nagyenergiás magfizikai kutatásokban a kísérleti és elméleti kutatók között húzódik. A több órás előadása után nagyon meg voltam szeppenve, de azt semmi esetre sem gondoltam, hogy az általa a CERN ALICE-kísérletében úttörőként kitaposott ösvényen egyszer nekem is helyt kell majd állnom.

## A jövő az elosztott virtuális számítógépes erőforrásokban van

Első közös munkánk a CERN elosztott számítógépes rendszerének (Worldwide LHC Grid – WLCG) hazai kiépítése volt, amit Gyurival, *Horváth Dezsővel*, *Lévai Péterrel*, *Hajdú Csabával* és *Debreczeni Gergellyel* kezdtünk el. Éreztem, valami nagy dolgot csinálunk, de bevallom, hogy akkor nagyon nem értettem, miért olyan fontos a CERN fizikusainak 10-20 budapesti számítógép hálózatba kötve, távolról irányítva, virtualizálva. Gyuri előadásából tanultam meg, hogy ezt csak így lehet és így érdemes csinálni, ha a CERN óriásdetektorainak hatalmas adatmennyiségét akarjuk elemezni. Először csak 30 géppel és 10 TB tárhellyel, később 100-200 maggal futó ALICE és CMS Tier-2 rendszerekben, amelyek ma mintegy 1000 maggal számolják a Monte Carlo szimulációkat, dolgozzák fel a CERN részecskefizikai adatait, mintegy PB-nyi tárhelyen rögzítve azokat. Ebből a bölcsőből szerzett tudásunk nőtte ki magát később a világszínvonalú Wigner Adatközponttá, valamint a nemrégiben elindult Wigner és Akadémia Felhővé.

## Vesztergombi Gyuri az ALICE-kísérlet virtuális tagja

Gyuri nem volt tagja az ALICE kísérleti együttműködésnek, csak virtuálisan, mindezek ellenére legalább 4 ALICE-publikáción is szerepel társszerzőként. Diplomáciai érdemeinek, éleslátásának és kiváló mene-



dzselésének volt köszönhető, hogy jelenleg az ALICE-detektor által mért adatok az utolsó *bitig* mind a hazai tervezésű és kivitelezésű adatgyűjtő és -továbbító (Data AcQuisition System – DAQ) rendszeren keresztül jutnak el a tárolóelemekbe.

A detektorokat összekapcsoló (Detector Data Link – DDL) elektronikák tervezése és kivitelezése 1996 és 2002 között zajlott le, amelyben *Dénes Ervin*†, *Kiss Tivadar*, *Rubin György*, *Soós Csaba* és később *Tölybi Tamás* vettek részt, az KFKI RMKI és a Cern-Tech Kft. oldaláról (lásd *Rubin György* írását e számban). A DDL nemcsak megelőzte korát, de később több más kísérleti együttműködés is átvette és alkalmazta nagy sávzélességének és kiváló sugárzástűrési okán.

Az 1996-ban megkezdett ALICE DAQ fejlesztés során szerzett tudásnak és tapasztalatnak köszönhető, hogy a jelenleg is folyó ALICE detektorfejlesztésben (ALICE UG) kiemelkedő szerepet kapott a Wigner DAQ Csoportja az ALICE O<sup>2</sup> Common Readout Unit (CRU2) fejlesztésének irányítása által.

## Az utolsó projekt

A későbbi években, amikor már az RMKI Elméleti osztályára kerültem, be-bejött a szobámba, ha erre járt. „Gergely... lenne itt egy ötlet...”, kezdte mondanóit és mindig tudtam, ez bizony hosszú történet lesz – de persze élvezetes „agymenés”.

Legutóbb egy pályázat kapcsán volt egy ilyen látogatása nálam, ebben többezer magos szuperszámítógépet vizionáltunk. Pár mondatban felvázolta, mi lenne az ötlet. Mondtam neki, hogy rendben, de győzzön meg! Nagy levegőt vett és elkezdett beszélni. Szentelenül közbevágtam, leállítottam: Gyuri, úgy győzz meg, hogy nem használhatod híres-nevezetes retorikai képességeidet. Nevetett, de kérésre úgy tett, vagy lehet, hogy csak úgy csinálta, hogy ne vegyem észre. Meggyőzött és be is nyújtottuk a pályázatot.



## A virtuális és nem virtuális társadalmi haszon

Sokszor kérdezik tőlünk, hogy mit ad a nagyenergiás mag- és részecskefizika a társadalomnak? A CERN mára huszonkét tagországgal rendelkezik, Magyarország 1992-ben csatlakozott. A CERN-tagság értelmében mintegy 1%-os tulajdonosai vagyunk a nemzetközi szervezetnek. A magyarok részvétele az elmúlt évtizedek során jelentős mértékűre nőtt. Pusztán az ALICE-kísérletet tekintve, számos magyar kutatómérnök, fizikus, technikus és diák vett részt a

megépítésében, üzemeltetésében, illetve a mért adatok kiértékelésében és azok megértésében. E szakemberek egy része nem csak a tudományos életben állta meg a helyét, hanem az ipari és a piaci szektorban is – mindez közvetve, virtuálisan Gyurinak is köszönhető.

Fontos kiemelni azonban, hogy az ALICE kísérleti együttműködés DAQ-fejlesztése az egyik olyan hazai projekt, amely a legnagyobb mértékben forgatta vissza a kutatás-fejlesztésre fordított összegeket a hazai adóforintokba – nem csak virtuálisan.

## A TANÍTÓMESTER

László András  
MTA Wigner FK RMI

Gyuri már a 90-es évek előtt is élen érdeklődött az erős kölcsönhatás viselkedése iránt, a 90-es évek közepe táján azonban komoly lehetősége nyílt ezen tanulmányokra a CERN-beli NA49-együttműködés keretében. Akkoriban az NA49-berendezés nyújtotta a témában a legígéretesebb kísérleti lehetőséget, mivel kora legnagyobb TPC kamrarendszerével rendelkezett (ma is a harmadik legnagyobb). A kísérlet elsődlegesen tervezett célja a hadronokból álló közönséges maganyag fázisátmenetének megfigyelése volt a kvark-gluon plazmaállapotba. Megalapítva a magyar NA49-csoportot, Gyuri tulajdonképpen egy folyamatot indított el: kiváló kutatói platformot teremtett diplomamunkásai, illetve doktoranduszai számára. Csak néhány nevet említve: *Siklér Ferenc*, *Veres Gábor*, *Barna Dániel*, *Varga Dezső*, valamint utolsóként jómagam is ezen lehetőséggel élve indultunk el pályánkon.

Gyuri – avagy ahogy mi, tanítványai magunk között hívtuk, Veszter – deklarált oktatási filozófiája volt, hogy ő a diákjait csak elindítja a pályájukon, azután a darwini természetes szelekció megoldja a többit. Ennek általában mi, diákjai annyira nem örültünk, de

tény, hogy az NA49-kísérlet közösségében a magyar csoportot – elsősorban a doktoranduszok kiválósága miatt – sokszor emlegették.

Veszterrel kapcsolatos első emlékeim egész koraiak, első éves egyetemista korunkban, 1999-ben kerestük meg egy TDK hétvége után, ahol a csoportjából Veres Gábor egy érdekfeszítő előadást tartott. Ezután számos beszélgetés következett magával Veszterrel, akit akkoriban a diákság a CERN-es kísérletek nagy itthoni gurujának tartott. A dolog végül odáig fejlődött, hogy megkérte egyik idős munkatársát, *Szentpétery Imrét* (Zsiga bácsit), hogy külön nekünk szervezzen egy nyári gyakorlatot, szcintillátoralapú kozmikusmüon-detektor építése céljából. Ez nagyon hálás kapcsolat volt, évekig ellátott minket érdekes kísérleti problémákkal és tapasztalatokkal. Jól tükrözi azt is, hogy Veszter hitt a diákok kutatásba való igen korai bevonásában. Mindemellett mindig hangsúlyozta, hogy az egyetemi tanulmányaink kell, hogy elsőbbséget élvezzenek. Néha, amikor fiatal diákokkal dolgozom, és ehhez hasonló tanácsokat adok, szinte látom magam előtt, ahogy nekünk mondta hajdanán.

Az NA61-együttműködés, CERN, 2010.



A 2001-es év nyarától, azaz másodéves egyetemista korunk végeztével Veszter elkezdett minket magával vinni a CERN-es útjaira, hogy részt vegyünk az elsősorban NA49-cel, illetve a CMS-kísérlettel kapcsolatos kisebb munkákban. Ezek az utak sokszor már csak az utazás miatt is igen érdekesítőek voltak, hiszen a hosszú Budapest–Genf autótutak során került sor a Veszter-beszélgetésekre, amelyek során megismerhetjük egészen sajátos gondolatait, ötleteit, illetve – demokratikus ember lévén – egy-egy kérdésben a mi véleményünket is nagy érdeklődéssel megfontolta. Nekünk ez a közvetlenség akkor, diákként természetesen tűnt, hiszen a pesti ELTE-s fizikus közösségben ez volt az elterjedt. Veszterben volt azonban egy ezen felüli közvetlenség, illetve egy rá nagyon jellemző türelem és humor: szinte lehetetlen volt kihozni a sodrából, akár munka közben, akár egy-egy vitában. A kezdeti években segítséget nyújtott CERN-hez köthető diákösztöndíj-lehetőségek megpályázásában is, mint amilyen például a CERN nyári diák-ösztöndíj. Ezen időszakunkban diákként alakítottuk ki első külföldi szakmai kapcsolatainkat.

Szakmai kapcsolatom 2003-ra, illetve 2004-re szorosabbra fűződött Veszterrel, mert lehetőségem volt diplomamunkát írni nála a CMS-ben, illetve az NA49-ben épülő egy-egy kaloriméterrelven működő detektorról, amelyek építéséhez és teszteléséhez is hozzájárulhattam. Ekkor készült a CMS-kísérlet HF-kalorimétere, illetve az NA49-kísérlet LGC-kalorimétere.

Veszter a 2004–2008 időszakban doktori témavezetőm lett, az általa adott kutatási téma pedig az erősen kölcsönható anyag fázisátalakulásának vizsgálatával volt kapcsolatos, amelyet az NA49-kísérlet adatain volt célszerű elvégezni. A téma előzménye, hogy a megelõ-

ző években az RHIC gyorsító kísérleteiben 200 GeV nukleonpáronkénti, tömegközépponti energián megfigyelték, hogy az atommag-atommag ütközésekben fajlagosan kevesebb merőlegesen kirepülő nagyenergiás hadronrészecske keletkezik a vártnál, amit a kvark-gluon plazma kialakulásának tulajdonítottak. Gyuri felvetette: mi lenne, ha megpróbálnánk ezt a mérést tízszer alacsonyabb energián elvégezni. Akkoriban az NA49-kísérlet adatai természetes módon kínáltak erre. A téma odáig fejlődött, hogy nemcsak a doktori dolgozatomat tudtam ebből megírni, hanem javasolni tudtunk egy jelentős fizikai kérdéskört az NA49 második generációs kísérletéhez, az NA61-hez.

Az NA61-kísérletet 2007 végén fogadták el az általunk is összeállított kísérleti javaslat alapján, adatgyűjtését pedig 2009-ben kezdte meg. Az új kiolvasórendszer, amely ma is üzemben van, mi csinálhattuk meg az MTA Wigner FK RMI-ben. A magyar csoport ezen felül is jelentős súlyú: kezdeményező szerepünk van az új eseményrekonstrukciós szoftverrendszer kifejlesztésében is. Szintén jelentős a teljesen magyar építésű LMPD-detektor, amely az ütközési centralitás meghatározását célozza proton-atommag eseményekben. Az újonnan épülő Forward-TPC rendszer legtechnikásabb részegysége is a mi csoportunk terméke lesz. Ezen kifutás nagy része Gyurinak is köszönhető, aki a kezdetektől fogva az NA61-együttműködés meghatározó tagja volt, amit az is jelez, hogy az indulástól fogva jópár évig társ-szövívője volt, illetve az együttműködést vezető bizottság elnöki tisztségével is megbízták, egészen a halála előtti évekig bezárólag. Távozását követően sokszor lehet érezni, hogy hiányzik a teremből vitákat elrendező higgadsága, és enyhén vitriolos humora.

## ISKOLATEREMTŐ

Fülöp Ágnes  
ELTE IK Komputeralgebra Tanszék

*Vesztergombi György* fizikust (Gyuri) 1994-ben ismertem meg és 1997-ig dolgoztam csoportjában. Ekkor a KFKI RMKI Részecskefizika Főosztályának vezetője volt. Sok fiatal dolgozott vele, támogatta a tehetséges hallgatókat, irányítva szakmai munkájukat.

Gyuri érdeklődése széleskörű volt, kiterjedt új kutatási módszerek bevezetésére is. Már az 1990-es években foglalkoztatta a párhuzamosítás gondolata, amely később többször is felmerült kutatómunkája során. 1994-ben a Soproni *CERN School of Computing* rendezvényen hallgattam meg az *Erőteljesen párhuzamos asszociatív sztring processzor (ASP) a nagyenergiás fizikában* című előadását erről a kutatási területről, amely később szerves részévé vált munkánknak.

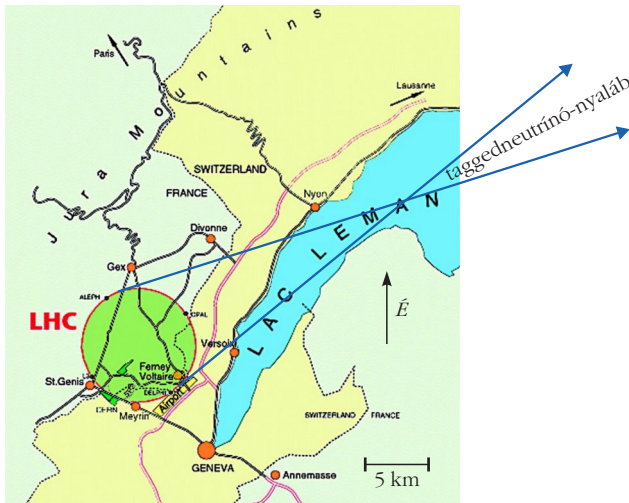
Újra 1997-ben, az ELTE TTK Fizika Doktori Iskola Részecskefizika alprogramjában találkoztam vele, mint az ELTE Atomfizika Tanszék professzorával, ahol

több mint negyedszázadon keresztül tanított kísérleti részecskefizikát, és e cikk szerzője is tanítványának mondhatja magát.

Majd hosszabb időre eltávolodtak útjaink, más-más kutatási területtel foglalkoztunk. 2007-ben kezdtünk újra együttműködni, ekkor az ELTE IK Komputeralgebra Tanszék docenseként javasoltam, hogy hozzunk létre együttműködést a kísérleti részecskefizika numerikus problémáinak vizsgálatára, bevonva az ELTE hallgatóit is. Ebből majd tíz évig (haláláig) tartó sikeres munkakapcsolat alakult ki. Elsősorban a kísérleti részecskefizika szimulációival foglalkoztunk az ELTE IK Komputeralgebra Tanszékén az NA61- és a CBM-kollaborációval együttműködve. Sajátos helyzetünkönél fogva legintenzívebben a nyári időszakban tudtuk kutatásainkat végezni.

A tíz éves sikeres együttműködés eredményeiből három nagy területet emelek ki.





1. ábra. Balra: lehetséges nyálábirány a Genfi-tóban. Jobbra: az első taggingneutrínó-detektáló berendezés 1981-ből.

