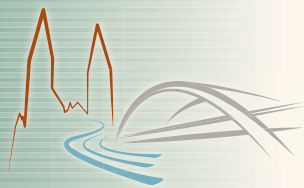


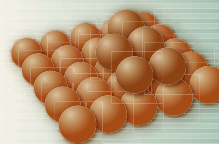
# fizikai szemle



2017/2



**ecoss 33**  
27 AUG. – 1 SEPT. 2017  
SZEGED, HUNGARY



# 33<sup>rd</sup> EUROPEAN CONFERENCE ON SURFACE SCIENCE

## PLENARY LECTURES



**Prof. Rolf Jürgen Behm**  
Ulm University,  
GERMANY 



**Prof. Charles T. Campbell**  
University of  
Washington,  
USA 




**Prof. Young Kuk**  
Seoul National  
University,  
KOREA 




**Prof. Elisa Molinari**  
CNR Institute of  
Nanoscience S3  
Modena, ITALY 



**Prof. Rasmita Raval**  
University of Liverpool,  
UNITED  
KINGDOM 



**Prof. Gabor A. Somorjai**  
University of California  
at Berkeley,  
USA 



**Prof. Martin Wolf**  
Fritz Haber  
Institute in Berlin,  
GERMANY 

## WELCOME OF THE CHAIR

It is our pleasure to announce the **33<sup>rd</sup> European Conference on Surface Science (ECOSS-33)** organized in Hungary, Szeged. ECOSS is a traditional annual meeting directed jointly by the Surface Science Division of the International Union for Vacuum Science, Technique and Applications (IUVSTA) and the Surface and Interface Section of the European Physical Society (EPS). The conference provides an excellent opportunity for scientists from Europe and from all over the world to meet and discuss the latest advances in surface physics/chemistry and the progress of the surface science approach of the related innovation fields of heterogeneous catalysis, nanoelectronics, bio-nanoscience and light-matter nanotechnology. Szeged, crossed by the Tisza River is a university town of a long cultural tradition in the centre of the Carpathian Basin. The beautiful downtown of Szeged and the pleasant weather in August provide an excellent background for this conference.

**András Berkó**  
*Chair of ECOSS-33*

**Frigyes Solymosi**  
*Honorary Chair*

[www.ecoss2017.org](http://www.ecoss2017.org)



## Sponsor & Organizing Institutions

UNIVERSITY OF SZEGED  
ELI-HU NON-PROFIT LTD  
HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES  
ROLAND EÖTVÖS PHYSICAL SOCIETY  
HUNGARIAN CHEMICAL SOCIETY  
HUNGARIAN VACUUM SOCIETY  
NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT  
AND INNOVATION OFFICE  
SZEGED CITY COUNCIL

**CONFERENCE SECRETARY:** Régió-10 Ltd. • Dugonics sq. 12, H-6720 Szeged, Hungary  
Phone/fax: +36 62 710 500 • E-mail: [ecoss33secretariat@regio10.hu](mailto:ecoss33secretariat@regio10.hu) • [www.regio10.hu](http://www.regio10.hu)



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

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

Főszerkesztő:  
**Szatmáry Zoltán**

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

Szerkesztő:  
**Lendvai János**

Műszaki szerkesztő:  
**Kármán Tamás**

A folyóirat e-mailcíme:  
**szerkesztok@fizikaiszemle.hu**

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

A folyóirat honlapja:  
**http://www.fizikaiszemle.hu**



A címlapon:

**Áramjárta vezető rá merőleges, váltakozó árammal gerjesztett mágneses térben. A kialakuló állóhullámok csomópontjaiban és közelében fölizzik a szál, a nagyobb amplitúdóval rezgő részekben viszont a levegő izzás alatti hőmérsékletre hűti. Tanulókísérlet a nagyváradi Ady Endre Líceum Fizikumában.**

NAGY KÁROLY EMLÉKÉRE

<i>Mezey Barna</i> : Elérni az óceánig	38
Megemlékezés a Fizika Tanítása Doktori Program honlapján	39
<i>Nagy Károly</i> : Önéletrajz – részletek	40
<i>Nagy Ágnes</i> : Édesapámról	41
<i>Scherer Éva</i> (szerk.): Az agy csiszolója	42
<i>Balogh Vilmos Szilárd</i> : Heisenberg és a „központi rend”	46
<i>Abonyi Iván</i> : Meglepetések a Maxwell-egyenletek témakörében	50

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Thorsten Naeser</i> : „Ilyen a fizika – az ember megfigyel és tanul”	56
<i>Bartos-Elekes István nagyváradi fizikatanár bemutatása</i>	
<i>Bartos-Elekes István</i> : Egy fekete-doboz szerkezetének megfejtése	57
<i>Laboryakorlat és versenyfeladat a nagyváradi Ady Endre Líceumban</i>	

