

# fizikai szemle



2016/6

# MAGYAR TUDÓSOK ÉS MŰVÉSZEK SZÜLŐHÁZA

- akik Nyugaton alakították a 20. század történelmét és kultúráját

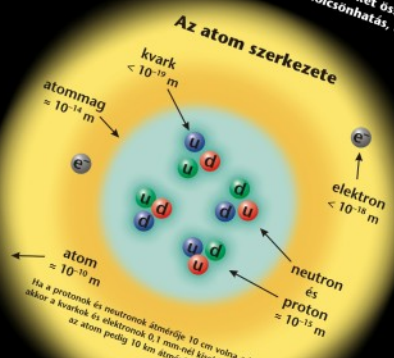
## Z ELEMELI RÉSZECSKÉK ÉS ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK

### Standard Modellje

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi legpontosabb ismereteinket összegzi a Standard modell, amely az erős és egyesített elektromágneses kölcsönhatások elmélete. A gravitáció, jóllehet alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard modellnek.

leptonok (spin = 1/2)

jel/iz	tömeg GeV/c <sup>2</sup>	elektromos töltés
elektron	< 10 <sup>-6</sup>	0
muon	0,000511	-1
tauon	< 0,0002	0
neutrínó	0,106	-1
...	< 0,02	0
...	1,7771	-1



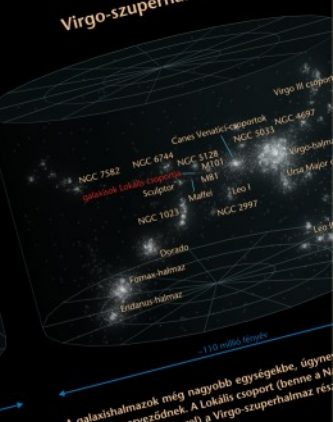
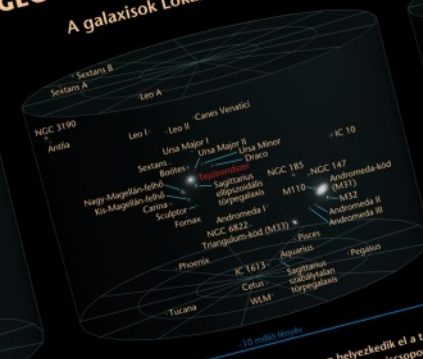
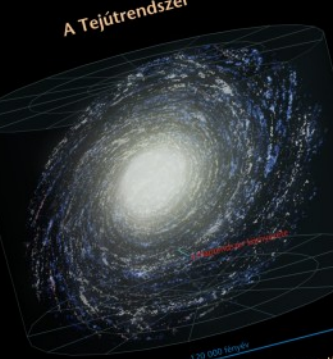
### Bozonok - a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...

erős - a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...	erős - a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...
gluon	photon
W boson	Z boson
Higgs boson	graviton

### A kölcsönhatások tulajdonságai

kölcsönhatás	erős	gyenge
erős	szintöltés	lásd magyarázat
gyenge	kvarkok, gluonok	hadronok
...	gluonok	mezók
...	25	60

## HELYÜNK A VILÁGEGYETEMEN



A Naprendszer nem ér véget a Kuiper-övezetig, kifelé még az üstökösöket tartalmazó Oort-felhő található, amelynek átmérője az 1 fényévet is meghaladja. A Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri körülbelül 4,2 fényévre van tőlünk. A csillagok nem egyforma méretűek, ezért egy csillag látszó fényességéből nem lehet következtetni a távolságára. A csillag látszó fényességét (luminositását) a felszíni hőmérsékletétől és az átmérőjétől függ. Jó néhány csillag ennél nagyobb csillag, a Sirius 8,6 fényévre van tőlünk, jó néhány csillag ennél közelebbi. A legfényesebb csillagokra egyedi tulajdonságaikkal, a haláluk utáni állapotukkal és a csillagfajlagosságukkal kapcsolatban hívatkoznak.

A szabad szemmel látható csillagok - a csak távcsővön át látható lárszálakkal együtt - galaxisunk, a Tejútrendszer tagjai. A Tejútrendszer sávja valójában hatvány csillagok összehasonló fénye. A Tejútrendszer spirális csillagok mentén tömörül. Becslések szerint a Tejútrendszer 200 milliárd csillag alkotja.

A galaxisok túlnyomó többsége nem elszórtan helyezkedik el a térben, hanem csoportosulva. Néhány tucat tagból állnak a galaxiscsoportok, és több száz vagy akár ezer tagja is van a galaxis-halmazoknak. A Tejútrendszer a Lokális csoporthoz tartozik körülbelül 60 ismert galaxissal együtt. E csoport meghatározó tagjai a Tejútrendszer spirális csillagok mentén tömörül. Becslések szerint a Tejútrendszer 200 milliárd csillag alkotja.

A galaxis-halmazok még nagyobb egységekbe, úgynevezett szuperhalmazokba szerveződnek. A Lokális csoport (bennne a Tejútrendszerrel) a Virgo-szuperhalmaz részét képezi.

## ÉNERGIÁHÁZTARTÁSA

A Föld energia-háztartása bolygónk felszínén lévő rendszert írja le, egyrészt a légkörét erő, valamint az onnan származó hő- és fényenergia-nyereségeket. Ezek lehetnek közvetlenül a Föld felszínére, vagy a légkör felől a Föld felé, vagy a Föld felől a légkör felé. A légkör felől a Föld felé történő hő- és fényenergia-nyereség a napenergia-háztartás része, mint az infravörös sugárzásból származó hő- és fényenergia-nyereség.

**a légkör által elnyelt 77 W/m<sup>2</sup>**

**a felszín által visszavert 23 W/m<sup>2</sup>**

**infravörös kisugárzás 239,7 W/m<sup>2</sup>**

**légköri ablak 40 W/m<sup>2</sup>**

**felhők által kibocsátott 170 W/m<sup>2</sup>**

**a légkör által elnyelt 358 W/m<sup>2</sup>**

**légköri ablak 40 W/m<sup>2</sup>**

**felhők által kibocsátott 170 W/m<sup>2</sup>**

**a légkör által elnyelt 77 W/m<sup>2</sup>**

**a felszín által visszavert 23 W/m<sup>2</sup>**

**infravörös kisugárzás 239,7 W/m<sup>2</sup>**

**légköri ablak 40 W/m<sup>2</sup>**

**felhők által kibocsátott 170 W/m<sup>2</sup>**

**a légkör által elnyelt 358 W/m<sup>2</sup>**

POSZTEREINKET KERESD A FIZIKAISZEMLE.HU MELLÉKLETEK MENÜPONTJÁBAN!

A poszterek szabadon letölthetők, kinyomtathatók és oktatási célra, nonprofit felhasználhatók. Kereskedelmi forgalomba nem hozhatók, változtatás csak a Fizikai Szemle engedélyével lehetséges. A kirakott poszterekről fényképet kérünk a szerkesztok@fizikaiszemle.hu címre.



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, Czitrovszky 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

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

[szerkesztok@fizikaiszemle.hu](mailto:szerkesztok@fizikaiszemle.hu)

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

A Sudbury Neutrínó Observatórium majd ezer köbméteres detektortartálya félig töltve nehézvízzel.

Trócsányi Zoltán: Neutrínók interferenciája 182  
*A neutrínóíz-rezgés felfedezésének története és a nyugalmi tömeggel rendelkező neutrínók hatása a részecskefizika standard modelljére*

Németh Csaba: A Sudbury Neutrínó Observatórium – 1. rész 190  
*A 2015-ös fizikai Nobel-díj elnyeréséhez szükséges kísérletek egyik nagyberendezésének bemutatása*

Oláb Anna: „A harang nehéz járásának megvizsgálása” 193  
– Bolyai Farkas tanulmánya a harangszó fizikájáról  
*Egy szinte olvashatatlan irat, amely Bolyai Farkas elméleti és alkalmazott fizikusi jártasságát is mutatja*

### A FIZIKA TANÍTÁSA

Nyirati László: Milyen görbét ír le a gnómón csúcsának árnyéka? 199  
Szférikus csillagászat Geogebrával  
*Mely körülmények befolyásolják a gnómón delelés előtt és utáni árnyékának alakját?*

Schipp Ferenc: Csatolt rezgések – Skrapits Lajos emlékére 205  
*Skrapits tanár úr húsz évvel ezelőtti rugós kísérletének elemzése*

Tasnádi Péter, Rajkovits Zsuzsa: Búcsú Skrapits tanár úrtól 210  
*Az oktatás közoktatójának tartotta magát, pedig a fizikatanár-képzés tábornoka volt*

A fenntarthatóság fizikája. Fenntarthatóság az oktatásban 211  
59. Országos Fizikatanári Anket és Eszközbemutató  
– 2016. március 11–14. (Móróné Tapody Éva)  
*A fizikatanárok bagyományos, éves találkozásjának négy napja*

### HÍREK – ESEMÉNYEK

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttközgyűlése 214  
*Közgyűlés a fizika közoktatásban betöltött szerepének megvédése jegyében*

Z. Trócsányi: Interference of neutrinos

Cs. Németh: The Sudbury Neutrino Observatory – Part 1.

A. Oláb: “Investigation on the lagging of the bell” – Study of Farkas Bolyai on the physics of the bell

### TEACHING PHYSICS

L. Nyirati: The curve described by the tip of the gnomon

F. Schipp: Coupled oscillations – In memory of Lajos Skrapits

P. Tasnádi, Zs. Rajkovits: Lajos Skrapits – Obituary

É. Móróné-Tapody: Sustainability in Physics – Sustainability of Education

– 59th Conference of Physics Teachers, Nyíregyháza, 11–14 March 2016

### EVENTS

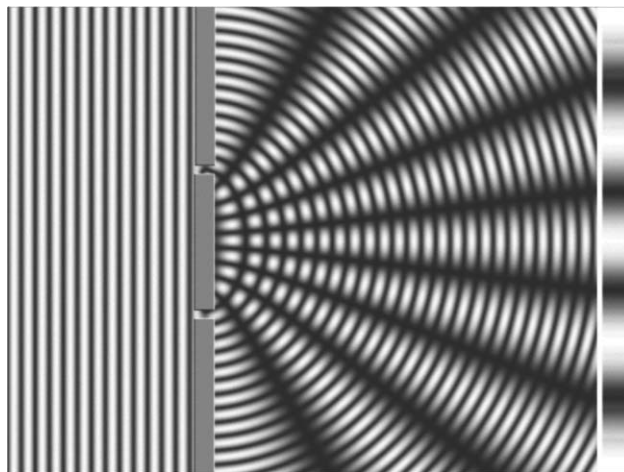
Delegates Assembly of the Roland Eötvös Physical Society



Reményeim szerint kellően felcsigázza olvasóim érdeklődését a címben szereplő két szó szerepeltetése egyetlen összefüggésben. Ha neutrínókra gondolunk, akkor a leginkább tűnékeny elemi részecske képe jelenik meg a szemünk előtt, amely ugyan jelen van mindenhol, de kölcsönhatása az anyaggal olyan gyenge, hogy gyakorlatilag láthatatlan, észlelhetetlen. Ha az interferenciára gondolunk, akkor több dolog is eszünkbe juthat, de többségünknek – várhatóan – mégiscsak a Young-féle kétréses fényinterferencia jut eszébe, amikor lézersugárral (lényegében koherens síkhullámmal) világítunk meg két egymáshoz közeli keskeny (a megvilágító fény hullámhosszával összemérhető szélességű) rést, és a réseken túli ernyőn jellegzetes fénycsíkok sorozata (interferenciakép: a fényintenzitás térbeli szabályos váltakozása, *1. ábra*) látható. Bár interferenciát elemi részecskékkel is létre lehet hozni (például elektronokkal), de rejtélyes, hogy miként lehetséges interferencia neutrínókkal.

A neutrínók elemi részecskék. Jelenlegi tudásunk szerint az elemi részek három családba sorolhatók (*2. ábra*). Egy családba négy részecske tartozik, két kvark és két lepton. A kvarkok építik fel az atommagok protonjait és neutronjait, és mindhárom erőt érzik: színtöltésük révén a magerőket létrehozó erős, elektromos töltésük révén az elektromosságért, mágnesességért felelős elektromágneses és gyenge töltésük révén a radioaktív jelenségekért felelős gyenge kölcsönhatást. A töltött leptonok közismert fajtája az atommag körül mozgó elektron, amely az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatást érzi. Semleges leptonpárja a neutrínó, amelyre elektromos semlegessége miatt csak a gyenge erő hat.

A három család egymásnak pontos mása. Az egyetlen kivétel, hogy a mindent kitöltő Brout–Englert–Higgs (BEH) mezőhöz nem egyforma erősséggel kapcsolódnak. Például a másik két töltött lepton – a müon és a tauon – az elektronnál mintegy 200-szor, illetve 3000-szer erősebben kötődik a BEH-mezőhöz. Nincs ismeretünk arról, hogy ez miért van így. Mint hogy az elemi részek standard modelljében a neutrínók nem kapcsolódnak a BEH-mezőhöz, így azokat elemirészecske-kölcsönhatásokban csak az alapján tudjuk megkülönböztetni, hogy melyik töltött leptonnal együtt vesznek részt egy folyamatban. A gyenge



1. ábra. A Young-féle kétréses interferencia.

kölcsönhatás által közvetített erő definíció szerint mindig egy elektron-elektronneutrínó, müon-müon-neutrínó, tauon-tauneutrínó párra hat. A párok fajtája szerint különböztetjük meg a neutrínók „ízét”.

Mint hogy a neutrínó csak a gyenge kölcsönhatásban vesz részt, így egy neutrínó észlelése igen nehéz. Annak valószínűsége, hogy egy teremnyi méretű (10–20 m vastag) neutrínódetektoron fennakadjanak a neutrínók mintegy  $10^{-11}$ . Egy nagy detektoron  $10^{12}$  darab neutrínónak kell áthaladnia, hogy benne néhány neutrínót észleljünk. A Földön ilyen sok neutrínót atomreaktorok termelnek. A neutrínók létezésének közvetlen kimutatása éppen 60 éve atomreaktor közelében történt (előbb a hanfordi majd a Savannah River-i reaktornál). *Clyde L. Cowan* és *Frederick Reines* a reaktorban keletkező antineutrínók kimutatását az  $\text{anti-}\nu_e^{(0)} + p^{(+1)} \rightarrow n^{(0)} + e^{(+1)}$  folyamatban egyszerre keletkező neutronok és antielektronok (pozitronok) együttes észlelésével. Az észlelés ilyen módja azonban azt is mutatja, hogy a neutrínókat nem lehet olyan egyszerűen „ernyőn felfogni”, mint a fényt vagy akár töltött részecskéket. Jogosan merül fel a kérdés: hogyan lehet neutrínókkal interferenciát létrehozni? Pedig a neutrínók és az interferencia összeegyeztetésének módjára van lehetőség – ahogy arra a 2015-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazott kísérletek rávilágítottak. A kulcs az, hogy interferencia alatt nem a neutrínók intenzitásának térbeli változását kell érteni, hanem a neutrínók ízének változását lehet megfigyelni. Az angol szakirodalomban *neutrino oscillation*-ként ismert jelenség lényege, hogy a neutrínók haladásuk közben nem őrzik meg azonoságukat, hanem „önmaguktól” másfajta ízű neutrínóvá alakulnak át. Pontosabb és rövidebb tehát, ha magyarul nem neutrínóoszillációként nevezünk a jelenségek, hanem mondjuk *neutrínóíz-rezgésként* (neutrínók ízé-



Trócsányi Zoltán fizikus, az MTA rendes tagja, a DE Fizikai Intézetének igazgatója, az erős kölcsönhatás elméletének nemzetközileg elismert kutatója. *Demény András*-sal társszerzője a *Fizika I.* egyetemi tankönyv *Mechanika* részének, *Horváth Dezső*vel pedig a megjelenés előtt álló *Bevezetés az elemi részek fizikájába* című tankönyvnek. Emellett ismeretterjesztő előadások és művek rendszeres szerzője. Tudományos közleményeire ötvenezernél több független hivatkozást kapott.

Az írás az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2016. évi Közgyűlése előtt elhangzott tudományos előadás bővített változata.

Az anyagi részecskék három családja (fermionok)

	I	II	III		
tömeg	2,3 MeV/c <sup>2</sup>	1,27 GeV/c <sup>2</sup>	173 GeV/c <sup>2</sup>	0	125 GeV/c <sup>2</sup>
töltés	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
név	u-kvark	c-kvark	t-kvark	foton	Higgs-bozon
	<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>	<b>γ</b>	<b>H</b>
	u-kvark	c-kvark	t-kvark	foton	Higgs-bozon
	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	<b>g</b>	
	d-kvark	s-kvark	b-kvark	gluon	
	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	<b>g</b>	
	d-kvark	s-kvark	b-kvark	gluon	
	<b>v<sub>e</sub></b>	<b>v<sub>μ</sub></b>	<b>v<sub>τ</sub></b>	<b>Z<sup>0</sup></b>	
	elektron-neutrínó	műon-neutrínó	tau-neutrínó	Z-bozon	
	<b>v<sub>e</sub></b>	<b>v<sub>μ</sub></b>	<b>v<sub>τ</sub></b>	<b>Z<sup>0</sup></b>	
	elektron-neutrínó	műon-neutrínó	tau-neutrínó	Z-bozon	
	<b>e</b>	<b>μ</b>	<b>τ</b>	<b>W<sup>±</sup></b>	
	elektron	műon	tau	W-bozon	
	<b>e</b>	<b>μ</b>	<b>τ</b>	<b>W<sup>±</sup></b>	
	elektron	műon	tau	W-bozon	

Bozonok (kölsönhatások)

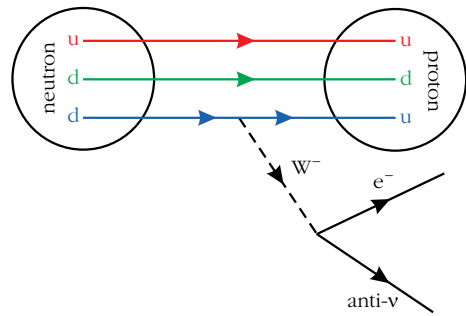
2. ábra. Az elemi részecskék három családja, illetve a kölcsönhatásokat közvetítő bozonok.

nek rezgése) illetjük, ha némiképp hűek akarunk lenni az idegen nyelvű szakirodalomhoz.

Fent idéző jelbe tettem az *önmaguktól* szót. Eddigi tapasztalatunk szerint ugyanis az „önmagától” változás nem következik be a természetben. A látszólag ok nélküli változás okát mélyebb szinten eddig mindig megleltük. Gondoljunk például a radioaktív bomlásra, amely egy elem látszólag ok nélküli átváltozása másik elemmé. Ma már pontosan tudjuk, hogy ilyenkor a kiindulási elem atommagjában található egyik neutronban egy d-kvark a nála kisebb tömegű u-kvarkba alakul, miközben kibocsát egy, az elektronnal azonos töltésű látszólagos W<sup>-</sup> bozont, amely szinte azonnal elektronnal és semleges anti-elektronneutrínóra bomlik (3. ábra). A kvantumtérelméleti leírás szerint ebben a folyamatban minden átalakuláskor mind az energia, mind a lendület megmarad. (Ezért csak látszólagos a W<sup>-</sup> bozon, hiszen a d-kvark nyugalmi energiája több mint három nagyságrenddel kisebb a W<sup>-</sup> bozon nyugalmi energiájánál.)

## Első lépések a neutrínóíz-rezgés felfedezése felé

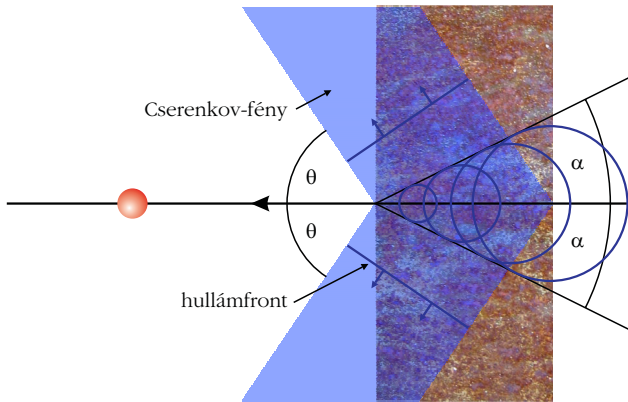
Az 1960-as évek második felében *Raymond Davis* a Naptól származó neutrínók áramsűrűségét kezdte vizsgálni. Addigra már elég sok ismeret gyűlt össze a Napban folyó energiatermelő folyamatokról, mint például  $4p^{(+1)} \rightarrow {}^4\text{He}^{(+2)} + 2e^{(+1)} + 2\nu_e^{(0)}$ . *John N. Bahcall* részletes modellszámításai alapján meg tudta jósolni a Naptól a Földre érkező elektronneutrínók várható áramsűrűségét a neutrínók energiájának függvényében. Davis munkatársaival a dél-dakotai Homestake aranybányában, a felszín alatt 1480 m mélyen 615 tonna perklóretilént (vegytisztítószert) tartalmazó neutrínó-



3. ábra. A béta-bomlás mélyebb magyarázata a kvarkok átalakulásának szintjén.

nódetektort telepített. A számítások alapján 1 SNU, azaz  $10^{36}$  darab klór atommagra másodpercenként egyetlen  $\nu_e^{(0)} + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^{(-1)}$  folyamat volt várható. A folyamathoz szükséges energiájú neutrínó leginkább a bór bomlásából keletkezik a Napban.  $10^{36}$  darab klór-atom tömege mintegy 45 ezer tonna, tehát a neutrínó-kölcsönhatások észleléséhez nagy tömegű detektorra van szükség. A mélységi elhelyezés célja a kozmikus sugárzás által keltett argonatomok elnyomása volt. A klóratommag és a neutrínó ütközésében radioaktív argon és elektron keletkezik. A radioaktív argont kéthavonta kivonták a detektorból, és megmérték radioaktivitását, amelynek erősségéből a keletkezett argonatomok számára lehetett következtetni. Bahcall modellszámítása szerint  $8,2 \pm 1,8$  SNU volt várható. Mindenki meglepetésére a mért érték jóval kisebb volt a jóslatnál:  $2,56 \pm 0,23$  SNU, azaz egyetlen argonatom keletkezett 48 óránként! Az eltérés megerősítése érdekében több más kísérletben is megmérték a Naptól érkező neutrínók áramsűrűségét. A mérési eredmények mind megerősítették egymást, és mind jóval kisebbnek adódott a Nap-modell jóslatánál, ami *Nap-neutrínó hiány* (vagy *rejtély*) néven vált ismertté.

A radiokémiai kísérlet nagyon sok nehézség leküzdését kívánta. A legnagyobb kihívást a 70 nap alatt keletkező 17 darab Ar atom kivonása jelentette. A módszer pontosságát erősen befolyásolta az argonatomok kivonásának hatékonysága, amit ugyan *Davis* nagyon gondosan meghatározott, de mégis érdemes volt más módszert is használni a Nap-neutrínók földfelszíni áramsűrűségének méréséhez. Az 1980-as években *Masatoshi Koshiba* csoportja a japán Kamiokande cinkbányában épített egy 2140 tonna tiszta víz befogadására alkalmas acélhordót, amelynek falára fénysokszorozó csöveket szerelt. A kísérlet eredeti célja az volt, hogy a protonok esetleges bomlását megfigyeljék. Akkor divatos elmélet szerint 1000 tonna vízben évente mintegy 300 proton bomlása volt várható, amelynek végtermékei gyorsan (majdnem az üres térben mért fénysebességgel) mozgó töltött részecskék. Az anyagban azonban a fény – az anyag törésmutatójának hányadában – lassabban halad. Így a detektorban a proton esetleges bomlásakor keletkező töltött részecskék gyorsabban repülnek, mint a fény, aminek jellegzetes kísérő jelensége fény kibocsátása a részecske haladási irányát körülölelő kúp mentén. Az ilyen Cserenkov-sugárzásnak hívott fény a detektor falán ovális fényfoltot hagy, ame-



4. ábra. Az anyagi fénysebességnél gyorsabban haladó részecske Cserenkov-kúpjának keletkezése. A jelenség a hangsebességnél gyorsabban haladó repülő hangrobbanásához hasonlít, csak nem hang-, hanem fényjelenség.

lyet az ott elhelyezett fénysokszorozóval lehet mérni (4. ábra). Nos Koshibáék detektora nem talált proton bomlására utaló Cserenkov-sugárzást.

Az együttműködés tagjai hamar rájöttek, hogy kísérleti berendezésük nem csupán neutrínók észlelésére lehet alkalmas, hanem a beérkező különböző ízü neutrínók ( $\nu_e$  és  $\nu_\mu$ ) megkülönböztetésére is. Amennyiben müon-neutrínó ütközik a vízben található protonnal, akkor müon lökődik ki, amely lényegében egyenes pályán halad tovább, jól körülhatárolt Cserenkov-kúpot indítva (5. ábra). Ha elektron-neutrínó érkezik, akkor az elektront lök ki a protonból. Az elektron nagy energiájú fotont kelt, amely csakhamar elektron-positron párrá alakul, és így tovább. A  $\nu_e$  tehát elektromágneses részecskék záporát kelti, és így a Cserenkov-kúp határa elmosódottá válik (6. ábra). Az eredeti detektor érzékenysége azonban messze nem volt elegendő. A proton tömege viszonylag nagy (940 MeV/c<sup>2</sup>), így az abból keletkező töltött részecskék energiája is nagyak volt várható, ezért nem volt szükség olyan kis energiájú (< 10 MeV) neutrínók észlelésére alkalmas érzékenyséű detektorra, mint a Napból érkezők. Az érzékenység javítása céljából 1000 darab nagy méretű (50 cm átmérőjű) fénysokszorozót rögzítettek a hordó falára, és a hordót magát egy másik tartályba helyezték. Így a belső hordót a háttérsugárzás kiszűrése érdekében (úgynevezett antikoincidenca módszerrel) 1500 tonna vízzel vették körül. A feljavított *Kamiokande II* kísérlet elrendezése érzékeny

volt a beérkező neutrínók irányára, és megerősítette a Davis kísérletében észlelt Nap-neutrínó hiányt.

A Napon túl más forrása is van a Földön kívülről származó neutrínóknak. A világűrben érkező kozmikus sugárzásban érkező protonok a Föld légkörébe érve ütköznek a felső rétegekben (felszíntől 15-20 km-re) található atommagokkal (jellemzően nitrogén- és oxigénmagok), aminek következtében elsősorban töltött  $\pi$ -mezonok, pionok keletkeznek. A pionok bomlékonyak. Jellemző folyamat például a  $\pi^{(+)} \rightarrow \mu^{(+)} + \nu_\mu^{(0)}$  bomlás. A keletkező müon szintén bomlékony,  $\mu^{(+)} \rightarrow e^{(+)} + \text{anti-}\nu_\mu^{(0)} + \nu_e^{(0)}$ . Hasonlóan bomlik a negatív töltésű pion (és a többi ritkábban megjelenő mezon) is,  $\pi^{(-)} \rightarrow \mu^{(-)} + \text{anti-}\nu_\mu^{(0)} \rightarrow e^{(-)} + \nu_\mu^{(0)} + \text{anti-}\nu_e^{(0)}$ . A folyamat végén tehát neutrínók jelennek meg a légkörben (légköri neutrínók), még hozzá kétszer annyi müonhoz kapcsolódó, mint elektronhoz kapcsolódó (7. ábra). Így a  $(\nu_\mu + \text{anti-}\nu_\mu)$  részecskék áramsűrűsége és a  $(\nu_e + \text{anti-}\nu_e)$  áramsűrűségnek a várható aránya 2. (Pontosabban az arány függ a keletkező neutrínók energiájától is: 1 GeV alatt kettő, felette monoton növekszik.) A Kamiokande-detektorral ez az arány is mérhető, de a mérés tervezéséhez, és az eredmények értelmezéséhez meg kell értenünk egy különleges, csak a neutrínókra jellemző jelenséget.

## Neutrínók keveredése

Általában *Bruno Pontecorvo* nevéhez kötik a felvetést, hogy a különböző ízü neutrínók átalakulhatnak

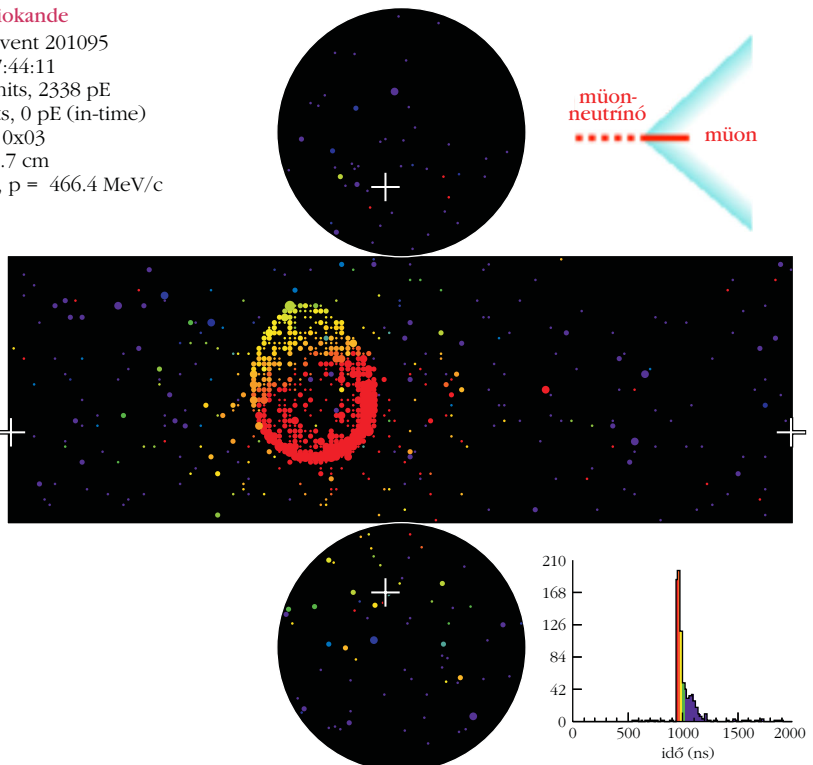
5. ábra. Müon-neutrínó Cserenkov-kúpja által keltett fényfelvillanások nyoma a Kamiokande-detektor felszínének kiterített képén.