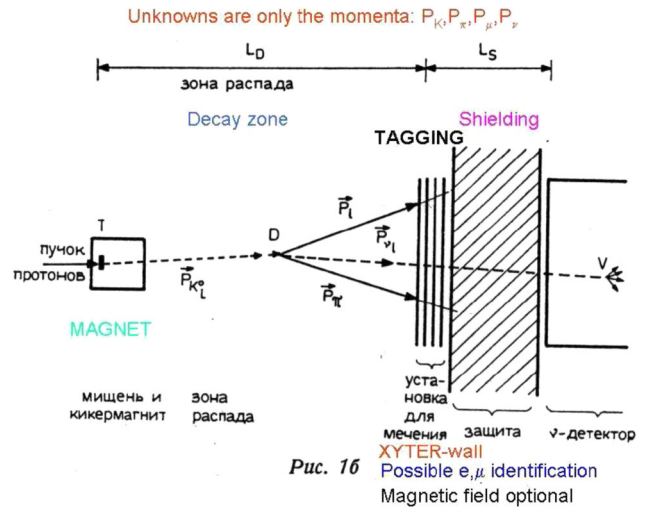


Рис. 16 Possible  $e, \mu$  identification  
Magnetic field optional

A nagy merőleges impulzusú jelenségekkel Gyuri a 70-es években kezdett el foglalkozni a világ első proton-proton ütközőnyálábos gyorsítóján (ISR), a CERN-ben Pierre Darriulat csoportjában. 1976-tól a hadronok kvarkszerkezetének vizsgálatán, az NA4-kísérletben Carlo Rubia csoportjában dolgozott. A kvarkgluon plazma kutatását az NA49-kísérletre épülő NA61-kollaborációban folytatta, amely tartalmazta a proton-proton és proton-atommag reakciók jobb megértését, különös tekintettel a korrelációkra, fluktuációkra és a nagy transzverzális impulzusú jelenségekre. A  $p+p$ ,  $p+A$ ,  $A+A$  reakciók kezdeti szakaszában keletkező forró, sűrű, erősen kölcsönható kvarkanyagban a lefékezés már alacsonyabb energián is észlelhető.

Mivel az NA61-kísérletben a fluxust nem lehetett tovább növelni, a mérési eredményeket korlátozott statisztikával lehetett csak meghatározni. A FAIR-CBM-kollaboráció jóval több, ezer helyett  $10^9$  kölcsönhatást tervezett elérni másodpercenként 2014-re. Ezért a 2009-ben végzett szimulációt a CBM-detektor adatai alapján átdolgoztuk. Egy erősen párhuzamosított mozaiktrigger-algoritmust vezettünk be, amely lehetővé tette a transzverzális impulzus numerikus becslését  $p+p$  és  $p+A$  reakciókban 1–2,5 GeV/c energiatarományon. Ebből a munkából született eredményeket a *Computing of High Energy Conference*-en (2009) mutattuk be és 2010-ben publikáltuk.

Másik terület a Napból érkező *neutrínónyalábok detektálása* volt. A neutrínók oszcillációja bizonyítja, hogy van tömegük, de olyan kicsi, hogy a mai kísérleti technikával közvetlenül még nem mérhető. További rejtély, hogy mi a különbség a neutrínók úgynevezett töltöttáram- és semlegesáram-kölcsönhatásai között. Ennek vizsgálatára Gyuri egy újszerű kísérleti módszerre tett javaslatot. Az LHC-t a tervezettől eltérően fixtarget-üzemmódban javasolta működtetni, hogy úgynevezett taggedneutrínó-nyaláb jöjjön létre. Ez a világon egyedülálló neutrínónyaláb azon alapulna, hogy a bomlási csőben elbomló  $K_0$  mezonok elektronneutrínó + pion, illetve müonneutrínó + pion

bomlások esetén online állapítaná meg a neutrínó típusát és energiáját a lepton + pion részecskepár rekonstrukciójával. Ezáltal azonosítani lehetne a Genfi-tó vizével kölcsönható neutrínók pontos paramétereit és egzaktul meg lehetne mérni, hogy a végállapotban milyen kölcsönhatások történtek. Ezek közül a kölcsönhatások közül kiválasztva a rugalmas neutronszórásokat, még fel lehetne fedezni az ízváltoztató semleges áramok (FCNC) létezését és méretét, ami a standard modellen túlmutató fizikára utalna. Az általunk végzett szimulációk szerint 1000 darab 7 TeV-es protonból egy ilyen tagged neutrínót lehetne előállítani. Ha  $10^{12}$  proton jönne be másodpercenként, akkor  $10^9$  lepton-pion párt kellene rekonstruálni másodpercenként. Ez a rate pontosan megfelel annak az online triggerhozamnak, amelyet az előző CBM-es cikkben írtunk le, vagyis az a konstrukció itt is ideálisan alkalmazható. Ezen eredményt a *Workshop European Strategy for Future Neutrino Physics* rendezvényen mutattuk be, 2010-ben.

A kísérletnek két része van. Egyrészt a fent elmondott módon létre kell hozni a neutrínónyalábot, egyenként megjelölve a neutrínók típusát, energiáját és nanoszekundum pontossággal az indulás időpontját. A Genfi-tó vize szolgálna céltárgyként, amelyben több száz méteren keresztül fotoelektron-sokszorozók detektálnák a keletkezett elektronok Cserenkov-sugárzását. Az elektronok elektromágneses záport hoznának létre, amelyek analíziséhez felhasznált módszereket az előző, CBM-kísérletben publikált cikkben írtuk le (1. ábra).

Gyurit foglalkoztatta a mérési eszközök új módszereinek megvalósítása is. A nagy adatbázisok szekvenciális feldolgozása helyett egy új megoldást, az úgynevezett *NON-Neumann architektúra* bevezetését javasoltuk, amely FPGA-n hardverközeli programozással valósítható meg, kihasználva a probléma párhuzamosíthatóságát és az egyes elemek közvetlenszomszéd-kölcsönhatását, ami szükségtelemmé teszi a nagy adatmozgatást. Az így megvalósított célgép skálázható és újra konfigurálható. Ebből az eredményből született

cikket 2015-ben publikáltuk. Számos kérdés fogalmazható meg ilyen módon, mint például a biológiában a DNS-szekvenálás, az elméleti részecskefizikában a rács-QCD és a kvantumkémia bizonyos problémái. Elkészítettünk egy prototípust a DNS-szekvenálás implementálására Terasic DE1-SoC boardon egy Cyclone V chip felhasználásával, amelyet a cancéni *ReConfigurable Computing and FPGA* konferencián mutattunk be 2014-ben. A hardver megvalósításában *Kiss Tivadar* volt segítségünkre.

Kutatási munkánk során mintegy húsz új tudományos eredmény, számos cikk és konferencián megtartott előadás született, például IEEE (2011), CHEP (2012), MACS (2012), IZEST (2012), Wigner-111 (2013), GPU Technology (2013). Részt vettünk az EGEE (Enabling Grid for E-Science) projektben (2009–2011). Az NA49/61-kollaboráció megbeszélését 2012-ben az ELTE-n bonyolítottuk le. Az NA61-kollaborációval 14 cikkünk jelent meg.

A 10 év során többször előfordult, hogy egyéb feladataink miatt munkánkat csak megszakításokkal tud-

tuk továbbvinni, de mindig úgy váltunk el, amint lehet, folytatjuk. Közös kutatómunkánk sajnos 2015 őszén megszakadt. Utolsó cikkünk 2015 decemberében jelent meg *Simple scalable nucleotic FPGA based short aligner for exhaustive rearch of substitution errors* címmel.

*Gyuri és a diákság*: a hallgatókkal kialakított munkakapcsolatát a közvetlenség jellemezte, a diákság számára „Veszter” volt. Mindenkivel nyitott, színes egyénisége a fiatalok érdeklődését is felkeltette. Rendszeresen új ötletekkel bombázta a hallgatókat, és aki képes volt vele tartani, azokkal időt nem kímélve foglalkozott. A kutatásban résztvevő diákoknak ösztöndíjat segített szerezni a CERN-ben és a GSI-ben, eleinte technical studentként, majd PhD-hallgatóként, végigkövette az egyes diákok sorsát az első eredményektől (TDK) a doktori fokozatig.

Gyuri iskolateremtő tevékenysége több generációnak adott lehetőséget, hogy eljuthassanak a tudományos élet különböző területeire, kipróbálhassák magukat és továbbvigyék ezt a szellemet, amit tőle örököltek.

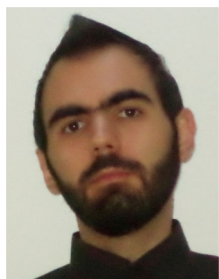
## RADIOAKTIVITÁS A LÉGKÖRBŐL

### A csernobili baleset légköri viszonyainak újraszámítása

Nagy Attila, Horváth Ákos

Országos Meteorológiai Szolgálat  
Siófoki Viharjelző Observatórium

Harminc évvel ezelőtt, 1986. április 26-án robbanástörtént az akkori Szovjetunió – ma Ukrajna – területén található Csernobil város melletti atomerőmű négyes blokkjában. Egy balul sikerült kísérlet során a reaktor instabillá és irányíthatatlanná vált, a fejlődő hő előbb



Nagy Attila 2010-ben szerzett az ELTE-n meteorológus diplomát. Azóta a Siófoki Viharjelző Observatórium munkatársa. Szakmai tevékenységei között leghangsúlyosabb a WRF mezoskálájú numerikus időjárás-előrejelzési modell fejlesztése, operatív alkalmazása a rövid- és ultrarövidtávú előrejelzési rendszerben és a számítások felügyelete az OMSZ szuperszámítógépén. A közeljövőben beadásra kerülő doktori értekezésének fő témája a modell viselkedésével kapcsolatos tapasztalatok rendszerezése.



Horváth Ákos 1984-ben végzett az ELTE meteorológus szakán, kandidátusi fokozatát 1992-ben szerezte meg. Szakmai területe a légköri mélykonvekció, szinoptikus és numerikus meteorológia, valamint az időjárás-veszélyjelzés. Az Országos Meteorológiai Szolgálat Siófoki Viharjelző Observatóriumának vezetője.

gőzrobbanást okozott, majd tűz keletkezett. A helyzetet súlyosbította, hogy az RBMK-1000 típusú reaktorban nagy mennyiségű grafitot használtak a láncreakció fenntartásához szükséges neutronlassításhoz. A több száz tonna grafit napokon keresztül magas hőmérsékleten égett, és május 6-ig több tonna anyag – köztük radioaktív elemek – került a légkörbe. A baleset lefolyásáról számos részletes leírás és elemzés készült, így hazai szakemberek is írtak röviddel a baleset után tanulmányokat [1, 2], illetve több kiadást megélt ismeretterjesztő könyvet az eseményről [3], továbbá áttekintő publikációk készültek a következményekről [4]. A súlyos szerencsétlenség kiváltója az ember volt, azonban a légkör is kivette részét a radioaktív anyagok terjedésében. Abban az időben az Országos Meteorológiai Szolgálat feladata volt a légköri radioaktivitás mérése, amelynek eredményei napjainkban is rendelkezésünkre állnak [5]. Ugyanakkor 30 év elteltével a meteorológia és a számítástechnika segítségével lehetőség nyílt arra, hogy a modern számítógépes modellek felhasználásával újraelemezzük az akkori időjárás helyzetet. Rendelkezésünkre állnak olyan terjedési modellek is, amelyekkel követni tudjuk a kibocsátott radioaktív anyagok mozgását, ülepe-

A szerzők köszönetet mondanak *Sükösd Csabának* a munkához nyújtott segítségért.



dését és a szennyeződés mértékét. A számításokat összevetve az akkori mérésekkel komplex képet kaphatunk arról, hogy miként érte el a sugárzó anyag Magyarországot és hogyan alakult a légkör által szétterített radioaktív szennyeződés térségünkben.

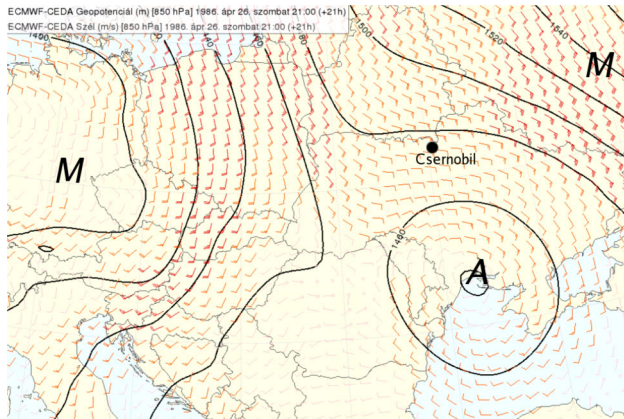
## Magyarországi mérések

A baleset idején az Országos Meteorológiai Szolgálat feladatai közé tartozott a légköri radioaktivitás mérése. Az operatív gyakorlatban a mérés 3 különböző mintavételi eljárásból állt. Az első mérés a légköri aeroszolok radioaktív sugárzását határozta meg. A mérés során finom szűrőn keresztül egy légszivattyú segítségével levegőt szívattak át (36 köbmétert naponta), majd a szűrőt egy sugázmérő berendezésbe helyezték. A második mérés során egy adott felületű edényt helyeztek ki, amelybe desztillált vizet öntöttek. Megadott idő elteltével a vizet leöntötték egy edénybe, majd elpárologtatás után a megmaradt anyag radioaktivitását mérték meg. Ha az adott időszakban nem volt csapadék, akkor az így kapott minta a száraz ülepedés, ha volt csapadék, akkor a száraz és nedves ülepedés együttes sugárzását mutatta. A harmadik mérési módszer a csapadékmintavétel volt, amelynek során egy tartály fedele automatikusan kinyílt, ha eleredt az eső, tehát az így vett minta tisztán a csapadék során történő kimosódást, vagyis a nedves ülepedést reprezentálta. A radioaktivitás mérését az akkor rendszerben álló GAMMA NZ-305 típusú ólomtoronyban elhelyezett NK-350 mérőberendezéssel végezték el, amely a sugárzás béta-komponensét detektálta.

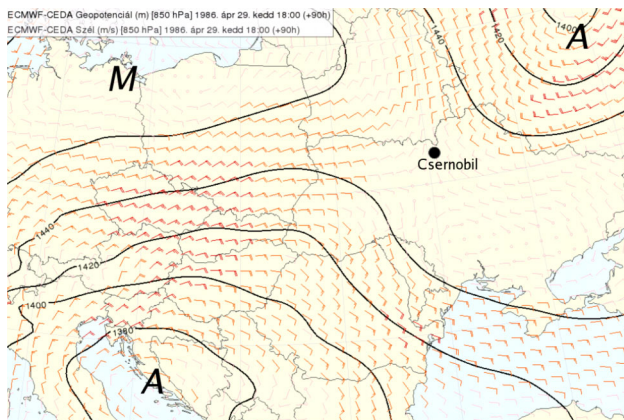
A három mintavétel (aeroszol, száraz, illetve nedves ülepedés) között nagyságrendi különbségek lehetnek. A zivatarok nagy területekről összegyűjtik a levegőt és a felhőben feláramló, majd lehulló esőcseppek valósággal átmossák a légkört, ezért is tapasztaljuk, hogy zivatarok után általában kitisztul a levegő. A zivatarból kihulló csapadékból ebből következően igen nagy koncentrációban jelent meg a radioaktív részecskék, és a nedves ülepedés okozta radioaktív szennyeződés térbeli változékonysága is rendkívül nagy volt. 1986. április végén Közép-Európában gyakoriak voltak a zivatarok.