### KÖNYVESPOLC

Benkő József, Mizser Attila (szerk.): Meteor csillagászati évkönyv 2017	67
( <i>Füstöss László</i> )	
Gurka Dezső (szerk.): Matézis, mechanika, metafizika	70
( <i>Radnóti Katalin</i> )	

### HÍREK – ESEMÉNYEK

Jelölési/pályázási felhívás az ELFT kitüntető érmeire, felsőoktatási és tudományos díjaira	71
Pál Lénárd kitüntetése	72
Átadták a 2016. évi Gábor Dénes-díjakat	72
<i>Vicsék Tamás</i> : Szubjektív emléktöredékeim – Haiman Ottó	72

### REMEMBERING KÁROLY NAGY

<i>B. Mezey</i> (Rector of the Eötvös University): Reach the Ocean – funeral speech Part of the memoirs of Károly Nagy	
<i>Á. Nagy</i> : About my father	
<i>É. Scherer</i> (ed.): Grinder of the brain – Commemorations by students of Professor Nagy	
<i>V. S. Balogh</i> : Heisenberg and the “Central Order”	
<i>I. Abonyi</i> : Surprises in connection with Maxwell’s equations	

### TEACHING PHYSICS

<i>T. Naeser</i> : “Such is physics – you observe and learn”	
<i>I. Bartos-Elekes</i> : Deciphering the structure of a black box	

### BOOKS

### EVENTS



*Nagy Károlytól*, az Eötvös Loránd Tudományegyetem egykori vezetőjétől, díszdoktorától búcsúzom a kollégák, barátok, tanítványok nevében.

A gyász alkalom arra, hogy számot vessünk azzal, mi marad és mi az, ami elmegy örökre. Mert nem megy el minden örökre. Az élet abban gyökeret ver, amit alkottunk, amit teremtettünk. Nagy Károly hosszú éveken át alkotott a javunkra, és ez kitörölhetetlenül benne marad egyetemünk történetében és diákjai, kollégái, családja emlékezetében.

1926-ban, a Komárom megyei Ete községben született, cipész családba. A továbbtanulásra alkalmasnak mutatkozó fiatalemberrel az elemi után szülei Kisbérre írták be polgári iskolába, ahol később, az igazgató közbenjárásával elnyerte a budapesti Kereskedelmi Kamara tanulmányi ösztöndíját. Ez tette lehetővé számára, hogy Budapesten, a Kossuth Lajos Kereskedelmi Középiskolában érettségizzen. De nem lett belőle pénzügyi szakember. A pályaválasztás küszöbén állva kacérkodott ugyan a művészi pályával, végül azonban úgy döntött, a Pázmány Péter Tudományegyetemre iratkozik be, hogy matematika-fizika szakos tanárnak tanuljon. 1950-ben szerzett diplomát és a tanszék állományában maradt, köszönhetően mesterének, *Novobátsky Károlynak*, aki akkoriban maga mellé vette az ambiciózus fiatal kutatókat. Nagy Károly tehát nem váltotta be ifjúkori álmát arról, hogy egy kistelepülés iskolájának matematikatanára lesz. Ehelyett sokkal nagyratörőbb álmok és célok váltak valóra, amikor a sors őt az elméleti fizika felé terelte: jó hírű tudós, egyetemi oktató, később egyetemvezető lett.

Az ELTE Elméleti Fizikai Tanszékét 1968-tól kezdve, huszonöt éven keresztül vezette. 1968 és 1999 között az ELTE–MTA Elméleti Fizikai Tanszéki Kutatócsoport vezetője is volt. Az oktatást szent hivatásnak tekintette, tanárként az eötvösi időkig visszanyúló *tudós tanár* ideálját tartotta követendőnek. Vallotta, hogy a tanítás nemcsak elsajátítható mesterség, hanem művészet, amelyhez talentum kell. Hivatásának módszertanát, fogásait ismerte és jó érzéssel alkalmazta, ezért mindig lelkes hallgatók vették körül. Igazán a matematika-fizika szakos tanárhallgatóknak tartott elméleti fizika előadásokon érezte elemében magát. A hallgatók mindegyike személyes támogatójaként emlékezik vissza rá.

Elhangzott Nagy Károly búcsúztatásán 2016. július 19-én a Farkasréti temetőben.

Vezetői és kutatói munkássága eredményei elé sorolta, hogy elkészíthette a fizikaszakos tanárok négykötetes tankönyvsorozatát, ezt tartotta ugyanis élete leghasznosabb vállalkozásának.