### Super-Kamiokande

Run 3011 Event 201095  
96-10-24:07:44:11  
Inner: 811 hits, 2338 pE  
Outer: 0 hits, 0 pE (in-time)  
Trigger ID: 0x03  
D wall: 913.7 cm  
FC mu-like, p = 466.4 MeV/c

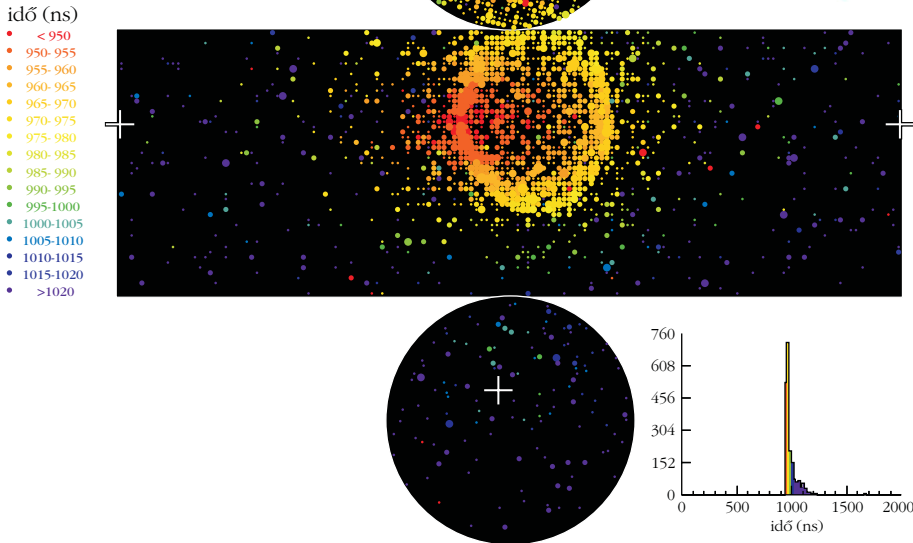
idő (ns)

- < 972
- 972-976
- 976-980
- 980-984
- 984-988
- 988-992
- 992-996
- 996-1000
- 1000-1004
- 1004-1008
- 1008-1012
- 1012-1016
- 1016-1020
- 1020-1024
- 1024-1028
- > 1028



### Super-Kamiokande

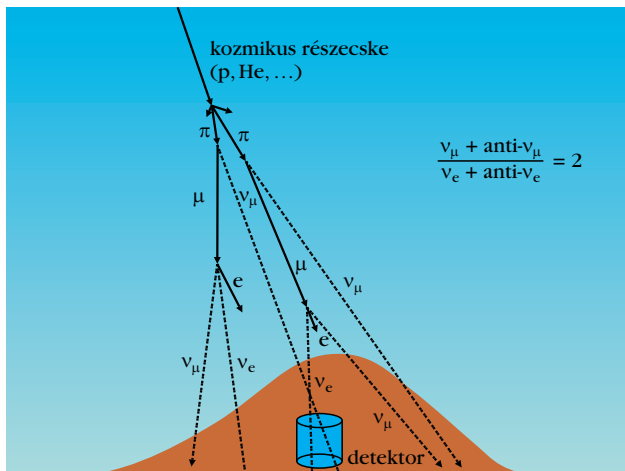
Run 3003 Event 287420  
 96-10-21:10:50:45  
 Inner: 2004 hits, 4749 pE  
 Outer: 2 hits, 1 pE (in-time)  
 Trigger ID: 0x03  
 D wall: 1243.0 cm  
 FC e-like,  $p = 571.0 \text{ MeV}/c$



6. ábra. Elektronneutrínó Cserenkov-kúpja által keltett fényfelvillanások nyoma a Kamiokande-detektor felszínének kiterített képén.

egymásba, ha egy rögzített ízű neutrínó, mondjuk  $\nu_\mu$  tömege nem egyértelmű, hanem több (valószínűleg három) különböző rögzített  $m_i$  tömegű neutrínó keveréke. A legújabb kutatások szerint valójában *Maurice Pryce*-től hallotta Pontecorvo a javaslatot, amelynek elvi alapját a jóval később született standard modell alapján lehet könnyen megérteni. A standard modell Lagrange-függvényében a kvarkok íz-sajátállapotban szerepelnek, azonban a modell megoldásaként használt perturbatív térelméletben tömeg-sajátállapotok vannak. Az íz- és tömeg-sajátállapotok nem azonosak. Ráadásul a családokban szereplő három kvarkpár pozitív, illetve negatív elektromos töltésű tagja a három

7. ábra. Koszmikus részecske által a légkör felső rétegében keltett részecskeszapor vázlatos rajza.



tömeg-sajátállapotnak különböző keveréke. Ennek eredményeként a tömeg-sajátállapotokat használó leírásban a két kvark és egy töltött mértékbozon kölcsönhatásában megjelenik egy számszorzó, a Cabibbo–Kobayashi–Maskawa (CKM) mátrixnak a megfelelő kvarkízeket összekötő eleme, amely meg is mérhető.

A töltött leptonok ilyen szempontból nagyon különböznek, mert esetükben az íz- és tömeg-sajátállapotok egybeesnek. Minthogy a neutrínóknak a standard modell feltevése szerint nincs tömegük, így a modell szerint tömeg-sajátállapotukat nem lehet megkülönböztetni, ezért nem is keveredhetnek. Mi van azonban akkor, ha a neutrínóknak mégis van tömegük? Keverednek-e mint a kvarkok, vagy a tömeg- és íz-sajátállapotaik a töltött leptonokhoz hasonlóan egybeesnek?

Amennyiben a neutrínók is keverednek, akkor annak mérhető hatása van. A neutrínók ugyanis szabad részecskéként nagy távolságot tudnak megtenni. Az íz-sajátállapotban keletkező neutrínó három tömeg-sajátállapot keverékeként repül, és a repülés alatt az egyes tömeg-sajátállapotok egymáshoz viszonyított aránya megváltozik, mert a diszperziós összefüggés  $E_m^2 = p_m^2 c^2 + m^2 c^4$  miatt a különböző tömegű neutrínók energiája és lendülete nem lehet ugyanakkora, és így viszonylagos fázisuk az időben változik. Ez a változás azonban azt jelenti, hogy a neutrínó íze magától átalakul: például egy keletkező müon-neutrínót az energiájától függő út megtétele után elektronneutrínóként észlel a detektor.

Bár a keveredés egyetlen neutrínóra is érvényes, kísérleti kimutatása egy részecskével lehetetlennek tűnik, hiszen nem tudunk neutrínót egyesével előállítani és észlelni. Tudunk azonban neutrínónyalábot előállítani, igaz sem a forrás, sem az észlelés helyét nem tudjuk nagy pontossággal meghatározni, a jellemző bizonytalanságuk a forrás, illetve detektor mérete. Az utóbbi például néhányszor 10 m. Ugyanígy nem tudjuk pontosan megmérni egyetlen neutrínó repülési idejét, energiáját, lendületét, csupán a nyalábra érvényes átlagértékeket. Ezért célszerű a fényinterferenciánál használt síkhullám-közelítésben kezelni a neutrínókat. Egydimenziós leírásra szorítkozva az  $x$  helyen és  $t$  pillanatban a neutrínó állapotvektora tömeg-sajátállapotban,

$$|v_m(x, t)\rangle = e^{-i\phi_m(x, t)} |v_m(0, 0)\rangle$$

van, ahol a fázis

$$\phi(x, t) = \frac{1}{\hbar} (E_m t - p_m x).$$

Ha  $m_i \neq m_j$ , akkor  $T$  idő alatt megtett  $L$  távolság után a fáziskülönbség ( $\Delta E = E_j - E_i$ ,  $\Delta p = p_j - p_i$ ):

$$\begin{aligned} \hbar \Delta \phi_{ij} &= (E_i T - p_i L) - (E_j T - p_j L) = \Delta E T - \Delta p L = \\ &= \frac{\Delta E^2}{E_i + E_j} T - \frac{\Delta p^2}{p_i + p_j} L = \frac{L}{2} \left( \frac{\Delta E^2}{\langle E \rangle} \frac{T}{L} - \frac{\Delta p^2}{\langle p \rangle} \right). \end{aligned}$$

Könnyű belátni, hogy a fáziskülönbség ezen alakja Lorentz-invariáns, így bármely nem gyorsuló vonatkoztatási rendszerben a neutrínó sebességének reciproka

$$\frac{T}{L} = \frac{E}{p c^2}.$$

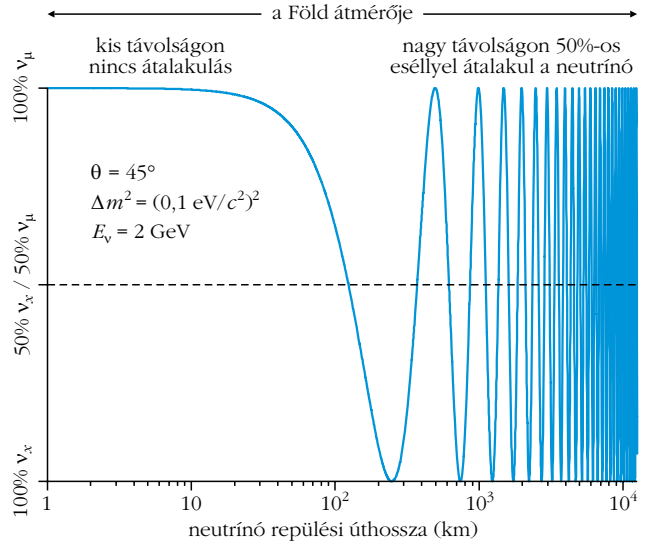
A kísérletekben jellemzően a neutrínók repülési hosszát,  $L$ -t mérik, ezért a fáziskülönbség célszerű alakja

$$\begin{aligned} \Delta \phi_{ij} &= \frac{L}{2 \hbar} \left( \frac{\Delta E^2}{\langle E \rangle} \frac{T}{L} - \frac{\Delta p^2}{\langle p \rangle} \right) = \\ &= \frac{L}{2 \hbar c^2} \left( \frac{\Delta E^2}{\langle p \rangle} - \frac{\Delta p^2 c^2}{\langle p \rangle} \right) = \frac{\Delta m_{ij}^2 c^4}{2 \hbar c^2 \langle p \rangle} L, \end{aligned}$$

ahol az utolsó lépésben használtuk a diszperziós összefüggést, és  $\Delta m_{ij}^2 = m_i^2 - m_j^2$  a két neutrínó tömegnégyzetének különbsége. A fáziskülönbség ismeretében – az egyszerűség kedvéért két neutrínó keveredését feltételezve – elemi számítással megkapható, hogy egy szabadon repülő müonneutrínó meghatározott  $L$  távolságot befutva átalakulhat másik ízű, például tauneutrínóvá. Annak valószínűsége, hogy *nem alakul át  $L$  távolság után*

$$P^{2\nu}(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{\Delta m^2 c^4}{\hbar c E_\nu} L \right),$$

ahol  $\Delta m^2 = \Delta m_{ij}^2$ ,  $\hbar c = 1,24 \cdot 10^{-9}$  eV km a Planck-állandó és a fénysebesség szorzata.  $E_\nu$  a neutrínók átlagos energiája, amelyre  $E_\nu \cong p_\nu c$ , mert az észlelt neutrínók energiája legalább 1 MeV, míg nyugalmi energiájukról biztosan tudjuk, hogy legfeljebb 1 eV, tehát a neutrínók lényegében fénysebességgel haladnak. A  $\theta$  szög a „neutrínó keveredés szöge”, amely megszabja hogy mennyi az  $i$  és  $j$  tömegkomponensek részesedése  $\nu_\mu$ -ben. Ha  $\theta = 0^\circ$  (vagy  $90^\circ$ ), akkor  $\nu_\mu$  tisztán  $\nu_i$  (vagy  $\nu_j$ ), és nincs keveredés. Ha  $\theta = 45^\circ$ , akkor  $\nu_\mu$ -ben egyenlő arányban van  $\nu_i$  és  $\nu_j$ . Ebben az esetben a legnagyobb a neutrínókeveredés, és – kizárólag  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$  keveredést feltételezve – meghatározott  $L$  távolságot megtéve  $\nu_\mu$  teljesen  $\nu_\tau$ -vá alakul. Amennyiben a neutrínó ezután továbbhalad, akkor újabb  $L$  távolság megtétele után visszaalakul az eredeti müonneutrínóvá, és így oda-vissza alakul. Ezt a jelenséget nevezzük *neutrínóíz-rezgésnek*, ami tulajdonképpen jellegzetes interferenciajelenség, csak az erősítési-kioltási helyek az íztérben váltogatják egymást, miközben a neutrínó repül (8. ábra).



8. ábra. Annak valószínűsége az  $L/E_\nu$  függvényében, hogy a neutrínóíz-rezgés eredményeként a müonneutrínó nem alakul át.

A neutrínóíz-rezgés feltétele, hogy a *neutrínóknak legyen tömege* (egyébként  $\Delta m^2 = 0$ , és  $P^{2\nu}(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1$ , tehát a neutrínó nem alakul át). Annak érdekében, hogy kézzelfogható képet nyerjünk, mekkora távolságokon számíthatunk átalakulásra, tegyük fel, hogy  $\Delta m^2 = (1 \text{ eV}/c^2)^2$ , a neutrínó energiája pedig 1 GeV =  $10^9$  eV. Ekkor

$$\frac{\Delta m^2 c^4 L}{\hbar c E_\nu} = \frac{L}{1,24 \text{ km}},$$

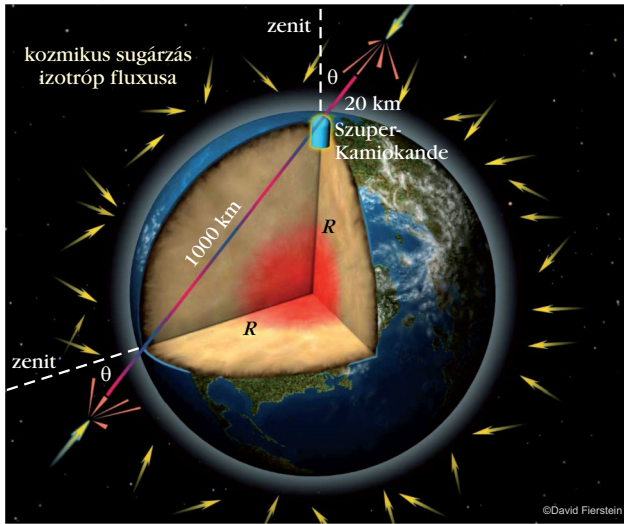
tehát  $L = 1,24$  km esetén a szinuszfüggvény értéke éppen 1, ami a legnagyobb  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  átalakulást jelenti. Tízszer nagyobb neutrínóenergia esetén tízszer ekkora távolságra van szükség,  $\Delta m^2 = (0,1 \text{ eV}/c^2)^2$  esetén százszor nagyobbra az átalakuláshoz. Amennyiben sikerül észlelni a neutrínóíz-rezgést és meghatározni az átalakuláshoz szükséges távolságot, akkor következtetést tudunk levonni a neutrínók tömegére.

Amennyiben a neutrínóíz-rezgés létezik, akkor az átalakulás miatt a légköri neutrínók *keletkezésükori*

$$\frac{\nu_\mu + \text{anti-}\nu_\mu}{\nu_e + \text{anti-}\nu_e} = 2$$

arányától eltérő arányban várhatjuk a kétfajta neutrínók *észlelt* arányát. A Kamiokande II detektorral észlelt neutrínók között 1988-ban  $93 \pm 9,6$  volt elektronhoz és csupán  $85 \pm 9,2$  müonhoz kapcsolódó. Míg az előbbieket száma jól egyezett az elméleti modell becsülésével, az utóbbiból sokkal kevesebbet sikerült észlelni. A kutatók megoszlottak az eredmény értelmezését tekintve. Egyesek szerint a mérés eredménye hibás volt, a modell megbízható adatokra támaszkodva adta a becslést. Mások szerint a müonneutrínókra vonatkozó eredmény a neutrínóíz-rezgésnek tudható be. A légkörben keletkező neutrínók ugyanis érkehetnek a detektor feletti égbolt felől, vagy éppenséggel a Föld túloldaláról, áthaladva a Földön (természe-



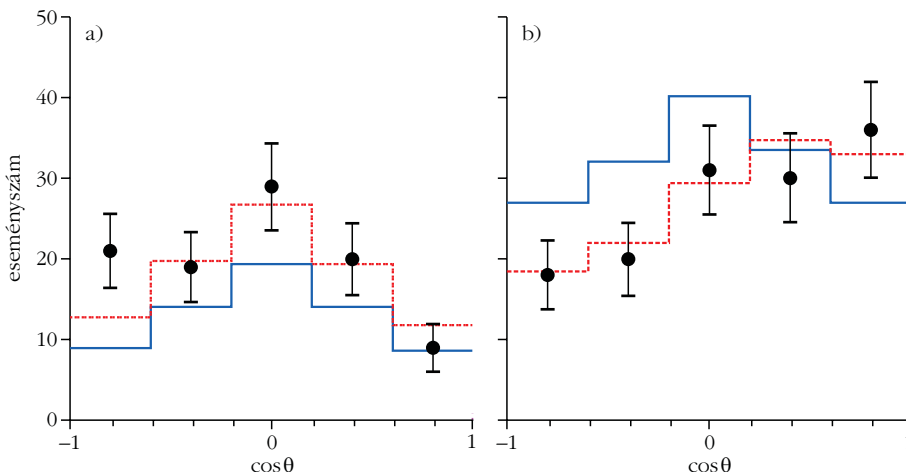


9. ábra. A zenittől mért szög függvényében a légkörben keletkező neutrínók más-más távolságot tesznek meg mire a detektorba (SK) érkeznek. Neutrínóíz-rezgés létezése esetén ez az útkülönbség különböző mértékű átalakuláshoz vezet az alulról és felülről érkező neutrínók között.

tesen minden irányból, de ez a két szélsőséges helyzet), azaz a keletkezésüktől számítva 10–12 700 km utat megtéve (9. ábra). Így lehetőségük nyílt az átalakulásra az energiájuk és a megtett út függvényében. A kételkedők kifogása az volt, hogy a különböző irányokból érkező neutrínók esetén átlagosan legfeljebb a neutrínóíz-rezgés hatásának 50%-a észlelhető, az is csak akkor, ha a keveredés szöge 45°, amit valószínűtlennek gondoltak. Ezért a jelenséget légkörineutrínó-anomáliának nevezték.

A Kamiokande II detektor irányérzékenysége lehetőséget nyújtott a mérés érzékenységének növelésére. A detektor feletti légkörben várhatóan ugyanannyi neutrínó keletkezik, mint a Föld túloldalán található légkörben. Így, ha nem létezik a neutrínóíz-rezgés, akkor ugyanannyi neutrínó érkezését várjuk felülről, mint alulról. Ha azonban van neutrínóíz-rezgés, akkor

10. ábra. A Kamiokande II detektor eredménye a neutrínóesemények számára a zenittől mért  $\Theta$  szög függvényében. a) Az elektronneutrínók száma  $\Theta$ -ban szimmetrikus eloszlást mutat, tehát fel-le ugyanakkora az áramsűrűség. b) A müon neutrínó események száma sérti a fel-le szimmetriát ( $\cos \Theta = -1$  az alulról jövő müon neutrínókat jelzi). A pontozott vonal mutatja a neutrínóíz-rezgés létezését feltételező, a folytonos pedig az a nélküli elméleti becslést.



a müon neutrínók áramsűrűségének ez a fel-le szimmetriája megszűnik, mert a felülről, illetve alulról érkező neutrínók lényegesen különböző utat tesznek meg a keletkezésüktől számítva, így különböző valószínűséggel alakulnak át. Különösen igaz ez a nagy energiájú, több GeV-es neutrínókra. A Kamiokande II 1994-ben közölte először, hogy a felfelé repülő müon neutrínókból kevesebbet észlelnek, mint a lefelé repülőkből (10. ábra). A mérési eredmény azonban kevés eseményen alapult, csupán annyit tudtak kijelenteni, hogy 1%-nál kisebb a valószínűsége annak, hogy egyszerűen az eseményszám ingadozásának köszönhető a fel-le szimmetria sérülése. A részecskefizikában felfedezésnek akkor neveznek egy mérési eredményt, ha az eredmény eseményszám-ingadozással adott értelmezésnek a valószínűsége kisebb mint 10<sup>-5</sup>%.

Az eseményszám növelésének érdekében új detektort terveztek nagyobb térfogattal (22 500 tonna vizet magába foglaló belső és azt 27 500 tonna vízzel körülölelő külső henger) és több (a belső henger falán 11 200 darab 50 cm átmérőjű, a külsőn pedig 1900 darab 20 cm átmérőjű) fénysokszorozóval. Ez lett a Szuper-Kamiokande kísérlet (11. ábra). A Kamiokande-detektorhoz képest mintegy hússzor nagyobb belső térfogat a neutrínóesemények számának gyakoriságát hússzorosára növelte. A nagy számú fénysokszorozó lehetővé tette a neutrínóesemények részletes elemzését. A detektor 1996-ra készült el, és 1998 tavaszára már 5400 neutrínóeseményt figyeltek meg. Szinte 100%-os hatásfokkal tudta az észlelt müon neutrínókat azonosítani, és gyorsan sikerült megerősíteni a Kamiokande II-nek az

$$R_{\mu/e} = \frac{v_{\mu} + \text{anti-}v_{\mu}}{v_e + \text{anti-}v_e}$$

hányadosra kapott eredményét, amely szerint a mért adatok és a neutrínóíz-rezgést *nem feltételező* elmélet hányadosa

$$\frac{R_{\mu/e}^{\text{mérés}}}{R_{\mu/e}^{\text{elmélet}}} = 0,688 \pm 0,053,$$

amit akár a müon neutrínók átalakulásaként is lehet értelmezni.

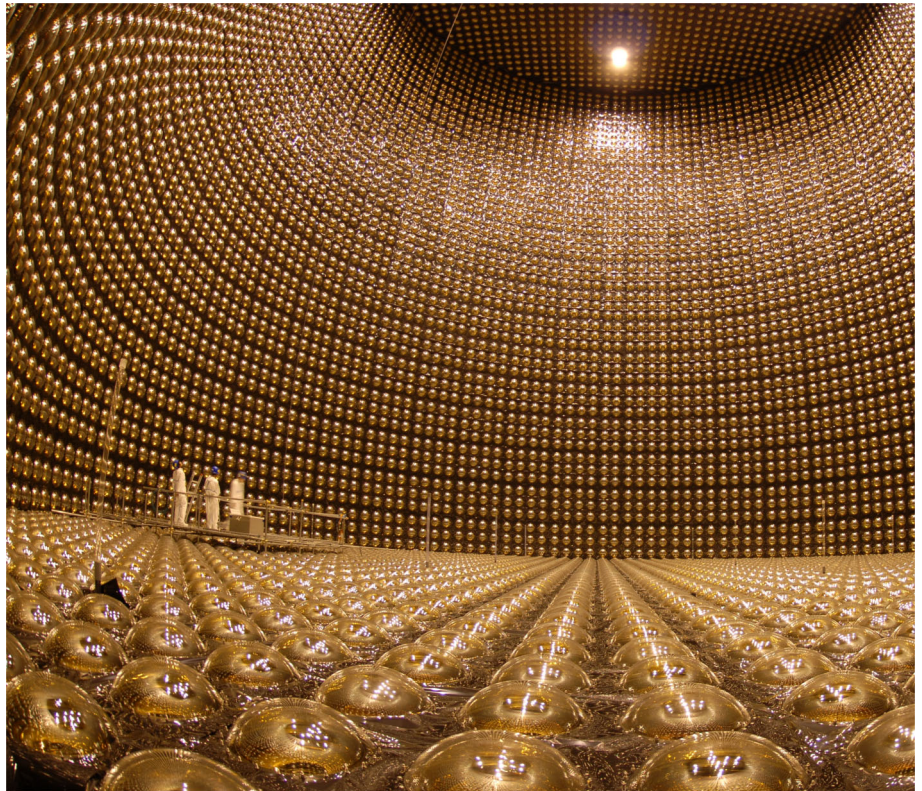
Amint korábban érveltünk a neutrínóíz-rezgés egyértelmű jele a fel-le szimmetria sérülése müon neutrínók esetén. A Szuper-Kamiokande adataiban jól szét lehetett válogatni az elektron- és müon neutrínókat, csoportosítani azokat energiájuk és érkezési irányuk szerint. Így egyértelműen sikerült kimutatni, hogy a légköri neutrínók esetében a fel-le szimmetria erősen sérül: müon neutrínók

esetén a felfelé, illetve lefelé mért áramsűrűség hányadosa  $0,54 \pm 0,04$ , míg elektron-neutrínókra ugyanez a hányados nagy pontossággal 1. Az 1998-ban, éppen 10 évvel a légkörineutrínó-anomália észlelése után bejelentett eredmény a felfedezés erejével erősítette meg a korábbi Kamiokande II mérést (12. ábra), és tudományos tényné emelte a kozmikus sugárzás hatására a légkörben keletkező neutrínók repülésük közbeni átalakulását.

Az új tudományos eredmények nem azért izgalmasak, mert választ adnak egy kérdésre, hanem azért, mert új kérdések sokaságát vetik fel. Így volt ez a neutrínóíz-rezgés felfedezésével is. Meg kellett mérni a rezgéshez szükséges  $\Delta m^2$  tömegnégyzet-különbséget, a keveredés  $\theta$  szögét. A mérésben csak a müonneutrínók eltűnédezését sikerült észlelni. Vajon a várakozásnak megfelelően tauneutrínóvá alakultak? (Emlékezzünk: az elektronneutrínók száma nem változott.) Van-e keveredés más neutrínók között? Nem utolsó sorban: a légköri neutrínókra talált átalakulást meg lehet-e figyelni a Naptól érkező neutrínók esetében is? A korábban fejtegetett Nap-neutrínó rejtélyre is a neutrínóíz-rezgés a magyarázat?

Az utóbbi kérdés megválaszolása végett építették a Sudbury Neutrino Observatory (SNO) detektorát, és telepítették 2000 m-re a felszín alá a kanadai Sudbury melletti bányában (Ontario állam). A Kamiokande detektorokhoz hasonlóan ez is közvetlenül a neutrínóeseményekkor keletkező Cserenkov-kúpokat észlelte fénysokszorozó csövekkel. Minthogy azonban a Naptól érkező neutrínók energiája lényegesen kisebb (néhány MeV), ezért a működés elve más volt.

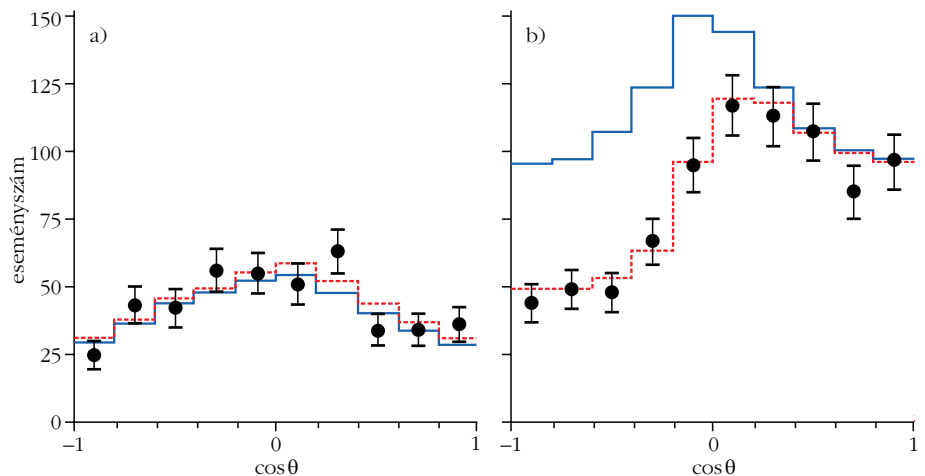
Az SNO detektor anyaga 1100 tonna tiszta nehézvíz ( $D_2O$ ) volt egy 6 m sugarú gömbben. Az ebben lévő deutérium-atomokkal történő ütközés során keletkező részecskéket keltő  $\nu_e^{(0)} + d^{(+1)} \rightarrow p^{(+1)} + p^{(+1)} + e^{(-1)}$ , illetve semleges részecskét keltő  $\nu_x^{(0)} + d^{(+1)} \rightarrow p^{(+1)} + n^{(0)} + \nu_x^{(0)}$  folyamatok, amelyek a bór béta-bomlásából eredő



11. ábra. A Szuper-Kamiokande detektor belseje üres állapotban.

neutrínókra érzékenyek. A töltött folyamatban csak az elektronneutrínók vesznek részt, míg a semlegesben mindhárom neutrínó egyformán ( $x = e, \mu, \tau$ ), amennyiben energiájuk nagyobb a deuteronban kötött proton és neutron 2,2 MeV-os kötési energiájánál. A két folyamat mellett lehetséges még a neutrínók rugalmas szóródása a nehézvíz elektronjain:  $\nu_x + e \rightarrow \nu_x + e$ , amelyben ugyan mindhárom neutrínó részt vehet, de elsősorban az elektronneutrínókra érzékeny. Minthogy a detektor egyszerre méri az érkező elektronneutrínók áramsűrűségét magában és az összes neutrínó áramsűrűségét, így neutrínóíz-rezgés létezése esetén egyértelmű választ lehet adni arra, hogy mi történik a Nap-neutrínó rejtélyben el-

12. ábra. Mint a 10. ábra, csak a Szuper-Kamiokande adataival.