## A nagytérségű időjárási helyzet

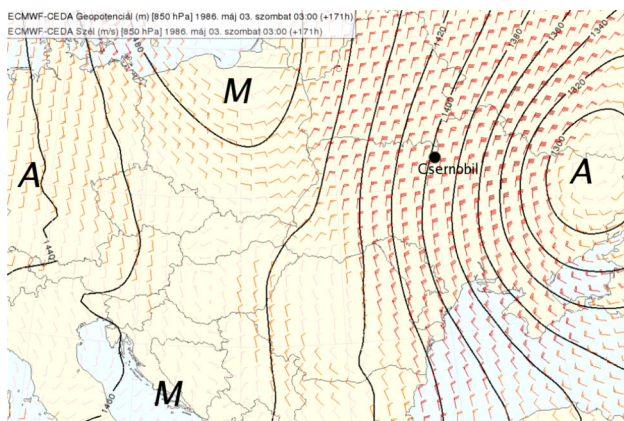
Az elmúlt években a nagy meteorológiai központok komoly erőfeszítéseket tettek arra, hogy a közelmúlt időjárási helyzetét a legmodernebb számítógépes modellek segítségével rekonstruálják. Mivel 1986-ban Európa és az akkori Szovjetunió területén rendszeres földfelszíni és rádiószondás mérések voltak, így az Európai Középtávú Előrejelző Központban (ECMWF) készült reanalízisek alapján pontosabb képet kaphatunk a baleset idején zajló légköri folyamatokról [6]. A reanalízisek tartalmazzák a horizontális és vertikális légmozgásokat is, így lehetőség van a légpályák újraszámolására.



1.a ábra. A légkör alsó 1500 m-ének időjárási helyzete az ECMWF analízis szerint 1986. április 26. 21 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa nyomásszint magasságát, a szélzászlók pedig ezen szint szélviszonyait mutatják.



1.b ábra. A légkör alsó 1500 m-ének időjárási helyzete az ECMWF analízis szerint 1986. április 28. 18 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa nyomásszint magasságát, a szélzászlók pedig ezen szint szélviszonyait mutatják.

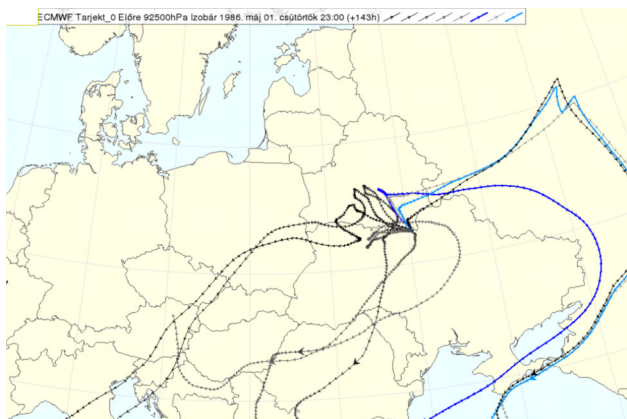


1.c ábra. A légkör alsó 1500 m-ének időjárási helyzete az ECMWF analízis szerint 1986. május 3. 00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa nyomásszint magasságát, a szélzászlók pedig ezen szint szélviszonyait mutatják.

Csernobil környékén 1986. április 26-án a Fekete-tenger fölött elhelyezkedő ciklon áramlási rendszerében délkeleti, majd déli szél fújt, amely a szennyező anyagot Skandinávia irányába szállította. (1.a–c ábrák). A ciklon térségében a légállapot labilis volt, tehát a nappali órákban kialakultak záporok és zivata-



2.a ábra. A csernobili baleset napján 3 óránként indított, az ECMWF reanalízis felhasználásával számított trajektóriák.



2.b ábra. A csernobili balesetet követő napon 3 óránként indított, az ECMWF reanalízis felhasználásával számított trajektóriák.

rok. Később ez a ciklon elvonult, majd 29-én a térség időjárását már egy mediterrán ciklon határozta meg, amelynek északi oldalán Ukrajna irányából egyenesen Közép-Európa felé áramlott a levegő. Ez az alacsony nyomású rendszer északkelet felé vonult és május 3-tól a ciklon hátoldalán tartós, északias áramlást hozott létre.

Az időjárási reanalízis segítségével a légpályák is megrajzolhatók. A 2.a ábrán a robbanást követő első 24 órában 3 óránként indított légpályákat rajzoltuk meg, feltételezve, hogy a robbanás és az égés miatt Csernobil fölött 1000-1500 m magasságig is eljutottak a szennyező anyagok. A légpályák közül vastagon kihúzott feketével (on-line verzióban késsel) jelöltük az első 24 óras kibocsátásból a térségünk közelében áthaladókat. Látható, hogy a radioaktív anyagok először Skandinávia irányába indultak el, majd onnan visszafordulva érkeztek a Kárpátok közelébe. A legelőször ideérő (vastagon kihúzott szürkével – on-line verzióban világoskékkel – jelölt) részecske északról visszafordulva, április 30-án közelítette meg Magyarországot északnyugati határait. Az ország belső területeire május 1-jén érkeztek meg a radioaktív anyagok. Mindez összhangban van azzal, hogy először 30-án, Szombathelyen ugrott meg az aeroszolokból mért sugárzás, majd május 1-jén a belső országrészekben is. A baleset második napján,

vagyis április 27-én kibocsátott részecskék elsősorban a déli országrészek fölött vonultak át és május 2-án értek térségünkbe (2.b ábra). Május 1-jén az ország több területén is kialakultak záporok, zivatarok és a nedves kimosódás miatt  $10^5$  Bq/m<sup>3</sup> értéket is mértek. Május első napjaiban a keletre forduló áramlás már rövidebb úton szállította a radioaktív anyagokat Magyarországra fölé, azonban – mivel a zivatarok ekkor már főleg az Alpok térségében alakultak ki – az országban csak a száraz ülepedés során hullott ki sugárzó anyag.

A fenti trajektóriaszámítással csak hozzávetőlegesen lehet megbecsülni a szennyezőanyag-kihullást. A pontosabb becslésekhez a légköri folyamatok jóval részletesebb leírására és a terjedést pontosabban leíró eljárásokra van szükség.

## Adatok, módszerek

A radioaktív szennyező anyagok terjedése, egy adott helyen vett koncentrációja, valamint száraz és nedves ülepedése két lépésben modellezhető. Először a légkör állapotát szükséges leírni a megfelelő tér- és időbeli felbontásban, ami az időjárási folyamatok számszerűsítését jelenti az erre kifejlesztett numerikus előrejelző modellek segítségével. A második lépésben a meghatározott légköri állapotot meghatározó felhasználásával egy terjedési modell segítségével lehetőség van a légkörbe emittált anyagok (gázok, aeroszolok) viselkedésének leírására. Jelen esetben eltekintünk a kémiai átalakulások követésétől, azonban figyelembe vesszük a radioaktív bomlás jelenségét, és a szennyező anyagok terjedésére és ülepedésére ezen feltétel mellett adunk becsléseket. A légkör állapotának meghatározásához a WRF numerikus előrejelzési modellt [7], a második lépés megvalósításához pedig a FLEX-PART terjedési modellt alkalmaztuk.

A WRF (Weather Research and Forecasting Model) modellt az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Légkör Kutatási Központjában (NCAR), valamint a Központi Előrejelző Intézetében (NCEP) és számos egyetem bevonásával fejlesztették ki. A WRF a mezoskálájú numerikus időjárás-előrejelző modellek új generációjának tagja, ami azt jelenti, hogy a méterestől az 1000 km-es karakterisztikus méretű meteorológiai folyamatok előrejelzésére egyaránt alkalmazható. Jelen esetben a numerikus kísérletek célja kettős: egyrészt nagy pontossággal leírni a nagytérségű időjárási helyzetet, azaz a szinoptikus skálájú folyamatokat (ciklonok, anticiklonok), másrészt a megnövelt horizontális felbontás lehetővé teszi a mezoskálájú (elsősorban konvektív) folyamatok – utólagos – előrejelzését is, amelyek, mint később látni fogjuk, a szennyező anyagok nedves ülepedésében komoly szerepet játszhattak. Mindehhez a modellt speciális beállításokkal (nagy térbeli felbontású számítási rács, a zivatarok leírására alkalmas nem hidrosztatikus dinamika, speciális felhőfizika stb.) kell futtatni, sőt – mivel a zivatarokra nagymértékben hatnak a talajfel-



szín és légkör közti kölcsönhatások – komplex talaj-modellt is kell alkalmazni. Ezen a ponton kell felhív-nunk a figyelmet arra, hogy a modelleredmények értékelése az időjárási jelenségek különböző méret-skáláján különböző szempontok alapján kell történ-jen. Ahogy haladunk az egyre kisebb, egyúttal rövi-debb életű folyamatok irányába, a számítások egyre több bizonytalansággal terheltek. Ez a hiba a hori-zontális ráctávolság csökkentésével és alapvető di-namikai beállításokkal mérsékelhető, de mindezek ellenére is bizonyos mérettartomány alatt új bizony-talanságok kezdik eluralni az eredményeket: például a háttér adatok véges felbontása (felszíni tulajdonsá-gok  $1 \times 1$  km alatt már konstansok), vagy a turbulens áramlások egyre erősebb hatása. A konvekció keze-lése valahol éppen ezen a határon mozog, ezért az eredmények értékelésekor ezt a tényt még kicsit részletesebben is tárgyalni fogjuk.

A mezoskálájú (korlátozott tartományú) modellezés-hez szükség van a kezdeti meteorológiai feltételek és számítás közben a számítási tartományon kívülről érkező meteorológiai információk lehető legponto-sabb megadására. Ezeket a kezdeti és peremfeltételeket a fentiekben említett ECMWF reanalízisekből származtattuk, amelyek három óránként biztosítják a nagytérségű időjárási folyamatok változásának be- vitelét a WRF-modell Kárpát-medencét lefedő tarto-mányába.

A nagy térbeli felbontással rendelkező WRF futtatá-si eredményei jelentik a kiindulási állapot, azaz az adott esetet meghatározó légköri állapot nagy felbon-tású ismerete nyit lehetőséget a légkörbe kibocsátott anyagok terjedésének leírására.

A radioaktív szennyezés légköri viselkedését a FLEX-PART („FLEXible PARTicle dispersion model”) modell írja le [8–10]. A modellt a 90-es évek végén kezdték fejleszteni a légszennyező anyagok hosszú- és középtá-vú terjedésének számítására. A számítások során a mo-dell figyelembe veszi a turbulens diffúzió jelenségét, a száraz és nedves ülepedést, továbbá a radioaktív bom-lást, de nem kezeli a kémiai átalakulásokat. A modell mind forward, mind backward módban futtatható. Az első esetben a kibocsátás utáni terjedést írjuk le, míg a második esetben visszafelé követjük a légáramlást, miáltal megkaphatjuk az észlelt szennyező anyag felté-telezhető forrását. Jelen tanulmányban forward módú futtatásokat végeztünk, tekintettel a kibocsátás térbeli meghatározottságára.

A terjedés számításának módszertana a Lagrange-i megközelítésmódra épül. Ez azt jelenti, hogy a külön-féle forrásokból kibocsátandó anyagot egyedi ré-szecskek sokaságaként tekinti és a modellbeli számí-tások nem egy térben rögzített rácshálózat pontjaira történnek (mint például a WRF-modellben), hanem az áthelyeződő részecskékre. Így az eredmény a részecs-kék trajektóriája lesz, azaz meghatározott időközön-ként megkapjuk a térben elfoglalt helyzetüket. A ki-bocsátási forrásokat a felhasználónak kell definiálnia: meg kell adnia a kibocsátás helyét, időbeli kezdetét és végét, a kibocsátandó tömeget és a részecskék

számát minden anyag típusra. A modell ezt a teljes tömeget arányosan elosztja az összes részecske kö-zött, amely aztán azok légkörben történő vándorlása során az ülepedési és esetleges bomlási folyamatok következtében csökkenhet. Az eredmények értékelé-séből kiderült, hogy a teljes időtartamra vonatkozó, mintegy 70 000 trajektória (részecskeszám) már jól jellemzi a pontforrásból induló anyaghalmoz későbbi térbeli eloszlását. Maga a trajektóriaszámítás alapve-tően két tényezőtől függ: a részecskék fizikai (kémiai) tulajdonságaitól és a légköri feltételektől. Az előbbie-k megadása a felhasználó feladata. Jellemezni kell az egyes anyagfajtákat molekuláris tömegükkel, a fele-zési idővel, valamint a nedves ülepedésük hatékony-ságát két paraméterrel kell beállítani. Aeroszolkok ese-tén a sűrűség és a részecskék méreteloszlás-függvé-nyének becslése is szükséges.

A FLEXPART-modell futtatása szintén jelentős szá-mítási igényt támaszt, tekintve, hogy a trajektóriák szá-mítása – a meteorológiai modellekhez hasonlóan – differenciálegyenletek (Langevin-egyenletek) numeri-kus megoldásával történik. Az előrejelzési időn belül, meghatározott hosszúságú időlépésekben állnak elő az egyes részecskék koordinátái és tömege, amelyek-ből egy adott térrészre vonatkoztatva anyagkoncent-ráció származtatható, illetve száraz és nedves ülepe-dés is meghatározható. A száraz ülepedés azt fejezi ki, hogy csapadékmentes területen mennyi kibocsátott anyag hullott ki a légkörből; ez elsősorban a részecs-kék méretétől, sűrűségétől függ. A nedves ülepedés jelenti a felhőkbe került anyag csapadékkal történő kimosódását. Ez egy bonyolult parametrizációs séma alapján áll elő, amelynek bizonyos paramétereit a felhasználó is megadhatja.

## Kibocsátási adatok a terjedési modellhez

Jelen tanulmányban ötféle radioaktív izotóp terjedé-sét modelleztük, azokat, amelyek bizonyos szem-pontból a legnagyobb hatást gyakorolják a környe-zetre: vagy nagy tömegben kerültek a légkörbe, vagy tömegükhöz képest hosszú felezési idejükkel tűnnek ki a baleset során emittált több, mint 20-féle radio-aktív anyag közül. A számítások során a kibocsátást pontforrásként (azaz egy rácponton történő emisz-szióként) értelmeztük. Az 1986. április 26. és 1986. május 6. közötti időszakra folyamatos, de naponként változó intenzitású emissziót adtunk meg a modell-nek, melynek részletesebb jellemzését az *1. táblázat-ban* találjuk [11].

A FLEXPART-modellben az egyes radioaktív ele-mek fizikai és kémiai tulajdonságainak beállítása so-rán figyelembe vettük többek között, hogy a plutó-nium jóval nagyobb sűrűségű a többi elemnél és első-sorban üzemanyag-részecskékhöz tapadva került ki a légkörbe, így ezeket eltérő méreteloszlás-függvénnyel írta le a modell. A jód esetében pedig elsősorban gáz halmazállapotú emisszióról volt szó, így a FLEXPART-nak ezt is kezelnie kellett amellet, hogy ezen elem

1. táblázat

**Fontosabb, kibocsátott izotópok jellemzői**

radioaktív izotóp	kibocsátott aktivitás (PBq)	kibocsátott tömeg (kg)	felezési idő
Cs-137	85	26,6	30 év
Sr-90	10	1,9	28 év
I-131	1760	0,3	8 nap
Ce-144	116	1,0	285 nap
Pu-239	0,03	13,3	24 400 év

felezési ideje összemérhető azzal a 10 napos időtartammal, amelyre a számításokat végeztük.

A légköri állapot követéséhez a WRF-modellből 15 perces időbeli sűrűséggel állítottunk elő a 3 dimenziós légkör pillanatnyi állapotát leíró adatállományokat. A kapott eredmények – másképp fogalmazva, a leskálázás – sikeressége általános értelemben sok tényezőtől függ, egy-egy konkrét esetben általában megelégszünk bizonyos, a helyzetet karakterisztikusan jellemző állapotváltozók helyes előrejelzésével. Jelen vizsgálatban a nagytérségű időjárási helyzet alakulása a WRF-ben nagyon hasonlóan adódott a már bemutatott ECMWF reanalízisekhez. A bizonytalanság inkább abban volt, hogy a szinoptikus skálájú kényszerek milyen mezoskálájú folyamatokat fognak létrehozni a modellben. A felhasznált analízisek elemzése és az akkori mérések alapján ugyanis a vizsgált régióban több helyen és több alkalommal fordulhatott elő konvektív csapadékhullás. A tanulmány egyik célja éppen az, hogy a konvektív csapadék figyelembevételével pontosabb becslést adjon az ülepedésre, amihez a jelenlegi globális skálájú modellek felbontása még nem elégséges.