Tehetsége vezetőként is megmutatkozott, amikor részt vállalt az intézmény irányításának feladataiból. Először 1961 és 1966 között a Természettudományi Kar dékánja volt, majd 1966-tól 1972-ig az egyetem rektoraként, 1972 és 1975 között tudományos rektorhelyettesként dolgozott. A pozíciók megszerzésére nem törekedett, de a feladatok valahogy mindig megtalálták, és ő megfelelt a kihívásokra. A dékáni és rektori munka a kutatás nemzetközi vérkeringéséből egy időre kiszakította őt, ám ezt kevésbé bánta, mert saját bevallása szerint ez idő alatt rengeteget tanult az emberekről, és olyan tapasztalatokkal gazdagodott, amelyek által szélesebb látókörre, nagyobb tájékozottságra tett szert.

Megnyilvánulásaiban azonban mindig a szakmája iránti mély tiszteletről tesz tanúbizonyságot. Úgy vélte, idézem: „... a 20. század fizikája megismételhetetlenül szép, egyedülállóan csodálatos történet. A kor, amely keretet adott hozzá, ennek ellentéte: gyalázatos századot hagytunk magunk mögött. Két világháború, diktatúrák követték egymást... Lehangozó században éltünk, amelynek csodája a fizika volt.” – mondta.

És valóban, a diktatúra embertelen, igazságtalan módszereivel vezetőként ő maga is gyakran konfrontálódott, bátran vállalva a döntések ódiáját. Az igazságérzetével össze nem férő, elvtelen gyakorlatot igyekezett kikerülni, de ha máshogy nem ment, hát szembeszegült. Volt ebben valami *csak azért is* virtus, de a kellő szelídséggel elvegyítve. Néha furfanggal, néha csellel, máskor nyílt ellentmondással igyekezett keresztülvinni az igazát. Vezetői talentuma változatos és célratörő eszközökben, jó stratégiai döntésekben, a helyes irányok meghatározásában, a megfelelő munkatársak kiválasztásában és emberséges bánásmódjában mutatkozott meg. Dékánként ő kezdeményezte, hogy az ELTE díszdoktori kitüntetés adományozzon a 20. századi fizika egyik legnagyobb alakjának tartott *Werner Heisenberg* részére. A nemzetközi kapcsolatok politikai rendszereken átívelő kiépülésében ez a gesztus követendő mintát adott az ELTE későbbi vezetőinek.

Nagy Károly 35 évesen lett egyetemi tanár, négy év múltán, 1965-ben lett a Magyar Tudományos Akadé-





Lányával és feleségével a gyémántdiploma átvétele után.

mia levelező, majd rendes tagja. Ő volt a Fizikai Tudományok Osztályának első elnöke, valamint a Tudományos Minősítő Bizottság titkára. Szakmai sikereit számos díjjal és kitüntetéssel jutalmazták: közülük is kiemelkedik a Magyar Köztársasági Érdemrend középkeresztje, majd az 1996-ban neki adományozott Széchenyi-díj. 2006-ban vette át az ELTE Eötvös-gyűrűjét. Szülőfaluja pedig, amelyhez mindig kötődött, 2005-ben választotta díszpolgárrá.

Az idő kegyetlen. Bilincsből tartja az életet. Kikényszeríti, hogy múltával emlékezté váljon, amely generációról generációra fakuló képként marad fenn. S azok az elemek, amelyek az életet alkotják, az öröme és fájdalmak, tervek és beteljesülések megkoptott, elmosódó fényképekké vagy homályos videofelvételekké válnak. Ez természetes rend és kegyetlen leszámolás az egyedi léttel.

Ami aktívan megmarad belőle, az az élők közötti emlékezet. Kimerevített pillanatok egy mozgófilmből, a múltidézés képei, amelyeket őrzünk magunkban, s míg életünk tart, velünk maradnak.

Az emlékezés nehéz műfaj. Nehéz, mivel óhatatlanul beleszűrődik a letűnt idők visszahozhatatlansága, a veszteség érzete. Az emlékezés ugyanakkor az élet része. Emlékezni kell, mert az emlékezet bizonyíthatja: létünk nem ok nélkül való.

Nagy Károly emléke bevésođott az Eötvös Egyetem történetébe.

Kollégái, tanítványai és mindazok nevében búcsúzom tőle, akik közvetett vagy közvetlen módon részesei lehettek annak, amit alkotott. Mint a legkedvesebb Ady-versében, úgy az ő élete folyása is messziről indult, a magyar vidékről, és sok kacsaringóval készült a nagy nekilödulásra, mint az erek, amelyek hajjai végül eljutnak az Óceánig. Az Óceánig elérni merészség kell, akarás, és annak tudata, hogy a természet törvényeinek engedelmessé másféppen úgysem lehet. Nagy Károly akadémikus ilyen módon a sorsszerűség és az egyéni helytállás példája. Életének maradandó alkotásait és emlékét méltó módon megőrizzük.