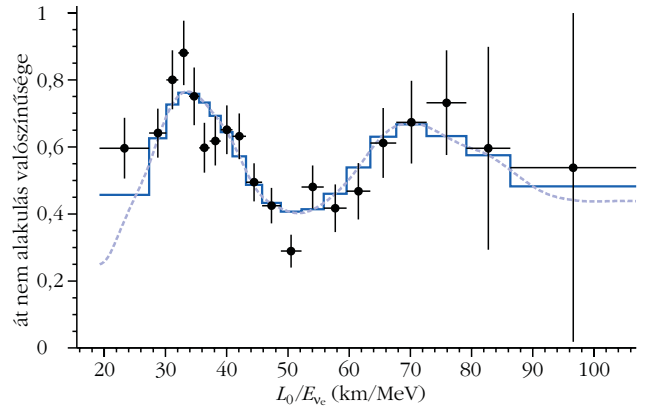
tűnt elektronneutrínókkal: az elektronneutrínók más fajtává alakulnak át, így az összes neutrínó áramsűrűsége nem csökkenhet. A mérés értelmezéséhez nincs szükség összehasonlításra a Nap-modell felhasználásával elméleti úton becsült neutrínóáramsűrűségekkel.

A töltött és rugalmas folyamatra közvetlenül a keletkező elektronok Cserenkov-kúpja utalt. A semleges folyamatban a keletkező neutront észlelték, ami lényegesen bonyolultabb, három lépésben történt. Az első lépésben a keletkező neutronokat a detektor anyagában található deuteronok megkötötték, ami 6,25 MeV energiájú foton kibocsátásával jár. Az utóbbi Cserenkov-kúpját érzékelik a fénysokszorozók csövek. A második lépésben 2,2 tonna konyhasót oldottak a nehézvízben. Az oldatban található klórionokon nagyobb valószínűséggel kötődnek meg a neutronok, közben 8,6 MeV energiájú foton keletkezik. A neutronreakciókban keletkező fotonok Cserenkov-kúpjai tisztábban kör alakú jelet hagynak, mint a többi folyamatban keletkező elektronok, így a kétféle folyamat eseményei (statisztikusan) szétválaszthatók. A harmadik lépésben a söt kivonták, a fénysokszorozók csöveket proporcionális számlálókkal helyettesítették, amelyekkel közvetlenül a neutronokat lehet észlelni.

Az SNO 2002-ben közölt eredményei egyértelműen a neutrínóíz-rezgést támasztották alá: az elektronneutrínók áramsűrűsége a Föld felszínén a töltött folyamat alapján  $\Phi_e = (1,59 \pm 0,1) \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , míg a semleges folyamat alapján  $\Phi_s = (5,21 \pm 0,47) \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  az összes neutrínóé. Minthogy a Naptól elektronneutrínók indulnak, az eredmény úgy értelmezhető, hogy repülés közben azok egy része másfajta neutrínóvá alakult. Ezt az értelmezést nem elhanyagolható módon erősíti, hogy a Nap-modell szerint a várható neutrínóáram-sűrűség  $\Phi = (5,82 \pm 1,34) \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , jó egyezésben a mért  $\Phi_s$ -sel. Az SNO tehát szintén neutrínóíz-rezgést észlelt, de a Szuper-Kamiokande felfedezésével ellentétben itt elektronneutrínók alakultak át másfajta neutrínóvá.

## Következmények

A részecskefizika standard modelljében a neutrínóknak nincs tömegük. A neutrínóíz-rezgések felfedezése csak úgy értelmezhető, ha elfogadjuk, hogy a háromból legalább kettőnek van tömege, ami megköveteli a standard modell módosítását. Abban ugyanis a neutrínók csupán a gyenge erőt érzik. Részecskeátalakulás azonban csakis akkor lehetséges, ha a részecske legalább két erőt érez, és az egyikhez tartozó állapot a másik keveréke. Arról azonban egyelőre nincs kísérleti tapasztalatunk, hogy mi lenne a másik erő. Kézenfekvő lenne feltenni, hogy a neutrínók ugyanúgy érzik a mindent kitöltő BEH-mezőt, mint a többi elemi részecske, amelyek tömege ebből az erőből származik. A BEH-mechanizmus azonban megkövetelné, hogy a szokásos neutrínók-



13. ábra. Az át nem alakulás valószínűsége az ízregés elmélete szerint (folytonos vonal), összevetve a Daya-Bay kísérletben mért adatokkal (pontok a bizonytalanságot jellemző vonalakkal).

nak legyen olyan *steril neutrínóknak* nevezett párja, amely csak a BEH-mezőt érzi, semmilyen más erő nem. Nyilvánvaló, hogy ilyen részecske észlelése még nehezebb, mint a hagyományos neutrínóé, de természetesen próbálkozások vannak észlelése érdekében – mindeddig hiába.

## Zárszó

2015. december 10-én a fizikai Nobel-díjat egy japán kutató, *Takaaki Kadzsita* és a kanadai *Arthur B. McDonald*<sup>1</sup> kapták fele-fele arányban osztva a „neutrínóíz-rezgés felfedezéséért, ami bizonyítja, hogy a neutrínóknak van tömegük”. Ez volt a harmadik Nobel-díj, amelyet neutrínókutatók kaptak. Az elsőt Frederick Reines kapta éppen húsz éve (megosztott díj) a neutrínó létezésének közvetlen kimutatásáért. A másodikat (a díj felét megosztva) Raymond Davis Jr. és Masatoshi Koshiba a kozmikus eredetű neutrínók észleléseért 2002-ben. A két évtizeden belül három Nobel-díj ugyanannak a részecskének a kutatásáért azt sejteti, hogy a neutrínóknak egyre fontosabb szerep jut a világ alapvető működésének megértéséhez vezető úton.

Korunk részecskefizikájának kiemelkedően fontos része a neutrínók tulajdonságainak kutatása. Jól mutatja ezt a 2015-ben a neutrínóíz-rezgés felfedezéséért adott fizikai Nobel-díj, de az is, hogy 2015. november 8-án jelentették be San Fransiscóban, hogy a 2016. évi Fizikai Áttörés díjának (Breakthrough prize in Fundamental Physics, 3 millió USD) kitüntetettjei öt neutrínókísérlet – a kínai Daya-Bay, a japáni KamLAND, K2K/T2K, Szuper-Kamiokande és a kanadai SNO – kutatócsoportjai. A 13. ábra mutatja a neutrínóíz-rezgés mérésének mai helyzetét a Daya-Bay kísérletben: az ízregés határozottan látszik. Sok kutató úgy véli, hogy a neutrínók vizsgálata révén lehet választ kapni a részecskefizika és a kozmológia több megválaszolatlan kérdésére.

<sup>1</sup> Fényképüket lásd a *Fizikai Szemle* 65/12 (2015) 420. oldalán, Király Péter 2015. évi Nobel-díjról szóló írásában.

# A SUDBURY NEUTRÍNÓ OBSZERVATÓRIUM – 1. RÉSZ

– a 2015. évi fizikai Nobel-díj apropóján

Németh Csaba

Pannon Egyetem, Fizika és Mechatronika Intézet

A 2015. évi fizikai Nobel-díj kapcsán már két cikk is megjelent a *Fizikai Szemlében* [1, 2]. *Pázsit Imre* közleményében [2] leírást és képeket/vázlatokat is láthattunk a japán KamLAND detektorról, ahol a „Nobel-díj felét” (*Takaaki Kajita* része) eredményező mérések történtek. Írásomban a Sudbury Neutrínó Observatóriumot (SNO) szeretném bemutatni, ahol a díj „másik felét” (*Arthur B. McDonald* része) kiérdemlő eredmények születtek. Az ebből kinőtt, új nevén SNOLAB komplexumot, ahol 2012 és 2014 között volt szerencsém dolgozni, a következő cikkben ismertetem.

## Előtörténet

A könnyebb megértés miatt röviden felvázolom az SNO megépítéséhez vezető (tudomány)történeti utat. Itt óhatatlanul ismétlek néhány tény, amelyet a két fent idézett kiváló cikkben [1, 2] már olvashattunk.

A történetet a „Nap-neutrínó rejtély” néven elhíresült problémával kezdjük. *William Fowler* 1960-ban kidolgozott napmodellje nagy mennyiségű neutrínó keletkezését jósolja a Nap magjában végbemenő fúzió révén. 1968-ban érte el első eredményeit az első nap-neutrínók kimutatására szolgáló híres kísérlet: *Raymond Davis* a dél-dakotai Homestake aranybánya mélyén 380 ezer liter perklor-etilént tartalmazó detektorral.<sup>1</sup> Ezek a mérések azt mutatták, hogy a modellek által jósolt mennyiséghez képest csupán mintegy egyharmadnyi neutrínó jön a Naptól. Ezt később más mérések is – például a Kamioka Neutrínó Observatóriumban (Japán) – megerősítették. Ez a híres „Nap-neutrínó rejtély”, ami sokáig izgatta a fizikusokat. Többen már alternatív napmodellek kidolgozásán kezdtek tőrní a fejüket.

Közben a neutrínó „nagytestvérei” is feltűntek a színen. A müon-neutrínót a Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumban mutatták ki először. A 1960–62 között végzett kísérletekben (kétnutrínó-kísérlet) *Leon M. Lederman*, *Melvin Schwartz* és *Jack Steinberger* bebizonyította, hogy nem csak egyféle neutrínó létezik. Itt sikerült elsőként kimutatni a müon-neutrínó kölcsönhatásait. E kutatásokért a három fizikus 1988-ban megosztott Nobel-díjat kapott.



*Németh Csaba* 1990-ben kémia-fizika-filozófia szakon végzett a JATE-n. Kutatómérnöki oklevelet és egyetemi doktorátust a Veszprémi Egyetemen (1996), majd PhD-t az ELTE–SOTE közös doktori programjában (2000) szerzett. Fő kutatási területe a környezeti radioaktivitás és a radioökológia, érdeklődési körébe tartozik még a kísérleti neutrínókutatás. Jelenleg a Pannon Egyetem docense. 2012–14 között az SNOLAB-ban, illetve a Brookhaven National Laboratórium-ban dolgozott, az SNO+ projektben.

2000-ben a Fermilabban felfedezték a tau-neutrínót is, ezzel teljessé vált a család (no és a standard modell – még a Higgs-bozon nélkül).

A Szuper-Kamiokande együttműködés 1998-ban jelentette be első eredményét a neutrínóoszilláció létezésére, amelynek az a következménye, hogy a neutrínónak tömeggel kell rendelkeznie, pontosabban a három típus/íz közül legalább az egyiknek nullánál nagyobb tömegűnek kell lennie. *Takaaki Kajita* ezért kapta a 2015. évi fizikai Nobel-díjat. Korábban csak annyit tudtunk, hogy a neutrínók tömege olyan kicsi, hogy az adott módszerekkel kimutathatatlan, azaz a neutrínó tömegére csak felső korlát létezett, de ez a tömeg nulla is lehetett, hiszen azt addig egyetlen kísérlet sem zárta ki, és a standard modellbe is ez illett bele. Ettől kezdve tudjuk, hogy nem nulla (a három típus/íz közül legalább egyik nem nulla), de pontos értéke még ma sem ismert.

Apropó, neutrínóoszilláció. A jelenség lehetőségét 1957-ben (1968-ra volt készen a matematikailag korrekt formulázás) *Bruno Pontecorvo* vetette fel. Lényege, hogy a neutrínó három típusa/íze (elektron-, müon-, tau-) átalakulhat egymásba. Ez megmagyarázná a nap-neutrínók rejtélyét, azaz miért észlelünk csak harmadannyi elektron-neutrínót a Naptól, mint amennyit az elmélet jósol, hiszen a neutrínóoszilláció révén a Naptól a Földig tartó út során, az ott keletkező elektron-neutrínók egy másik típusúvá/ízűvé alakulnak át. A korábbi detektálási módszerek csak az elektron-neutrínót tudták kimutatni.

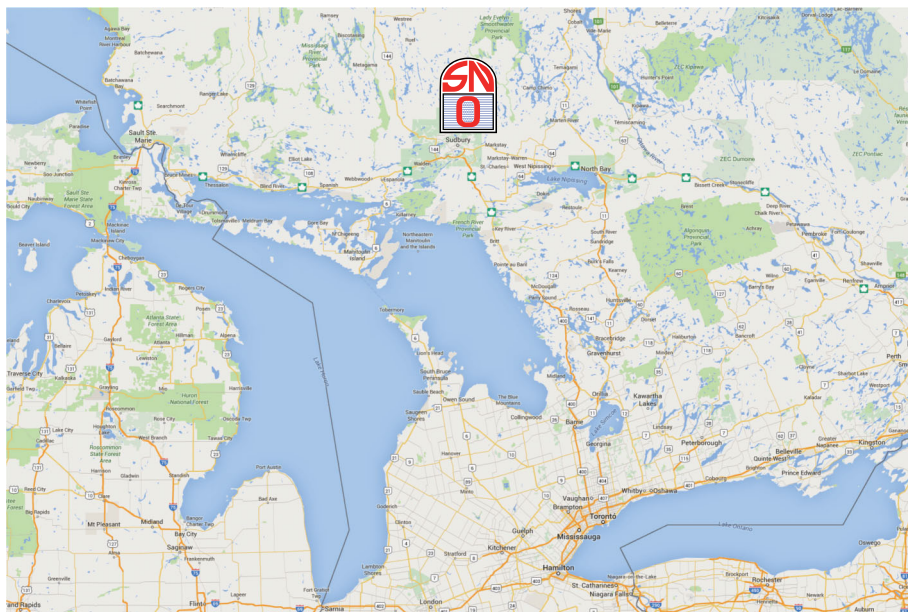
A japán Szuper Kamiokande obszervatóriumában a Föld légkörében a kozmikus sugárzás hatására keletkező müon-neutrínók „eltűnését”, azaz tau-neutrínóvá alakulását mutatták ki elsőként.

A nap-neutrínók oszcillációját, átalakulását müon-, illetve tau-neutrínókká, a Sudbury Neutrínó Observatóriumban mérték meg 2001-ben. Ezzel az eredménnyel került SNO a neutrínókutatás élvonalába és a folyóiratok címlapjára. Itt sikerült kimutatni, hogy a Naptól (meg)érkező neutrínóknak csak egyharmada elektron-neutrínó, a maradék pedig müon-, illetve tau-neutrínó.

## A Sudbury Neutrínó Observatórium

Egy nemzetközi tudóscsoport 1980-ban javasolta az SNO létrehozását a „Nap-neutrínó probléma” megoldására. 1984-ben *Herb Chen* vetette fel, hogy a nehézvíz lehetne az a detektoranyag, amely segítene a probléma tisztázá-

<sup>1</sup> A Nap belsejében végbemenő magreakciók során keletkező <sup>8</sup>B bomlásakor felszabaduló neutrínókat tudta kimutatni úgy, hogy a <sup>37</sup>Cl-ből ennek hatására keletkező <sup>37</sup>Ar-t mérte. Habár az ebben a folyamatban keletkező neutrínók az összes nap-neutrínónak csak körülbelül 0,02%-át teszik ki, ezek a legnagyobb energiájúak, ezzel a módszerrel ezek detektálhatók.



1. ábra. Az SNO – logójával jelezve – földrajzi fekvése Kanadában, a Nagy-tavak közelében.

jelentős infrastruktúrával. Mai állapotában ez magában foglalja az állandó hűtést, a légkondicionálást (a környezet hőmérséklete 42 °C), a világon egyedüli 2 km (2073 m) mélyen működő vízöblítéses WC-t, zuhanyzót, amely teljesen visszaforgatott vizet használ (csak a Nemzetközi Űrállomáson van hasonló, a lebontó mikroorganizmusokat kutyaeleddel etetik, ha nincs elég lebontani való táplálék...), az áramot, a szuper tiszta környezethez szükséges minden felszerelést.

A mély elhelyezésre azért van szükség, hogy a kozmikus sugárzás minél kevésbé zavarja a mérést. A két km vastag kőzet (körülbelül 6 km

sában. Ugyanis a nehézvízben különböző reakciók révén (lásd lejjebb!), különbséget lehetne tenni a beérkező különböző típusú/ízű neutrínók között. 1990-ben kezdtek el építeni és 1998-ban készült el. Építésében Kanada mellett az USA és az Egyesült Királyság is részt vett.

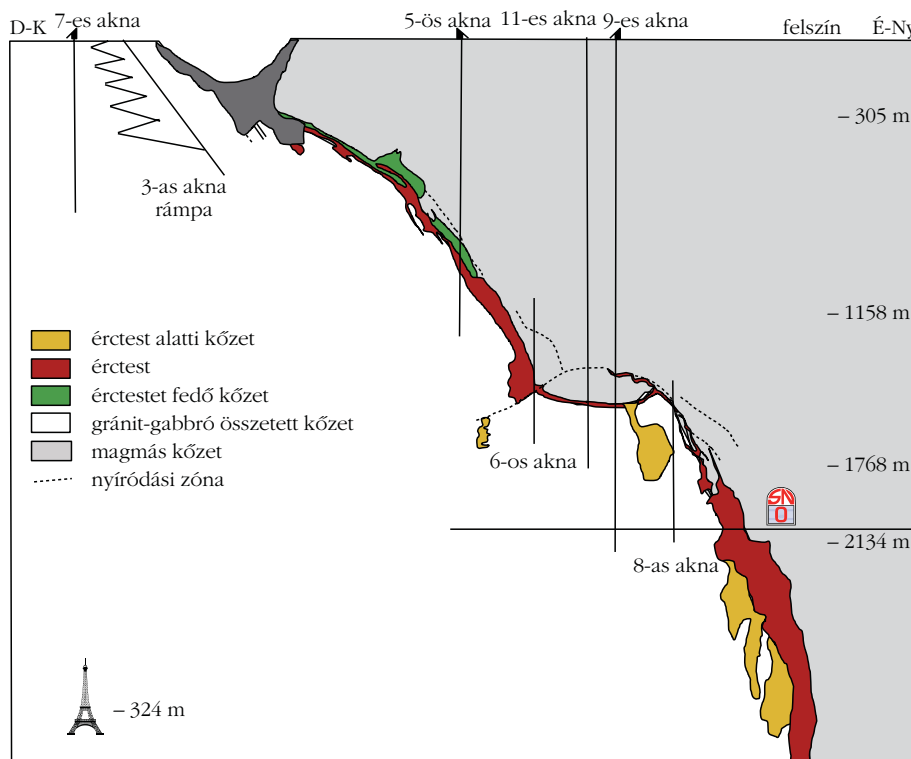
A kísérlet helyéül egy működő nikkeltűzést választottak (ez a Vale Inco cég Creighton bányája), amely a kanadai Sudburytól körülbelül 25 km-re helyezkedik el (1. ábra). Ennek egyik tárnájából leágazva alakították ki az SNO-t (2. ábra). Közel 90 ezer tonna követ vájtak ki és egy szuper tiszta labort alakítottak ki lent,

vastag vízréteggel egyenértékű) árnyékolást ad. Ebben a mélységben körülbelül 3 naponként várható egy-egy kozmikus sugárzásból származó esemény négyzetméterenként. Ez körülbelül 50 milliomod része a Föld felszínét érő kozmikus sugárzásnak. A szupertisztaságú környezetre pedig azért van szükség, hogy a földkérgi eredetű természetes sugárzó anyagoktól is minél mentesebb legyen a rendszer.

Ez nagy kihívás a felhasznált anyagokkal szemben. (Például az akriltartály, a fotoelektron-sokszorozók üvegének anyaga, a víz és nehézvíz – szerepüket lásd lejjebb! – különleges követelményeknek kellett megfeleljen a radioaktív szennyezők tekintetében.) A levegő szűrése, a személyzet védőöltözet stb. is ezt a célt szolgálja. Az esetleges szennyezéseket folyamatosan monitorozzák. Így a detektor belsejében a radioaktivitás körülbelül 100 milliomod része az átlagos környezeti értéknek.

A rendszer legfontosabb része egy hatalmas tartály, amit nehézvízzel töltöttek meg. Tehát van egy nagy, körülbelül tíz emeletes épület nagyságú (34 m magas és 22 m átmérőjű) üreg. Ezt ultratiszta vízzel töltötték fel. Ebbe merül egy közel ezer köbméteres (907 m<sup>3</sup>), speciális, 4 cm falvastagságú, 30 tonnás, gömb alakú akriltartály<sup>2</sup> – a világon ez a

2. ábra. A bánya és benne az SNO elhelyezkedése.



<sup>2</sup> Akril: átlátszó műanyag, mint a szemüveglencse.

legnagyobb ilyen tartály (3. ábra). Ezt nehézvízzel töltötték fel, és itt érdemes egy pillanatra megállni: a projekt legdrágább tétele ez a ~330 millió kanadai dollárt érő ~1000 t nehézvíz volt, amelyet a Kanadai Atomenergia Ügynökség ingyen kölcsönzött e célra. A meglévő bánya (illetve a bánya tulajdonosának beleegyezése és támogatása) mellett ezért is esett a választás Kanadára. A kanadai fejlesztésű és gyártású reaktortípus, a CANDU<sup>3</sup> (CANada Deuterium Uranium) nehézvízzel működik. A kanadai ipar ezért jelentős mennyiségű nehézvizet gyártott, amiből sok fölösleg volt/van. A logisztikai nehézségekre egy példa: a 12 m átmérőjű akriltartályt 125 darabban lehetett levinni a helyére, majd ott kellett összeilleszteni. Az ultra tiszta víz előállításá szintén a helyszínen történt, erre egy kis üzemet kellett odalent építeni.

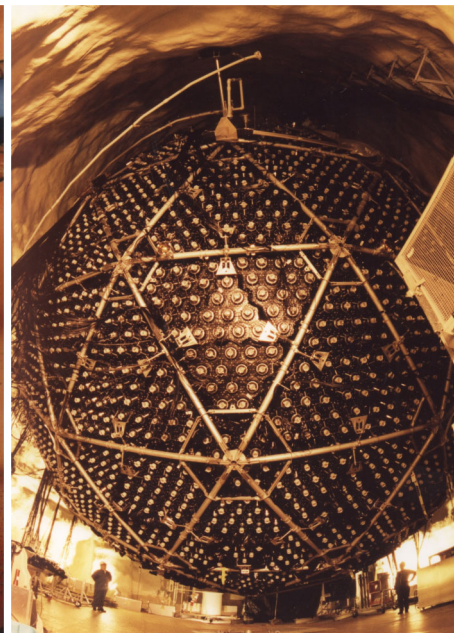
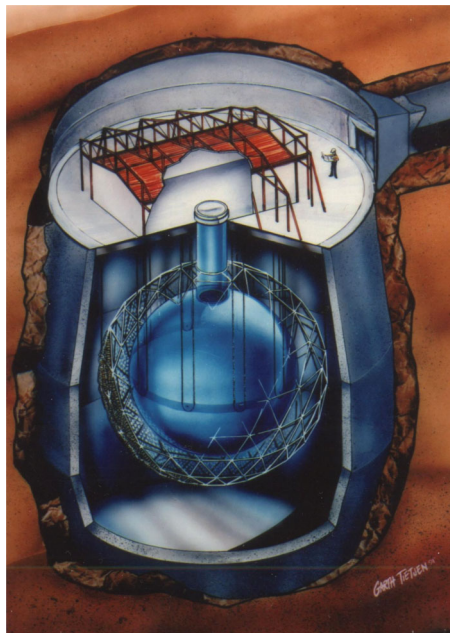
Tehát van a tízemeletnyi üreg benne körülbelül 5000 m<sup>3</sup> ultratiszta vízzel (normál H<sub>2</sub>O). Ebbe merül a közel ezer köbméteres akriltartály, amit megtöltöttek nehézvízzel (D<sub>2</sub>O). Ezt az akrilgömböt (a tiszta vízben) körbeveszi egy 17,8 m átmérőjű rozsdamentes acélszerkezet, amelyre közel tízezer (9522 darab) egyenként körülbelül 20 cm átmérőjű fotoelektron-sokszorozót erősítettek, amelyek gömbszerűen körbeveszik a tartályt. Mivel a nehézvíz nehezebb a normál víznél, még egy, a tartályt alátámasztó állványzatra is szükség volt. Az egészet a nap-neutrínók mérésére találták és élezték ki.

A neutrínók detektálása az alábbi három reakció alapján történik:

1. Amikor az elektron-neutrínó (úgynevezett töltött gyenge áram közvetítésével) kölcsönhatásba lép a deutériummal, akkor a deutérium neutronja protonná alakul:  $\nu_e + D \rightarrow p + p + e$ . Vagy csak a neutronra felírva:  $\nu_e + n \rightarrow p + e$ . A reakció energiaküszöbe 1,4 MeV. E reakcióban kizárólag elektron-neutrínó vehet részt. A két keletkezett proton taszítja egymást, így az atommag alkotórészeire esik szét. A detektor anyagában (itt nehézvíz) az elektron gyorsabban halad az anyagbeli fénysebességnél, így Cserenkov-sugárzást kelt. Ezt érzékelik a fotoelektron-sokszorozók.

2. Amikor a neutrínó (úgynevezett semleges gyenge áram közvetítésével) kölcsönhatásba lép a deutériummal (tulajdonképpen szétbontja azt):  $\nu_x + D \rightarrow \nu_x + n + p$ . A reakció energiaküszöbe 2,2 MeV. Ebben a reakcióban valamennyi típusú/ízű neutrínó azonos valószínűséggel részt vesz.

<sup>3</sup> Ebből a viszonylag ritka reaktortípusból például Európában csak Romániában található egy.



3. ábra. Az akriltartály (SNO detektor) vázlata és képe (továbbá lásd a címlapot is).

A detektálás ebben az esetben úgy történt, hogy (körülbelül 2 t) nagy tisztaságú konyhasót (NaCl) keverték a nehézvízhez, amellyel mérhetővé vált a semlegesáram-reakció: a neutron lelassul (termalizálódik), és a klór elnyeli a termikus neutronokat, majd gamma-sugárzást bocsát ki. A gamma-fotonok által meglökött (Compton-effektus) gyors elektronok ismét Cserenkov-sugárzást keltenek, amit a fotoelektron-sokszorozók mérnek.

3. Ezenkívül valamennyi típusú/ízű neutrínó rugalmasan szóródhat az elektronokon:  $\nu_x + e \rightarrow \nu_x + e$ . Itt gyakorlatilag nincs energiaküszöb. Itt is a gyors elektronok keltette Cserenkov-sugárzást érzékelik a fotoelektron-sokszorozók.

A detektor működésének első fázisában csak a rugalmas szórás és a töltött áram volt mérhető. A második fázisban következett a konyhasó hozzáadása a nehézvízhez.

A harmadik fázisban kivonták a konyhasót, majd semlegesáram-detektoroként <sup>3</sup>He tartalmú proporcionális számlálókat használtak a konyhasó helyett. A <sup>3</sup>He elnyelve a termikus neutrontró trícium-atommaggá (tritonná) és nagy energiájú protonná alakul át, amely a számlálóban elektromos impulzust hoz létre. Ez már 2004-ben történt, megerősítendő a NaCl-os méréseket.

## Összefoglalva

Az SNO detektora a berendezések kalibrálása után 1999. májusban kezdett el működni, és 2006. november 28-án állt le.

Mivel naponta 10-es nagyságrendű esemény jött létre, ezért hosszú időre volt szükség az analízishez elegendő esemény összegyűjtéséhez.

2001 júniusában nagy tisztaságú konyhasót (NaCl) keverték a nehézvízhez, amellyel a semlegesáram-reakció mérhető.

2001. június 18-án adtak ki először hivatalos közleményt a tudományos eredményekről: megvan a neutrínóoszilláció!

2003 szeptemberében eltávolították a sót, hogy behelyezhessék a semlegesáram-detektorokat.