Az eredmények mérésekkel történő összevetése azt mutatta, hogy a WRF *területi átlagban* sikeresen jelezte előre az egyes csapadékos periódusokat, illetve azok konvektív voltát azzal együtt, hogy a *modellezett csapadékösszeg egy adott állomás fölött és adott rövid idő-intervallumban akár lényegesen is eltérhet a mértől*. Ez a konvekció rendkívüli érzékenységből adódik. Éppen ezért adott pontra nézve az ezen adatokból számított ülepedés is jelentős hibát hordozhat, így az eredmények értékelését első lépésben területi átlagban és hosszabb időszakra (nap) érdemes elvégezni.

## A terjedési modellszámítások eredményei: szennyezőanyag-terjedés

A FLEXPART terjedési modell szerint a radioaktív szennyezés a reaktorbaleset utáni első két napon északi, északnyugati irányban kezdett haladni, nem túlságosan magas légrétegekbe eljutva. A radioaktív anyagok légköri koncentrációja maximális értékét a kibocsátási pont közvetlen közelében április 27-én érte el, ami például a Cs-137 izotóp esetén 100 m-es magasságban csaknem 0,7 ppt-nek adódott.

A szennyező anyag vertikális irányú eloszlására a konvektív folyamatok voltak a legnagyobb hatással az által, hogy tulajdonképpen percek alatt elkeverték a troposzféra teljes vertikumában a radioaktív részecskéket. Emiatt azután a kezdeti, nagytérségű mozgások által kialakított egyenletesen emelkedő vagy éppen süllyedő részecskehalmozatok gyorsan különböző áramlási viszonyokkal rendelkező légrétegekbe kerülnek. Így például már 26-án kimutatható volt radioaktivitás Délnyugat-Ukrajnában is, annak ellenére, hogy a vezető áramlás ekkor még egyértelműen északi, északnyugati irányba vitte a felhőt. A konvekció, különösen az időszak első felében, a közép-kelet-európai régióban nagy területen volt az időjárás meghatározója, ami egyébként a legnagyobb bizonytalanságot is jelenti az előrejelzésekben. A későbbiekben azonban – a jelentősebb vertikális mozgások hiányában – már főként kisebb magasságokban maradtak a radioaktív elemeket szállító légelemek, ezért *az Ukrajnától távol eső területeken megjelenő szennyeződés elsősorban az első néhány nap emissziójából származhatott*.

A radioaktív részecske-koncentráció alakulására hazánk térségében is meghatározók voltak a megjelenő szervezettebb zivatarrendszerek. Április 29-én, a katasztrófa utáni harmadik napon ért hazánk fölé az első nagyobb radioaktivitással bíró légtömeg, amely éppen a délkeletről északnyugat felé mozgó zivatarokkal találkozott. Ennek hatására nyugati határainknál, illetve Ausztriában jelentős mennyiségű szennyező anyag mosódott ki az intenzív csapadékkal, a felhő maradék része pedig nyugat felé húzódott. Ezt szemlélteti a 3. és 4. színes *ábra* az első belső borítón. Ez után, május 1-jére már a Kárpát-medence fölött is nagy koncentrációban volt jelen radioaktív aeroszol, ami ezúttal keleti irányból közelítette az országot. A nagy számban kialakuló záporok, zivatarok hatására jelentős mennyiség ki is ülepedett, ennek térbeli eloszlása azonban rendkívül szeszélyes volt, mert itt már nem szervezett zivatarrendszerekről volt szó. Május 2-től a csapadéktevékenység csökkenésével csökkent a kiülepedés is, ezáltal egyenletesebbé, egyben magasabbá is vált a radioaktív elemek légköri koncentrációja. Harmadika után dél, délkelet felől érkezett további szennyezett levegő, különösen a Dunántúl fölé, de a nedves ülepedés újfent inkább a délnyugati, nyugati szomszédainknál volt jelentős. Ötödikétől azután keletiesre fordult az uralkodó áramlás, amivel még további szennyezés érkezett, de egyre csökkenő koncentrációban. Ezen a ponton egy másik szempontból kell felhívunk a figyelmet a meteorológiai modellszámítások bizonytalanságára. Nevezetesen a nagytérségű áramlásba ágyazódott rövid hullámok, illetve az össze- és szétáramlási zónák helyzetében előfordulhatnak néhány 10, esetleg 100 km-es eltérések, valamint egy-két óras különbségek a valósághoz képest. Emiatt ugyanilyen nagyságrendű hibákkal lehet számolni a szennyezőanyag-felhő helyzetében is, ami – mint látni fogjuk a következő szakaszban – közvetetten kihatással van az ülepedésre is.



2. táblázat

A kiülepedett radioaktív anyagok mért és a modellel számolt aktivitása négyzetméterenként a három legjelentősebb ülepedéssel jellemezhető napon		
település és időpont	mért aktivitás (Bq/m <sup>2</sup> )	modellezett aktivitás (Bq/m <sup>2</sup> )
Siófok		
1986. április 30.	441	4 346
1986. május 1.	2 040	20 550
1986. május 2.	4 760	74
Pécs		
1986. április 30.	101	72
1986. május 1.	50 266	15 061
1986. május 2.	17 850	36 757
Budapest		
1986. április 30.	6 300	3 965
1986. május 1.	17 000	26 027
1986. május 2.	19 300	0

## A terjedési modellszámítások eredményei: száraz és nedves ülepedés a Kárpát-medence térségében

Az előző fejezet alapján a Kárpát-medence fölé a terjedési modell eredményei alapján az addigra már nagy területre diffundált szennyezőanyag-felhő április 28-ról április 29-re virradó éjszaka érkezett meg északi irányból, és a 29-ét követő három napon folyamatosan emelkedett a radioaktív aeroszolok összegzett ülepedésének mértéke, május 1-jén produkálva a legnagyobb napi összeget. Május 2. és 4. között csökkenés figyelhető meg, majd 5-én ismét kis mértékű emelkedés mutatkozott. Ennek okait mind a nagytérségű, mind a helyi időjárási helyzetben kell keresnünk.

Az összes ülepedés időbeli menetéhez képest a száraz és a nedves kihullás aránya korántsem változott egyenletesen az időszak során. Az első napon a teljes depozíciónak még körülbelül 39%-a származott a száraz ülepedésből, míg május 1-jén a maximális napi összeg kevesebb, mint 9%-a, azaz *sokkal nagyobb szerepet kapott a csapadékképződés a légkörben tartózkodó szennyező anyagok kihullásában.* Ezt követően stabilabbá vált a légállapot, csökkent a csapadékhajlam, így ismét nőtt a száraz ülepedés aránya. Az, hogy a legnagyobb ülepedéskor meghatározó volt a nedves kihullás aránya, arra enged következtetni, hogy a radioaktív anyagok ülepedésének modellezésében döntő fontosságú a csapadék pontos előrejelzése, különös tekintettel a lokális skálán jelentkező konvektív folyamatokra: a záporokra és zivatarokra. A számítási eredmények alapján ugyanis, *ha a konvektív csapadékot nem jelezte volna előre az időjárási modell (hanem csak a nagytérségű, frontális csapadékrendszereket), akkor a vizsgált 10 napos időszakra összegezve a teljes ülepedésnek mintegy 85%-át elvesztettük volna a számítási eredményből!*

A teljes depozíció aktivitása az ország területén a vizsgált 10 napos időszak alatt 3621 Bq/m<sup>2</sup>-nek adódott.

Ez tömegegységben kifejezve azt jelenti, hogy *az erőműből összesen kibocsátott anyag körülbelül 0,02%-a hullott ki Magyarország térségében április 29. és május 5. között.* Ha pedig aktivitásban fejezzük ki ezt az arányt, akkor 0,06%-ot kapunk, ami az ukrán, fehér-orosz területek adataihoz képest csekély mennyiség.

Ami a kiülepedő szennyezés anyagi minőségét illeti, legnagyobb tömegben a Cs-137 izotóp ülepedett, míg aktivitásukat tekintve a legnagyobb veszélyt a Ce-144 és a Cs-137 jelentették. Hazánk területén a legkisebb tömegben a jód és a plutónium izotópjai ülepedtek ki, ez utóbbi mennyisége a számítási hibahatárt sem érte el.

Összehasonlítva eredményeinket a mérési adatokkal (2. táblázat) a legfeltűnőbb tény az, hogy a mérések igen változékony tér- és időbeli adatokat szolgáltatottak, ami szintén a szeszélyes eloszlású csapadéktevékenységhez fűződő erős kapcsolatra utal. Mivel a konvektív csapadék előrejelzése egy adott pontra nézve igen bizonytalan, így az összehasonlítás során a modellezett értéket nem feltétlenül a mérési pontnak megfelelő helyről, hanem egy olyan, ahhoz közeli rácsponttól számoltuk, ahol a modell szerint volt csapadékhullás. Ennek erősségében még így is jelentős eltéréseket kaptunk a valósághoz képest: volt, amikor alábecslést (például Siófokon vagy Budapesten, május 2-án), és volt, amikor jelentős fölébecslést.

A május 1-jére számított száraz és nedves ülepedés közti különbséget szemlélteti az 5.a–b színes ábra az első belső borítón. A száraz ülepedés jellemzően nagy területre kiterjedő, egyenletesen gyenge terhelést jelent, míg a nedves kihullás kis körzetekben okoz kiugróan magas aktivitásértékeket. A balesetet követő 10. napon (a számítások végén) a Cs-137 száraz és nedves ülepedését mutatja a 6. színes ábra az első belső borítón.

## A hazai ülepedés becslésének pontosítása

Az előzőekben ismertetett modellezési rendszerben a radioaktív anyagok ülepedésének becslése alapvetően kétféle hibával is terhelt. Egyrészt a depozíció folyamatának parametrizációja a FLEXPART-modellben nyilvánvalóan egyfajta közelítésnek tekinthető, hiszen az alapvető fizikai (és kémiai) törvényszerűségek mellett sok empirikus összefüggés is szerepel benne. Másrészt a meteorológiai modell is visz bizonytalanságot a számításokba, ebben az esetben nem is csekély mértékben a csapadék-előrejelzés hibáján keresztül. Jelen tanulmány keretei között ez utóbbi hibaforrás mérséklésére vállalkozhattunk.

A légköri állapot leírására alkalmazott WRF-modell – úgy, mint hasonló más modellek is – a különböző tér- és időskálájú folyamatokat egy adott felbontás és adott kezdeti és peremfeltételek mellett eltérő mértékű bizonytalansággal képes leírni. A jelenlegi 4 km-es horizontális felbontáson egy ciklon és annak frontjai kellőképpen reprezentáltak a rácshálón, így az azokból származó csapadékezők előrejelzésében elvár-

ható a minél nagyobb tér- és időbeli pontosság is. Más a helyzet a rácsávolsággal összemérhető karakterisztikával rendelkező konvektív folyamatokkal, amelyek modellezése már akkor sikeresnek mondható, ha például egy Dunántúlnak megfelelő területen a záporos, zivataros területek nagysága a modellben közelítőleg egyezik a konvekció valós kiterjedésével. Ebből az is következik, hogy csak egy adott földrajzi pontot és adott időpontot nézve nem várható el a valósággal való egyezés. Mivel az ülepedések mérése pontszerűen történik, ezért a depozíció becslése akkor lenne a meteorológiai modelltől kvázi független, ha legalább ezekben a pontokban az előrejelzett csapadékmennyiség térben és időben egyezne a mérésekkel. Ez, mint láttuk, önmagában nem lehetséges. A szóban forgó feladat természete egy korrekció alkalmazását kívánta a csapadékmézőre nézve, amelynek lépéseit a következőkben vázoljuk fel.

A FLEXPART minden rácspontban – többek között – a meteorológiai modell csapadékösszegét is felhasználva becslül egy száraz és nedves ülepedési értéket. Mivel ez a közelítés egy széles tartományban monoton (növekvő) függvénykapcsolattal van reprezentálva, ezért van értelme annak, hogy a számított értékekből egy redukált ülepedést származtassunk úgy, hogy az eredeti csapadék helyett 1 mm-es mennyiséggel számolunk. A nedves kihullás becslése a következő képlettel történik:

$$W = A P_m^B f(RH), \quad (1)$$

ahol  $P_m$  modellezett csapadékösszeg,  $RH$  relatív nedvesség,  $A$  és  $B$  konstansok,  $f$  a relatív nedvesség függvénye.

Az eredeti modellszámításból ismeretes  $P$  és  $W$ , valamint a  $B$  konstans. Az  $A$  értéket viszont változóknak fogjuk tekinteni, ezért kifejezzük (1)-ből, majd a kapott alakot visszaírjuk a már redukált (1 mm csapadékra vonatkozó) ülepedés képletébe:

$$W_{red} = \frac{W}{P^B} 1^B f(RH) = \frac{W}{P^B} f(RH). \quad (2)$$

A (2) összefüggés alapján azt kapjuk meg, ha minden rácsponton 1 mm csapadék hullott volna, akkor mennyi lett volna a nedves ülepedés. Ezzel párhuzamosan előállítjuk az archív adatokból rendelkezésre álló, tényleges mérésekből a rácspontokra interpolált csapadékmezőt. Végül minden rácspontban (2) felhasználásával megkapjuk a módosított nedves kihullást (de most már a valós csapadékra vonatkozóan):

$$W_{új} = \frac{W_{red}}{P_r^B} f(RH). \quad (3)$$

A továbbiakban ezt a nedves ülepedést hasonlítjuk össze a mérésekkel.

A 3. táblázat a 2.-hoz képest nagyobb mértékű egyezést mutat, azzal együtt, hogy az ülepedés parametrizációjából származó hiba továbbra is jelen van. Emellett utalnunk kell az előző szakasz végén tett

3. táblázat

**A kiülepedett radioaktív anyagok mért és a modell által számolt aktivitása négyzetméterenként 1986. május 1-jére, a legjelentősebb ülepedéssel jellemezhető napra**

település	aktivitás (Bq/m <sup>2</sup> )		
	mért	modellezett	újraszámított
Siófok	2040	20550	820
Pécs	50266	15061	47058
Budapest	17000	26027	10570

megjegyzésre is, nevezetesen a zivatarokénál nagyobb skálájú folyamatok előrejelzésének bizonytalanságára. Ha a rendelkezésünkre álló szórványos méréseket vesszük alapul, a koncentrált szennyezőanyag-felhő a modellezettnél kissé északabbra vonulhatott el, ami egy, a Keleti-Kárpátok fölötti divergens zóna áramlásmódosító hatása következtében történhetett. Lehetséges, hogy ezt a meteorológiai modell kissé délebbre helyezte. Többek között ez is lehet a magyarázata az alábecsült siófoki adatnak és a fölébecsült pécsi ülepedésnek. A legnagyobb ülepedést mutató május 1-jei összegzett nedves ülepedés országos eloszlását a 7. színes ábra a 24 óra alatt lehullott csapadék mennyiségét pedig a 8. színes ábra (mindkettő az első belső borítón) mutatja.