### Nagy Károly írásai a Fizikai Szemlében

- Neutron befogásakor felszabaduló energia kiszámítása – 1952/113
- Kvantumelmélet – 1953/61
- A folyékony hélium I-II. (Szabó Jánossal) – 1957/169, 194
- A két neutrínóról – 1963/9
- Az elemi részek gyenge kölcsönhatásának elméletéről – 1965/100
- Neutrínofizika – 1966/261
- A mai fizika világgképéről – 1967/1
- Novobáztzy Károly sírkőavatásán mondott beszéd – 1969/59
- Részecskefizikai kutatások Magyarországon – 1974/41
- Neugebauer Tibor (Marx Györggyel) – 1977/114
- Einstein hatása korunk fizikájára – 1979/202
- Az elektromágneses tér alaptörvényei – 1981/19
- Novobáztzy Károly, a tudós tanár – 1984/241
- Az Ortway-hagyományok folytatása, az Elméleti Fizikai Tanszék jelene – 1985/174
- Emlékezés Eötvös Lorándra – 1986/47
- Wigner Jenő 85 – 1988/161
- A hazai fizikakutatások jelentősebb eredményei az utóbbi néhány évben – 1990/253
- Novobáztzy Károlyra emlékezünk – születésének 110. évfordulóján – 1994/202
- Bay Zoltánra emlékeztünk – 1996/385
- Némedi István tanár úr búcsúztatása – 1998/428
- Aki ajtót nyitott a kvantumok világára – 2001/37
- Plancktól Heisenbergig – 2001/381
- A fizika szakos tanárképzésről féltő aggodalommal – 2001/227
- Fénykvantumok átlátszó közegekben – 2002/136
- A huszadik század fizikájáról és világgképformáló szerepéről – 2003/193
- A természettudományos tanári pálya helyzete és távlatai – 2004/108
- A kvantumelmélet kialakulása Plancktól Diracig – 2008/201

## MEGEMLEKEZÉS A FIZIKA TANÍTÁSA DOKTORI PROGRAM HONLAPJÁN

Felhívjuk Olvasóink figyelmet, hogy az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika tanítása honlapjának <http://csodafizika.hu/fiztan/kozkinccs/oktpub/index.html> oldalán számos, letölthető anyaggal illusztrált összeállítást találnak Nagy Károly professzor úr fizikatörténeti munkáiból.



A doktori program keretében a fizikatörténeti előadás-sorozatot 2007 ősztől Nagy Károly professzor úr tartotta a tanár doktorandusz hallgatóknak. Hét előadása pdf formában letölthető a honlapról.

Élete utolsó, doktori előadásáról veje és unokája segítségével videofelvétel készült. Ez, a modern fizika témájával foglalkozó előadása a <https://drive.google.com/file/d/0B3qjPAmwgUT-ZnkyVi1rSUVYbW8/view?usp=sharing> oldalon megtekinthető, illetve letölthető.



A 2016 júliusában elhunyt professzorról *A tanítás szent dolog* címmel megemlékező írás jelent meg a *Természet Világa* folyóiratban, ami a honlapról letölthető, olvasható.

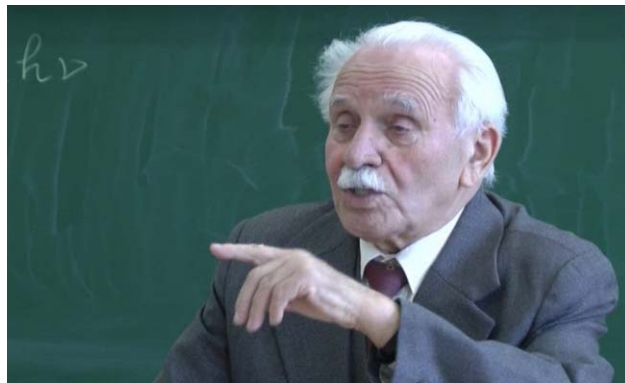
# NAGY KÁROLY: ÖNÉLETRAJZ – RÉSZLETEK

Az érettségi előtti hónapokban még vacilláltam, hogy hogyan tovább? Milyen felsőfokú intézetbe jelentkezek? A matematikát szerettem a legjobban, de érdekelt a kémia is. Mindegyiknek jó tanára volt. A fizika a kereskedelmiben lényegében mellékes tantárgy volt, és csak egy évig tanultuk. Egyébként kitűnő tanárunk volt, *Sevcsik Jenőnek* hívták. Ő a fényképezés nagy mestere volt, könyvet is írt róla. Még a polgári iskolai rajztanárom hatására szerettem rajzolgatni, festegetni, ezért az is felmerült, hogy a Képzőművészet Főiskolára megyek festőnek és rajztanárnak.