2004. február 12-én felszerelték a  $^3\text{He}$  tartalmú semlegesáram-detektorokat (proporcionális számlálókat).

2006 novemberében leállították az SNO-t.

Az SNO képes volt érzékelni a Napból jövő viszonylag kis energiájú neutrínókat, mégpedig azok mindegyik típusát. Képes volt megmutatni, hogy a Napból származó neutrínók száma megfelel a napmodelljeinknek, csak az elektron-neutrínók egy része átalakul („eloszcillál”) más típusúakká, amelyeket a korábbi detektorok képtelenek voltak érzékelni. A detektor kimutatta, hogy a neutrínóoszilláció a nap-neutrínók esetén is létezik. (Ezt korábban a Super-Kamiokande csak a légkörben keletkező neutrínókra igazolta.)

A neutrínóoszilláció egyik következménye, hogy legalább az egyik neutrínónak (nyugalmi) tömeggel kell rendelkeznie. A kísérletről felső értéket kaptak a háromféle neutrínó össztömegére.<sup>4</sup>

Az első perdöntő eredményeket 2001-ben tették közzé [3]. Az ezeket közlő két cikk 2001-ben és 2002-ben jelent meg a *Physical Review Letters*-ben [4, 5]. 2002-ben – külön-külön is – ezek voltak a legtöbbet idézett cikkek a fizikai szakfolyóiratokban.

<sup>4</sup> Az össztömeg kozmológiai jelentősége abban rejlik, hogy bár nagyon sok neutrínó létezhet a Világegyetemben, de teljes tömegük akkor sem elegendő az összes sötét anyag mennyiségének magyarázatára.

A kísérlet befejezése után a nehézvizet megtisztítva visszazállították a kanadai Atomenergia Ügynökségnek. Minden cseppjét, az utolsókat például szemcseppentővel szedték fel! Csak ez körülbelül fél évet vett igénybe, mivel itt a bányába kell le-, majd a végén felvinni mindent, köztük a nehézvizet is kisebb tartályokban, azt átpumpálni stb. – közben a bánya működik és a bányászok is ugyanazt a liftet használják.

Ezen feladatának elvégzésével az SNO-kísérlet lezárult. Jöhet a következő!

A föld alatti labort kibővítették, ott egyszerre már több projekten is dolgozhatnak. Közben 2005-re a felszínen is felépült egy nagy épület, az irodáknak és a felszíni tisztalabornak biztosítva helyet. Az intézet új neve / vagy az új intézet neve SNOLAB lett.

Az SNOLAB-nál folyamatban levő és tervezett kísérletek közül a legnagyobb az SNO+, amely szintén a neutrínókutatást célozza, de ez már egy másik történet.

## Irodalom

1. Király P.: Kvantumjelenségek kozmikus méretekben: a 2015. évi fizikai Nobel-díj és háttere. *Fizikai Szemle* 65/12 (2015) 420–424.
2. Pázsit I.: Atomerőművek az alap kutatás szolgálatában. *Fizikai Szemle* 66/2 (2016) 42–45.
3. [http://www.sno.phy.queensu.ca/sno/first\\_results](http://www.sno.phy.queensu.ca/sno/first_results)
4. Q. R. Ahmad et al. (SNO Collaboration): Measurement of the Rate of  $\nu_e + d \rightarrow p + p + e$  – Interactions Produced by  $^8\text{B}$  Solar Neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory. *Physical Review Letters* 87/7 (2001) 071301. arXiv: nucl-ex/0106015. Bibcode: 2001PhRvL..87g1301A. DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.87.071301>
5. Q. R. Ahmad et al. (SNO Collaboration): Direct Evidence for Neutrino Flavor Transformation from Neutral-Current Interactions in the Sudbury Neutrino Observatory. *Phys. Rev. Lett.* 89/1 (2002), 011302; DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.011302>

# »A HARANG NEHÉZ JÁRÁSÁNAK MEGVIZSGÁLÁSA«

## Bolyai Farkas tanulmánya a harangszó fizikájáról

Oláh Anna

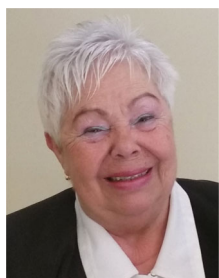
Bolyai Pedagógiai Alapítvány, Budapest

A marosvásárhelyi Teleki–Bolyai Könyvtár Bolyai-gyűjteményében a Bolyai Farkas-iratok közt találtunk egy hiányos, szinte olvashatatlan, vázlatos iratot:<sup>1</sup> „Vener. Consis.” „A harang nehéz járása okának megvizsgálása iránt tenni méltóztatott parancsolatját alázatos tisztelettel vévén...” Megállapítottuk, hogy ez az irat egy hivatalos levél piszkozata és kíváncsiak voltunk az eredeti bead-

ványra. Szinte biztosra vettük, hogy a vártemplom harangjáról van szó, így a Református Egyházi Levéltárban folytattuk a kutatást. Megtaláltuk a piszkozat eredetijét, amit alább közreadunk. Ez egy 1822. február 20-án kelt jelentés, amiben Bolyai arról tájékoztatja a „Venerabile Consistorium”-ot, hogy teljesítette a felkérést, és minden feltételezhető ok-okozati összefüggést elemezve leírja a „nehéz járás” vélhető okait, valamint a javítás lehetőségeit. De lássuk, mi az irat és a munkálat jelentősége!

## A harangszó jelentősége a közösségek életében

A harangszó szerepe őseink életében a múlt homályába vész. Minél régebbre tekintünk vissza, a harangszó



Oláh Anna Kolozsváron, a Babeş–Bolyai Tudományegyetem Fizika Karán végzett 1969-ben, majd az ELTE-n számítástechnika-tanári képesítést szerzett. Több mint három évtizede foglalkozik Bolyai-kutatással, ezért a tevékenységéért 2016 márciusában Magyar Arany Érdemkereszt kitüntetést kapott.

<sup>1</sup> Teleki–Bolyai Könyvtár, Marosvásárhely, Bolyai Farkas iratok, 340. sz. irat.

jelentősége annál sokrétűbb volt. Jelezte az idő múlását, megadta a mindennapi élet ritmusát. A hajnali, déli, esti harangszó nemcsak templomba hívta az embereket, de jelezte például a tehéncsorda indulását, érkezését. Figyelmeztetett tűzre, árvízre, ellenségre, veszett kutya garázdálkodására, járványra. A mindennapi élet, a közösségi tevékenység eseményei során különféle hangon, ritmusban szólaltatták meg a harangot. Veszély esetén félreverték, halálesetkor a lélekharang szólt. Erős vihar, égiháború, villámlás esetén a félrevert haragnak olyan haszna is volt, hogy a hangerő eloszlatta a felhőket.

„Hívom az élőket, elsíratom a megholtakat, megtörom a villámok erejét” szól a régi, latin harangfelirat. Esküvő, keresztelő, temetés közben mind-mind más típusú harangszó jelzett. Olyan vidékeken, ahol gyakori volt a köd vagy a hóvihar, gyakran a tájékozódást is segítette a harangszó. Hihetetlen, hogy a harangszónak hány féle ritmusát, erejét, hangszínét lehetett létrehozni, amit szinte azonnal, bárki, az éppen hirdett üzenettel együtt felismert. Egy kis túlzással a harangszó olyan volt, mint az emberi szívverés. Erdélyben, ahol a népvándorlás idején a településeket évszázadokon át pusztították a tatár, török hordák, a harangszótól egész közösségek túlélése függött.

Hunyadi János várvédő vitézei és *Kapisztrán János* kereszties seregei 1456. július 22-én győzedelmeskedtek a Nándorfehérvárt ostromló *II. Mehmed* szultán hadai felett. Ezáltal hét évtizedre megállították a törökök európai terjeszkedését. A déli harangszó immáron 560 éve e diadalra emlékezteti a keresztény világot.

A marosvásárhelyi vártemplomot – ahol a Bolyai által vizsgált harang állt – a 14. században a ferencesek kezdték építeni. A reformáció elterjedése idején 1557–1559 között a templom a reformátusok tulajdonába került. 1602-ben *Basta* csapatai felégették, 1658-ban, a *II. Rákóczi György* ellen vonuló törökök támadásakor a templomhajó mennyezete beomlott, az ablakok üvegfestményei és az orgona is elpusztult. A templom éveken át fedetlenül állt. A levéltári dokumentumok szerint 1673-ban harang került a toronyba, ezt 1727-ben egy másikra cserélték, majd 1834 óta *Andrásofszki János* és *Dániel* által Kolozsvárott öntött 16,16 mázsás nagyharang lakik a toronyban. Ezzel harangoznak ma is. A toronyba vezető lépcsőket a székely ezermester, *Bodor Péter*<sup>2</sup> készítette. Az elmúlt



A Vártemplom egy 1908-as képeslapon.

évszázadok során a templom fontos politikai események színhelye volt, számos történelmi személy fordult meg falai között: 37 országgyűlést tartottak, megfordult itt *Nagy Lajos* király, Hunyadi János, *János Zsigmond*. Ez utóbbi, mint Erdély első fejedelme, 1568. január 6–13-i tordai országgyűlésen meghirdetett vallásszabadságot itt erősítette meg 1571. január 6-án. 1707. április 8-án itt választották fejedelemmé *II. Rákóczi Ferencet*.

A történelmi eseményeket mindenkor a harangszó tette ünnepélyesebbé.



Az 1980-as években az eredeti Bolyai-kézirat után kutatva az egyházi levéltárban rátaláltunk egy *Harangok* című iratkötegre, ahol további – Bolyai jelentése előtt és után kelt – igen fontos iratokat találtunk a harangok történetével, az időnkénti karbantartásokkal, mesterekkel, munkálatokkal kapcsolatban. Ezek alapján időrendi sorrendben tekintsük át a fontosabb harangtörténelmi dokumentumokat, eseményeket.

1. 1821. december 9-én kelt egy jegyzőkönyv a vártemplomi egyházkerület gyűléséről, ahol megbeszéltek, hogy a „Templom mellett lévő Toronyban mostanában készült új harangszék-ülés, s azokra visszatett harangoknak nehezen való járások” érdekében sürgősen intézkedni kell.

2. 1822. január 13-án a tanácsstagok egy temetés közben – amikor mind a négy harangot húzták – megvizsgálták, hogy a harang húzása miért vált nehézkessé. A vizsgálatra Bodor Pétert, az akkor már közismert székely ezermestert kérték fel. A tapasztalatról jelentést küldtek az egyházi előjáróknak.

Íme a tanácsstagok által benyújtott levél:<sup>3</sup>

„A Marosvásárhelyi Nemes Reform, Domest. Szent Consistorium eleibe beadott alázatos Relátiojuk [jelen-

<sup>2</sup> Bodor Péter (1788–1849) – székely ezermester, mechanikus, akinek leghíresebb alkotása az a zenélő kút volt Marosvásárhely főterén, amelynek mása a Margitszigeten áll.

<sup>3</sup> Református Egyházi Levéltár, Marosvásárhely, 1099/1822. A számozást az áttekinthetőség végett a szerző végezte.



tés] a bennírt személyeknek a várbeli Nagy Templom mellett lévő Toronyban mind a négy harangok ütőinek megváltoztatásuk aránt.

A Hellybéli Nemes Reformatus Domest. Consistoriumnak gyűlése tartatván a folyó 1821.-ik esztendő december 9-ik napján a Tiszteletes Székely Márton úr lakóházánál, mely gyűlésben előfordulván a Vár-béli Nagy Templom mellett lévő Toronyban mostanában készült új harangszék ülés, s azokra visszatett harangoknak nehezen való járások, melly szerint azon napon költ comissio [kötelezettség] következésül mi, kik alább subscribált [aláíró] személyek, magunk mellé vévén Mechanikus Bodor Péter Urat és az írt esztendő december 11-én dél után, akkor, mikoris az Lengyel Gáspárnét temették, s amíg felvitték a temetőbe mind jelen voltunk a toronyban, és mind a négy harangoknak járásait amint húzták, jómóddal megvizsgáltuk, s úgy találtuk:

1. Hogy a tisztelt Nemes Eklésia megnyerhesse azt, hogy a harangok ollyan szerfelett való nagymértékben ne járjanak fenn a húzás által, mind ezelőtt jártatták, és az harangokban s épületben is az erős fennvaló jártatás miatt nevezetes kár ne essék, szükségesnek látjuk:

2. A nagy harang ütője helyébe a hámorban egy új ütőt kell tsináltatni, mivel igen kitsi, annyira, hogy előttünk a harangot a húzás által tsaknem a régi szokás szerint felvették, mégis az ütője helyben állott addig, amég kézzel el nem vetették, egyszóval, ezen ütővel lehetetlen használni.

3. A második harang ütője is kitsi, ehhez kell tenni a Nagy harang ütőjét annyi igazítással, hogy ütő szárát kell megvékonyítani.

4. A harmadik harangba kell tenni a második harangban lévő ütőt.

5. A negyedik harang ütője is kitsi, ehhez kell tenni a harmadok harang ütőjét.

6. Ill[endő] tisztelettel azt is feljelentjük, hogy Bodor Péter Úr ígérte nekünk, hogy amikor a Tisztelt Consistorium ezen harangok ütőiben változtatást fog tétetni, majd fog fából a nagy harang nagyságához képest egy ütőt faragtatni és azt kell elküldeni, a többi három ütőnek is a harangokhoz való aplicálásában is ügyelettel fog lenni.

Melly alázatos Relationk mellett a vener. Domest. Sz. Consistoriumnak vagyunk alázatos szolgálói

Erszéynyes Márton mtk consistorialis személy  
Medgyesfalvi László consistorialis személy  
Hints Sámuel bíró és consistor 1822”

A Consistorium ezek dacára Bolyait is felkérte a vizsgálatra. A felkérés időpontját, a Bolyaihoz intézett kérdéseket nem találtuk meg sem Bolyai, sem az egyházi levéltár kéziratai között, csupán Bolyai jelentését. A Bolyai-jelentés első mondata azonban utal a felkérés lényegére, nevezetesen arra, hogy egy harang „nehéz járásának okát” kellett megvizsgálnia. A fenti beadvány értelmében a *mostanában készült új harangszék ülés s azokra visszatett harangoknak* lett nehéz a járása. Ennek okát volt hivatott Bolyai megvizsgálni. Azt se tudjuk, hogy Bolyai ismerte-e Bodor szakvéleményét.

1822. február 20-án kelt tehát Bolyai jelentése, amelyben összefoglalta észrevételeit, e levél piszkozata található Bolyai kéziratanyagának. Íme a jelentés:<sup>4</sup>

„Venerabile Consistorium!

A harang nehéz járása okának megvizsgálása iránt tenni méltóztatott parancsolatját alázatos tisztelettel vévén, ezen tárgyban való járatlanságomban s keskenyhatáru tehetségemhez képest, relatiómat a következőkben megtenni alázatos kötelességemnek ismerem.

A mostani igazítással a harangnak széke megkeményült, szólása kinyíltabb lett, s a hozzájárás megkönnyült (az építő mestert megdicsérő munka)

*I.-ben [húzás módján való könnyítésről.]* A harang széke jól s keményen van építve, s a harang is mostani helyéről kinyíltabban szól a torony ablakáról le a világosra; koronája húzási módja s húzója pedig csak a régi. Tehát valami egyébben kell keresni okát, ha most nehezebben jár. Ezeket gondoltam:

1. Úgy tetszik, noha azt nem értem, hogy dél felé lévő csap alábbacska fekszik, abban se vagyok bizonyos, hogy a 2 csap is egyenesen áll-e?

2. A két csap újon van verve, de pallérozatlan maradt, s tulajdonképpen sárgaréz perselyben kellene faolajkenettel járniok, megvásik ugyan az is, de együtt a húzókkal, az ő zsíjokkal jár.

3. A fatengelyek, melyben a két csap van, végei igen súrlódnak azon két gerendához, melyeken a csapok vannak. Ezen favégekből le lehetne venni, mivel úgyis a csapok végeinél vastartalék [van] téve.

4. Azon fa, melynél fogva húzzák, nagyon rúg, azt kellene szorítani. Eddig a mostani húzás módján való könnyítésről.

*II. Egyszersmind* a lehető jobbításra nézve talán nem egészen helytelen ide adnom a következőket:

1. Az ütő igen könnyű; a regula az, hogy minden mázsájára a harangnak mintegy harmadfél fontnyi vas legyen az ütőben.

2. Felette lassú az ütő járása. Lehetne ugyan a koronát egy kevésbé a két végénél lefele nyújtani s odabocsátani a csapokat; akkor a harang szája annyival feljebb emelődnék, könnyebben járna, s a mostani ütővel megegyezőbben. Az ütközések ismétlődése függ az inga hosszáról. Mivel itt a koronát mozgatjuk, a korona magasságától.

3. A harangok veszedelmére vagy az, hogy kicsi helyt éri a harangot, nagy helyt és simán kell érnie, ettől sok függ, valamint az ütés helyétől (felsőbb mathésis tanítja azon hely megtalálását) p.o. ha egy mindenütt egyforma pálcának a vége fogódik, hosszának  $\frac{2}{3}$ -adánál van az a hely (a kéztől számlálva), ahol legjobb az ütés, különben megfájul az ütő [személy] karja s könnyen képzelhetni hasonló okból, hogy a harang is elhasadhat.

4. A harangnak mostani ütése helye megkopott s levelezik, meg kellene az ütés helyét változtatni. Ha egy kis, igen könnyű masinával az ütő húzzattnék, s a harang nyugodnék, nem szenvedne az épület, s kevés gyakorlással éppen olyan szépen, hangosan, s

<sup>4</sup> Uo. A számozást és kiemeléseket a szerző végezte.

taktusra lehetne húzni, s egy s más könnyű masinával fordítani kereken, hogy mind más-más helyt érje;

5. meg is lehetne könnyen döjteni a harangot minden állásban, hogy a szájával leszóljon a torony ablakáról.

6. Lehetne még fából faragott parabolai formákkal, okosan rendelve, a harangot erősíteni a város felé, hogy messzebb is elhallják.

7. Az ütőt mind azon esetben, mind a mostaniban lehetne alkalmasabban tenni, ahelyett hogy a sok nehéz kötözést próbálgassák.

A *mostani húzás módját* is igazítani kellene következőképpen:

1. Ahelyett hogy most az egyik csapra nyom az egyik húzó, majd a másikra túl a másik húzó, s nem együtt a kettő, jobb volna a közepéből bocsátani által egy gerendácskát jól megerősítve, úgy, hogy mind a kétfelől nyúlják ki öt- vagy hatodfél lábnyira vízirányulag állva (a harangnak nyílásakor) – a mostani húzófák ötödfél lábra nyúlnak ki – kétfelől a tengelynek két végéről.

2. Mikor megindult egyszer a harang, s mintegy gradust írva száját kifelé tátja, akkor kell a meghúzással esése erejéhez hozzáadni: akkor az imént írt gerendácska függően állna, s csak ezt kellene (a húzás helyett) a harang szája felől taszítani. Ott nagy volna az erő hatalma. S még könnyű volna növelni is sokképpen p.o. egy alól lefelé függően álló tengely körül forduló [?]. Függősen állva, az alól lévő hosszabbik karja végénél fogva, a harang alatt lévő padlást kivágva, a kurtább karja végével könnyen lehetne – mikor a horizontális gerendácska végei rendre leérkeznek – a harang szája felől taszítani s aztán meg vissza; modellában könnyen meg lehetne mutatni.

3. Ha a hely tágasabb volna, sokképpen lehetne húzni is. Könnyebben járna így is egy tengely közepére tett kerékforma nagy csigával, mely csakugyan a harang szája alatt nem volna miért egybekötődjék, anélkül is meg lehetne erősíteni.

4. Nem kellene a kerek egészen a harang szájáig levinni, meg lehetne azét is erősíteni.

5. Lehetne feljül két róvázatja a két húzóra nézve, amely esetben a kötelek egymás ellenében tevődnek. Ezzel a korona is neheződne s az ütővel meg egyezőbbben járna, de az előbb írt gerendácska sokkal könnyebben jár s olcsóbb.

6. A húzó jármát hallottam, hogy némely helyt (u.m. Debrecenben) nem vízirányulag teszik, t.i. a harangnak nyugvó állásában, hanem lefele csappanólag, mely annyiban jobb, hogy ámbár a megindítás későbbi, de azután, mikor a harang felhág, hatalmasabb az erő. Ugyancsak ezen esetben is jobb volna fennebbi okból középhe tenni.

Ezeknek alázatos jelentése mellett, méltóztatott bizodalmit a Venerabile Consistoriumnak alázatosan köszönnvén, maradok alázatos tisztelettel a Venerabile Consistoriumnak

alázatos szolgája

Bolyai Farkas

M. Vásárhely, 1822. 20. Febr”

Bolyai jelentését követően 1822 júniusában „igazítás” történt a harangon. Nem tudjuk ki végezte, és ki irányította. Ami bizonyos, hogy *Székely Márton*, az akkori lelkész, részt vett a munkálatok felügyeletében, és a harmadik harang koronájának egyik nyílásában egy iratot talált. A gyolcsba foglalt, nagy gonddal egy évszázaddal korábban odahelyezett iratban az akkori prédikátor, *Kapronczai György* lejegyezte a harang történetét. Megtudjuk, hogy az első harangot 1673-ban öntötték, majd 1727-ben újat öntöttek. Székely Márton másolatot készített a talált okmányról, amit elhelyezett az egyházhivatal levéltárában. (Jelen tanulmány szerzője az 1980-as évek végén még ott találta.) Az eredeti iratot, mielőtt a harangot visszatették volna a toronyba, a rátalálás állapotában visszahelyezte a harangba „mellé még egy más magyarázatot, vagy világosítást ragasztva, a mostani időhöz képest”. Íme Székely tiszteletes másolata Kapronczai György lelkész († 1747) feljegyzéséről:<sup>5</sup>

„Memoriale:

Ez harangot önt[t]ette A. 1673. esztendőben istenes indulatjából az M. Vásárhelyi Ecclesiának néhai nemes Nemzetes Kovács Ferentz Uram, Maros-Vásárhelynek akkori bírása. Az után elromolván, ujabban önt[t]etett még isten dicsőségéhez való indulatjából maga költségével nemes Nemzetes Kolo’svári Szócs Dániel uram A. 1727. esztendőben Nemes Nemzetes Nagy Sziójyártó György uram bíróságában. Akkori T. Praedicatorok voltak T. De’só Mihály és T. Kapronczai Uraimék; egyházfiak Zilahi Csizmadia János és Hajdu Szócs István Uramék. Ezeket tettem fel ez kis írásomban pro futura /cantala, cautala?/”

Székely Márton kiegészítése a harangban talált irathoz:<sup>6</sup>

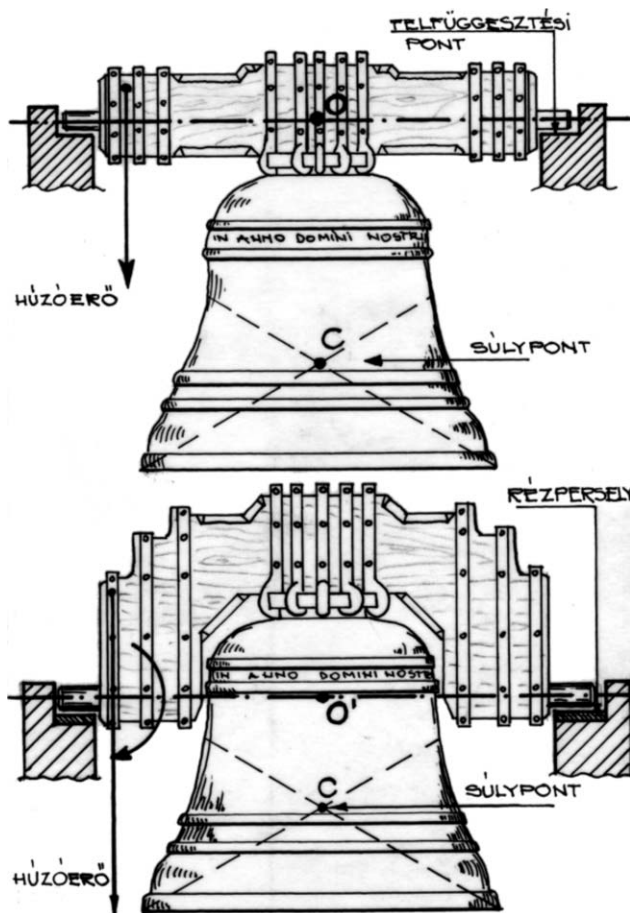
„A fentebbi írás találtatott a maros-vásárhelyi reform. Eccl. Nagy (Várbéli) templomához ragasztott toronybéli harmadik harang koronájának egyik lyukában bétakarva egy darabocskó fehér ronggyal, midőn 1822-ik esztendőben, június hónapban az említett harmadik harangon igazítás tétetnék. Épen azt az írást más papírosra írva és a mellé még egy más magyarázatot, vagy világosítást ragasztva, a mostani időhöz képest ugyan azon lyukba visszatétette a domesticum consistorium emlékezet okáért, maga pedig az a régi és szép jegyzés az eredeti írásban a darab ronggyal együtt ezen csomóba alkotva behelyezettetik az Eccl. Levél-tárjába, ahol láthassa a maradék nemzettség is a régen élteknek szorgalmatosságát, s hasonlót cselekedni tanuljon. Azon kívül is az elmúltaknak tudása nagyon illeti az embert és attól vagyon felfüggesztve számtalan hasznunk, szerencsénk, gyönyörűségünk. Míg bévégezném a felette rossz tentámmal ezen előadásomat, megjegyzem, hogy az a Kapronczai nevű pap hivatott keresztnevéről Györgynek. A régi matriculából ennek végére menni könnyű.

Irtam M.Vásárhelyt, 1822-dik esztendőben, július 22-dik napján, délután 7 órakor.

Székely Márton mvásárhelyi ref. pap”

<sup>5</sup> Uo.

<sup>6</sup> Uo.



Kali Ellák (1946–2013) grafikája a Bolyai Farkas szövege alapján rekonstruált harangfelfüggesztésekről.

## Bolyai Farkas tanulmánya a harangszó fizikájáról

Székely Márton feljegyzései szerint 1822. júniusban elkezdődtek a harangokkal kapcsolatos munkálatok. Míg az 1821-es Bodor-féle jelentés mindössze az ütők nagyságára vonatkozó javításokat javasolja, addig Bolyai egy egész tanulmányt ír, amelyben rávilágít a harang ingamozgásának, hang keletkezésének, tulajdonságainak, terjedésének mechanikai törvényeire, valamint számos ok-okozati összefüggésre. Olyan mélységű tényezőkre hívja fel a figyelmet, amelyeket csak a fizikában magas szintű ismeretekkel rendelkező tudós ismerhet.

A harang sajátos mechanikai lengőrendszer, lényegét tekintve egy úgynevezett kettős inga, amelyek mozgásuk közben ütköznek. Méretük, tömegük, sebességük és felfüggesztésük módja, az ütközés helye, ereje nagymértékben befolyásolja működésüket, azaz a keletkezett hang tulajdonságait: magasság, erősség, színezet, ritmus stb. A harangozó fontos szerepet tölt be a harangozás folyamatában. Befolyásolja a harangozás „eredményét” – a harangszó összes fizikai jellemzőjét: hangmagasság, hangerő, hangszín, időtartam, időbeli lefolyás stb. Azt is tudni kell, hogy nyugalmi helyzetből a harangozó személy a koronát len-

díti ki, nem az ütőt. Ezért oly fontos számára a „harang nehéz járásának” könnyítése, amiben Bolyai Farkas közreműködését kérte a templom vezetősege.

Bolyai komoly fizikai ismeretek birtokában próbálta közérthetően megmagyarázni az esetleges okokat és a megoldási lehetőségeket.

A felsorolt fizikai értékek (harangtest-, ütő-, ingahosszméret, -arányok, tömegösszefüggések, anyagminőség, a kölcsönhatások időpillanata) közre játszanak abban, hogy a hang periodikusan, adott hangmagasságokban szólaljon meg és a „taktus” – azaz ütészám állandó maradjon.

Bolyai javaslatait két csoportra osztja. Az azonnali és a távlati megoldások. Leginkább az egymáson elmozduló testek közötti mozgást gátló tényezőre – a súrlódásra – koncentrál. Az egymással érintkező harangrészek – tengelyek, csapok – súrlódását, a mozgástengely ferdeségét tartja felelősnek a nehézségeért, de úgy tűnik, hogy számít egyéb kiváltó okokra is. Erre az esetre – *a lehető jobbításra* alcím alatt – felsorol megoldási lehetőségeket.

A harang számára szükséges a „kemény szék” többek között a *rezonancia*, azaz a gerjesztett rezgések elkerülése végett. Ellenkező esetben az állványzat is ingamozgásba lendül és össze is dőlhet.

A *harangláb magassága* növeli a hanghullámok terjedési sugarát. Ütéskor az ütő és harang között lendületátadás (impulzus) történik. A lendületet az ütköző testek tömege és sebessége befolyásolja. A lendület nagysága meghatározza a hang erősségét, ez pedig a hanghullám mozgási energiáját, egyszerűen azt, hogy a harangforrástól számítva milyen távolsáig jut el a harangszó. Ezért kell az ütőben megfelelő *tömegű* vasmennyiségnek lennie.