## Összefoglalás

A tanulmányban a modern meteorológia eszközeivel vizsgáltuk a 30 éve történt csernobili baleset időjárás körülményeit és a kibocsátott szennyező anyagok terjedését. Megállapítható, hogy a zivatarok által okozott nedves ülepedés jelentős szerepet játszott a megnövekedett radioaktív sugárterhelésben. Azok a területek, ahol a szennyező anyag légköri jelenléte idején zivatarok voltak, a száraz ülepedéshez képest akár 3-5 nagyságrenddel is nagyobb dózist kaphattak. Így óriási szerencse, hogy az erőműhöz közeli Kijev csak kevés szennyezést kapott, míg távolabbi területeken volt jelentősebb a szennyezés. A zivatarok elsősorban a Kárpátok, majd az Alpok térségében jelentek meg, főként május elsején. A száraz ülepedés Magyarország területének nagyobb részén nem okozott rendkívül magas kihullást, és főként május 2-tól játszott szerepet, amikor tartósan keletiesre fordult az áramlás és stabilizálódott a légállapot. A csernobili baleset kapcsán jól látható, hogy az összetett légköri folyamatok milyen jelentős szerepet játszanak a szennyező anyagok tér- és időbeli eloszlásának alakulásában.

## Irodalom

1. A. András: Radiological Consequences of the Chernobyl Accident for Hungary. *Radiation Protection Dosimetry* 19/4 (1987) 239–245.
2. I. Fehér: Experience in Hungary on the radiological consequences of the Chernobyl accident. *Environmental International* 14 (1988) 113–135.



3. Szatmáry Zoltán, Aszódi Attila: *Csernobil. Tények, okok, biedelmek*. Typotex Kiadó, Budapest 2014.
4. V. Drozdovitch, A. Bouville, N. Chobanova, V. Filistovic, T. Ilus, M. Kovacic, I. Malatova, M. Moser, T. Nedveckaite, H. Völkle, E. Cardis: Radiation Exposure to the population of Europe following the Chernobyl accident. *Radiation Protection Dosimetry* 123/4 (2007) 515–528.
5. Országos Meteorológiai Szolgálat (szerk. Simon Antal): A csernobili atomerőmű balesetével kapcsolatos légköri radioaktivitás és meteorológiai mérések előzetes eredményei. *Meteorológiai Tanulmányok* 60 (1986).
6. P. D. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137/656 (2011) 553–828.
7. W. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *NCAR Technical Note* NCAR/TN-475+STR, DOI: 10.5065/D68S4MVH (2008).
8. A. Stohl, M. Hittenberger, G. Wotawa: Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against large scale tracer experiment data. *Atmos. Environ.* 32 (1998) 4245–4264.
9. A. Stohl, D. J. Thomson: A density correction for Lagrangian particle dispersion models. *Bound.-Layer Meteorol.* 90 (1999) 155–167.
10. A. Stohl, C. Forster, A. Frank, P. Seibert, G. Wotawa: Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2. *Atmos. Chem. Phys.* 5 (2005) 2461–2474, DOI: 10.5194/acp-5-2461-2005.
11. *Chernobyl. Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On*. Nuclear Energy Agency Organization for Economic Cooperation and Development (2002) <https://www.oecd-nea.org/rp/reports/2003/nea3508-chernobyl.pdf>

## IN MEMORIAM...

# CENTENÁRIUMI MEGEMLEKEZÉSEK 2016 – 2. RÉSZ

## – száz éve született angolszász fizikusok

Radnai Gyula  
ELTE, Fizikai Intézet

E megemlékező tanulmány első részében (*Fizikai Szemle* 2016/7–8) öt olyan tudósról volt szó, akik 100 éve haltak meg. Ezután olyanokkal foglalkozunk, akik 100 éve születtek. Először négy angolszász tudós életpályáját tekintjük át. Mindenek előtt azét az amerikai fizikusét, aki 1960-ban az *American Journal of Physics*, majd 1961-ben a *Scientific American* hasábjain emlékezett meg őszinte elismeréssel *Eötvös Loránd* gravitációs méréseiről. Előbbit a *Magyar Fizikai Folyóirat*, utóbbit a *Fizikai Szemle* közölte magyar fordításban. Ez utóbbiból idéznék most:

„A gravitációs gyorsulás állandó voltát sokszor ellenőrizték, a legtokéletesebbek ezen a téren a magyarországi Eötvös Loránd 1889 és 1908 közt végrehajtott rendkívüli pontosságú kísérletei. A kísérletek időpontja sok fizikust arra az elképzelésre készítetett, hogy Eötvös munkája döntő módon befolyásolta *Albert Einsteint*, aki 1908 és 1915 között állította fel az általános relativitás elméletét. A tény az, amint azt Einstein 1934-ben megírta, hogy neki nem volt komoly kétsége »a gravitációs gyorsulás állandó volta felől Eötvös csodálatra méltó

kísérletei eredményének az ismerete nélkül sem, melyeket – ha emlékezetem nem csal – csak később ismertem meg.« Mindazonáltal teljesen jogos azt mondani, hogy ha az Eötvös-kísérletek bármilyen negatív eredménnyel jártak volna, minden fizikus hallott volna néhány napon belül a megdöbbentő hírről, és az általános relativitáselmélet egész alapja megdőlt volna még az elmélet megszületése előtt. Ebből következik, hogy minden olyan kísérlet, amely a gravitációs gyorsulás állandó voltát az Eötvös-kísérletekénél nagyobb pontossággal bizonyítja, Einstein elmélete mellett szolgált alapvető bizonyítékot. Eötvös készüléke a gyorsulás állandó voltát  $5 \cdot 10^{-7}$  százalék pontossággal határozta meg... Meglepő módon a modern technika teljes igénybevételével Eötvös eredményeinek pontosságát csak egy 50-es faktorial sikerült megjavítanunk.  $10^{-8}$  százalékos pontossággal állíthatjuk, hogy a réz és az ólom gravitációs gyorsulása állandó. Reméljük, hogy a hamarosan megkezdendő új kísérletsorozatban a pontosságot még egy 10-es faktorial növelni tudjuk.» (*Fizikai Szemle* 1962/4)

Végül is három nagyságrenddel sikerült növelni Eötvös Budapesten elért mérési pontosságát Princetonban, több, mint fél évszázaddal később.

Kinek sikerült ez, ki volt ez a fizikus?

Eötvös gravitációs kísérleteinek amerikai csodálója: Robert H. Dicke (1916–1997)

A Missouri-beli Louis-ban született az Egyesült Államokban. Apja szabadalmi ügyintéző volt – akárcsak Albert Einstein a század elején. Egyetemi MSc-fokozatot



Radnai Gyula ny. egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe, a fizika hazai kultúrtörténetének kutatásába pedig *Simonyi Károly* ösztönzésére fogott a '70-es években. *Physics in Budapest* című – *Kunfalvi Rezsővel* közös – könyve, valamint a *Fizikai Szemle*ben és a *Természet Világában* megjelent számos, ma már az interneten is elérhető publikációja hitelesíti ezt a tevékenységét.



Robert H. Dicke

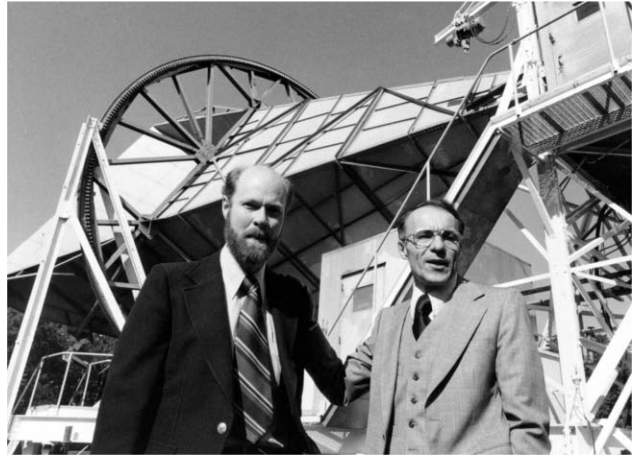
a szülőhelyétől több mint 1000 km-re lévő Princetonban szerzett, két évvel később pedig PhD-fokozatot ért el az innen is több mint 500 km-re lévő Rochesterben magfizikából. Mindkét egyetemről több száz kilométerre adódott első munkahelye – az embernek át kell állítania hazai szemléletét az amerikai távolságokra.

Az MIT-n (Massachusetts Institute of Technology) kezdett dolgozni, de nem tudta folytatni a Rochesterben megkezdett magfizikai kutatásait, mert be kellett kapcsolódnia az ott folyó mikrohullámú radarkutatásba. Jó elméleti felkészültségét és kiváló gyakorlati érzékét, műszerépítő képességeit azonban ezen a területen is sikerült megmutatnia. Kifejlesztette az egyimpulzusú és a koherens impulzusú radart, feltalált és megépített egy olyan mikrohullámú radiométert, amely ma is több modern rádióteleszkóp szerves része.

1942-ben nősült meg, majd élt 55 évig boldog házasságban *Anny Currie*-vel, aki három gyermekkel ajándékozta meg: lányuk 1945-ben született, fiaik pedig 1946-ban és 1953-ban.

1946-ban munkahelyet váltott: ettől kezdve Princetonban tanított és kutatott az egyetemen. Nagy figyelmet fordított a mikrohullámú spektroszkópiára, kidolgozta a mikrohullámú koherens sugárzás, a „radarlézer” elméletét. 1955-ben lett professzor, 1967 és 1970 között ő volt Princetonban a Fizikai Intézet vezetője. A gravitációs vöröseltolódással kapcsolatos elméleti megfontolásai vezették el Eötvös Loránd kutatásainak felfedezéséhez, majd az Eötvös méréseinek pontosítását jelentő, az ekvivalenciaelv érvényességét nyomonkövető, rendkívül körültekintő és alapos saját kutatásainak megtervezéséhez és kivitelezéséhez.

Az 1960-as évek közepén publikálta azt a feltevését, hogy léteznie kell a világban egy, még a Nagy Bumm-



Arno Penzias és Robert Wilson

ból származó kozmikus, mikrohullámú háttérsugárzásnak, és kutatni kezdte e sugárzás észlésének kísérleti lehetőségeit. Nem tudott arról, hogy ezt a feltevést már több mint egy évtizeddel korábban megfogalmazta, kidolgozta és publikálta *Ralph Alpher* (1921–2007) és *Robert Woodrow Herman* (1914–1997). Sajnos a kísérleti kimutatás se neki sikerült, mivel *Arno Penzias* (1933–) és *Robert Wilson* (1936–), a Bell Telephone Laboratories munkatársai megelőzték, midőn egy véletlen felfedezés nyomán eljutottak a kozmikus háttérsugárzás létezésének kísérleti igazolásához.<sup>1</sup> Meg is kapták érte az 1978. évi fizikai Nobel-díj egyik felét. (Másik felét *Pjotr Kapica* (1894–1984) kapta.)

*Robert H. Dicke* 1975-ben az első „Albert Einstein professzor” lett Princetonban és számos amerikai kitüntetéssel ismerték el érdemeit. *Carl Brans* (1935–) nevű tanítványával továbbvitte a *Paul Dirac* által 1937-ben felvetett gondolatot, és olyan gravitációelméletet dolgoztak ki, amely szerint az Univerzum tágulásának eredményeként a gravitációs állandó mégsem marad állandó, hanem egymilliárd évenként 2%-kal csökken.

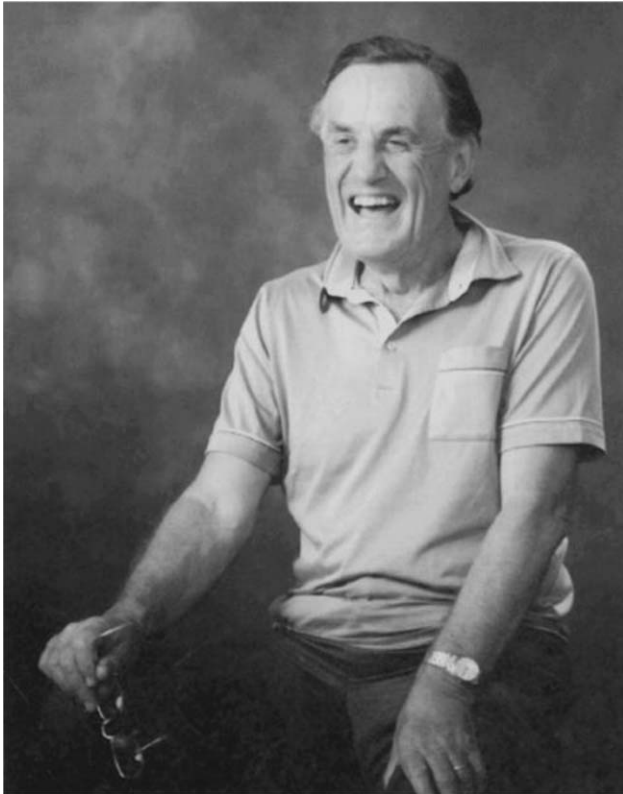
Princetonban halt meg, 81 éves korában.

## Sikeres brit mérnökfizikus és rádiócsillagász: Robert Hanbury Brown (1916–2002)

Indiában született, egy brit katonatiszt gyermekeként, akinek akkor éppen Indiában volt az állomáshelye. Nyolc éves korától már Angliában járt iskolába. 16 és 19 éves kora között Brightonban az ottani műszaki főiskolán jutott alapfokú elektromérnöki végzettséghez, utána Londonban az Imperial College hallgatójaként szeretett volna PhD-fokozatot szerezni.

Itt figyelt fel rá *Henry Tizard* (1885–1959) rektor, miközben tehetséges fiatalokat keresett a „Chain Home” fedőnévvel folyó titkos kutatáshoz. Henry Tizard rektorsága mellett fontos kormányzati állást is betöltött: 1933 óta az angliai „Légügyi tudományos kutatások bi-

<sup>1</sup> A sors ironiája, hogy ebben a műszerben Dicke szinkronerősítője működött, azzal vált a jel mérhető nagyságává a háttérzajok fölött.

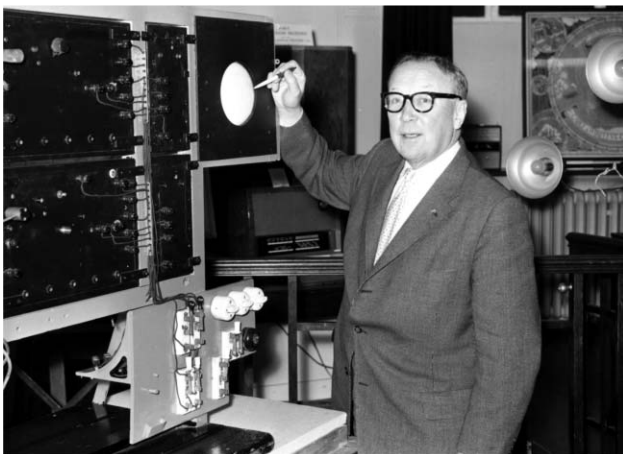


Robert Hanbury Brown

zottságának” elnöke volt, s mint ilyen, megszállottan hitt a rádióhullámokkal történő légi- és tengeri felderítés eredményességében. Anglia határainak védelmére szeretett volna kiépíttetni egy speciális rádióadókból és -vevőkből álló védőláncot a sziget keleti és déli oldalán. Csakhamar kiderült, hogy az alkalmazott frekvencia esetén a látótávolság esős időben jelentősen csökken, szükség volt jóval nagyobb frekvenciájú, kisebb hullámhosszú rádióadók megépítésére. Ebben jutott fontos szerep *Watson-Watt* (1892–1973) angol mérnöknek, az „angliai radar” feltalálójának, és az ő csapatában dolgozott a fiatal *Hanbury Brown* is.

1940-ben, az „angliai csata” idején Tizard titkos miszsióval elrepült az Egyesült Államokba, hogy rávegye a gazdag, tőkeerős államot az angliai tudományos ered-

Robert Watson-Watt



mények, a náci Németország elleni háborúban felhasználható angliai találmányok támogatására. Cserében felajánlotta néhány angliai titkos fejlesztésű dokumentum ingyen átadását az Egyesült Államok számára. Magával vitte többek között azt a Birminghamben kifejlesztett, 10 kW teljesítményű üreges magnetront is, amellyel centiméteres hullámhosszú mikrohullámokat lehetett előállítani. Merész vállalkozása sikerrel járt, pedig nem mehetett biztosra, mivel 1940-ben az Egyesült Államok még nem lépett be a háborúba.