A tanárság iránti vonzódásom már korábbról megvolt bennem. Valószínű, hogy tanáraim példáját látva. Későbbi visszaemlékezéseimben ezt úgy szoktam fogalmazni, hogy a tanári pályát igen fontosnak tartotam mindig és tartom ma is, mert úgy gondolom, hogy egy nemzet jövője nagymértékben függ a tanítók és tanárok munkájától. Az osztályfőnököm tudta, hogy szabadidőmben festegetek, ezért elvitt egykori diáktársához, *Barcsay Jenő* festőművészhez, a főiskola tanárához. Magammal vittem rajzaimat, festményeimet megmutatni. Látott bennem valami tehetséget, mert azt tanácsolta, hogy az érettségi után jelentkezzem hozzá növendéknek.

Mégsem oda jelentkeztem, mert édesapám munkahelyén az anyagvizsgáló laboratórium vezetője, azt mondta, hogy csak nem megy éhenkórász festőnek a tehetséges gyereke? Menjen vegyésznek, abból a szakmából meg lehet élni. Így azután vegyésznek jelentkeztem a Pázmány Péter Tudományegyetemre, de nem vettek fel, mert ahhoz gimnáziumi érettségi kellett volna. Végül a matematika-fizika tanári szakra jelentkeztem. Azonban itt is hiányolták a gimnáziumi érettségi bizonyítványt, ezért csak rendkívüli hallgató lehettem az első évben. Minden előadást hallgathattam, mintha rendes hallgató lettem volna. Az év végén kiegészítő gimnáziumi érettségit tettem, és ezután elismerték a rendkívüli két félévemet, és a másodikra már rendes hallgatóként iratkoztam be.

A matematika-fizika szakot a matematika miatt választottam, mert ezt szerettem és ezt tudtam az eddigi tantárgyak közül a legjobban. Igen ám, de a kereskedelmiben az úgynevezett kereskedelmi számtan dominált, a gimnáziumi tananyag egészen más volt. Az egyetemi első félévben a differenciál- és integrálszámítást *Szász Pál* professzor úr adta elő. Ő jó előadó volt, de egy kicsit rapszodikus. Utóbbi például abban is megnyilvánult, hogy a kollokviumokon a kérdéseire csak az ő általa elgondolt válaszokat fogadta el. Szinte vissza-visszatérő kérdés volt, hogy mondjon egy tipikus irracionális számot. Erre ösztönösen a négyzetgyök kettőt szokták mondani a hallgatók. Ez irracionális ugyan, de ő nem



Utolsó, 2014. január 11-én, a Fizikatanári Doktori Iskolán tartott előadása közben.

ezt, hanem az  $1,01001000100001000001$  stb. nem szakaszos tizedes törtet fogadta el helyes válasznak. Később már mindenki tudta, hogy ezt kell mondani. A félév elején a sorozatokkal és a sorokkal foglalkozott. Nem nagyon értettem. Teljesen meg voltam ijedve. Már azt gondoltam, hogy nem jó helyre jöttem. Ezt a furcsa érzésemet még fokozta, hogy az első sorban ült egy magas fiú (akiről később megtudtam, hogy *Moravcsik Gyulának* hívják, és apja egyetemi tanár a Bölcsészettudományi Karon). Ez a fiú valószínű mindent értett, mert néha még ki is javította a professzort, ha esetleg tévedett. Fejvesztetten rohantam az Egyetemi Könyvtárba, kivenni Szász Pál kétkötetes tankönyvét. Néhány hét elteltével, a komoly tanulás után minden helyre állt, értettem az előadást. Sőt már élveztem is. *Turán Pál* számelméleti szemináriumára is eljártam, de itt már rájöttem, hogy nincs bennem matematikai alkotó véna. Akkor jött el az egyensúlyi állapotom, amikor a második évben *Novobátzky Károly* elméleti mechanika előadását hallgattam. Fokozatosan kezdtem érezni, hogy ez a nekem való tudományterület. *A természet titkainak kutatása egzakt matematikai módszerekkel – elméleti fizika*. Ez lett azután egész életem egyik hivatása, a másik az oktatás, az előadások tartása.

Az egyetemi oktatás rendje akkor még elég szabad volt. Kööttséget csupán az jelentett, hogy aki tanár akart lenni, annak a Tanárképző Intézet előírta, hogy mely tantárgyakat kell hallgatnia, és melyekből kell vizsgáznia, továbbá azt, hogy a második év végén tanári alapvizsgát, a negyedik év végén pedig szakvizsgát kell tennie. Ezen vizsgák tematikája is meg volt szabva. Csak példaként említem, hogy az alapvizsgán egy szabadon választott magyar irodalmi vizsgát is kellett tenni. Ez azt jelentette, hogy előtte egy vagy két félévet kellett hallgatni valamelyik irodalmártól. Én *Waldapfel Józsefet* hallgattam, talán *Kisfaludy Károlyról*.