Az ütő periódusa ugyanazon húzóerő hatására egyenes arányban áll az ütőinga hosszával. „Lassú járás” esetén tehát rövidíteni kell azért, hogy a periódus kisebb, ennek fordítottja – a „taktusa”, vagyis rezgésszáma – pedig nagyobb, tehát a járása gyorsabb legyen.

Amikor a harang „hallgat”, az ingarendszer nyugalmi, vagyis egyensúlyi helyzetben áll. Húzáskor kibillentjük egyensúlyi helyzetéből. A nehéz járást a kilmozdító *erő* nagysága mutatja.

Ez az erő attól is számottevően függ, hogy a harang súlypontjához viszonyítva hol található a harang felfüggesztési pontja. Amint azt a mechanika törvényei igazolják, a felfüggesztett test egyensúlya akkor biztos, ha a felfüggesztési pont a súlypont fölött van. Ilyenkor igen nehéz a testet kibillenteni egyensúlyából, vagyis az ingának ekkor is „nehéz a járása”. E célból javasolja Bolyai a „csapok alábocsátását”, vagyis a felfüggesztési pont közelítését a súlyponthoz, ezáltal „könnyítve” a harang járását.

A fizikában közömbös egyensúlynak nevezzük azt a helyzetet, amikor a két pont, a felfüggesztési és a súlypont egybeesik, de ilyenkor fennáll annak kockázata, hogy egy erősebb szélfújás is meglendíti a harangot.

Ha a csapok más-más vízszintesen fekszenek, vagyis a harang függőleges szimmetriatengelye nem merőleges a csapokat összekötő egyenesre, az erővektorok össze-

tevédése folytán a mozgásokra újabb fékezőerők hatnak.

Bolyai lényeges nehezítő tényezőnek tekinti az egymással érintkező „pallérozatlan” – faragatlan, alkatrészeket, amelyek növelik a súrlódást, akadályozva a mozgást.

A csapok súrlódásának csökkentésére a jól zsírozott rézperselyek használatát javasolja.

Kitér az anyagfáradás tüneteire is, amire szintén van javaslata. Ha ugyanazt a helyet hosszú ideig érik az ütések, lassanként megváltozik a harangérc kristályszerkezete, ennek jele a „levelezés”. Ha változtatni lehetne az ütés helyét, akkor a harangfelület más-más pontját érnék az ütések, ugyanaz a hely ritkábban szenvedne ütest, így egy adott harangterület „levelezése” késleltethető lenne.

Bolyai tanulmánya a mechanika szinte minden területére kitér. Egyetlen hiányossága, hogy nem ad mesteremberek számára használható, gyakorlatilag könnyedén kivitelezhető ötleteket egy már meglévő hibás harang kijavítására. Bizonyára ő is érezte ezt, nem véletlenül írta egyik kéziratában, hogy bármiféle meghibásodás esetén „a legnagyobb rossz – elrontani a rosszat”. Azok számára lett volna Bolyai tanulmánya hasznos, akik újonnan öntött harangot készülnek felállítani.

Vajon a tanulmányt követő júniusi munkálatok mit tudtak megvalósítani Bolyai javaslataiból? Valószínűleg nem sokat, mert az egyházi levéltárban a következő – harangra vonatkozó – dokumentumot hét évvel az első beadvány után keltezték. Ez egy újabb kérelem volt, ezúttal a vártemplom harangozói fordultak a Consistoriumhoz:<sup>7</sup>

„Venerabile Főconsistorium

Alázatosan engedelmet kérünk, hogy bátorkodunk jelenteni, hogy nagyharangunk megterhesedett járásában, úgyhogy teljességgel sem lehet húzni. Kérjük alázatosan a tekintetes Főcurator urat és a venerabile főconsistoriumot, hogy méltóztassanak megtekinteni és megnézni, és igazítást tenni. Különben minket megvon. Most közelebb lévő temetésen is a két háztól kiállottunk [...] mégis alig győztük vala.

Alázatos szolgálja a tekintetes főcurator uraknak, a venerabile főconsistoriumnak két harangozója

Csillag Mihály és Tolnai Mihály 1828”

A levél hátoldalán a megtaláljuk a Consistoriumi jegyző írásos intézkedését.<sup>8</sup>



A Vártemplom 1834-ben öntött nagyharangja, a szerző felvételei.

„Válasz.

Ajánlatik Tiszteletes Péterfi József, úgy consistor Vég István és Kun Mihály atyánkfiaiinak, hogy megtalálván mechanikus Bodor Péter urat is, a nagyharangnak bjelentett megnehezédését vizsgálják meg, s a húzásban lehető megkönnyebbítést eszközöltessék ki sietőleg.

A Marosvásárhelyi Evang. Reform. Ekklesia Dom. Consistorium Gyűléséből

Augusztus 3-án 1828.”

Itt kiapadtak a levéltári források, de a véletlen kegyelme folytán – egyéb kutatásokat folytatva – egy korabeli feljegyzésre bukkantunk, amely így szólt:

„1830-ban Csillag István [Mihály?] harangozó neje a tűzzeli gondatlan bánása miatt csaknem áldozatul ejtette a Bodor Péter által célszerűen épített toronyba vezető lépcsőzetet.”

A dokumentumok tehát azt igazolják, hogy a gyakorlati megoldást Bodor Péter megtalálta. Elkészült a harangszék, a toronyba vezető lépcsőzettel együtt. *Debreczeni László* (1903–1986) – Erdély híres templomépítője – azt állította, hogy a mai műszaki ismeretekkel és eszközökkel sem lehetne ennél tökéleterebb szerkezetet építeni.

## Bolyai Farkas és Bodor Péter – az elmélet és a gyakorlat párbaja

Bodor Péterről tudjuk, hogy amikor 200 évvel ezelőtt, 1816-ban végleg Marosvásárhelyre költözött már Európa-szerte ismert, keresett ezermester hírében állt. Olyan találmányok fűződtek hozzá, amelyekkel nevét beírta a technikatörténet nagyjai közé. Feljegyzések szerint városi földmérőként, 1818-ban felépítette a régi marosvásárhelyi Maros-hidat (az úgynevezett

<sup>7</sup> Református Egyházi Levéltár, Marosvásárhely, 1828. augusztus 3.

<sup>8</sup> Uo.

Bodor-hidat), amelyben egyetlen szeg sem volt. Épített templomokat (bicskával szárnyas oltárt faragott, festett freskókat), szerkesztett gazdasági gépeket, díszkertet alakított ki szélhárítással, barlanggal. Házának udvarán, a mai vidámparkokhoz hasonlító szórakozóhelyet rendezett be hajó- és körhintával, csúszdával és más, saját kezűleg gyártott, elmés szerkezetekkel. Bodor gyakran látogatta Bolyait. Bizonyára szóba került közöttük a harang kérdése. A kutatót érdekelte, hogy Bodor ismerte-e Bolyai vizsgálatait, javaslatait, ha igen felhasználta-e ötleteit, személyesen is megbeszélték-e ezen kérdéseket?

A tudóstársadalmat mindmáig megosztja az elmélet-gyakorlat elsőbbsége, fontossági sorrendje. Bolyai és Bodor külön-külön világhírnévre tettek szert. Ugyanazon kis néhány ezer fős közösség problémamegoldói voltak. Bolyai volt a „geniális fő”, Bodor pedig a „mechanikus művész” – ahogyan *Kőváry László* (1819–1907) történész nevezi őket *Székelyhonról* című munkájában. A harang kérdésében – úgy tűnik – Bolyai volt az elméleti szakértő, Bodor Péter pedig a mester, a kivitelező.

## Kiért nem szólt a harang?

Néhány évvel később Bolyainak a harang „levelezés”-sel kapcsolatos aggályai beigazolódtak. A nagyharang öntvénye annyira megrongálódott, hogy végül elrepedt. 1834-ban Kolozsváron újat öntöttek, ez szólal meg ma is valahányszor szükség van rá.

A rajta lévő körirat csodálatosan foglalja össze a harang rendeltetését:

„Függjön itt számtalan évekig,  
Isten védje ellenségtől,  
Hívja az élőket buzgóságra,  
Kísérje nyugalomra,  
Veszély hirdetője ne legyen.”

Csak egyetlen református halottat nem kísért Marosvásárhelyen nyugalomra a vártemplomi harangszó – 160 évvel ezelőtt, 1856-ban Bolyai Farkast.

Az ő végakarata ugyanis az volt, hogy:

„*Meghagyás...* se pap... sem egyéb cérémonia, még harang se legyen; az iskola csengettyűje szólhatna.”

Így halálát mindössze a kollégiumi csengők adták a vásárhelyi emberek tudtára.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# MILYEN GÖRBÉT ÍR LE A GNÓMÓN CSÚCSÁNAK ÁRNYÉKA?

## Szferikus csillagászat Geogebrával

Nyirati László

Széchenyi István Műsz. Szakközépiskola, Székesfehérvár

A szferikus csillagászat foglalkozik azzal, hogy az egyes égitestek adott időpontban, az adott földrajzi helyen éppen merre találhatók. Ezen belül a Nap aktuális helyzete is érdekes megfigyelési téma, ugyanis az idő mérésének egyik definíciója éppen ehhez kapcsolódik. Az alapegység, a középnappal hosszúságú csillagászatilag meghatározandó fogalom.

Egy földrajzi hely meghatározási elv is kapcsolódik a témához. A vízszintes talajba, arra éppen merőlegesen tűzzünk le egy pálcát: ez a gnómón. Dél környékén rövid időközönként megjelöljük a pálcácsúcsának árnyékát, feljegyezve az órák által mutatott időt. Megke-

ressük a legrövidebb árnyékot. Az árnyék hossza, a pálcácsúcsa, valamint a legrövidebb árnyékhoz tartozó időpont (dátummal együtt) a mérési adat. Néhány táblázat és a zónaidő, valamint a helyi dél és világidő fogalmának ismeretében a földrajzi szélesség és hosszúság elég pontosan meghatározható.

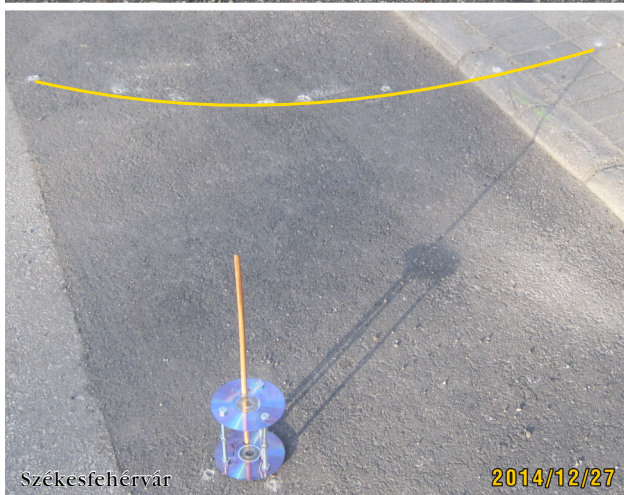
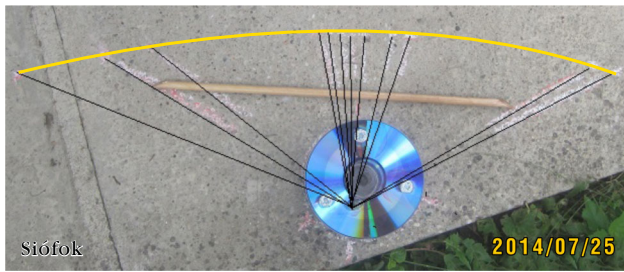
Ezt a mérést a CERN-beli tanulmányút kapcsán több helyszínen, különböző időpontokban elvégeztük. Arra lettünk figyelmesek, ha a mérést a helyi dél előtt egy-két órával kezdjük és ugyancsak a helyi dél után egy-két óráig folytatjuk, akkor a gnómón árnyékának végpontja különböző pályákon halad végig. Vajon mitől függ, hogy a pálya milyen alakú?

Három mérésről készítettünk felvételt (*1. ábra*). A helyszínek: Siófok, Schaffhausen és Székesfehérvár. A dátumok: 2014-ben rendre július 25., augusztus 17. és december 27. A helyszín vagy az időpont miatt más a görbe?

A napórák sokszor művészi kialakításúak. Különböző helyzetű mérőpálcát használnak, és emiatt sokféle, nagyon érdekes felületre eső árnyékokat láthatunk. Sok tapasztalat gyűlt össze az ilyen szerkezetek készítésekor.



Nyirati László matematika-fizika szakos tanár 1972-ben végzett az ELTE-n. Később a BME Villamosmérnöki karán is szerzett diplomát, majd a Kossuth Lajos Tudományegyetemen informatika tanári végzettséget. Székesfehérváron tanít, többnyire középiskolában, de 1995-től 2007-ig a Kodolányi János Főiskola Informatika tanszékén dolgozott. 2008 óta nyugdíjas, jelenleg óraadó tanár.

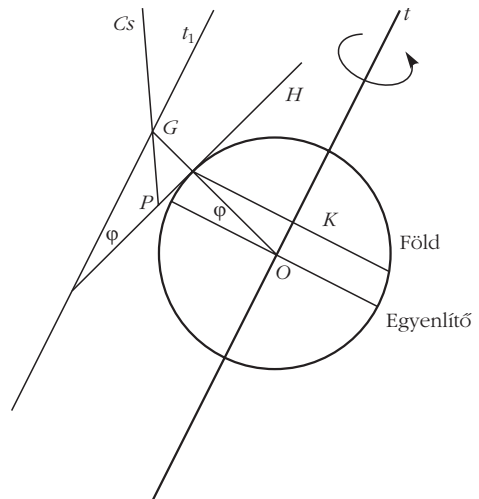


1. ábra. A gnómón árnyéka különböző helyen és időpontban.

## Kis térgeometria

Fogalmazzuk meg a problémánkat általánosabban! Egy  $Cs$  égitestet figyelünk meg, amely a nap folyamán végighalad az égbolton. Az égitest tartózkodási helyét és a pálcá  $G$  végpontját egyenessel Összekötve, az a  $P$  pontban dőli a  $H$  vízszintes síkot. Vajon ez a dőléspont milyen alakzatot rajzol a síkon az égitest látszó mozgása közben? Ezzel elvonatkoztatunk attól, hogy az égitest vet árnyékot vagy sem.

A 2. ábra arra az időpontra vonatkozik, amikor a csillag éppen delel. Mitől is van, hogy az árnyék elmozdul? Földünk egy gömb, amely egy fix  $T$  tengely körül forog, miközben ellipszispályán halad a Nap körül. A napi előrehaladás a környező égitestek távol-



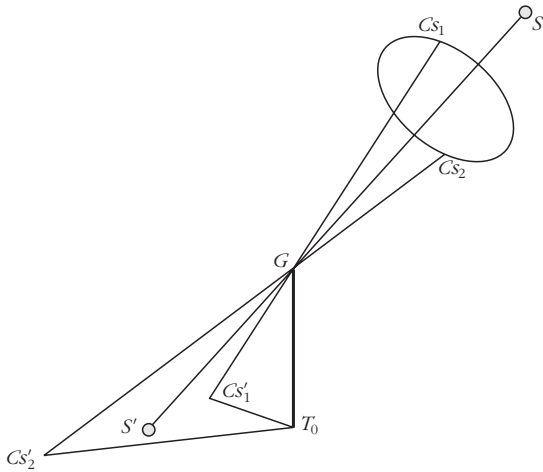
2. ábra. A Föld forgása a horizonttal együtt.

ságához képest csekély mértékű, ezért ezt most elhanyagolhatjuk.

A Földön a tartózkodási helyünkhöz illesszünk egy  $H$  érintősíkot, ez a helyi horizont, azaz a vízszintes talaj. Ebből áll ki pálcá, aminek egyenesé átmegy Föld középpontján. Ez az egész lassan, egy nap alatt egyszer körbefordul a Föld forgástengelye körül, miközben a látható égitestek lényegében helyben maradnak. A gnómón csúcsa és talppontja tehát egy-egy kört ír le egy nap alatt, amelynek sugara a Föld forgástengelyé-

3. ábra. A csillagok látszó mozgása. Forrás: <http://embers-eg.webnode.hu/news/sarkcsillag-es-goncoldszeker/> (föül) és <http://www.keptelenseg.hu/fotok/csillagkepek-90132> (alul).





4. ábra. A csillag mozgása a képzeletbeli kettős kúppal.

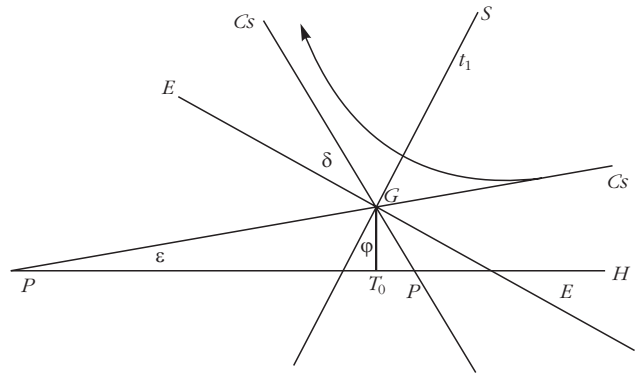
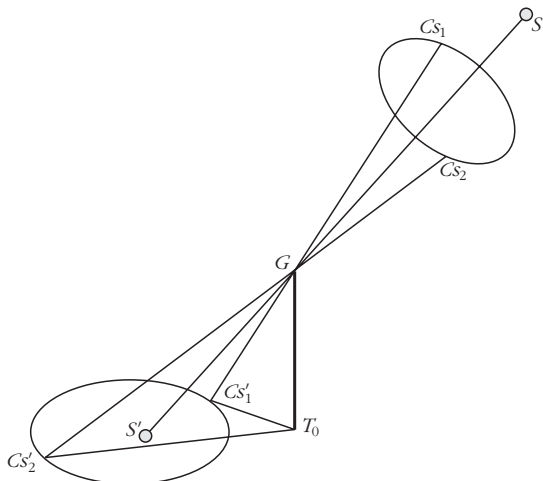
től mért távolsága. Mivel e kör mérete is kicsi az egyéb csillagászati távolságokhoz, például a naptávolsághoz képest, egyszerűbb, ha a forgást a  $T_1$  tengely körülnek tekintjük. (A 2. ábrán a gnmón hossza lényegesen nagyobb a valóságos helyzetnél, hogy a horizont sávjára kerülő vetület érzékelhető legyen.)

Az ábrán látható  $\varphi$  szög két helyen jelenik meg. (Az egyenlítő síkja és a gnmón egyenese által bezárt szög, valamint a Sarkcsillag iránya és a horizont síkja által bezárt szög, lásd később.)

Ha a fentiek szerint kell leírni, hogy a  $P$  pont a  $H$  síkon milyen görbét rajzol a nap folyamán, igen nehéz helyzetbe kerülünk. Bármilyen furcsa, ezúttal egy álló Föld és a körülötte forgó csillagrendszer sokkal egyszerűbb képet fest. De ebben a szemléletben csupán a mozgás relatív volta miatt járunk el így, korántsem térünk vissza a geocentrikus világméretű képhez. Nézzük meg a 3. ábra képeit!

A két kép a csillagos égboltról készült. Az egyik a 20. szélességi fok táján, a másik az Egyenlítőn. Az első képen láthatóan vannak olyan csillagok, amelyek nem kerülnek a horizont alá. Ezek a cirkumpoláris csillagok. Ha az első képen például a fa lenne a gnmón, akkor annak csúcsát kötnénk össze egy csillaggal, amely egy kört ír le a nap folyamán. Jól érzékel-

6. ábra. A gnmón árnyéka kúpszelet.



5. ábra. Egy csillag mozgása a Földről nézve.

hető, hogy egy képzeletbeli kettős kúpot kapunk, ahogyan az a 4. ábrán látható. A csillag  $Cs_1$  helyzetének „árnyéka” a  $Cs'_1$ ,  $Cs_2$  helyzetének „árnyéka”  $Cs'_2$ . A  $S$  Sarkcsillag „árnyéka” mindig  $S'$ .

Az 5. ábra a fentiek metszetét mutatja, kiegészítve az Egyenlítő és a horizont síkjának vetületével. A  $Cs$ – $Cs$  egyenesek ugyanazon csillag irányát mutatják a felső és alsó delelés helyzetében. A kettős kúpot úgy kapjuk, hogy a gnmón, az  $E$  Egyenlítő és a  $H$  horizont állva marad, miközben minden más a  $T_1$  tengely körül egy nap alatt egyszer térben körbefordul, ahogyan a görbe nyíl mutatja.

A Föld az  $S$  északi pólus felől nézve az óramutató járásával ellentétesen forog. Forgása közben a  $Cs$  csillag irányát folyamatosan összekötve a gnmón csúcsával egy kettős körkúp palástját kapjuk, amelynek metszete a  $H$  horizont síkjával éppen a keresett görbét adja. Azaz, ha egy csillag által vetített árnyékot jelölgetnénk, egy kúpszeletet kapnánk. A 6. ábra egy kúp metszetét mutatja, ahol az alkotók a  $Cs$ – $Cs$  egyenesek, a  $H$  sík pedig egyenesnek látszik. A  $P$ – $P$  pontok közötti szakasz az árnyékvonala vetülete. Tehát a gnmón árnyékára vonatkozó kérdést általánosságban megválaszolhatjuk: a vízszintes síkra merőlegesen leszúrt pálca végpontjának árnyéka egy kúpszelet. Már csak arra keressük a választ, hogy milyen kúpszelet.

## Kúpszeletek

Hajós György *Bevezetés a Geometriába* [1] című könyve elég tág teret szán a kúpszeleteknek. Kúpszerű testről beszélünk, ha egy folytonos zárt síkgörbét veszünk, valamint a síkon kívül egy pontot. A ponton és zárt síkgörbe egyik kerületi pontján egy egyenest fektetünk át. Az egyenest végigvisszük a görbe minden pontján, miközben a külső ponttal folyamatosan érintkezik. A zárt görbe ezúttal kör. Esetünkben jobbnak látszik a körkúpnak egy ezzel egyenértékű származtatása. Vegyünk két egymást metsző egyenest, esetünkben az egyik a Sarkcsillag irányába mutat. A metszéspontot a gnmón csúcsába helyezzük. A második egyenest – az első mint tengely körül – forgassuk körbe! A kapott kúp nyílásszöge a két egyenes

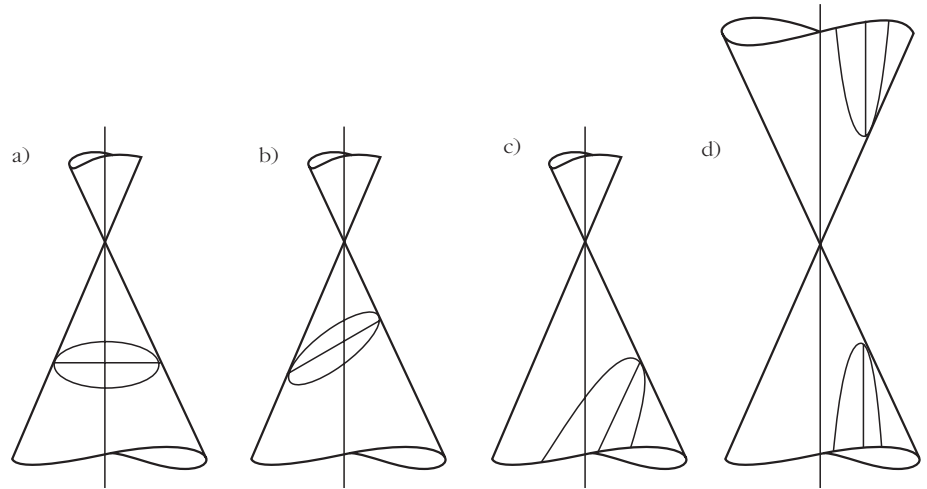
által bezárt szög. Ez annál nagyobb, minél távolabb van a csillag iránya a sarkcsillag irányától. A kúp tengelye a Föld tengelyével párhuzamos. Ezt a kúpot vágjuk el a horizont síkjával.

Egy kettős körkúp és egy sík közös részéről beszélünk. Kúpszeletek közé soroljuk a következő alakzatokat: pont, egyenes, kettős egyenes, kör, ellipszis, parabola, hiperbola. Az első három abban az esetben adódik, ha a kúpot metsző sík illeszkedik a kettős-kúp csúcsára. Ilyen esetekben nem fordul elő, mert a metsző sík – a horizont – a gnómón talppontjára illeszkedik, kúp csúcsa pedig a gnómón csúcsa egyben. Tehát a valós esetekben: kört, ellipszist, parabolát, hiperbolát kapunk. Így most csak azt kell tárgyalnunk, hogy milyen körülmények határozzák meg, hogy melyik esettel van dolgunk. Fontos megjegyezni, hogy létezik egy elfajult eset, amelynél a kúpot származtató két egyenes merőleges egymásra. Ekkor a kúp palástja síkká fajul. A horizont síkjával való metszete egyenes.

A 7. ábra mutatja azokat az eseteket, amelyek kérdésünk megválaszolásában számításba jönnek. A kúp tengelyét a Sarkcsillag iránya adja, amely az ábrán ezúttal mindig függőleges. Hozzá képest látjuk elhajolni a metsző síkot, ami a horizont.

Az a) eset azt mutatja, hogy a póluson állva milyen a helyzet. A b) eset egy olyan konstellációt mutat, ahol az adott csillag mindvégig a horizont fölött marad. A c) határeset, amelynél a csillag épp a horizontot érinti egy ponton. Ekkor a metsző sík a kúp egyik alkotójával párhuzamos. A d) pedig olyan csillag esete, amely látható a horizont felett, de a nap egy részében a horizont alatt van. A b) és c) eseteket az úgynevezett cirkumpoláris csillagokat jellemzik. Az a), b), c), d) esetek rendre ugyanazon csillagról szólnak, miközben az északi pólustól az Egyenlítő felé haladunk. A d) eset kivételével a csillag mindvégig a horizont felett marad.

Egyik ábra sem mutatja, de az is nyilvánvaló, hogy a kúp nyílásszöge csillagról csillagra változik. A tengelyhez közelebbiek kicsi, a távolabbiak nagy nyílásszögű kúpot alkotnak. Van olyan extrém eset is, amelynél a palást egy síkká fajul (az Egyenlítő síkjában), sőt 90 foknál is nagyobbak adódnak a kúp nyílásszöge (a déli félteke csillagainál).



7. ábra. A kúpszeletek 4 esete (<http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/matematika/matematika/matematika-11-osztaly/forgaskuppalast-sikkal-valo-metszetei/kupszeletek-szemleltetese>).

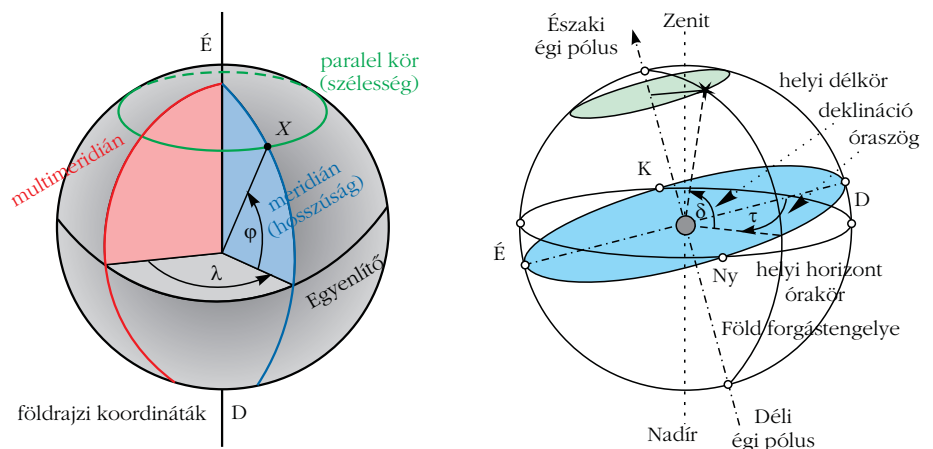
A csillag tengelytől való távolsága, azaz mekkora a kúp nyílásszöge, és a gnómón pólustól való távolsága – ez a horizont helyzetét változtatja a forgástengelyhez képest – dönti el, hogy a négy eset közül melyik érvényes a rajzolt árnyékvonalra.

## Földi és égi koordináta-rendszerek

A pontos analízishez két koordináta-rendszert kell ismertetnünk. Az egyik a földi koordináta-rendszer, amely alapján a helyzetünket határozzuk meg, a másik az égi koordináta-rendszer, amely a csillag helyzetét mutatja meg. A földi koordináta-rendszer a Földhöz rögzített két koordinátát, azaz a földrajzi szélességet és a földrajzi hosszúságot jelenti. Számításainkhoz a földrajzi szélesség ismerete elegendő. Ez megadható úgy, hogy meghatározzuk, mekkora  $\varphi$  szöget zár be a Sarkcsillag iránya a horizont síkjával. Az Északi-sarkon  $90^\circ$ , az Egyenlítőn  $0^\circ$  (lásd 2. és 8. ábrát).