Tizardnak sikerült elintéznie néhány angliai (nemcsak angol nemzetiségű!) tudós kiutazását, ezek között volt Robert Watson-Watt és 1942-től Hanbury Brown is. Eredményesen dolgoztak, sőt, még a háború után is folytatták Amerikában az intenzív radarfejlesztést. Amikor azonban 1949-ben Watson-Watt Kanadába tette át csapata székhelyét, Hanbury Brown úgy döntött, hogy visszajön Angliába. Szeretett volna PhD-fokozatot szerezni és újra magánéletet élni. Mindkettő sikerült, miután a Manchesteri Egyetem kutatója lett és a rádiócsillagászatba dolgozta bele magát, miközben megismerkedett *Heather Hilda Chestermannal*, akit 1952-ben feleségül vett. A későbbiekben egy kislányuk és két ikerfiúk születtek.

1962-ben két évre Ausztráliába költöztek, hogy a Sydney Egyetem megbízásából Hanbury Brown Ausztráliában is megépítse Manchesterben feltalált, két rádióteleszkóp összekapcsolásával működő „intenzitás interferométerét”. Ennek segítségével jutott el ugyanis Manchesterben a kvazárok felfedezéséhez. Ausztráliában a két évből 27 év lett, közben 1982 és 1985 között ő töltötte be a Nemzetközi Csillagászati Unió elnöki tisztét.

Amikor 2002-ben, 86 éves korában lehunyt szemét Angliában, a háborús károkat szenvedett Winchestertől mintegy húsz kilométerre lévő Andoverben, elégedetten állapíthatta meg, hogy sikeres brit fizikusként ugyanolyan fontos szerepet töltött be a háborúban Anglia határainak megvédésében, mint Ausztrália csillagászatának felvirágoztatásában, a békében.

## Két brit Nobel-díjas biofizikus: Francis Crick (1916–2004), Maurice Wilkins (1916–2004)

Szinte misztikus, hogy ők ketten nemcsak egy évben születtek, nemcsak ugyanabban az évben kaptak orvosi, fiziológiai Nobel-díjat, de egy évben haltak is meg. Életükben több közös momentum volt, bár teljesen máshonnan indulva kezdtek, s azután teljesen máshova érve fejezték be földi pályafutásukat. *Francis Crick* Angliában született, életének harmadik harmadát azonban az Egyesült Államokban élte le, *Maurice Wilkins* Új-Zélandon született, viszont hatéves korától fogva már Angliában élt és itt is halt meg. Nézzük sorjában!

Francis Crick nagyapja cipész és amatőr természetbúvár volt, apja pedig már jól menő cipőgyárat tulajdonolt. Crick nagybátyját is érdekelték a természettudományok, gyakorlati emberként fényképezésre,



üvegfúvásra és kémiai kísérletezésre tanította unokaöccsét, aki 14 éves koráig még szülőfalujához közel, Northamptonban járt iskolába. Utána egy londoni középiskolába ment át, majd a londoni University College diájkaként szerzett BSc-fokozatot fizikából 1937-ben. A PhD-hez vezető tanulmányait azonban megzavarta a kitört világháború: még a laboratóriumot is, ahol dolgozott, 1940-ben lebombázták a németek. Ezután a háború végéig a brit haditengerészet egyik kutatóintézetében a víz alatti aknák építésének, telepítésének és felderítésének (víz alatti radar, ultrahang) technikáját kutatta.

A háború után az élő és élettelen közti határ kezdte foglalkoztatni, és olyan egyetemet keresett, ahol modern biológiai ismeretekre tehet szert, új kémiai-fizikai kutatási módszereket tanulhat. Kiváló helynek tűnt e célra Cambridge, a Cavendish Laboratórium, amelynek vezetője 1938-tól kezdve a Nobel-díjas *William Lawrence Bragg* (1890–1971) volt, aki a háború után – elég nagy kockázatot vállalva – nem az atombomba hatására keleten és nyugaton egyaránt fellendülő magfizikai kutatást, hanem a békés célú röntgendiffrakciós kutatást részesítette előnyben, és ennek kémiai és biológiai alkalmazását támogatta.

Maurice Wilkins apja Írországból jött iskolaorvos volt Új-Zélandon. Azonban hamarosan visszatértek Angliába, és Maurice már Birminghamben kezdett iskolába járni. Itt végzett középiskolát, majd Cambridge-ben szerzett fizikából BSc-fokozatot 1938-ban. A PhD megszerzéséhez visszajött Birminghambe, és az itteni egyetemen egy éve működő mérnök-fizikus, *John Randall* (1905–1984) kutatásaiba kapcsolódott be. Foszforeszcenciával és termolumineszcenciával foglalkoztak közösen, így született meg Wilkins PhD-disszertációja, már az „angliai csata” idején, 1940-ben.

A háború kitörését követően persze mással is el voltak foglalva: az admiralitástól a tanszékre érkezett titkos felkérés alapján olyan radar kifejlesztésén dolgoztak, amelynek hullámhossza centiméter nagyság-



James D. Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins és Rosalind Franklin

rendű, hogy a tengeralattjárók vízszint fölé emelkedő periszkópját is észre lehessen venni. A kutatást irányító tanszékvezető, *Marcus Oliphant* (1901–2000) klisztronnal kísérletezett, azonban ennek teljesítménye legfeljebb 400 W lehetett. Wilkins az érzékelésre használt katódsugárcsövek hatékonyságát tudta növelni, de ez még nem volt elég az üdvösséghez. Az áttörést Randall ötlete hozta meg, amikor feltalálta az üreges magnetron. Ezt vitte el azután Tizard Amerikába, és a Tizard misszió nyomán az Egyesült Államokba kiutazó fizikusok közé 1943-ban bekerült Maurice Wilkins is. (Randall nem akart elmenni.) Akkor már nem is a radarkutatásba, hanem egyenesen a Manhattan-tervbe vonták be Wilkinst, ahol az uránizotópok szétválasztásán dolgozott.

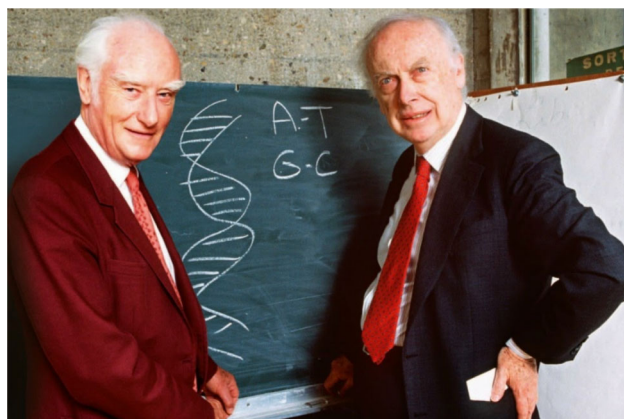
Amikor Wilkins visszatért a háború után Nagy-Britanniába, a King's College professzorának hívására Londonban kötött ki. A professzort John Randallnak hívták... Érdekes módon akkor már biofizikai kutatással foglalkozott, és ebbe vonta be Wilkinst. John Randall Cambridge-ben szerezte meg annak idején a PhD-fokozatot, témavezetője pedig William Lawrence Bragg volt. Könnyen lehet, hogy Braggnek is volt szerepe abban, hogy Randall röntgendiffrakciós kutatásba fogott, biológiai makromolekulák térszerkezetének leképezését vizsgálta és vizsgáltatta egy egész kis kutatócsoporttal, amelynek vezetésére 1946-ban Wilkinst kérte fel. (Újabb érv emellett, hogy a személyes szimpátia felülírhatja a legérdekesebb kutatási téma iránti elkötelezettséget is.)

Az egyetlen hölgy a csoportban *Rosalind Franklin* (1920–1958) fizikai kémikus volt, aki 1950 és 1953

Watson és Crick 1953-ban



Crick és Watson az ezredfordulón





Az 1962-es Nobel-díj átadása után (balról jobbra): Maurice Wilkins (orvostudomány), Max Perutz (kémia), Francis Crick (orvostudomány), John Steinbeck (irodalom), James Watson (orvostudomány), John C. Kendrew (kémia).

között dolgozott velük. Wilkins egy PhD-hallgatóval együtt készítette el a DNS-szálak első diffrakciós képét 1950-ben. E hallgató munkáját vette át azután Rosalind Franklin, akinek rendkívül éles diffrakciós képeket sikerült készítenie a DNS-ről. A diffrakciós képek egyértelművé tették, hogy a DNS-nek helikális, csavarszerű szerkezete van, és az is felvetődött a csoportban, hogy ez a hélix esetleg több, két vagy három spirálból is állhat. A viták során Rosalind Franklin megbántódott, mert érvei nem kaptak elég figyelmet, munkája pedig kellő elismerést a főnökétől, ezért kivált a csoportból és egy másik intézetbe ment át. Ahhoz azonban Randall már nem járult hozzá, hogy az itt készített felvételeit is elvigye magával.

Cambridge-ben Cricknek 1951-ben egy rendkívül éles eszű, fiatal munkatársa akadt, aki az Egyesült Államokból érkezett a Cavendish Laboratóriumba, hogy gyakorlatot szerezzen a röntgendiffrakciós molekuláris biológiai kutatásban. *James D. Watson* (1928–) Chicagóban zoológusi diplomát szerzett, de főleg a genetika és a mikrobiológia érdekelte. Cambridge-ből időnként átrándult Londonba, vitte és hozta a legújabb híreket és felvételeket. Az amerikai *Linus Pauling* (1901–1994) kutatásaival ijesztgette és sürgette mindkét csapatot, tudván, hogy Pauling is nukleinsavak szerkezetének feltárásán dolgozik. 1953-ban végre sikerrel jártak Cambridge-ben, igaz, Cricknek és Watsonnak a DNS-molekula kettősspirál-szerkezetét könnyebb volt egy „Babylon”-szerű gyerekjátékból megépíteni, mint a publikációjukban lerajzolni.<sup>2</sup>

James G. Watson és Francis Crick nevezetes cikke 1953. áprilisában jelent meg a *Nature* folyóiratban *Molecular structure of Nucleic Acids* címmel.<sup>3</sup> Ez egy rendkívül rövid, alig egy oldalas cikk, amelyben javaslatot tesznek a DNS szerkezetére. (Egy cikknek nem kell feltétlenül hosszúnak lennie ahhoz, hogy korszakalkotó felfedezésről adjon hírt.) A publikáció tudományos körökben nagy feltűnést keltett, még a napilapok is beszámoltak a felfedezésről.

A Maurice Wilkins és Rosalind Franklin által készített felvételekre alapozott elméleti megfontolások, amelyek főleg Francis Cricktől és James Watsontól származtak, széles körben elfogadásra kerültek a

biológusok körében, és az 1962-es közös fiziológiai és orvostudományi Nobel-díjhoz vezettek Crick, Watson és Wilkins számára. Sajnos Rosalind Franklin már nem részesülhetett az őt megillető elismerésben, mert 1958-ban rákban elhunyt. A tudománytörténet azonban csaknem egyenlő súlyúnak ítéli a négy tudós hozzájárulását a felfedezéshez.

Életük hátralévő négy évtizedében Crick és Wilkins is kitarzott a biofizika mellett. Crick a genetikai kód kutatásával foglalkozott, 1976-tól kezdve a kaliforniai Salk Intézetben. Kitartóan érdekelte az élet eredete, végül is a „panspermium” elmélet híve lett, amely szerint az élet spórákban érkezett a Földre, valahonnan a világrűrből... Wilkins kutatóintézeti igazgatóként irányított számos mikrobiológiai kutatást Londonban, de nem lett hűtlen a King's College-hoz sem, ahol professzor volt az 1961-ben alapított biofizikai tanszéken.

Családi életük sajátos tükrözte egyéniségük különbözőségét: Crick kétszer nősült meg, először 24, másodszer 33 éves korában. Első házasságából egy fia, a másodikból két lánya született. Wilkins elég soká tépelődött, mire 43 éves korában rászánta magát a házasságra, nekik egy fiúk és egy lányok született.

A két brit Nobel-díjas után legközelebb két „100 éves” szovjet-orszói Nobel-díjasra emlékezünk.

<sup>2</sup> A felfedezés izgalmas történetét James D. Watson írta meg, a Gondolat Kiadó gondozásában 1970-ben magyarul is megjelent *A kettős spirál* című könyvében.

<sup>3</sup> <http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>

# ÜTKÖZÉSEKRŐL KÖZÉPISKOLÁBAN – MÁSKÉNT

Kiss Miklós

Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium

A tananyag csökkentésének időszakát éljük. Próbáljuk megkeresni, mit lehetne még elhagyni, hogy kisebb legyen a diákok terhelése. Van azonban egy meggondolandó körülmény: gyakran igaz, hogy többet tudni könnyebb, mint keveset. Jó példa erre az ütközések témaköre. Napjainkban ez fontos téma, elég, ha a gyorsítókra gondolunk (LHC, LEP). Ugyanakkor a legegyszerűbb kísérletek közé tartoznak a pénzérmék ütközései. A tömegközépponti rendszer előnyeit kihasználva e témakör a középiskolában szakkörön, emelt szinten – bizonyos részei még az általános iskolában is – jól tárgyalhatók.

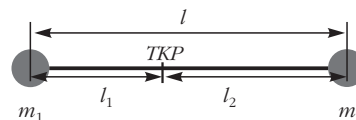
Az ütközést szokásosan két részletben tanítjuk. Először a lendület fogalmának kialakításakor, ezen keresztül definiáljuk a tömeget. Ekkor igazából a lendület fogalmának a bevezetését a lendület ütközések közbeni megmaradása indokolja, ami a sebességmegmaradást váltja fel különböző tömegű testek ütközése esetén. A megmaradási törvényt azután fel is tudjuk használni néhány egyszerű, de hasznos esetben: például tömegek szétlökése rugóval.

Ezen kívül valójában csak a tökéletesen rugalmatlan ütközést tudjuk tárgyalni, két okból:

1. akkor még nem tárgyaljuk az energiát, csak a dinamika után,

2. másodfokú egyenletet/egyenletrendszert még nem oldhatunk meg (matematikából tizedikes tananyag).

Valójában ezekre nincs is szükség. A klasszikus tárgyalást itt nem ismertetjük. Nézzük inkább, milyen egyszerűvé és hatékonyá válik a tárgyalás a tömegközéppont fogalma segítségével. Mindkét nehézség eszik: nincs szükség az energia fogalmára és a probléma sem lesz másodfokú. A tömegközéppont fogalma segítségével az ütközés elegánsan és könnyen tárgyalható, és ez még az általános esetre, vagyis a reális ütközések esetére is igaz. Ami meglepő, hogy e témához nagyon kevés helyen találunk segédanyagot, irodalmat, kivétel talán [1, 2]. Érdekes, hogy még az interneten is csak a saját, 2008 nyarán, az önképzőkör-



1. ábra. A pálca két tömeggel.

ri táborban tartott előadásomat találtam meg e témában [3, 4]. Ezért gondolom hiánypótlónak ezt az írást. Megjegyzem, hogy angol nyelven sem találni igazi segítséget, talán legközelebb az [5] vizs.

A tömegközéppont fogalma része a tananyagnak. Nekünk itt csupán két tömegpont tömegközéppontjának meghatározására van szükségünk. Legyen egy elhanyagolható tömegű pálca két végpontján egy  $m_1$  és egy  $m_2$  tömegű tömegpont (1. ábra). Ekkor tapasztalatból tudjuk (például légpárnás asztalon megvalósított kísérletekből), hogy a tömegközéppont a tömegekkel fordított arányban osztja a tömegek távolságát, vagyis az ábra jelöléseivel:

$$m_1 l_1 = m_2 l_2. \quad (1)$$

Ez akkor is igaz, ha nincsen pálca. Az azonban már általában nem szerepel tanórán, hogy melyek a tömegközéppont koordinátái, pedig csak egy jó koordináta-rendszert (2. ábra) kell választanunk.