A második világháború utáni években a háborús emberi veszteségek miatt elég nagy tanárhiány volt az országban, ezért, amikor mi negyed évesek voltunk, a tanulmányi időt öt év helyett négyre rövidítették,

Az írást Nagy Károly számítógépén találta családja, ők bocsátották rendelkezésünkre ezt a részletet.

hogy hamarabb pótolják a hiányzó tanárokat. Úgy emlékszem, hogy ez két évig tartott, és utána visszatértek az öt éves tanárképzéséhez. Én tehát négy évig jártam egyetemre. A negyedik év most úgy alakult, hogy két-két hetet hospitáltunk mindegyik tantárgyunkból, és csak a magunk által választott egyik szakból tanítottunk. Én fizikát tanítottam. Normális esetben az ötödik év a gyakorló tanítás éve. A tanítás mesterségbeli dolgait azért a negyedik évben tanultuk ám. Elemi matematikát hallgattam például *Gallai Tibortól*, *Obláth Richárdtól*. A fizika tanítását pedig *Vermes Miklóstól* tanultam. Vermes egy nagy, kopott bőrdobozban hozta az egyetemre a demonstrációs eszközöket, és azokat mutatta be. Ezek az órák a Múzeum körüli épület második emeletén, a XI. tanteremben voltak. Vermes ekkor még a Fasori Evangélikus Gimnáziumban tanított, és meghívott előadó volt az egyetemen. Emlékszem, a Fasori Gimnáziumban a laboratórium egy folyosón volt kialakítva a diákok gyakorlásához. Vermes abban az időben, és még élete végéig az első számú középiskolai fizikatanár volt. Az evangélikus gimnázium államosítása, illetve megszüntetése után Csepelre került, és ott tanított élete végéig a Jedlik Ányos Gimnáziumban.

Egyetemi tanulmányaim befejezése után az egyetem Elméleti Fizikai Tanszékére kerültem, először gyakornoki beosztásba, talán egy évig, majd utána tanársegéd lettem. Ekkor még éppen létezett az intézeti forma, Novobátzky Károly volt az intézet igazgatója. Az első oktatási munkám a másodéves fizikai laboratóriumban gyakorlatvezetés volt. Ezt csak egy

fél évig csináltam. Utána számolási gyakorlatokat vezettem *Haiman Ottó* kísérleti fizika előadásához. Ekkor talán megszűnhetett az intézeti forma, és önállósultak a már korábban is létezett tanszékek, mert ettől kezdve csak elméleti fizika volt a munkám. Vegyeseknek tartottam elméleti fizika előadásokat. Ezután szép fokozatosan mélyedtem el az oktatásban és a kutató munkát is elkezdtem.

Novobátzky mellett a fiatalokból nagyon lelkes, a tudomány és az egyetemi oktatás iránt szinte megszállottként élő kis csapat állt össze. Akkoriban az Elméleti Fizikai Tanszék munkatársai voltak: *Szamosi Géza*, *Román Pál*, *Freud Géza*, *Békéssy András*, *Marx György*, *Szabó János* és én. Odakerülésem idején jött vissza a Műszaki Egyetem könyvtárából, a korábban *Ortvay* mellett tanársegédként ott levő *Neugebauer Tibor*. Az utánam következő évben jött *Kisdi Dávid*. A tanszék létszámának ez a viszonylag nagymértékű fejlesztése annak a következménye volt, hogy a háború után az egyetemek kapui – az országban szinte mindenütt – szélesre tárultak a tanulni akaró diákok előtt. Sőt, ezt a népi kollégiumok létesítésével még támogatták is. Különösen a vidéki, munkás-paraszt szülők gyermekei részére. Amikor a kommunista párt hatalma 1948 után megerősödött, ez a népi származású leendő értelmiség már veszélyesnek tűnt a hatalom számára, ezért gyorsan megszüntették a népi kollégiumokat. Mivel mi Budapesten laktunk, én nem voltam népi kollégista, de érzelmileg, és származásomnál fogva is a helyem ott lett volna közöttük.

## ÉDESAPÁMRÓL

Csodálatos ember volt! Figyelme mindenre kiterjedt, mindenkinek támasza volt a családban. Érdekes volt, ahogy felső tagozatos általános iskolás korunk óta (két évvel fiatalabb öcsém van) figyelemmel kísérte tanulmányainkat, főleg a matematika, fizika és kémia tantárgyakból.

A kezdetekben rengeteg vitánk volt, hiszen számomra szent volt tanáraink szava, magyarázata, nehéz volt elfogadni, ha ők mégis hibáztak. Többször megkaptam édesapámtól, hogy neki higgyek, hiszen a tanáromat is Ő tanította! Mire középiskolás lettem már nagy összhangban tanultunk együtt. Akkor azt volt nehéz elfogadnom, hogy nem csak az adott kérdésre kaptam meg a választ, hanem – a régebbi anyaghoz visszanyúlva – arra törekedett, hogy értsem is az összefüggéseket. Igényes és precíz volt. Néha egy-egy matematikafeladat kifogott rajtunk, de nem adta fel. Volt olyan, hogy reggelre, iskolába indulás előtt született meg a megoldás.