Az égi koordináta-rendszer hasonló a földihez, de ez a csillagokhoz rögzített, úgynevezett ekvatoriális rendszer. Két koordinátája a rektaszcenzió és a  $\delta$

8. ábra. A földi és az égi koordináta-rendszer.





deklináció. Ez utóbbi épp a Sarkcsillag és az adott csillag iránya között bezárt szög pótszögét jelenti. A Sarkcsillag esetében  $90^\circ$ , az égi egyenlítőn levő pontok esetében  $0$ . (Az égi egyenlítő – az ekvátor – a Föld egyenlítő síkjára.) A két koordináta-rendszert elképzelhetjük, mint koncentrikus gömböket, közös egyenlítő síkkal, közös pólussal. A belső gömb a Föld, a külső az állócsillagok gömbje. A belső egy csillagnap alatt körbefordul a külsőhöz képest a közös tengelyen.

A  $\varphi$  határozza meg, hogy a Földön északabbra vagy délebbre vagyunk, azaz milyen magasan áll a kúp tengelye, míg a  $\delta$ , hogy milyen közel van a csillag iránya a Sarkcsillag irányához.

Kérdésünk megválaszolásához az 5. ábrához hasonló ábrákat kell készítenünk jól megválasztott  $\varphi$  és  $\delta$  értékekkel. Az ábra jelöléseivel:

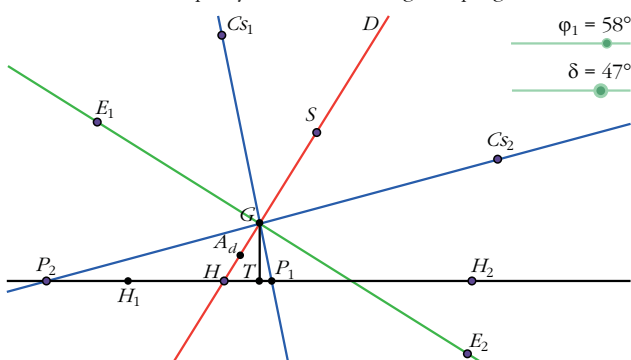
$$\varepsilon = \varphi + \delta - 90^\circ. \quad (1)$$

Az (1) egyenlet a kulcsa annak, hogy milyen kúpszelet keletkezik.  $\varphi$  és  $\delta$  egyaránt  $-90^\circ$  és  $90^\circ$  között változhat, ezért  $\varepsilon$  értéke  $-270^\circ$  és  $90^\circ$  között változhat, ugyanis  $\varepsilon$  a kúpot metsző sík és a kúp egyik alkotójának hajlásszöge. Ha  $\varepsilon > 0$ , akkor a metszet kör vagy ellipszis. Ha  $\varepsilon = 0$ , akkor parabola,  $\varepsilon < 0$  esetén hiperbolát kapunk.

## Geogebra

A különböző helyzeteket síkmetszetben ábrázoljuk a Geogebra program [2] segítségével. Először egy általános helyzetet válasszunk! Paraméterként felvesszük a  $\varphi$  és  $\delta$  szögeket, mindkettő  $-90^\circ$  és  $+90^\circ$  között változhat. Vízszintesen az  $X$  tengelyre helyezzük a  $H_1$  és  $H_2$  horizont vetületét. Kijelöljük a gnómón  $G$  csúcsát. Ezen keresztül – a vízszinteshez  $\varphi$  szöggel – felvesszük a pólus irányát az  $S$  ponton át. Erre merőlegesen az Egyenlítő síkjának  $E_1$ ,  $E_2$  vetületét. Ehhez képest  $\delta$  szöggel a  $C_{S_1}$  és  $C_{S_2}$  csillagirányokat, amelyek  $P_1$  és  $P_2$  ponton metszik a horizont vetületét. A beépített  $\varphi$  csúszkával tehát a Föld felületén észak–déli mozoghatunk, valamint a  $\delta$  csúszkával pedig tetszőleges csillagirányt jelölhetünk ki. Közben a  $P_1$  és  $P_2$  pontok helyzete megfelelő módon változik (9. ábra).

9. ábra. Az alaphelyzet felvétele Geogebra programmal.



A térbeli kettős kúp síkkal történő metszetén a megfelelő kúpszeletek a Dandelin-féle gömbök [3] segítségével mutathatók meg. A két Dandelin-gömb egyaránt érinti a kettős kúp palástját és a metsző síkot. A síkon levő érintési pont az adott kúpszelet  $F_1$  és  $F_2$  fókuszpontja. Könnyű belátni, hogy metszetünkön a  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $G$  háromszög beírt és hozzáírt köre a Dandelin-gömbök vetülete. A háromszög beírt és hozzáírt körének középpontja a megfelelő szögfelezők metszéspontja, amit a Geogebra-ban könnyedén megszerkesztünk. (Az ábrán a segédvonalakat nem tüntettük fel.) A középpontokból a  $H_1$ ,  $H_2$  síkra (vetületben egyenesre) emelt merőleges megadja a fókuszpontokat. Ez utóbbi szerkesztés menete a Geogebra algebra-ablakában végigkövethető. A két fókusz és egy kúpszelet pont ( $F_1$ ,  $F_2$ , valamint  $P_1$  vagy  $P_2$ ) szerkeszthetővé teszi a kúpszeletet. A kúpszelet az ábrán csak vetületben lenne látható, de az  $X$  tengely körüli  $90$  fokos elforgatással valódi nagyságban szerkeszthető.

A Geogebra szerkesztett ábrái sokféleképp menthetők, az egyes képek pdf formátumban akár papíron is megjeleníthetők. Motion gif formátumban mozgó ábra jeleníthető meg, amely valamelyik kijelölt paramétert futtatja adott lépésenként, míg ggb formátumban a teljes szerkesztés megjeleníthető.

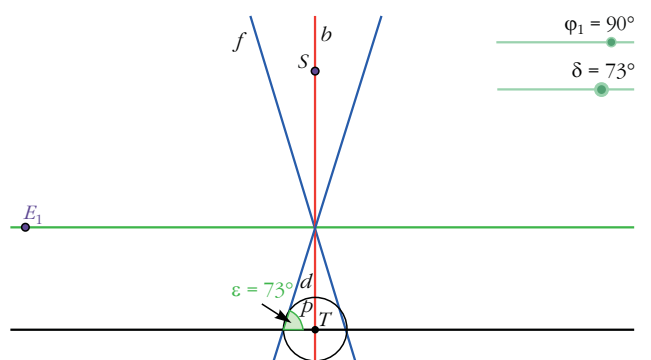
A Geogebra program a [https://drive.google.com/file/d/0B6SRh\\_JT1eq6X3BNTWNjbEhJT28/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/0B6SRh_JT1eq6X3BNTWNjbEhJT28/view?usp=sharing) link beírásával letölthető és alkalmazható.

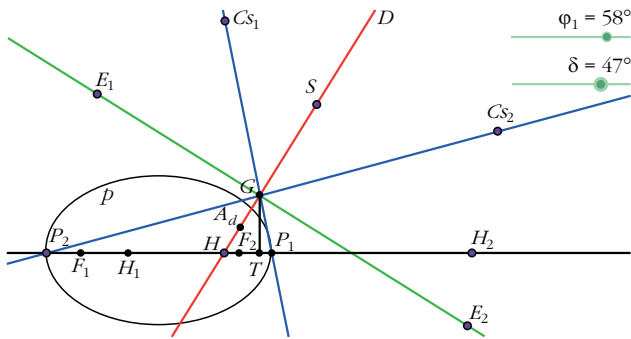
## Példák

Nézzük meg sorra az egyes eseteket, amelyek nyomán kiderül, hogy miért változik a gnómón csúcsának árnyéka az évszakok és a földrajzi helyzet változása nyomán.

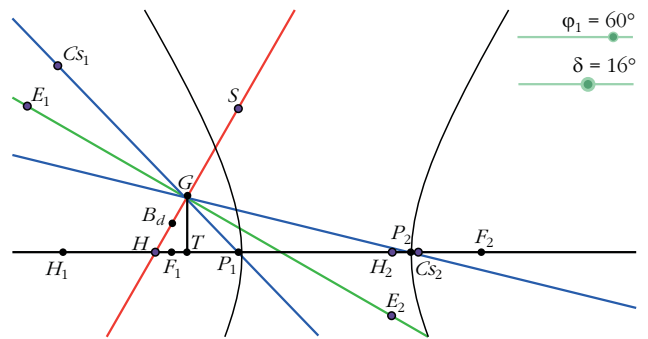
Vegyük a 7. ábra a) esetét  $\varphi = 90^\circ$ ,  $-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$ . Az Északi-sarkon állunk, fejünk felett a zeniten a pólus, amelyhez nagyon közel van egy csillag, a Sarkcsillag, amelyik nem mozdul el a Föld forgása során (10. ábra). A leszúrt pálca csúcsát vele összekötve a talpponthoz jutunk. A horizont merőleges a pólus irányára. A csillagok által vetett árnyék kört fog leírni. A kúpok nyílásszöge  $0$  és  $90^\circ$  közötti. A horizont a távolban egybeesik az ekvátor síkjával. Az (1) egyen-

10. ábra. Az Északi-sarkon állva.





11. ábra. Cirkumpoláris csillag vetített árnyéka ellipszis.



12. ábra. Hiperbolaág szerkesztése nem cirkumpoláris csillag esetére.

let szerint itt a  $\varphi$  értéke  $90^\circ$ , ezért  $\varepsilon = \delta$ . Minden csillag vetett árnyéka a horizonttal  $\delta$  szöget zár be. A sarkcsillaghoz közeliek majdnem merőleges, a horizont síkjához közeliek majdnem 0 fokosot.

Körülbelül 30 fokkal délebbre megyünk. A horizont fölött 60 fokra látszik a sarkcsillag,  $\varphi = 60^\circ$ . Vetített árnyéka egyetlen pont. Az (1) egyenlet szerint  $\varepsilon = \delta - 30^\circ$ . A 11. ábra  $\varphi = 58^\circ$ ,  $\delta = 47^\circ$  értékekkel ennek felel meg. A 7. ábra b) esetét valósítjuk meg. A csillag árnyéka ellipszist rajzol.  $\delta$  változtatásával változik az ellipszis alakja. Közelítve az  $\varepsilon = 0^\circ$  értékhez a csillag látszó mozgása során északon érinti a horizontot, az árnyék parabolába megy át.

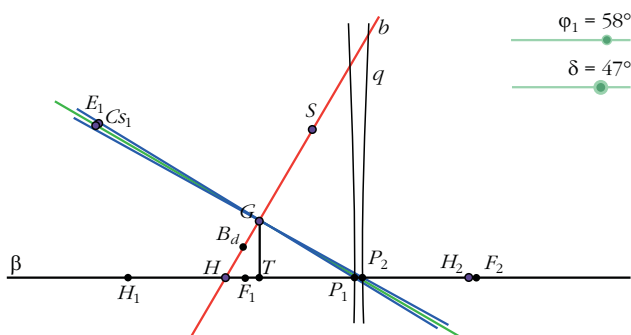
Az  $\varepsilon < 0^\circ$  esetében a horizont síkja mindkét félkúpot metszi, tehát a kapott árnyékgörbe hiperbola. A csillag ezen a szélességen nem cirkumpoláris. Természetesen árnyék csak a nyíl irányából jövő fénynél keletkezhetne, ezért csak az ábra bal oldali részén látható hiperbolaágat rajzolja az árnyék (12. ábra).

Keressünk olyan égitestet, amely az egyenlítő közelében van ( $\delta \approx 0^\circ$  közeli érték). A kúp nyílásszöge  $90^\circ$  körüli. A hiperbola ága kiegyenesedik.

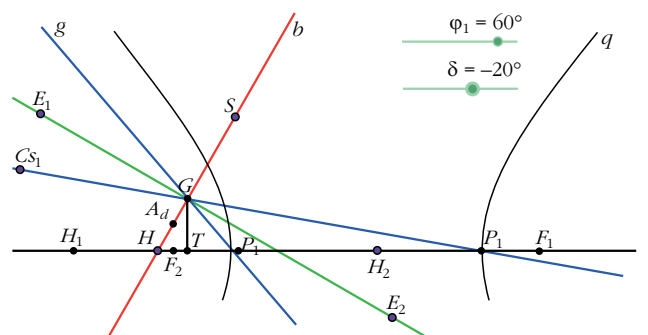
A  $\delta = 0^\circ$  eset különleges. A kúp félnyílásszöge  $90^\circ$ , azaz olyan „elfajult” esettel van dolgunk, ahol a kúp palástja egy síkká alakul, így két sík metszésvonala alakítja az árnyékvonalat, és egyenest kapunk. A 13. ábrán a  $\delta = 1$  állapotot vettünk.

A  $\delta < 0$  eddig nem szerepelt. A pólustól indulva nyitjuk szét a kúpot, egyre nagyobb nyílásszögűre. A  $90^\circ$  után továbbfeszítjük. Ismét normális (nem elfajult) kúpot kapunk (14. ábra). Az ilyen kúp a 7. ábra c) esetéhez hasonló metszetet mutat, azzal a különbséggel, hogy a csillag a horizont felett állásakor a hiperbola jobb oldali vonalát rajzolja.

13. ábra. Elfajult eset az Egyenlítőn látható csillag árnyékvonala.



14. ábra. Az Egyenlítő alatt látható csillag árnyékvonala.

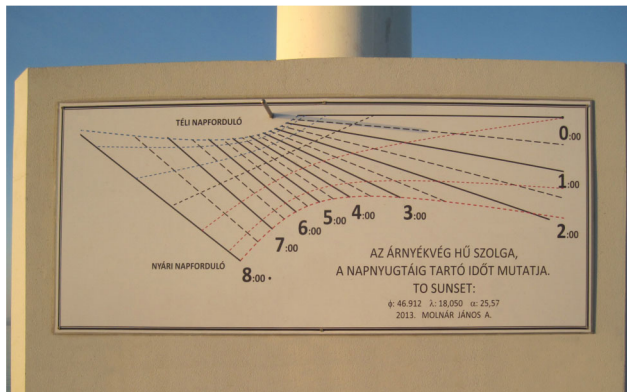


További eseteket terjedelmi okok miatt nem ábrázolunk. Érdekes lehetne az Egyenlítőn vagy a déli féltekén taglalni az egyes csillagok árnyékkúpját.

## A gnómón árnyékának alakja, ha a Nap a csillag

Áttérünk a címünkben megjelölt fő kérdés tárgyalására. Milyen vonalat rajzol a Nap által vetett árnyék? A Nap mindig az ekliptika síkjában van. Az ekvátor ehhez képest  $23,5$  fokkal dől, mert a Föld forgástengelye  $66,5$  fokot zár a pályasíkhöz (ekliptikához) képest. Ez okozza az évszakok váltakozását. A Föld keringése során kétszer látjuk a Napot az Egyenlítőn, a tavaszi és őszi napéjegylenlőség idején. Nyáron a Nap az egyenlítő fölött, télen alatta látszik. Szélső helyzetben, a nyári és téli napforduló idején  $23,5$  fokkal fent, illetve ugyanannyival lent. Az 1. ábra Siófokon készült képe a nyári napfordulóhoz közeli időpontban készült. A Nap az Egyenlítő felett volt. Az árnyékvonal a 12. ábra kategóriájába tartozik és hiperbola. Az augusztus 17-én készült kép jóval közelebb állt a napéj egyenlőség időpontjához. A Nap még az Egyenlítő felett, de ahhoz nagyon közel mozgott az égbolton, az árnyékvonal majdnem egyenes. A 13. ábra mutat hasonlót. A karácsonyhoz közeli mérés Székesfehérváron éppen a téli napforduló idejére esik, ami a 14. ábra szerinti vonalat eredményezte.

Példánkban csak néhány esetet elemeztünk, alátámasztva a vizsgált helyzeteket. Érdekes lenne például az Egyenlítőn, vagy az északi sarkkörön az árnyékvonal alakja. A sarkkörön a Nap egy napon nem nyugszik le, és egy másik napon, fél évvel később nem kel



15. ábra. Napóra vízszintes gnómónnal a síófoki móló végén.

fel. Másképpen fogalmazva a sarkkörtől északra a Nap cirkumpoláris égitestté válik. Ekkor valóban ki tudja rajzolni a megfelelő ellipszist. A helyzet azonban

ennél érdekesebb. A Nap felkel egy ponton, csigavonalban emelkedik, majd süllyedni kezd és lenyugszik. Télen viszont egy időre eltűnik, amikor persze a Déli-sark környékén viselkedik hasonlóan, de ellentétes fázisban.

Méréseinket vízszintes talajon, függőleges pálcával végeztük. Diszkutálhattuk volna a jelenséget függőleges síkkal és arra merőleges pálcával. Ha a síófoki móló végén található napórához elmegyünk, annak függőleges falán találunk egy ilyen vízszintes helyzetű gnómónt, táblájára vésve láthatjuk a különböző időszakokhoz tartozó vonalakat, amelyek természetesen szintén kúpszeletek (15. ábra).

#### Irodalom

1. Hajós György: *Bevezetés a geometriába*. 9. kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
2. <https://www.geogebra.org/>
3. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Dandelin-g%C3%B6mb>

## CSATOLT REZGÉSEK

Kedves barátom, Skrapits Lajos tanár úr emlékére

Schipp Ferenc  
ELTE IK Numerikus Analízis Tanszék

### A szabadon eső rugó fizikája

Húsz évvel ezelőtt az ELTE Általános Fizika Tanszék hagyományos téli visegrádi konferenciáján Skrapits tanár úr egy érdekes, és első pillanatra meglepő, kísérletet mutatott be. A kísérletet filmen rögzítették, azt Medgyessy Gábor, a tanszék mérnöke gondosan megőrizte és rendelkezésemre bocsátotta. Az 1. és 2. ábra képei a film alapján készültek.

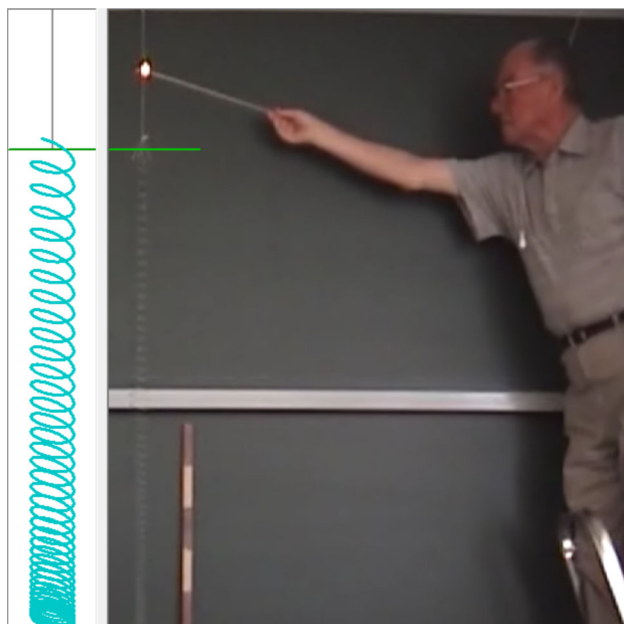
Az 1. ábra bal oldalán egy felfüggesztett hosszú rugó látható, amely súlyánál fogva 1,29 méterre megnyúlik és felveszi egyensúlyi helyzetét. Skrapits tanár úr elégeti a tartó szálát és a 2. ábra 8 felvétele mutatja, mi történik ezután. Látható, a rugó oly módon húzódik össze, hogy az alja egy ideig (0,3 másodpercig) helyben marad. Miután a rugó teteje eléri az alját az egész szabadon esik tovább. A kísérlet során készített felvétel alapján rekonstruált rugóadatokat a 2. ábra képein tüntettük fel.

A matematikai modellben a rugót  $N$  részre bontva az  $x_k(t)$  ( $t \geq 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ ) függvényekkel leírjuk

az  $m$  tömegű részek időbeli mozgását. A  $k$ -ik tömegpontra a gravitációs erő és a csatlakozó egy vagy két rugó feszítő ereje hat. Ha  $1 < k < n$ , akkor a  $k$ -ik tömegpontra az alatta és felette lévő rugók feszítő ereje, míg az  $N$ -ikre csak a felette lévő, az elsőre pedig rögzített esetben a gravitációs erőn kívül a rögzítő fonál is hat.

Azonos  $d$  rugóállandókat feltételezve és az egyes tömegpontokra felírva Newton 2. törvényét a csatolt

1. ábra



Schipp Ferenc Széchenyi-díjas matematikus az ELTE IK Numerikus Analízis Tanszék professzor emeritusa, az MTA doktora. Több mint 150 tudományos dolgozat, két angol nyelvű monográfia és számos egyetemi tankönyv és jegyzet szerzője, illetve társszerzője. Többek között a harmonikus és diadikus analízis, a Fourier-sorok, a rendszer- és irányításelmélet, a numerikus módszerek, a jel- és képfeldolgozás elméleti kérdéssel és alkalmazásaival foglalkozik.

rezgéseket leíró alábbi lineáris inhomogén differenciálegyenlet-rendszert kapjuk:

$$\begin{aligned} m \ddot{x}_1 &= F + m g + d(x_2 - x_1) \\ &\vdots \\ m \ddot{x}_k &= m g + d(x_{k+1} - x_k) - d(x_k - x_{k-1}) \\ &\vdots \\ m \ddot{x}_N &= m g - d(x_N - x_{N-1}), \end{aligned} \quad (1)$$

ahol  $F$  a fonál által kifejtett erőt jelöli és  $1 < k < N$ . Az (1) differenciálegyenlet-rendszer a

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \alpha^2 \frac{\partial^2 x}{\partial y^2} + b$$

hullámegyenlet diszkretizációjából is származtatható, ha a  $\partial^2 x / \partial y^2$  parciális deriváltat a

$$(\Delta^2 x)_n := x_{n+1} - 2x_n + x_{n-1} \quad (2)$$

$$(x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \in \mathbb{R}^N, n = 1, 2, \dots, N)$$

másodrendű differencia-operátorral helyettesítjük, ahol az  $x \in \mathbb{R}^N$  vektort az  $x_0 := x_1, x_{N+1} := x_N$  szabály (diszkrét peremfeltétel) szerint kiterjesztjük. Ezt felhasználva az (1) differenciálegyenlet-rendszer

$$\ddot{x}(t) = \alpha^2 (\Delta^2 x)(t) + b \quad (x(t) \in \mathbb{R}^N) \quad (3)$$

alakba írható át. Az  $x^0 \in \mathbb{R}^N$  vektort a (3) differenciálegyenlet-rendszer *egyensúlyi helyzetének* nevezzük, ha megoldása az

$$\alpha^2 \Delta^2 x^0 + b = 0 \quad (4)$$

lineáris algebrai egyenletrendszernek. Ekkor a  $\phi_0(t) := x^0$  ( $t \geq 0$ ) konstans függvény nyilván megoldása (3)-nak. Könnyű belátni, és fizikai jelentés alapján nyilvánvaló, hogy a (4) egyenletrendszernek csak akkor van megoldása, ha  $F = -Nm g$  és ekkor

$$x_n^0 = \frac{1}{2} (2N - n)(n - 1) \frac{g m}{d} \quad (5)$$

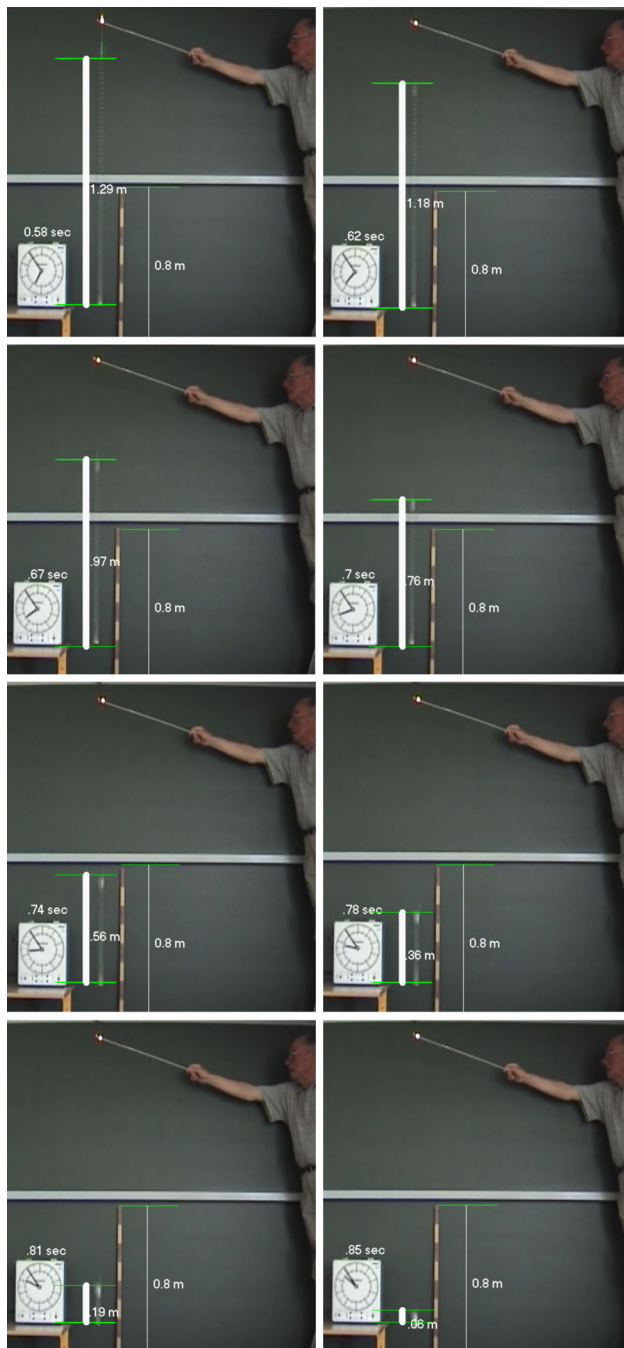
$$(n = 1, 2, \dots, N)$$

kielégíti a (4) egyenletet, amiről közvetlenül is meggyőződhetünk. A filmről készült fényképeken a rugó rozszul látható, ezért azt az egyensúlyi feltételből adódó (5) kezdeti feltételek alapján rekonstruáltuk és az 1. ábrán szemléltettük a kezdeti időpont állapotát.

Áttérve az  $y_n(t) := x_{n+1}(t) - x_n(t)$  ( $t \geq 0, 1 \leq n < N$ ) különbségekre (3) a következő

$$\ddot{y}(t) = \mathbf{A} y(t) + b^1, \quad (6)$$

$$\ddot{x}_1(t) = g + \frac{F}{m} + \alpha^2 y_1(t) \quad (y(t) \in \mathbb{R}^{N-1})$$

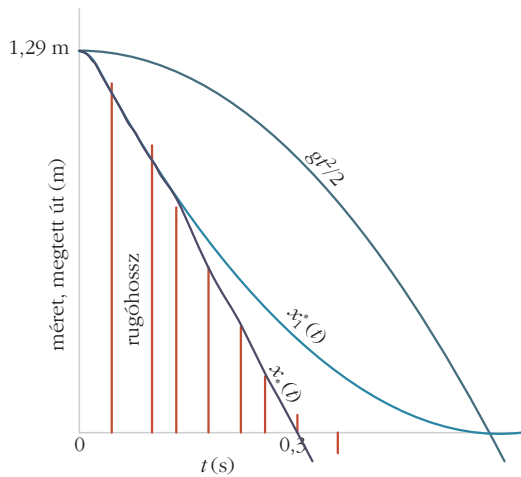
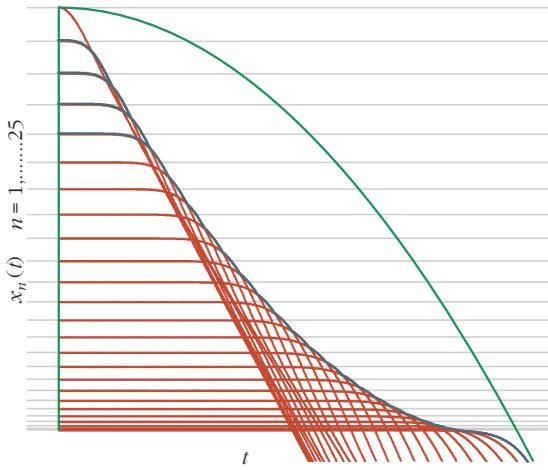


2. ábra

differenciálegyenlet-rendszerre vezethető vissza, ahol  $b_n^1 := b_{n+1} - b_n$  ( $1 \leq n < N$ ), továbbá

$$\mathbf{A} := \mathbf{A}_{N-1} := \begin{pmatrix} -2 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

és  $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{(N-1) \times (N-1)}$ .



3. ábra. Az egyes elemi rugódarabok esése (föül) és a rugó összehúzódása, az  $x(t) = \max\{x_n(t) : 1 \leq n \leq 5\}$  közelítés, az  $x_1^*$  alsó burkoló, valamint a szabadesés grafikonja (alul).