Ekkor, ha az  $m_1$  tömegű test az  $x$  tengely  $x_1$ , az  $m_2$  tömegű test pedig az  $x_2$  koordinátájú pontján van, az (1) összefüggést felhasználva könnyen látható, hogy a tömegközéppont  $x_{TKP}$  koordinátája:

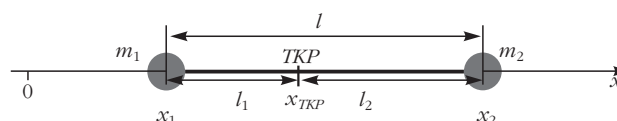
$$x_{TKP} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

Hasonló összefüggés adódik a helyvektorokra és a többi koordinátára is, de nekünk ennyi elég. Ebből könnyen megkaphatjuk a sebességekre vonatkozó szabályt:

$$\mathbf{v}_{TKP} = \frac{m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2}{m_1 + m_2} \quad (3)$$

Ez egy vektoregyenlet. Egyenes ütközések esetén a vektorokat előjeles számokkal is ábrázolhatjuk. Tan-

2. ábra. A tömegpontok a koordináta-rendszerben.



Kiss Miklós az ELTE-n 1982-ben matematika-fizika, majd a KLTE-n 1986-ban számítástechnika szakon szerzett tanári diplomát. 1982-től a Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium tanára. 2005-ben elméleti megfontolások alapján dátumot is mutató napórát készített gimnáziuma falára. PhD-dolgozatát Trócsányi Zoltán vezetésével *A tásnál nehezebb elemek keletkezése csillagokban* címmel a DE Fizikai Tudományok Doktori Iskoláján írta és védte meg. Kutatási témája magiszintézis neutronbefogással.





3. ábra. A két test ütközés előtt. A két test és a tömegközéppont sebessége.

órán a tömegközéppont mozgásáról szoktunk beszélni, de a (3) formuláról általában nem.

Most már rátérhetünk tulajdonképpeni témánkra. Elsőként konkrét esetet vizsgálunk meg. Ez már általános iskolás szakkör keretében is megtehető. Akinek ül a gondolat, az majd mindig tudja használni.

Mozogjon két test a 3. ábrán látható módon. A két test egyenesen és centrálisan fog ütközni. Adatok  $m_1 = 2$  kg,  $m_2 = 3$  kg,  $v_1 = 5$  m/s,  $v_2 = -2$  m/s. Itt a második sebesség negatív előjele a mozgás irányát mutatja. A képletekbe célszerűen fogunk behelyettesíteni, vagyis a mennyiség irányát úgy vesszük figyelembe, ahogy áttekinthetőbben lehet dolgozni.

A mozgásokat tetszőleges vonatkoztatási rendszerben leírhatjuk. A megadott sebességek a tanteremhez viszonyítva (továbbiakban laboratóriumi rendszer) értendők. Nézzük az ütközést egy, a tömegközépponthez rögzített vonatkoztatási rendszerben! Ennek előnyeiről menet közben győződünk meg. A tömegközéppont sebessége a megadott adatokkal:

$$v_{TKP} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 3 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}} = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4)$$

A képletben figyelembe vettük a második test sebességének irányát, a tömegközéppont jobbra mozog.

Mekkora a testek sebessége a tömegközépponti rendszerben?

Az első test egy másodperc alatt 5 métert halad, a tömegközéppont 0,8 métert, ezért az első test a tömegközépponti rendszerben egy másodperc alatt 4,2 métert halad, vagyis a sebessége  $u_1 = 4,2$  m/s. A sebességet  $u$ -val jelöltük, hogy megkülönböztessük a laboratóriumi sebességtől. A második test 2 métert halad 1 másodperc alatt ellenkező irányban, mint a tömegközéppont, így a távolságuk egy másodperc alatt 2,8 métert nő. Ezért a második test sebessége  $u_2 = -2,8$  m/s. A negatív előjel most is a haladás irányát mutatja.

Ha rugalmasan ütköznek, akkor lendületük, így a tömegközépponti rendszerbeli sebességük nagysága sem változik meg, csak az irányuk válik ellentétes. Ennek megfelelően az ütközés utáni sebességek a tömegközépponti rendszerben  $u'_1 = -4,2$  m/s, illetve  $u'_2 = 2,8$  m/s. Most még vissza kell térni a laboratóriumi rendszerbe. Az első test visszafelé halad 4,2 métert, de a tömegközéppont előre megy 0,8 métert, így 1 másodperc alatt 3,4 métert halad visszafelé, ezért  $v'_1 = -3,4$  m/s. A második test másodpercenként 2,8 métert halad előre a tömegközépponthez

képest, de a tömegközéppont 0,8 métert halad, ezért a második test összesen 3,6 métert halad előre, tehát sebessége  $v'_2 = 3,6$  m/s lesz.

Ezzel a feladatot megoldottuk teljesen rugalmas ütközés esetére úgy, hogy a tömegközéppont sebességének kiszámításán kívül még képletet sem használtunk.

A lendületmegmaradás törvénye természetesen mindkét vonatkoztatási rendszerben érvényes, csak más lesz az egyes testek lendülete. Nézzük a lendületeket a tömegközépponti rendszerben. Az két test lendülete (a lendületet szokásos módon  $p$ -vel jelöljük):

$$p_1 = m_1 v_1 = 2 \text{ kg} \cdot 4,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8,4 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}, \quad (5)$$

$$p_2 = m_2 v_2 = 3 \text{ kg} \cdot \left(-2,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = -8,4 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}.$$

A két lendület láthatóan egyenlő nagyságú és ellentétes irányú, összegük nulla. Összegük az ütközés után is nulla lesz, ez minden további számítás alapja. A laboratóriumi rendszerhez tartozó lendület a tömegközéppont lendületével egyezik meg, a tömegközéppont viszi tovább.

Laboratóriumi rendszerben:

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2. \quad (6)$$

Az összes lendület a (3) összefüggést figyelembe véve ütközés előtt:

$$p_1 + p_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_{TKP} \quad (7)$$

és ütközés után:

$$p'_1 + p'_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 = (m_1 + m_2) v_{TKP}. \quad (8)$$

Tömegközépponti rendszerben:

$$p_{1,TKP} + p_{2,TKP} = p'_{1,TKP} + p'_{2,TKP} = 0, \quad (9)$$

tehát

$$p'_{1,TKP} = -p_{1,TKP} \quad \text{és} \quad p'_{2,TKP} = -p_{2,TKP}. \quad (10)$$

A lendület tehát bármelyik ütközéstípusnál megmarad. Osztályozzuk az ütközéseket a tömegközépponti rendszerből nézve:

a) tökéletesen rugalmatlan – mindkét test lendülete nulla az ütközés után,

b) tökéletesen rugalmas – mindkét test lendülete megfordul, nagyságuk nem változik,

c) reális – a lendületek megfordulnak, nagyságuk csökken.

A fenti esetek mennyiségileg könnyen jellemezhetőek, ha bevezetjük a  $k$  ütközési szám fogalmát, ami a tömegközépponti rendszerben az ütközés utáni és az ütközés előtti lendületnagyságok hányadosa.

$$k = \frac{|p'_{1,TKP}|}{|p_{1,TKP}|} = \frac{|p'_{2,TKP}|}{|p_{2,TKP}|}. \quad (11)$$

A lendületek egyenlősége miatt vegyesen is használhatjuk a lendületeket. Ha a (6) szerinti módon írjuk fel, az is látható, hogy a tömeggel való egyszerűsítés után:

$$k = \frac{|u'_{1,TKP}|}{|u_{1,TKP}|} = \frac{|u'_{2,TKP}|}{|u_{2,TKP}|}. \quad (12)$$

Vagyis a tömegközépponti rendszerben az egyes testek ütközés utáni és ütközés előtti sebességnagyságainak hányadosa is az ütközési számot adja meg.

Ennek megfelelően az egyes esetekre jellemző ütközési szám: a)  $k = 0$ , b)  $k = 1$ , c)  $0 < k < 1$ . Az összes esetre igaz, hogy  $0 \leq k \leq 1$ .

Ha az előző feladatban  $k = 0,5$ , akkor annyi lesz a változás, hogy ütközés után a tömegközépponti rendszerben a testek lendülete és így sebessége is a felére csökken és irányuk persze ellentétesre változik. Ezért az ütközés utáni sebességek a tömegközépponti rendszerben  $u'_1 = -2,1$  m/s, illetve  $u'_2 = 1,4$  m/s. A korábban leírt módon visszatérve a laboratóriumi rendszerbe, a tömegközéppont sebességét figyelembe véve  $v'_1 = -1,3$  m/s és  $v'_2 = 2,2$  m/s lesz. Ez az eset is tárgyalható képletek és különösebb matematikai erőfeszítés nélkül.

Nézzük általánosan az ütközéseket!

A kiindulás a harmadik ábrának megfelelően, csak nem használjuk fel a sebességek ( $v_1$  és  $v_2$ ) konkrét értékét. A tömegközéppont sebességét (3) adja. A sebességek a tömegközépponti rendszerben ennek megfelelően:

$$\begin{aligned} u_1 &= v_1 - v_{TKP} = v_1 - \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{m_1 v_1 + m_2 v_1}{m_1 + m_2} - \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{m_1 v_1 + m_2 v_1 - m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{m_2 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_2 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}, \end{aligned} \quad (13)$$

valamint

$$\begin{aligned} u_2 &= v_2 - v_{TKP} = v_2 - \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{m_1 v_2 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{m_1 v_2 + m_2 v_2 - m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{m_1 v_2 - m_1 v_1}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \quad (14)$$

Tehát a két test sebessége ütközés előtt a tömegközépponti rendszerben:

$$u_1 = \frac{m_2 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2} \quad \text{és} \quad u_2 = \frac{m_1 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2}. \quad (15)$$

Látható a szimmetria, továbbá a megfelelő tömegekkel szorozva a sebességeket, a lendületek egyenlő nagysága és ellentétes iránya. Mivel a tökéletesen rugalmas ütközés a tömegközépponti rendszerben a lendületek és sebességek egyszerű megfordulását eredményezi, az ütközés utáni sebességek:

$$\begin{aligned} u'_1 &= -\frac{m_2 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2} = \frac{m_2 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2} \quad \text{és} \\ u'_2 &= -\frac{m_1 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \quad (16)$$

A laboratóriumi rendszerben pedig a tömegközéppont sebességének hozzáadásával jutunk a sebességekhez:

$$\begin{aligned} v'_1 &= u'_1 + v_{TKP} = \frac{m_2 v_2 - m_2 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{(m_1 - m_2) v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \end{aligned} \quad (17)$$

valamint

$$\begin{aligned} v'_2 &= u'_2 + v_{TKP} = \frac{m_1 v_1 - m_1 v_2}{m_1 + m_2} + \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{2 m_1 v_1 + (m_2 - m_1) v_2}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Tehát:

$$\begin{aligned} v'_1 &= \frac{(m_1 - m_2) v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad \text{és} \\ v'_2 &= \frac{2 m_1 v_1 + (m_2 - m_1) v_2}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \quad (19)$$

Az eredmény itt is szimmetrikus. A szereplő vektorok irányát, itt az előjelet is figyelembe kell venni! Rögtön ellenőrizhetjük numerikus példánk adataival, hogy így is számolhatunk. Korábban említettük azonban, hogy numerikus feladatot kényelmesebb a megadott algoritmus szerint megoldani. Más a helyzet a paraméteres problémákkal.

Speciális esetekben, vagyis néhány érdekes adat esetén nézzük meg, mi adódik.

Ha  $m_1 = m_2 = m$ , akkor  $v'_1 = v_2$  és  $v'_2 = v_1$ . Ez a sebességcsere esete.

Ha  $m_1 \ll m_2$ , vagyis ha az első test fálnak ütközik, akkor  $v'_1 = -v_1 + 2v_2$ . Ha a második test szembe halad (sebessége negatív), akkor megnövekszik a visszapattanó első test sebességének nagysága (lásd pingpong-

labda és -ütő). Ha a második test áll, akkor egyszerűen visszapattan az első. Ha pedig a második test egy irányban halad az elsővel, de fele akkora sebességgel ( $v_2 = v_1/2$ ), akkor az első test megáll az ütközés után.

Mi a feltétele annak, hogy a második test álljon meg, ha azonos nagyságú sebességgel ütköznek a testek? Legyen  $v_1 = v$  és  $v_2 = -v_1 = -v$ . Ezekkel a második test sebessége:

$$0 = v'_2 = \frac{2 m_1 v - (m_2 - m_1) v}{m_1 + m_2}, \quad (20)$$

$$\text{ebből } 2 m_1 v - (m_2 - m_1) v = 0.$$

Tehát  $3m_1 = m_2$  adódik, azaz akkor teljesül, ha a második test tömege az első test tömegének háromszorosa.

Tetszőleges  $k$  esetére is tudunk számolni. A változás a tömegközépponti rendszerben az ütközés utáni lendület, illetve sebesség nagyságának megállapításánál van. A sebességek:

$$u'_1 = -k \frac{m_2 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2} = \frac{k m_2 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2} \quad \text{és} \quad (21)$$

$$u'_2 = -k \frac{m_1 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2} = \frac{k m_1 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}.$$

Ekkor

$$\begin{aligned} v'_1 &= u'_1 + v_{TKP} = \\ &= \frac{k m_2 v_2 - k m_2 v_1}{m_1 + m_2} + \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{(m_1 - k m_2) v_1 + (1 + k) m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \end{aligned} \quad (22)$$

valamint

$$\begin{aligned} v'_2 &= u'_2 + v_{TKP} = \\ &= \frac{k m_1 v_1 - k m_1 v_2}{m_1 + m_2} + \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{(1 + k) m_1 v_1 + (m_2 - k m_1) v_2}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \quad (23)$$

Ha  $k = 0$ , visszakapjuk a tökéletesen rugalmatlan esetet, ha  $k = 1$ , a tökéletesen rugalmas esetet.

Itt is igaz, hogy numerikus feladatokban nyugodtan számolhatunk az algoritmussal, gyorsabban eredményhez juthatunk és még a képletre sem kell emlékeznünk.

Hogy a tömegközépponti rendszerrel mennyire hatékonyan lehet dolgozni, arra jó példa lehet a Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaverseny 33. döntőjének mérési feladata. Itt két pénzérme ütköztetéséből tudunk érdekes információkat kiolvasni [6, 7].

Remélhetően sikerült meggyőzőnünk a cikk olvasóit a módszer egyszerűségéről és fontosságáról. Ismereteink alapján már azon is elgondolkodhatunk, hogy a modern gyorsítókban (LEP, LHC) miért a tömegközépponti rendszerben ütköztetik a részecskéket, holott korábban a fix céltárgy volt szokásban. Ne feledjük, hogy itt a részecskék összenergiáját használják fel!

Irodalom

1. Holics László (szerk.): *Fizika 1–2*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
2. Holics László: *Fizikai összefoglaló*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.
3. <http://slideplayer.hu/slide/2121759/>
4. [users3.ml.mindenkilapja.hu/users/berzetok/uploads/cms.ppt](http://users3.ml.mindenkilapja.hu/users/berzetok/uploads/cms.ppt)
5. <http://vallance.chem.ox.ac.uk/pdfs/Collisions.pdf>
6. [http://www.leowypecs.hu/mikola/14\\_3\\_9meres.pdf](http://www.leowypecs.hu/mikola/14_3_9meres.pdf)
7. Kiss Miklós, Mikola Competition, ELTE TPI 17–19 August 2015, Proceedings (megjelenés alatt).