Érettségi után az ELTE matematika-fizika tanári szakára jelentkeztem. Ebben az Ő hatása, irányítása is benne volt. Akkor az érettségi után még külön fel-

vételiztünk. Angol tagozatra járva fizikából voltak hiányosságaim, így három hétig a balatoni kis nyaralónkban minden nap gyakoroltunk.

Másodéves egyetemista koromban nagy kérdés volt édesapám számára, hogy a szokásos rendet (egyszer tanárszakosokat, majd rákövetkezően fizikushallgatókat oktatott) megszakítsa-e, vagy tanítsa évfolyamunkat? Ettől kicsit én is félttem, mert a másfél év alatt számos neves tudós tanárunkról derült ki, hogy nem olyan kiváló előadó. Mi lesz, ha a körülbelül százfős évfolyamon nem lesz népszerű az édesapám? Végül én mondtam ki az utolsó szót, nem bánom, milyen véleménnyel lesznek az évfolyamtársaim, nekem mindenképpen jobb lesz, ha a megszokott, mindig lelkes magyarázatait hallgathatom az óráin. Szerencsére minden jól alakult. Édesapám számára a miénk lett az egyik legkedvesebb évfolyam. Ez a szeretet kölcsönös volt, és a tanári pályára készülve mindannyian továbbvittünk valamit abból, amit Ő, mint tanár, mint ember képviselt.

Ezekből gyűjtött össze egy csokorra valót *Scherer Éva* évfolyamtársam.

*Nagy Ágnes*

# AZ AGY CSISZOLÓJA

## Emlékezés Nagy Károly professzor úrra

*Az ELTE 1976-ban végzett matematika-fizika tanárszakos hallgatóit különösen erős, bensőséges viszony fűzte szeretett elméleti fizika professzorukhoz, aki öt féléven át tartott előadásokat a népes évfolyamnak.*

*Abban az időben Nagy Károly az ELTE tudományos rektorhelyettesi posztját töltötte be. Többek között ezért is érezhették magukat kivételezett helyzetben azok, akikkel idejét és tudását megosztotta. Szóljanak erről a személyes megemlékezések:*

„Első előadásán, amikor vagy száz mat-fizes hallgató elé bevonult a D épület Nagytermébe, felállással köszöntöttük. Azután, ahogy belevágtunk a divek, gradok és rotok világába, a felállás egyszerű köszöntés helyett a tisztelet és elismerés jelévé vált.

Tisztelet és elismerés a kristálytiszta gondolatmenetekért, az előadóművészekkel vetekedő élvezetes stílusért, a türelemért, ahogy a differenciálszámításban kevésbé képzett mat-fizeseknek is érthetővé varázsolta mondanivalóját.

Ahogy mondani szokta, ott van az egyenlet fent a táblán, mi csak alátartjuk a kötényünket, és potyognak bele az eredmények, mint a meggy a fáról.

Ha a 30-as években játszódó filmet látok, a férfiak kalapjáról ma is Karcsi bácsi hangja idéződik fel bennem, ahogy a felületeket átdőfő vektorokról beszél. Évfolyamunkból mindenki emlékszik egyik kollégánk hasonló, meglehetősen ódivatú kalapjára, amellyel sűrűn szemléltette a Gauss–Osztrogradszkij- vagy a Stokes-tételt az elektrodinamika tárgyalása során.”

*József Gábor<sup>1</sup>*

*Évfolyamunk többségét a tanítás szeretete vitte a választott szakra. Gyakran érzelmi vagy praktikus megfontolás is hozzájárult a döntéshez, nem kizárólag a megalapozott tudás, így sokat jelentett számunkra Karcsi bácsi bátorító bizalma és megértő támogatása.*

„Fizikus tanáraink közül Nagy Károly és a minket, trefortosokat már gimiben tanító Sas Elemér miatt jártam jókedvvel a TTK-ra.

A bébikoromban meghalt, legendás hírvű fizikatanár apám iránti nosztalgia vitt a mat-fiz szakra, pedig bölcsész, illetve zenész hajlamaim voltak világeletemben.

Karcsi bácsi – legalábbis számomra – apafigura volt. Úgy bánt velünk, az egész évfolyammal, mint ha mi is, mint Ági, a gyerekei lennénk. Pontosan látta az arcunkon, ha nem értünk valamit, és hallatlan türelemmel, de sohasem bántóan elmondta újból, másképpen, amíg csak le nem esett a tantusz.

A visszaemlékezést szerkesztette és az összekötő szövegeket írta Józsefné Scherer Éva – Hudson River Múzeum, Yonkers, New York.

<sup>1</sup> Weill Cornell Medical College, New York, NY, professzor

Soha nem érzékeltette, hogy nehezebb esnék neki a fizikus szakosoknál nyilvánvalóan gyengébb évfolyamunkat tanítania.”