Az  $\mathbf{A}$  tridiagonális mátrixokat széles körben alkalmazzák differenciálegyenletek numerikus megoldásában [3–5]. *Egerváry Jenő* elsőként felismerve jelentőségüket, akadémiai székfoglalójában [2] külön fejezetben foglalkozik ezekkel, meghatározva sajátértékeiket és sajátfüggvényeiket. Ezeket felhasználva az  $x_n(t)$  ( $t \geq 0$ ) függvények explicit alakban adhatók meg:

$$x_n(t) = \frac{1}{2} g t^2 + \phi_n(t),$$

$$\phi_n(t) := \frac{g m}{d} \sum_{j=1}^{N-1} \left( \theta_1 \left( \frac{j\pi}{N} \right) - \theta_n \left( \frac{j\pi}{N} \right) \cos(\alpha \omega_j t) \right) \quad (8)$$

( $t \geq 0$ ),

ahol

$$\omega_j := 2 \sin \left( \frac{j\pi}{2N} \right),$$

$$\theta_n(x) := \frac{\cos((n-1/2)x) \cos(x/2)}{2 \sin^2(x/2)} \quad (9)$$

$$\left( \alpha = \sqrt{\frac{d}{m}}, \quad 0 < x < \pi, \quad 1 \leq n \leq N \right).$$

Az  $\mathbf{A}_{N-1}$  sajátértékei a  $\lambda_k = -\omega_k^2$  ( $1 \leq k < N$ ) számok, a  $v_k = (v_{1k}, v_{2k}, \dots, v_{(N-1)k})^T$ ,  $v_{jk} := \sin(jk\pi/N)$  ( $1 \leq j, k < N$ ) sajátvektorai azonosíthatók a diszkrét trigonometrikus rendszerrel. Ennek és az (5) speciális kezdeti feltételnek köszönhetően felhasználhatók a konjugált Dirichlet- és Fejér-féle magfüggvények [6], [8] és ennek alapján megkaphatjuk a (8) zárt formulát.

A 3. ábrán szemléltetjük az  $x_n(t)$  ( $t \geq 0$ ) függvények grafikonját  $N = 25$  választás mellett és ugyanitt ábrázoltuk a  $g t^2/2$  ( $t \geq 0$ ) függvényt. A kinyújtott rugó hosszát  $x_{25}^0 = 1,29$  méternek véve  $\alpha = 47,8 \text{ s}^{-1}$ -nek adódik.

A kísérleti eredmény úgy interpretálható, amint azt az ábra is mutatja, hogy az  $x_n(t)$  függvények egy  $n$ -től függő  $[0, t_n]$  intervallumon közelítőleg állandók. Ez azon meglepő tulajdonság következménye, hogy az  $x_n$ -ek a  $t = 0$  pontban  $(2n-1)$ -ed rendben érintkeznek a konstans függvénnyel:

$$x_n^{(j)}(0) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, 2n-1), \quad (10)$$

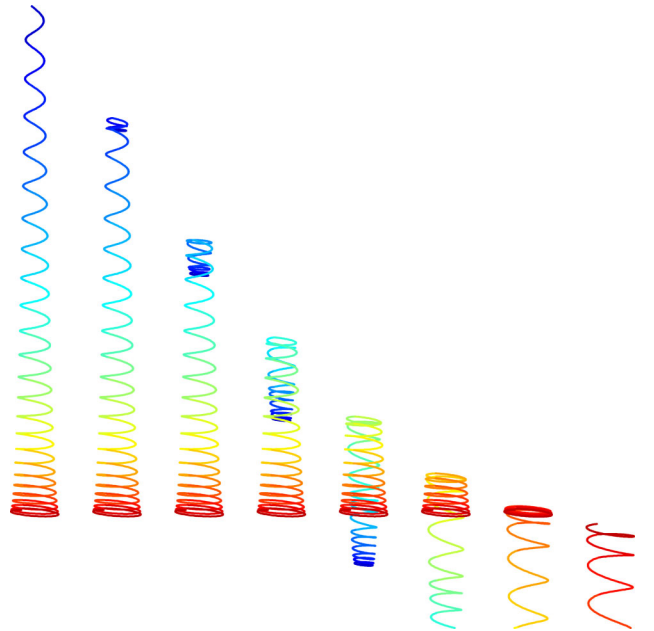
$$x_n^{(2n)}(0) \neq 0.$$

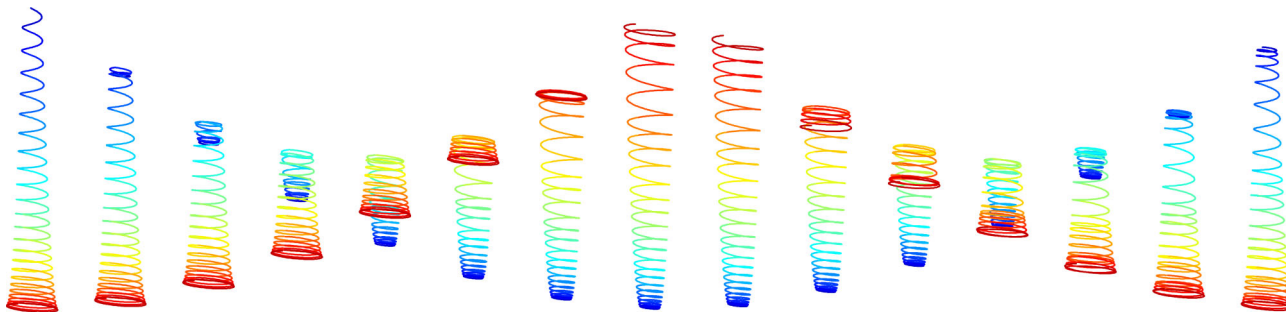
Megjegyzem, a 3. ábra alapján látható, hogy a tömegpontok az esés során ütköznek és erről a leírt modell nem ad számot. Érdeemes lenne ezt figyelembe véve módosítani az itt ismertetett modellt. Az  $x_n(t)$  ( $t \geq 0$  és  $1 \leq n \leq N$ ) függvények helyett a

$$x_n^*(t) := \min\{x_k(t) : n \leq k \leq N\}$$

alsó burkolókat véve a rugó összehúzódásának egy jobb leírását kapjuk. Ezeket szemléltetjük a 3. ábrán. A numerikus számítások azt mutatják, hogy az alsó burkolóknak létezik határértéke, ha  $N \rightarrow \infty$ .  $N = 25$  esetén már a határérték egy jó közelítését kapjuk. A 3. ábra alsó részén a kísérleti adatokat, az  $x_1^*(t)$  ( $t \geq 0$ ), valamint az  $x(t) = \min_{1 \leq n \leq 5} x_n(t)$  ( $t \geq 0$ ) függvény

4. ábra. Csonkakúp alakú rugó esése.





5. ábra. Csonkakúp alakú rugók rezgései a mozgó koordinátarendszerben.

grafikonját szemléltetjük, amely a mérési adatok egy jobb közelítését adja.

A jelzett probléma formális kezelése helyett a modellt a részek ütközését leíró feltétellel kellene kiegészíteni. Erre történik kísérlet a folytonos modell esetén az [1, 7] dolgozatokban.

Az itt bemutatott modell egy csonkakúp alakú rugó szabadesését írja le. Ebben az esetben a rugó részei nem ütköznek egymással. A (8) összefüggések alapján könnyen készíthetünk olyan animációkat, amelyek hűen tükrözik a kifeszített, csonkakúp alakú rugók szabadesését. A 4. és 5. ábrák az animációs program felhasználásával készültek.

Az 5. ábrán a  $\phi_n(t)$  ( $t \geq 0$  és  $1 \leq n \leq N$ ) függvények grafikonját szemléltetjük. Ezek írják le a rugó rezgéseit a (szabadon eső) mozgó koordinátarendszerben.

Felhasználva a szóban forgó differenciálegyenlet-rendszer speciális tulajdonságait a meglepő fizikai jelenség matematikai hátterét jelentő (10) tulajdonságot anélkül igazolhatjuk, hogy a differenciálegyenlet-rendszert megoldanánk.

A rugó egyensúlyi helyzetből induló szabadesését leíró kezdetiérték-probléma:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \alpha^2 \Delta^2 x + b(0), \\ x(0) &= x^0 \quad (\Leftrightarrow \alpha^2 \Delta^2 x^0 + b(F) = 0), \\ \dot{x}(0) &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

következésképpen

$$\ddot{x}(0) = b(0) - b(F) := c.$$

Megjegyezzük, hogy a  $c$  vektor koordinátáira

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{-F}{m}, \\ c_k &= 0 \quad (2 \leq k \leq N). \end{aligned}$$

Ennek alapján a megoldás Taylor-sorát explicit alakban írhatjuk fel. Nevezetesen a (11) egyenlethől  $2k$ -szor differenciálva azt kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} x^{(2k+1)}(0) &= 0, \\ x^{(2k+2)}(0) &= \alpha^{2k} \Delta^{2k} x^{(2)}(0) = \alpha^{2k} \Delta^{2k} c \quad (k \in \mathbb{N}). \end{aligned}$$

Innen a  $c_l = 0$  ( $l > 1$ ) feltételt figyelembe véve adódik (10).

A matematikai modelltől több érdekes trigonometrikus összefüggés következik. Például a (3) kezdeti feltétel ekvivalens az

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (2N - n)(n - 1) &= \sum_{j=1}^{N-1} \left( \theta_1 \left( \frac{j\pi}{N} \right) - \theta_n \left( \frac{j\pi}{N} \right) \right) \\ (1 < n < N) \end{aligned}$$

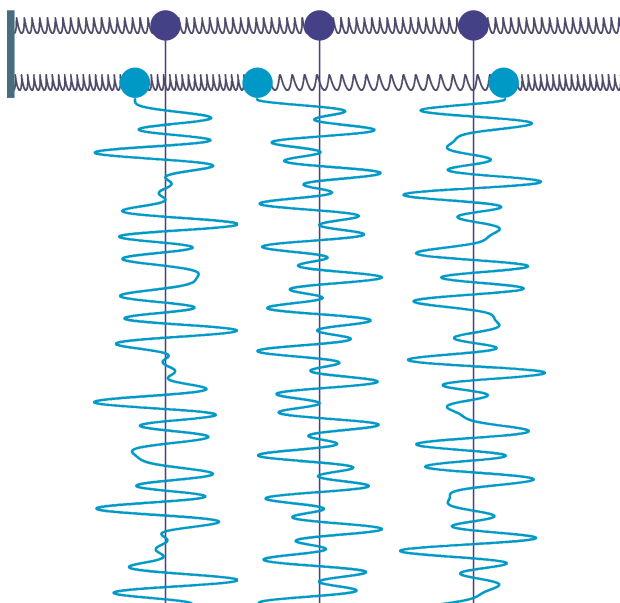
egyenlőséggel. Ezek az egyenlőségek elemi eszközökkel igazolhatók. Ugyancsak elemi eszközökkel megmutatható, hogy a (8)-ban adott függvények  $F = 0$  esetén kielégítik az (1) differenciálegyenlet-rendszert.

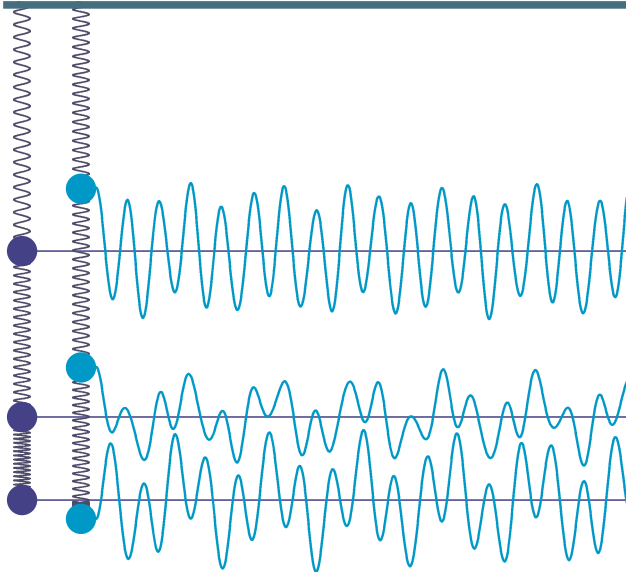
## Csatolt rezgések

Hasonló egyenletekkel írhatók le a mindkét végpontjában rögzített, illetve egy szabad végponttal rendelkező csatolt rezgések:

$$\begin{aligned} \text{i) } \ddot{x}(t) &= \alpha^2 \mathbf{A} x(t) + b, \\ \text{i') } \ddot{x}(t) &= \alpha^2 \tilde{\mathbf{A}} x(t) + \tilde{b} \quad (t \geq 0), \end{aligned} \quad (12)$$

6. ábra. Rögzített végpontú rendszer rezgései.





7. ábra. Szabad végpontú rendszer rezgései a gravitációs erőterében.

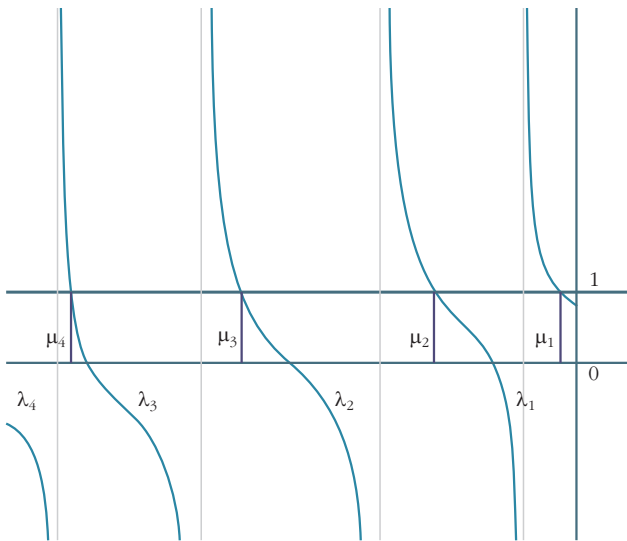
ahol az  $\tilde{\mathbf{A}}$  mátrix abban különbözik az  $\mathbf{A}$ -tól, hogy ennek jobb alsó eleme helyén  $-2$  helyett  $-1$  áll.

Az i) differenciálegyenlet-rendszer egy rögzített végpontú csatolt rendszer rezgéseit írja le. Ennek egyensúlyi helyzetét és megoldásait szemléltetjük a 6. ábrán.

A 7. ábrán egy három rugóból álló, egy szabad végponttal rendelkező rendszer egyensúlyi állapotát, és az abból kimozdított rendszer rezgéseit, az i) differenciálegyenlet-rendszer megoldásait, szemléltetjük.

Az  $\mathbf{A} = \mathbf{A}_{N-1}$  mátrix  $\lambda_k = -\omega_k^2$  ( $1 \leq k < N$ ) sajátértékei és  $v_k = (v_{1k}, \dots, v_{(N-1)k})^T$  sajátvektorait felhasználva egyszerűen meghatározhatók az  $\tilde{\mathbf{A}}$  mátrix  $\mu_k := \tilde{\lambda}_k$

8. ábra. Az  $F_\mu$  függvény grafikonja és a  $\lambda_k, \mu_k$  sajátértékek.



( $1 \leq k < N$ ) sajátértékei és  $\tilde{v}_k$  ( $1 \leq k < N$ ) sajátvektorai. Nevezetesen a sajátértékek az

$$F_\mu(z) := \sum_{j=1}^{N-1} \frac{|v_{j(N-1)}|^2}{z - \lambda_j} = 1$$

$$(z \in \mathbb{R}, z \neq \lambda_j, 1 \leq j < N)$$

egyenlet megoldásai:

$$F_\mu(\mu_k) = 1 \quad (1 \leq k < N),$$

$$\lambda_{N-1} < \mu_{N-1} < \dots < \lambda_1 < \mu_1 < 0.$$

A 8. ábra alapján nyilvánvaló, hogy a szóban forgó egyenletnek pontosan  $N-1$  megoldása létezik, amelyek (például intervallum-felezéssel) egyszerűen meghatározhatók.

A sajátvektorok:

$$\tilde{v}_k = \left( \frac{v_{1(N-1)}}{\mu_k - \lambda_1}, \dots, \frac{v_{(N-1)(N-1)}}{\mu_k - \lambda_{N-1}} \right) \quad (1 \leq k < N). \quad (13)$$

Ezeket felhasználva felírhatjuk az i) nulla sebességgel indított (az  $\dot{x}_n(0) = 0, 1 \leq n < N$ ) kezdeti feltételnek megfelelő megoldásait:

$$x_n(t) = \sum_{k=1}^{N-1} c_k v_{nk} \cos(\alpha \omega_k t) + x_n^0 \quad (14)$$

$$(1 \leq n < N, t \geq 0),$$

ahol  $x^0$  az i) egyenlet egyensúlyi helyzete, és a  $c_k$  állandók a helyre vonatkozó kezdeti feltételek alapján határozhatók meg. A  $\tilde{\lambda}_k = -\omega_k^2$  jelöléssel hasonló formulák adódnak az i) megoldásaira. Ezek alapján készültek a 6. és 7. ábra grafikonjai.

## Irodalom

1. R. C. Cross, M. S. Wheatland: Modelling a falling slinky. *arXiv:1208.4629v1*, 2012.
2. Egerváry Jenő: Mátrix függvények kanonikus előállításáról és annak néhány alkalmazásáról. (Akadémiai székfoglaló, 1953. I. 5.) *MTA III. Mat. Fiz. Osztály Közleményei* (1953) 417–458.
3. Kátai Imre: *Numerikus analízis*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
4. Rózsa Pál: *Bevezetés a mátrixelméletbe*. Typotex Kiadó, Budapest, 2009.
5. Stoyan Gisbert, Takó Galina: *Numerikus módszerek I, II*. ELTE-TypoTEX, Budapest, 1995.
6. Szőkefalvi-Nagy Béla: *Valós függvények és függvénysorok*. Polygon, Szeged, 2002.
7. W. G. Unruh: The Falling Slinky. *arXiv:1110.4368v1*, 2011.
8. A. Zygmund: *Trigonometric series*. Cambridge University Press, New York, NY, 1959.

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

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)

# BÚCSÚ SKRAPITS TANÁR ÚRTÓL

Tasnádi Péter – ELTE, Meteorológiai Tanszék  
Rajkovits Zsuzsa – ELTE, Anyagfizikai Tanszék

2016. február 1-jén hosszú betegség után elhunyt kedves barátunk, szeretett tanárunk, *Skrapits Lajos*.

Skrapits Lajos 1938. július 20-án született Szentpéterfán. Zsellér családból származott, hét testvére volt. Általános iskoláit Szentpéterfán, a gimnáziumot a szombathelyi Nagy Lajos Gimnáziumban végezte. 1957-ben lett az Eötvös Egyetem matematika-fizika tanár szakos hallgatója, és ötödéves korában már az Atomfizikai Tanszéken volt demonstrátor. Az egyetem elvégzése után 1962-ben az Atomfizikai Tanszékre került gyakornokként, majd 1963-ban tanársegéd lett. Azonnal bekapcsolódott a fizika tanításával foglalkozó kutatócsoport munkájába, amelynek később, hosszú ideig vezetője is volt. Időnap előtt, ereje teljében, adjunktusként került nyugdíjba 1999-ben.

A száraz adatok gazdag és nagyhatású életpályát takarnak, Skrapits Lajos egész életében egyetemi polgár volt, hallgatóként, tanárként és nyugdíjasként is elkötelezetten szolgálta az egyetemet, a Természettudományi Kart, a tanárképzést. Pályáíve egyenes volt. Tanár akart lenni, és a tanárképzésért akart dolgozni. Ezt a célt teljesítette egyetemi előadásaival, könyveivel, cikkeivel és szervező munkájával. Írt középiskolai és egyetemi tankönyveket és példatárakat. Szerkesztett a fizika tanításáról szóló konferenciakiadványt és évtizedekig készített fel diákokat nemzetközi versenyekre. Az Általános Fizika Tanszék Szakmódszertani Csoportjának vezetőjeként az Ő szervező munkájának is köszönhető, hogy a fizikatanárok képzése a viharos átalakítások ellenére megőrizte eredeti tartalmát, szakmai szerkezetét. Vezetőként többnyire háttérbe vonult, magát mindig, szerényen az oktatás közgazdájának nevezte. Mi, akik ismertük kimagasló oktatói munkáját, odaadását, a hallgatók elismerését, hiszszük, hogy tábornoki rangot érdemelt volna. Hosszú ideig volt a TTK Kari Tanácsának titkára, ebben a munkában is szolgálatot látott, amit időnként minden más feladata elé helyezett.

Önzetlenség és segítőkészség jellemezte. Amikor dolgozni kellett, mindig az elsők között volt, amikor az elismerésre került sor, gyakran háttérbe szorult. A számára legszebb díjat, a hallgatók elismerését azért megkapta, a hallgatók „A Kar Kiváló Oktatójává” választották.

Egyéni előrehaladását alárendelte a közösségnek, a tanárképzés ügyének. Nem vágyott tudományos karrierre, pedig éles esze, biztos fizikai érzéke alkalmasra tette rá. Öntörvényű emberként azonban csak azt tette, amit igazán fontosnak tartott. Tanítani akart. Kísérletfizika-előadásai színesek, érdekesek voltak, közvetlen, átütő egyéniségével akár száz fős hallgatószámot is megmozgatott, magával ragadott. *Eötvös Loránd* munkásságáról, az Eötvös-ingáról senki sem tudott olyan átéléssel és szakértelemmel beszélni, mint ő. Tanárgenerációk tanulták tőle a fizika szeretetét, köszönhetik neki a világos, rendszerezett tudást.



Hihetetlenül tisztán gondolkozott és készített jegyzeteket, kézírása kalligrafikusan szép volt, a régi falusi tanítók kézírására emlékeztetett. Lajos kék füzetek, amelyek előadásainak vázlatait tartalmazzák, sokunk számára adtak mintát saját előadásainkhoz. Igazi mestere volt a demonstrációs kísérletezésnek, hosszú délutánokat töltöttünk együtt a hallgatói laboratóriumokban és a másnapi kísérletfizika-előadások demonstrációjának összeállításával. A kísérleti bemutatókat mindig gondosan előkészítette, úgy gondolta, meg kell tisztelni a hallgatókat azzal, hogy csak az előző nap kipróbált kísérletekkel

állunk ki eléjük. Előadásait, kísérleti bemutatóit őrző videofelvételek még sokáig mintául szolgálhatnak.

Rengeteget tanultunk tőle. Fizikát és életörömet. Fizikából egyszerűséget, lényeglátást, kísérletező ügyességet és türelmet. Most is fülünkbe cseng a hangja, ahogyan egy-egy elbonyolított gondolatmenetre reagált: „A fizika nem lehet ilyen bonyolult!” Felejthetetlenek a tanszéki halászlék és a visegrádi szemináriumok estéi is. Az ultipartik és a nótázás. Kitűnően, vagányul ultizott, mulatva pedig megmutatta, hogy nem szégyen, ha a *Vén cigány* éneklésekor kicsordul a könnyünk.

Igazi közösségi ember volt. A Trefort-kert Ifjúsági épületében lévő kicsiny szobájába bármikor beülhettünk egy jó beszélgetésre, személyes gondjaink elpanaszolására. Türelme, együttérzése sokunknak segített. Lajos ösztönösen tudta a titkot, amit a Kis Herceg is csak megtanult: „jól csak a szívével lát az ember”. Ezért tudott vigasztalni, ezért volt rendkívüli összetartó ereje, s ezért tudta elsimítani szinte észrevétlenül a konfliktusokat. Nagyrészt neki köszönhetjük, hogy tanszékünk a karon is irigylet baráti közösséggé vált.



Idősödve méltánytalanságok érték. Az egyetemi szabályok kényszerű változása miatt korán, ereje teljében került nyugdíjba. Nem panaszkodott, csak kicsit rezignáltabb lett. Továbbra is bejárt, részt vett a tanszék életében, ha kértük előadást tartott és vizsgáztattott. Felügyelte a tanszéki demonstrációt, segítette a fiatal kollégákat a kísérletek összeállításában. Munkájának középpontjába ekkoriban a nemzetközi fizika-versenyek kerültek. A magyar csapattal a világnak szinte minden részébe eljutott. Varázslatos kapcsolat-teremtő ereje, átütő jókedve a nagyvilágban is érvényesült, a versenyekre érkező csapatvezetők arcán is felragyogott a mosoly, amikor üdvözölték, s meghívták baráti beszélgetésre, koccintásra. Nagyszerűen kommunikált, anyanyelve, a horvát mellett oroszul és angolul is jól beszélt, de néha úgy éreztük, hogy minden szláv nyelven tud, hiszen a szófiai pályaudvaron a bolgár bemondó szavát is értette.

Tehetsége nemcsak a természettudományos területre terjedt ki, érzékeny beleérző tanári képességét talán annak is köszönhetjük, hogy költő is volt, anyanyelvén írt verseket, és néhány szép magyar verset, többek között a *Családi Kört* horvátra fordította.

Mindkét nyelvet művészi módon használta és mindkét népeleke benne élt.

Azután jöttek a betegségek, s már kevesebbet találkoztunk. Életereje sok nehéz órán átsegítette, de minden betegséggel törékenyebbé, sebezhetőbbé vált. Magába fordult, sokat töprengett. Panaszkodni azonban soha nem panaszkodott. Lelke talán *Arany János* soraival vigasztalódott:

Ha egy úri löcsiszárral  
Találkoztam, s bevert sárral:  
Nem pöröltem,  
– Félreálltam, letöröltem.

Hiszen az útfélen itt-ott  
Egy kis virág nekem nyitott:  
Azt leszedve,  
Mégvolt szívem minden kedve.

Itt maradtokként csak sóhajteni tudunk, bárcsak még egyszer járhatnánk a kőszegi éjszakában vagy a szófiai napfényben.

Isten veled Lajos, nyugodj békében!

## A FENNTARTHATÓSÁG FIZIKÁJA FENNTARTHATÓSÁG AZ OKTATÁSBAN

### 59. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató – 2016. március 11–14.

Az ankétot a nyíregyházi Szent Imre Katolikus Gimnázium, Általános Iskola és Kollégiumban tartottuk. A 130 résztvevő rendkívül kedvező helyszínt talált: az előadások a gimnázium előadótermében, az eszközkiállítás a tornateremben, a műhelyfoglalkozások tantermekben, az étkezés az iskola éttermében, a szállás a kollégiumban, illetve a közeli Bessenyei Hotelben és a Hotel Sandra ifjúsági szállóban volt.

Az ankét előkészítésében és az esemény négy napján is folyamatosan segítséget kaptunk a vendéglátóktól, *Konzili Ignác* kollégiumvezetőtől, *Lajtosné Krajnyák Éva* és *Tamás Éva* gimnáziumi tanároktól. A Nyíregyházi Egyetem részéről *Beszeda Imre* tanszék-vezető és *Lajtos István* tanszéki mérnök állt rendelkezésünkre.

#### Első nap, március 11., péntek

A regisztráció előtt fakultatív programokat szerveztek a résztvevőknek. A LEGO-gyár mellett az Állatpark és az Aquarius Élményfürdő látogatása is a választható

programok között szerepelt, ez utóbbiakra azonban csak néhány jelentkező akadt. A gyárlátogatásra csak korlátozott létszámban, a jelentkezés sorrendjében volt lehetőség, de aki bejutott, annak nagy élményt nyújtott az ott töltött néhány óra. Kiváló vezetőnk sok-sok érdekes adattal gazdagította ismereteinket erről a különleges gyárról.

A délutáni regisztráció alatt, a hivatalos dolgok elintézése mellett örömmel köszöntöttük a régi ismerősöket és az új „ankétos kollégákat”.

Koraeste *Megyesi Mária* igazgatónő kedves szavakkal köszöntötte a résztvevőket, majd az ELFT Középiszkolai Szakcsoportjának elnöke, *Ujvári Sándor* megnyitotta az ankétot, és felkérte *Kürti Jenőt*, az ELFT alelnökét nyitóelőadásának megtartására.

Kürti Jenő a molekulák kvalitatív leírásáról bővítette ismereteinket, majd előzetes kérésünket teljesítve a gravitációs hullámokkal kapcsolatban tájékoztatott bennünket. Előadása után záporoztak a kérdések, amelyekre azonnal választ is kaptunk tőle.

Az előadás után díjak átadása következett. A Társulat elnöksége a Mikola Sándor-díjat a középiskolai kategóriában *Jendrék Miklósnak*, az általános iskolai kategóriában *Pöbeim Juditnak* ítélte oda, amelyet – a díjazottak méltatását követően – Ujvári Sándor és Lő-

Az ankét honlapja:

<http://www.kfki.hu/elftkisk/59%20Anket/59%20Anket.html>

vainé Kovács Róza, az Általános Iskolai Oktatási Szakcsoport elnöke adott át.

A Marx György által útnak indított Vándorplakettet részletes indoklással *Csiszár Imrénének* (Szeged, SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola) adta tovább az előző évi díjazott, *Moróné Tapody Éva*.

A szakmai programokat a fogadás követte, amelyhez Nyíregyháza önkormányzata nyújtott támogatást. Az iskola ebédlőjében az ankét résztvevőit bőséges és finom svédasztalos vacsora várta.



Jendrék Miklósnak Ujvári Sándor nyújtja át a Mikola-díjat



Pöheim Judit a Mikola-díjjal, mellette Lévainé Kovács Róza szakcsoportelnök



Csiszár Imrénének Moróné Tapody Éva adja át a Marx György Vándordíjat

## 2. nap, március 12., szombat

*Mester András* üléselnök nyitotta meg a második napot és felkérte az előadókat. Az alábbiak hangzottak el. *Raics Péter* (Debreceni Egyetem): A modern fizika összehangolt kísérletes tanítása a közoktatásban. *Hadbázy Tibor* (Nyíregyházi Főiskola): A huszonegyedik óra – A fizikatanítás jelene és jövője. *Kerekes Benedek* (Nyíregyházi Egyetem): A megújuló energiák oktatása és kutatása a Nyíregyházi Egyetemen. *Fábián Margit* (SzFKI): A fizika mindenkié 2016 (Tájékoztató).