## HÍREK – ESEMÉNYEK

# KITÜNTETÉSEK AUGUSZTUS 20-A ALKALMÁBÓL

*Csurgay Árpád István*, Széchenyi-díjas villamosmérnök, nanotechnológus, az MTA rendes tagja, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem professzor emeritusa *Magyar Érdemrend középkeresztje a csillaggal* kitüntetést kapott.

*Baranyi Károly* fizikus, matematikus, a Semmelweis Orvostudományi Egyetem, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem és a szegedi Gál Ferenc Hittudományi Főiskola volt tanára, a Nemzeti Pedagógus Műhely elnöke,

*Győri Lajos*, a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet Napfizikai Observatóriumának nyugalmazott tudományos főmunkatársa,

*Ludmány András*, a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont nyugalmazott tudományos főmunkatársa,

*Rácz Pál*, az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karának tudományos dékánhelyettese, az Anyag- és Gyártástudományi Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszékének docense és

*Siklós László Sándor*, az MTA doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biofizikai Intézetének tudományos tanácsadója *Magyar Érdemrend lovagkeresztje* kitüntetést kapott.

Gratulálunk a kitüntetetteknek.

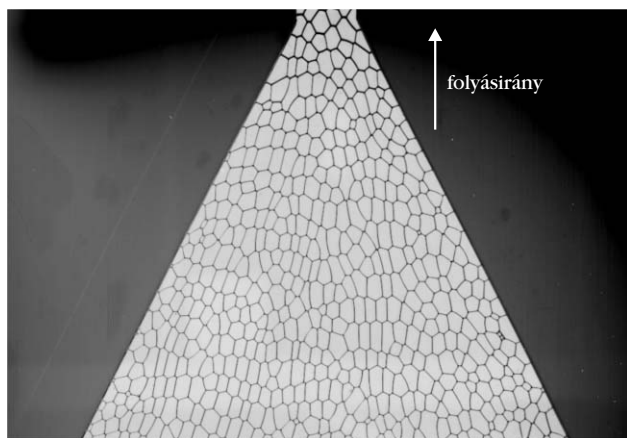


# EURÓPAI ÉRDEKESSÉGEK A *EUROPHYSICS NEWS* VÁLOGATÁSÁBÓL (2016. február–július)

## A folyadékhab: plasztikus, rugalmas és folyik

B. Dollet, C. Bocher: Flow of foam through a convergent channel. *Eur. Phys. J. E* 38 (2015) 123.

Az új tanulmány részletesen jellemzi a folyadékhabok mozgását kísérő plasztikus folyást. E habok jól abszorbeálják a rugalmas hullámokat, ezért alkalmazhatók hangszigetelésre vagy detonációs hullámok elnyelésére.



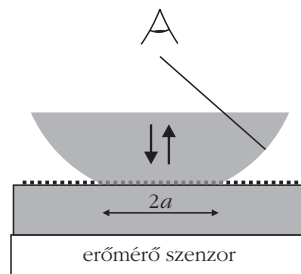
Miben különböznek a komplex folyadékok a szokásos folyadékoktól? Egyedi tulajdonságúak, mert sem szilárd, sem folyékony halmazállapotúnak nem tekinthetők. A komplex folyadékok egyik válfaját képezik a habok. A komplex folyadékok folyásának tanulmányozásában széles körben használt modellrendszerekként szerepelnek. A szerzők a komplex folyadékok választát vizsgálták a rugalmas, plasztikus alakváltozások és az áramlás összjátékából kialakuló helyzetben, amikor a hab egy összeszűkülő nyíláson áramlik át. A lehetséges alkalmazások között az új optimális akusztikus szigetelők vagy a robbanásokból származó lökéshullámok intenzitásának csökkentése említhető.

## Igazítható adhéziós erő: amit a fakírok megtanulhatnak a gekkóktól

L. Dies, F. Restagno, R. Weil, L. Léger, C. Poulard: Role of adhesion between asperities in the formation of elastic solid/solid contacts. *Eur. Phys. J. E* 38 (2015) 130.

Az adhéziós erő a kulcsa két durva, ám rugalmas felület tapadási intenzitásának.

A tanulmány az adhézió fontosságát vizsgálja két mintázott rugalmas felület érintkezésekor. A természetben lenyűgözően sok példát találunk az adhéziós erő nagysága körülményekhez igazodó változására.



A mintázatos felületű szubsztrátum alján erőmérő szenzor helyezkedik el. Az érintkező felület ( $2a$  méretű) nagyságát a rányomott lencse és a „lencse” szubsztrátum között optikai monitorozással állapítják meg. A kísérletek szerint a közvetlen érintkezésű tartomány a nyomóerő nagyságának növekedésekor véges  $2a$  mérettel, elsősorú fázisátalakulás módjára jelenik meg.

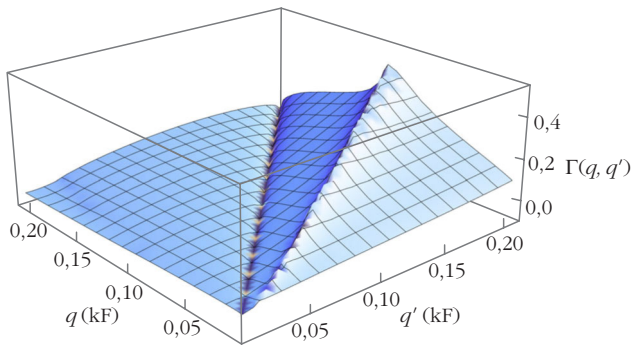
Ennek érdekes példája a gekkók talpát borító csökkenő méretű szőrszálakból álló többszörös felület. A felületek érintkezésének eddigi kísérleti és elméleti tanulmányozása során a felületek rugalmas deformációjára koncentráltak, de elhanyagolták a felületi elemek közötti adhézió mértékének szerepét. Jelen tanulmány szerint ezen erő hatása akkor válik lényegessé, amikor nagysága eléri a járműkerekek talajhoz tapadását jellemző mértéket. A vizsgálat a „boldog fakír”-nak nevezett esetről, amikor a modellbeli gömb alig gyakorol nyomást az alatta lévő oszlopokra, a „karóba húzott fakír”-nak nevezett esetre való átmenet megvalósulására koncentrált. Ez utóbbi határesetben a két felület közvetlenül érintkezik és nagyon erős adhézió lép fel a két felület között. Az érintkezési tartomány méretére vonatkozó kísérleti adatokat összehasonlítják modelljük eredményeivel és megalapítják az adhéziós erők bevezetésének fontosságát a van der Waals-féle kohéziós erők mellett.

## A veszteségő hatékony átalakítása elektromossággá

P. Chudzinski: Resonant plasmon-phonon coupling and its role in magneto-thermoelectricity in bismuth. *Eur. Phys. J. B* 88 (2015) 344.

Hogyan lehet a bizmutkristály atomjaival kölcsönható elektronok kollektív mozgása finomhangolásával optimálisan begyűjteni a hőtöbbletet?

Atom szinten a bizmut számos trükkös (*quirky*) fizikai jelenséget mutat. Ez a tanulmány az elektronok és a bizmut kristályrács közötti energiacsere újabb mechanizmusára világít rá. E hatás „megszelidítésével” az energiaveszteséget hatékonyabban lehet elektromossággá alakítani, például javítani lehet a napelemek hatásfokát. Az elektronok kollektív mozgása a bizmutban hullámszerű tulajdonságot mutat, amit alacsonyenergiás plazmonnak hívnak. A tanulmány



A plazmonok fononokon bekövetkező szóródása amplitudójának valós részét,  $\Gamma(q, q')$ -t ábrázoló diagram a  $q$ - $q'$  sík felett. A bejövő  $q$  impulzusú plazmon  $q'$  impulzusúba szóródik (a megfelelő impulzusértékeket a kF Fermi-impulzus egységében tüntetik fel). Látszik a szórási amplitúdó maximumának (a rezonancia) helye, amikor a szórás során a kimenő plazmon impulzusa a fonontól átvett energia következtében megnő.

megmutatja, hogy a plazmonok hullámhosszát a bizmutkristály rácsrezgéseinek (a fononoknak) hullámhosszára hangolva, a rácsrezgések igen hatékony csillapítása következik be. Ez a plazmon-fonon csatolás, amelynek intenzitása egy speciális tartományban megnő, új lehetőség lehet az elektronok és a kristályrács közötti energiacsere.

A rezonáns plazmon-fonon csatolás segítséget nyújthat a bizmutban régen megfigyelt, úgynevezett Nernst-hatás értelmezésében. Ennek során az egyik oldalán melegített mintát mágneses térbe helyezve, arra merőleges irányban jelentős nagyságú elektromos feszültség jön létre. Tehát a hulladékhőt használható elektromossággá lehet alakítani.

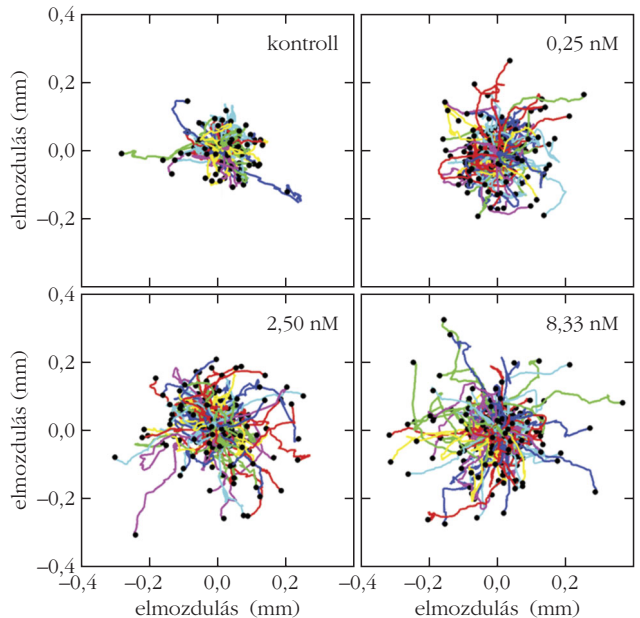
## Méretparamétereik lényegesen befolyásolják a rákos sejtek metasztatikus képességét

D. T. Geum, B. J. Kim, A. E. Chang, M. S. Hall, M. Wu: Epidermal growth factor promotes a mesenchymal over an amoeboid motility of MDA-MB-231 cells embedded within a 3D collagen matrix. *Eur. Phys. J. Plus* 131 (2016) 8.

A kutatók vizuális tesztet fejlesztenek a mellrákos sejtek invazív állapotának megállapítására.

A rákos sejtek körüli mikrokörnyezet legalábbis egyenrangú fontosságú szerepet játszik a génekkel a tumor-előrehaladás szabályozásában. A kutatók a rákos sejtek közvetlen környezetében vizsgálták a felépő biofizikai és biokémiai hatásokat. Ez szakítást jelent a hagyományos eljárással, a biomarkereknek nevezett hírszerző molekulák mérésén alapuló módszerrel. Legutóbbi eredményük szerint az Epidermikus Növekedési Faktor (EGF) anyagának jelenléte megnöveli az elnyúlt geometriájú mesenchimális ráksejtek mozgékonyágát, amelyek a kollagén rostok mentén adhéziós tulajdonságuktól függő mértékben tudnak elmozdulni. Ez jelentősen eltér a kerekded ráksejtektől, amelyek elmozdulási sebessége az adhéziótól független. Az EGF jelenlétéhez kapcsolódó mikrokörnyezeti elváltozások modulálják a rákos sej-

tek mozgékonyágát, miután a releváns sejtek alakja könnyen változik. A vázolt eredmények alapján a sejtek különböző irányok menti méreteinek aránya (a sejtek elnyúltsága) alkalmas lehet a mellráksejtek invazív állapotának észlelésére. Hasonló hatás kimutatásával lehet próbálkozni más eredetű rákos sejtek esetére is.



A rákos sejtek mozgékonyágát jellemzi a sejttrajektóriák bejuttatási helytől (centrum) való diffúzív eltávolodásának nagysága. Az ábrák összehasonlításából nyilvánvaló, hogy a diffúziós mobilitás növekvő EGF-koncentrációval nő. Mindegyik ábra 150-200 sejt trajektóriájából áll össze, amelyet radioaktív nyomjelző helyzetének megállapításával rajzoltak ki.

## Negatív törésmutató negatív törésmutatójú anyag nélkül

W. X. Jiang, D. Bao, T. J. Cui: Designing novel anisotropic lenses with transformation optics. *J. Opt.* 18 (2016) 044022.

A transzformációs optika mérnöki tervezésű anyagok alkalmazásával éri el az elektromágneses hullám hagyományos optikai eszközök képzésével létrejövő térbeli transzformációjának optimalizált megvalósítását. Az eljárás lehetőséget ad a sugárzásban terjedő elektromágneses terek tulajdonságainak szabályozására. Segítségével szokatlan és sok felhasználási célra szolgáló eszközök tervezhetők meta-anyagok igénybevételével, például a szabad térrészben megvalósítható a láthatatlanná tevő „varázsköpeny”.

A szerzők bebizonyították, hogy negatív törésmutatójú anyag nélkül is lehetséges negatív törési és visszaverődési jelenségek generálása. Kétféle transzformációs lencse koncepcióját mutatják be: egy inhomogén és egy homogén lencsét, amelyekkel demonstrálták a hullámalak nagy pontosságú kontrolljának lehetőségét.

### PROGRAM

15:45 – 16:00	Megnyitó – program felvezetése	Dr. Jarosievitz Beáta <i>Ericsson-díjas</i>	Dr. Sükösd Csaba
		Budapest	
16:00 – 16:30	A látható fény rejtett titkai	Dr. Borbély Venczel Szentendre	
16:40 – 17:10	Vizes környezetünk fizikája	Filep Otilia Megyaszó	
17:20 – 17:50	Napórak, napóra Gyöngyösön, a Berzében	Dr. Kiss Miklós <i>Ericsson-díjas</i> Gyöngyös	
18:00 – 18:30	Alkalmazott mérnöki tudomány a középiskolában	Zsigó Zsolt <i>Ericsson-díjas</i> Nyíregyháza	
18:40 – 19:10	Jéghegyek, tengerek és egyebek	Dr. Baranyai Klára	Dr. Honyek Gyula <i>Rátz Tanár Úr életműdíjas, Ericsson-díjas</i>
		Budapest	
19:20 – 19:50	Süssünk, süssünk valamit..., avagy variációk egy tojásra	Oláh Éva Budapest	
20:00 – 20:30	Elektrosztatika a mindennapokban	Gärtner István Budapest	
20:40 – 21:10	Öveges József professzor nyomában	Pál Zoltán <i>Ericsson-díjas</i> Gödre	
21:20 – 21:50	Meglepő kísérletek – ismert magyarázatok; ismert kísérletek – meglepő magyarázatok	Dr. Honyek Gyula <i>Rátz Tanár Úr életműdíjas, Ericsson-díjas</i>	Dr. Baranyai Klára
		Budapest	
22:00 – 22:30	Mérőlabor a zsebben – okostelefonok a fizikában	Szittyai István Kecskemét	
22:40 – 23:10	Fizikás játékok nem csak kicsiknek?	Horváth Norbert <i>Ericsson-díjas</i> Budapest	

Műsorvezetők, programgazdák: Dr. Jarosievitz Beáta és Dr. Sükösd Csaba  
Élő közvetítés: [www.galileowebcast.hu](http://www.galileowebcast.hu)

További programok az Ericsson K+F Központjában:

BESZÉLŐ  
robot

Laborlátogatás

GONDOLATVEZÉRELT  
HOLDJÁRÓ

Gyorsulj te is  
5G-re!

ERICSSON  
SZERCODE  
CHALLENGE 2016

Droidfoci

Fényfedés

TELEFONHARC