Az előadások után az eszközkiallítást tekintettük meg. Az iskola tornatermében elhelyezett asztalokon mutatták be a kiállítók – *Beszeda Imre*, *Farkas Zsuzsanna*, *Márki-Zay János*, *Medvegy Tibor*, *Pál Zoltán* és *Piláth Károly* – saját készítésű-fejlesztésű kísérleti eszközeiket, illetve a tanszerforgalmazó cégek – 3B Scientific, Meló Diák Tanszerekcentrum Kft., Almus Pater Tanszerek- és Intézményellátó Zrt. – újdonságaikat.

A délutánt *Sükösd Csaba* (BME): Csernobil leckeje című előadása nyitotta, majd az ELFT – National Instruments által fizikatanárok számára kiírt myDAQ pályázat díjait *Kroó Norbert*, a pályázat zsűrijének elnöke adta át.

I. díjat nyert *Simon Gyula* és csapata (Fazekas Mihály Gimnázium, Debrecen): Érdekes mérések az elektromágnesség köréből című pályamunkával.

II. díjat érdemelt *Fraller Csaba* és csapata (Bibó István Gimnázium, Szakközépiskola és Kollégium, Hévíz): Klasszikus mérések modern stílusban.

III. díjat kapott *Vizi Tibor* és csapata (Brassai Sámuel Gimnázium és Műszaki Szakközépiskola, Debrecen): Lovagold meg a hullámokat!

A IV. helyezett *Csatári László* és csapata (Szent József Gimnázium, Szakközépiskola és Kollégium) a zsűri különdíjaként egy myRIO készüléket nyert.

Az első tíz helyezett közé még a következő kollégák pályamunkái kerültek (névsorban): *Kopasz Katalin* (SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola,

Szeged), *Nemoda József* (DE Arany János Gyakorló Általános Iskola, Debrecen), *Nyirati László* (Széchenyi István Szakközépiskola, Székesfehérvár), *Seres István* (Premontrei Szent Norbert Gimnázium, Gödöllő), *Sikó Dezső* (Bolyai János Gimnázium, Kecskemét), *Szabóné Szalkai Enikő* (Péchy Mihály Építőipari Szakközépiskola, Debrecen).

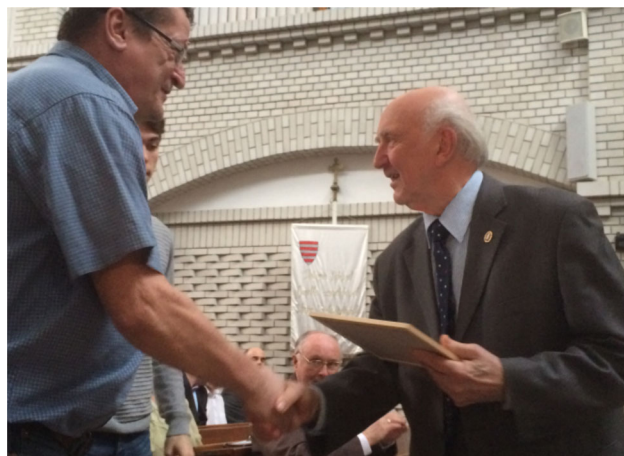
*Paizs Ottó* (SM Duráczky EGYMI és Kollégium, Kaposvár) különdíjként az első tíz helyezetthez hasonlóan megtarthatja a pályamunka elkészítésére használt myDAQ eszközt és a LabVIEW licenst.

A részletes eredmények felkerültek a pályázat honlapjára: <http://sukjaro.eu/ELFT-NI-palyazat>.

Ezt követően előadásokkal folytatódott az ankét. *Jarosievitz Beáta* (Gábor Dénes Főiskola): IKT a fizikaoktatásban. *Fülöp Zsolt* (MTA Atomki): Kalandos ismeretterjesztés.

A vacsora után a gravitációs hullámok témájának aktualitása okán megnéztük az *Einstein befejezetlen szimfóniája* című filmet, amely *Rácz István* (KFKI) szakértésével készült 2006-ban a gravitációs hullámok kutatásáról. A film a gravitációs hullámokat felfedező LIGO-ról – illetve annak elődjéről – is nyújtott részletes ismertetőt.

Simon Gyulának, az ELFT – National Instruments myDAQ pályázat I. helyezettjének Kroó Norbert gratulál.





Az eszközkiallítás első helyezettje, Piláth Károly magyaráz a kíváncsi kollégáknak.

### 3. nap, március 13., vasárnap

A nap Lévainé Kovács Róza üléselnökletével műhelyfoglalkozásokkal indult. Az ankét résztvevői előzetesen megkapták a műhelyek leírását. Az iskola tantermeiben a következő műhelyfoglalkozásokat tekinthették meg.

Almus Pater Zrt.: A kísérletek egyszerű reprodukciójától az alkotó tudományig, a digitális mérés technika lehetőségei az oktatásban.

*Ballai Ottó:* Féljünk-e az új, 8. osztályos OFI-fizika tankönyvtől?

Beszeda Imre: Mérések, kísérletek.

*Horváthné Fazekas Erika,* Lévainé Kovács Róza, Pőheim Judit, *Tasi Zoltánné,* *Varga István:* Ötlebörze az általános iskolai fizikatanítás módszereiről.

*Huszákné Vigh Gabriella:* Az Öveges József Szakközépiskola és Szakiskola virtuális látogatásai a CERN-ben.

*Komáromi Annamária:* Úrkutatósi eredmények felhasználása a termodinamika tanításában.

Kopasz Katalin: Tanulói aktivitások nagylétszámú osztályokban.

Lajtosné Krajnyák Éva, Lajtos István: Online CERN.

*Leitner Lászlóné:* Játékelméleti elemzések. Játék edesszájúaknak.

Márki-Zay János: Szemléltetéssel a túlterhelés ellen.

*Nagy Czirok Lászlóné:* Az odüsszeusi íjfelajzás. Ötlebörze az általános iskolai fizikatanítás módszereiről.

*Sinkó Andrea:* Cirkusz a laborban.

*Tarján Péter:* Kísérletek olcsó elektronikával.

*Varga-Umbrich Károly:* ESA (Európai Űrközpont) továbbképzés tapasztalatai.

Az ebédet követően ismét plenáris előadások következtek. *Horváth Gábor* (Eötvös Loránd Tudományegyetem): A poláros fényszennyezés fizikája és környezetvédelmi vonatkozásai. *Szabó Sándor:* Megújuló energiaforrások jelene és jövője. *Pokol Gergő* (BME): Hogyan lesz fúziós erőművünk 2050-ben?

A vacsora után a mindig népszerű 10 perces kísérleteket láthattuk.

### 4. nap, március 14., hétfő

Az előadások – *Kirsch Éva* elnökletével – közvetlenül az oktatással foglalkoztak. *Ádám Péter* (Pécsi Tudományegyetem): Az új szemléletű fizikatanítás. A fizika „A” kerettanterv – Az OFI kísérleti tankönyvei. *Medgyes Sándorné,* *Tóthné Szalontay Anna:* Új szemléletű fizikatanítás a felső tagozaton, digitális tananyagokkal az Okosportálon. Lévainé Kovács Róza: Öveges verseny. *Kiss Miklós:* Mikola verseny, a tehetséggondozás helyzete.

Az ezt követő fórumon mindennapi munkánk egyetemes problémáit gyűjtöttük össze, így adva municiót a most induló Köznevelési Kerekasztal tárgyalásain érdekeinket képviselő kollégáknak. Elsőként egyhangú szavazással *Pántyáné Kuzder Mária*t, az ELFT oktatósi alelnökét kértük fel erre a feladatra.

Az Eszközkiallítás, a Műhelyfoglalkozások és a 10 perces kísérletek díjainak átadása következett.

Az Eszközkiallítás díjazottjai:

1. helyezett: Piláth Károly
2. helyezett: Pál Zoltán
2. helyezett: Beszeda Imre
3. helyezett: Márki-Zay János
4. helyezett: Farkas Zsuzsanna
4. helyezett: Medvegy Tibor

A Műhelyfoglalkozások díjazottjai:

1. helyezett: Kopasz Katalin
1. helyezett: Sinkó Andrea
2. helyezett: Nagy Czirok Lászlóné
3. helyezett: Beszeda Imre

A 10 perces kísérletek díjazottjai:

1. helyezett: Piláth Károly
2. helyezett: *Borbély Venczel*
3. helyezett: *Molnár Milán*

Az ankét zárásakor többnyire kihirdetjük a következő helyszínét. Most több jelentkező is volt, a döntést gondos mérlegelés után hozzuk meg.

Ujvári Sándor megköszönte a házigazdák, az előadók, résztvevők munkáját. Sükösd Csaba bezárta 59. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatót.

*Moróné Tapody Éva*



**Az Eötvös Társulat  
főnt van a **facebook**-on!**



## A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

### Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2016. május 14-én az ELTE TTK Eötvös termében tartotta éves küldöttközgyűlését. A hagyományos, napirend előtti szakmai előadást *Trócsányi Zoltán*, a Debreceni Egyetem professzora tartotta *Neutrínóoszilláció* címmel<sup>1</sup> (az előadás alapján készült írás jelen lapszámunk 182–189. oldalain olvasható).

#### Elnöki köszöntő

Az előadás után *Patkós András*, a Társulat elnöke köszöntötte a jelenlévőket és rövid megnyitó beszédében kiemelt néhányat a Társulat tavalyi és idei tevékenységeiből, így a Fény Nemzetközi Évéhez kapcsolódó rendezvényeket, a Fizikatanári Ankét és a Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam megszervezését. Helyes lépésnek bizonyult a tavalyi évben a tanáralelnök funkció bevezetése, aminek fontos szerepe volt abban, hogy a magyar közoktatásban történekre a Társulat gyorsan és szakszerűen tudott reagálni.

#### Fizika a közoktatásban

Ezután *Pántyáné Kuzder Mária* alelnök tájékoztatta a küldötteket a fizika közoktatásáért tett lépésekről. Elmondta, hogy felvették a kapcsolatot az Oktatáskutató és Fejlesztő Intézzel, aminek eredményeként *Ujvári Sándor* részt vett a kísérleti „A” kerettanterv tankönyveinek fejlesztésében, továbbá 50 fizikatanár úgy tanította végig a könyvet, hogy közben folyamatosan naplózta a tapasztalatokat és véleményezte a könyvet. Pozitív eredmény, hogy a szerzők a szakmai kérdésekben elfogadták a véleményeket és ezeket figyelembe véve javítottak a könyveken. Nem változtattak azonban, és vitát sem lehetett kezdeményezni a tanterv szerinti beosztáson. A Társulat szakértői szakvéleményt adtak a „B” típusú tankönyvekről is, ezek esetében azonban nem került sor a szerzőkkel a vélemény megvitatására. Bekapcsolódtak az Oktatási Kerekasztal Tartalomfejlesztési munkacsoportjainak munkájába. Itt kezdetben 6 munkacsoport megalakítását tűzték ki célul, amelyekből a Társulat 3 munkacsoportban (NAT kerettanterv 5–12. évfolyam, tankönyv, differenciált és integrált oktatás) képviseltette magát. (A differenciált és integrált oktatás munkacsoport az önálló munka megkezdése előtt megszűnt.) A 5–12. osztály kerettantervének elemzésében résztvevők feladata a fizika tantárgy jelenlegi tartalmának elemzése és a változtatá-

si javaslatok megfogalmazása volt. Szakértőink közvetlenül a fizikatanároktól kértek és kaptak véleményt, amelyekből *Moróné Tapody Éva*, *Jánossy Zsolt*, *Ujvári Sándor* és *Theisz György* egy 11 oldalas összefoglalót írt, valamint készült egy vezetői összefoglaló, amelyről szintén megkérték a kollégák véleményét.

2016. március 22-én jelent meg *A kerettantervek kiadásának és jóváhagyásának rendjéről szóló 51/2012. (XII. 21.) EMMI rendelet módosítása* című anyag a szakközépiskolák szakközművelődési alakításáról. Ennek alapján szakképzési irányok szerint 7 tantervi alcsoportot hoztak létre, amelyekre meghatározták, hogy 2016 szeptemberétől mely egyetlen vagy éppen nulla természettudományi tárgyat fognak tanítani. A Társulat állásfoglalást készített a szakirányú középfokú képzés létrehozandó rendszeréről és tantárgyi programjáról, amelyet eljuttatott a Közoktatási Államtitkárságra, illetve az MTA képviselője, *Csépe Valéria* akadémikus asszony közvetítésével a Közoktatási Kerekasztalhoz. 2016. május 2-án megjelent *A szakközművelődési képzés óraterve*, amely tartalmaz látszatengedményeket, de még így is elfogadhatatlan. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat véleményével egyetértő Magyar Földrajzi Társaság, Magyar Biológiai Tár-

A Közgyűlés előtti tudományos előadás a 2015-ös Nobel-díjról és előzményeiről.



<sup>1</sup> A közgyűlési képeket Kiss Andor készítette.

saság, Magyar Csillagászati Egyesület és a Magyar Kémikusok Egyesületének Kémiatanári Szakosztálya közös nyilatkozatot terveznek kiadni, hangsúlyozva, hogy politikamentesen, szakmai érveken alapuló tárgyalásokon szeretnének elérni változtatást a szakgimnáziumok természettudományi oktatásában.

## Főtitkári beszámoló

Az elnökség aktuális tevékenységéről adott részletes beszámolót követően tartotta meg *Újfalussy Balázs* főtitkári beszámolóját. Ismertette a Társulat 2015. évi gazdálkodását és 2016. évi pénzügyi tervét. A 2016. évi költségvetés jelenleg deficitet mutat, ezért lépéseket kell tenni a bevételek növelésére (például a személyi jövedelemadó 1%-ból származó bevétel növelésével, a pártolói tagság kiterjesztésével, a szakcsoportok jövedelemszerző tevékenységének fokozásával) és a kiadások csökkentésére. Ez utóbbival kapcsolatban felmerül, hogy a *Fizikai Szemle* fokozatos elektronikus alakításával csökkenthető a költségek. Erről már készült egy internetes véleményfelmérés, és a nyár folyamán a tagoktól nyilatkozatot kérünk arról, hogy papíralapon vagy elektronikusan kívánják 2017. folyamán megkapni a *Fizikai Szemlét*.

A közhasznúsági tevékenység egyik alapvető forrása a személyi jövedelemadó 1%-ból származó bevétel. A 2015-ben ilyen módon befolyt összeg 25%-át a Társulat működési kiadásainak részbeni fedezésére fordította (iroda bérleti díja, könyvelési díj). A fennmaradó összeget a *Fizikai Szemle* postázási költségeire használtuk fel. A Társulat közhasznúsági tevékenysége a főtitkári beszámoló szerint 4 alpcél köré szerveződik.

A *tudományos tevékenység és kutatás területén* a tudományos eredmények közzétételének, azok megvitatásának színteret adó tudományos konferenciák, iskolák, előadóülések, valamint más tudományos rendezvények szervezését és lebonyolítását emelte ki.

E területen 2015-ben a következő rendezvényeket tartották:

- Sugárvédelmi továbbképző tanfolyam

Szavaznak a küldöttek.



– PIPAMON workshop (Photon and fast Ion included Processes in Atoms, Molecules and Nanostructures)

– Teaching Physics Innovatively nemzetközi konferencia (TPI)

– Doktoranduszok országos konferenciája (DOFFI)

– LIGHTtalk: The Power of Photonics konferencia

– LIGHT talk: Careers in Photonics konferencia

– A területi és szakcsoportok által szervezett előadások, bemutatók, kiállítások lebonyolítása, például: *Egy kis esti fizika, Kutatók Éjszakája, Szkeptikus Konferencia, Fizikus Napok*.

A *szakmai folyóiratok, kulturális örökség megővése területén* a Társulat hivatalos folyóirata az 1951 óta havonta megjelenő *Fizikai Szemle* a 2015. évben a 65. évfolyamába lépett. A *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* társtulajdonosaként a Társulat részt vesz a folyóirat megjelenítésében. A [FIZINFO] levelezőlistát a Társulat működteti. Kulturális örökségünk ápolásában fontos esemény volt, hogy az Európai Fizikai Társaság *EPS Historic site* megnevezést ítélte oda a Fasori Gimnáziumnak, *Wigner Jenő* iskolájának.

A *tehetség gondozás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés területén* Társulatunk a képességfejlesztés szolgáltatásban versenyeken kínál felmérési lehetőséget. A 2015-ben szervezett és lebonyolított, némely alkalommal több száz tanulót is megmozgató versenyek száma változatlanul meghaladja a húszat. Ezek között számos olyan is szerepel, amelyek hosszabb idő óta évente rendszeresen megrendezésre kerülnek.

– A Társulat 2015-ben is megrendezte országos jellegű fizikaversenyeit: az Eötvös-versenyt, az Ortway Rudolf nemzetközi fizikai problémamegoldó versenyt, a Mikola Sándor Országos Középiskolai Tehetségkutató Fizikaversenyt, az Öveges József Kárpát-medencei Fizikaversenyt és a Szilárd Leó Fizikaversenyt. Ezekon kívül számos helyi fizikaversenyt is szervezett.

A legfontosabb tehetséggondozó aktivitások a következők voltak:

– A Társulat szervezte meg a résztvevők kiválasztását és felkészítését a 2016. évi Nemzetközi Fizikai Diákolimpiára.

– Továbbra is szakmai felügyeletet lát el a Társulat a Budapest Science Center Alapítvány kuratóriumán keresztül a Csodák Palotája működése fölött.

– A Társulat Tehetségpontja az új székhelyen anyagi problémák miatt „takarékon” működik.

– 2015-ben új esemény volt és nagy sikert aratott a *Fizika Mindenkié* nap, amely 2015. április 18-án 45 helyszínen 52 programmal – idén, 2016. április 16-án a Fény Éve támogatása nélkül is 42 helyszínen, 56 programmal – valósult meg.

A *köznevelés, tanártovábbképzés területén*:

– A tanártovábbképzés a Társulat oktatási szakcsoportjainak, valamint területi csoportjainak szervezésében folyt. A fizikatanár-közösség számára módszertani segítséget, tapasztalatcsere- és szakmai továbbképzés

lehetőségét kínált a 2015. évben megrendezett, akkreditált továbbképzésként elismert 58. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató, amelyet Hévízen rendeztek meg. Az akkreditációt ezt követően meg kellett újítani, amit 2016 februárjában újabb 5 évre elnyertünk.

– A Társulat kiemelt feladatának tartja a fizika és általában a természettudományok közoktatásban betöltött szerepével (például pedagógus életpályamodell, minősítési rendszer, pedagóguskar, tankönyvfejlesztés, tantervek stb.) való foglalkozást.

– A Társulat szervezésében fizikatanárok 39 fős csoportja vett részt a CERN-ben magyar nyelven megtartott továbbképzésen (<http://cern.sukjaro.eu/cern2015>).

– 2015-ben a magyar delegáció részt vett a Londonban rendezett *Science on Stage* nemzetközi oktatási konferencián, ahol *Gajdosné Szabó Márta* kémia-tanárnő díjat is nyert. A magyar delegáció tagjait a 2014-ben az Eötvös Társulat társrendezésében végrehajtott hazai előválogatón választották ki. Idén Debrecenben lesz az előválogató verseny.

– A National Instruments vállalattal együttműködve a MyDAQ univerzális mérőeszközt felhasználó projektek tervezésére és megvalósítására a Társulat pályázatot (<http://sukjaro.eu/ELFT-NI-palyazat>) hirdetett meg tanároknak. Képviselőink részt vettek a lebonyolításban és a zsűrizésben.

– Az Ericsson-díjjal és a Rátz Tanár Úr Életműdíjjal jutalmazott fizikatanárookra 2015-ben is a Társulat ezzel foglalkozó díjbizottsága tett szakmai javaslatot.

*A 2015-ben bekövetkezett szervezeti és működési változások:*

– A *Fizikai Szemle* szerkesztője *Füstöss László* helyett 2016 januárjától *Lendvai János* lett.

– Az új ügyvezető *Nagy Zsigmondné* helyett 2015 júliusától *Kovács Bernadett* lett.

– A Vas megyei szakcsoport újralakult.

A következő napirendi pontban Újfalussy Balázs főtítkárral bemutatta a díjbizottság javaslatát a Társulat tudományos díjaira. A szakmai díjak átadására idén a Fizikus Vándorgyűlésen kerül majd sor.

A levezető elnök bejelentette, hogy *Szalay Katalin* a továbbiakban nem vállalja a honlap szerkesztését, de továbbra is segíti ezt a munkát. A küldöttközgyűlés megköszönte Szalay Katalin hosszú éveken át végzett munkáját.

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága *Illy Józsefnek* adományozza a 2015. évi Marx György Fizikai Szemle nívódíjat *Einstein, a geofizikus?* című cikkéért. A díj pénzjutalommal jár együtt, amelyről *Illy József* a Társulat javára lemondott.

## A Felügyelő Bizottság jelentése

Ezután került sor a Felügyelő Bizottság jelentésére, amit *Heitler Krisztina* bizottsági elnök távollétében *Theisz György* ismertetett. A Felügyelő Bizottság 2015 májusától kezdte meg munkáját. Elkészítette saját ügyrendjét, amely szerint évente legalább háromszor ülésezik.



A Küldöttközgyűlés megköszöni Szalay Katalin hosszú éveken át tartó honlapszerkesztői munkáját.

A rendelkezésükre álló információk alapján a Társulat gazdálkodásáról az alábbiakat állapították meg:

– A Társulat pénzügyi helyzete az elmúlt évben összességében deficitet mutatott. Kiemelkedően magasnak mutatkoztak a személyi jellegű kiadások, illetve a könyvelői díj.

– A 2016. évi terveket áttekintve elmondható, hogy – az előzetes számok alapján – a 2015. évi deficit gazdálkodás itt is folytatódik. A Felügyelő Bizottság a gazdálkodási problémák csökkentésére javaslatokat tett a Társulat elnökségének. A fenti megállapítások és javaslatok mellett a Felügyelő Bizottság *a 2015. évről szóló főtítkári beszámoló és a 2016. évi költségvetés elfogadását javasolta* a küldöttközgyűlésnek.

## Hozzászólások

A Felügyelő Bizottság jelentését követően *Moróné Tápody Éva, Almási Gábor, Lakatos Tibor, Halász Tibor, Kovács József, Csordás András, Hegedűs Árpád* és *Martinás Katalin* szóltak hozzá a főtítkári beszámolóhoz.

## Alapszabály-módosítás, társulati díjak, szavazás

Ezután került sor az alapszabály-módosítási javaslat ismertetésére. *Patkós András* előljáróban elmondta, hogy a főtítkárral által előterjesztendő javaslatok az egy évvel ezelőtt meghatározott irányelveknek megfelelnek. *Újfalussy Balázs* ismertette a javasolt alapszabály-módosítások listáját, amelyet *Wojnarovich Ferenc* segítségével állították össze. A legfontosabb módosítás egyes vezetői mandátumok idejének kettőtől négy évre történő növelése, valamint az elnök-alelnök párra vonatkozó kutató-tanár paritás.



Nagy Dénes Lajos az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érmével és Füstöss László „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” kitüntetéssel.

Az alapszabály-módosításra vonatkozó előterjesztés ismertetését követően bemutatták az elnökség javaslatát a közgyűlés által odaítélhető társulati díjakra, amelyekről a közgyűlésnek titkosan kell szavaznia.

Ezután Patkós András elnök szavazásra bocsátotta a Társulat 2015. évi közhasznúsági jelentését, valamint az elnökség pénzügyi és szakmai beszámolóját, amit a közgyűlés egyhangúlag elfogadott. Szintén egyhangúlag fogadta el a közgyűlés a Társulat 2016. évi költségvetését és a Felügyelő Bizottság jelentését.

## Új jelölőbizottság

Mivel a jelölőbizottság mandátuma lejárt, és a következő évi küldöttközgyűlés tisztújító, szükségessé vált egy új jelölőbizottság megválasztása a következő négy évre. Az új jelölőbizottságára – előzetes egyeztetések után – *Kürti Jenő* alelnök az alábbi javaslatot tette:

Elnök: *Lévai Péter* akadémikus (Budapest, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont)

Tagok: *Benedict Mihály* egyetemi tanár (Szeged, Szegedi Tudományegyetem), *Cserti József* egyetemi tanár (Budapest, Eötvös Loránd Tudományegyetem), *Dudics Pál* nyugdíjas (Debrecen, a Középkolai Oktatási Szakcsoport jelöltje), *Szénási Istvánné* nyugdíjas (Budapest, az Általános Iskolai Oktatási Szakcsoport jelöltje).

A közgyűlés egyhangúlag elfogadta a javaslatokat, majd később titkos szavazással megerősítette a jelölőbizottságot a fenti összetételben.

## Díjak átadása

A küldöttek jelölőbizottságra, továbbá a társulati díjakra történő titkos szavazását követő szünet után került sor a díjak átadására. A díjakat Patkós András elnök és Újfalussy Balázs főtítkár adták át.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érme díjat kapott *Nagy Dénes Lajos*, az MTA Wigner FK professzor emeritusa, az ELTE nyugalmazott egyetemi tanára. Jelentős eredményeket ért el magfizikai módszerek, elsősorban a Mössbauer-spektroszkópia alkalmazásaiban. Fontos



Haiman Ottó otthonában, amikor Patkós Andrásról átvette az Eötvös Plakettet (fotó: Kármán Tamás).

szerepet játszott és játszik Magyarország részvételében különféle nemzetközi kutatási infrastruktúrákban. Az ELFT-ben több mint ötven éve tevékenykedik, volt főtítkár, alelnök, elnökségi tag. 1992-ben ő indította útjára a Fizinót. Az Európai Fizikai Társulatban (EPS) évtizedek óta az együttműködés – mint például az ELFT és az EPS hatékony kapcsolatai – fejlesztésén dolgozik.

Prométheusz-érmét „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” Füstöss Lászlónak ítelték oda, aki e cél eléréséhez – a *Fizikai Szemle* szerkesztőjeként, tudományos-ismeretterjesztő cikkek és könyvek készítőjeként, valamint a Budapesti Szkeptikus Konferenciasorozat egyik elindítójaként – országos hatással járult.

Patkós András elnök elmondta, hogy az év folyamán két Eötvös Plakettet adományozott az elnökség. (Az Eötvös Plakettet az Ügyrend szerint elnökség adományozza, és erről tájékoztatja a közgyűlést).

– 2015 novemberének elején 90. születésnapján *Szatmáry Zoltán*, a *Fizikai Szemle* főszerkesztője a Társulat nevében is köszöntötte *Pál Lénárdot*. Ezen az eseményen adták át Pál Lénárd részére az Eötvös Plakettet a Társulat érdekében végzett tevékenységének elismeréséül.

– A 96. életévében járó *Haiman Ottó* 2015 decemberében jelezte, hogy a továbbiakban nem tudja folytatni a *Fizikai Szemle* tartalomjegyzékének több nyelvre fordítását. A Társulat elnöke *Kármán Tamás* műszaki szerkesztővel együtt felkereste, és részére átadták az Eötvös Plakettet.

Gratulálunk a díjazottaknak.

Zárszavában Patkós András elnök elmondta, hogy az Eötvös Loránd Fizikai Társulat idén 125 éves lett. Sok nemzedék erőfeszítése van a Társulatban, becsüljük meg. Idén rendezzük meg a Fizikus Vándorgyűlést Szegeden. Feltehetően a 150 fő<sup>2</sup> is el fogja érni a résztvevők száma. Végül megköszönte a jelenlevőknek a közgyűlésen való megjelenést, a küldöttközgyűlési bizottságok munkáját és bezárta a küldöttközgyűlést.

<sup>2</sup> A folyóirat nyomdába adásakor a jelentkezők száma már 250 fő.

# 2016



Magyar Fizikus Vándorgyűlés

## Jövők és a fizika jövője

2016. augusztus 24–27.

Szeged, Biológiai Kutatóközpont

Plenáris előadások témáiból:

Az Extrem Light Infrastructure tudományos programja • Mágneses nanoszerkezetek vizsgálata elektronholográfiával • Paritásvioláció grafénben • A vasnál nehezebb elemek keletkezésének vizsgálata stabil és radioaktív nyalábokkal • A kvark-gluon plazma az elméleti fizikában • Maláriakutatás: szilárdtest-fizika vagy biofizika? • A statisztikus fizika alkalmazásai csoportos mozgás, döntések és hierarchikus hálózatok esetén • Gravitációshullám-asztrfizika – egy új korszak kezdete • Az optikai manipuláció lehetőségeinek kiterjesztése speciális alakú testek alkalmazásával

[http://titan.physx.u-szeged.hu/fizikus\\_vandorgyules\\_2016/](http://titan.physx.u-szeged.hu/fizikus_vandorgyules_2016/)

**Június végéig még regisztrálhatsz!**