*Butkai Enikő<sup>2</sup>*

*Jövendő tanári mivoltunkból eredően többet vártunk el előadóinktól a kizárólagos szakmai tudásnál. Nagy Károly jóvoltából a kristálytiszta tudásátadás művészetébe is bepillanthattunk.*

„Az biztos, hogy Nagy Károly volt a legjobban magyarázó oktatónk. Volt más is közel hozzá, de azt hiszem, felülmúlni senki nem tudta. Igazán jól magyarázni az tud, aki igazán jól érti, amit magyaráz. Neki el lehetett hinnii, hogy az elsőre iszonyúan nehéznek tűnő levezetések igencsak egyszerűnek bizonyulnak, ha az ember megpróbálja átlátni az egész problémát, és a lépések célját tartja elsősorban a szeme előtt, nem azok végtelen bonyolultságát.

Bár ez az emlék nem az előadásaival kapcsolatos, hanem az egyik tankönyvéhez kötődik, de nekem sokat jelentett. Nagy Károly *Elméleti mechanika* könyvéből értettem meg, illetve azt olvasva fedeztem fel, hogy az elméleti konstrukcióiban tökéletesnek gondolt klasszikus mechanikai formalizmus indeterminisztikus világot ír le. Két tömegpont ütközésének kimenetele a Newton-törvények alapján nem megjósolható. Az energia- és az impulzusmegmaradás törvénye csak négy egyenletet ad, miközben hat ismeretlenünk van. Talán ez volt az a pont, ahol igazán megértettem, hogy a tudományos modellek nem a valóságot jelentik, hanem valóban »csak« modellek (de micsoda modellek, különösen ha Nagy Károly beszélt vagy írt róluk).”

*Nabalka István<sup>3</sup>*

*Ha valaki azt gondolja, hogy a fentiekkel mindent elmondtunk Nagy Károlyról, hogy nem lehet tovább fokozni rajongó és az igazságot felfedő gondolatainkat, az tévedett.*

„Sok nagy tudású tanár van, de kevés ezek közül az, aki tanítani, magyarázni is tud. Még kevesebb, aki türelemmel és lelkesedéssel oktat, és ritkaság számba megy az, akinél mindehhez varázslatos egyéniség, lenyűgöző stílus, valamint dinamizmus társul. S alig akad olyan, akinek emellett még humora is van. Egyet azért biztosan ismertünk: Nagy Károlyt.”

*Szabó János<sup>4</sup> és Szabó Jánosné Győri Zsuzsa<sup>5</sup>*

<sup>2</sup> a Bécsi Énekesfiúk (Wiener Sängerknaben) és a Grazi Zeneművészeti Egyetem hangképzéstanára, énekes (klasszikus)

<sup>3</sup> ELTE PPK Neveléstudományi Intézet, egyetemi docens

<sup>4</sup> Balassi Intézet, Budapest, fizikatanár

<sup>5</sup> Szilágyi Erzsébet Gimnázium, Budapest, igazgatóhelyettes





Az évfolyam diplomázás utáni bankettje 1976-ban az Eötvös-klubban.

„Furcsa az élet, mert hosszú idő óta éppen az elmúlt héten beszéltem egy kollégámnak a Tanár Úrról. Ennyi idős fejjel, egyházi iskolában tanítva sokszorosan elmélyült bennem az a kép, amikor *Newton* törvényeiről – amelyek intellektuális mélysége »Valóságos kéjérzetet kelt egy hallgatóban« megmutatta milyen logikus és filozófiailag is zárt egészet alkotnak.

Azt hiszem, akkor csak az előadó lelkesedését éreztem meg, viszont azóta, ha Newtonról tanítok mindig azt igyekszem átadni, amit azon az előadásán hallottam (és azóta megértettem), közel akkora lelkesedéssel, mint amit Tőle láttam. A világnézetemre ez az előadás volt a legnagyobb hatással az ELTE-s évekből.

Utólag is hálával gondolok rá.”

*Kéri Zoltán*<sup>6</sup>

*Nagy Károly az eleméleti fizika rejtelseibe vezetett be minket. Ma is ballom: „Már csak a köténykénket kell tartani és potyog bele a megoldás”, ahogy ezt korábban József Gábor idézte. Ha levezetéseket követtem később az életben, ha más előadását hallgattam, akkor is az ő hangja, mondata csengett a fülemben.*

„Számomra a legszebb emlék – életem során sok-sok alkalommal jutott eszembe – kedvenc gondolata: »Milyen szerencsések vagyunk, hogy elméleti fizikát tanulhattunk.«

Mindig is inkább matematikai beállítottságuként különös élmény volt, amikor bejött egy szál krétával és pillanatok alatt, ott a szemünk előtt felépített egy-egy struktúrát.

Teljesen elvarázsolva éreztem magam, és ez mit sem változott az évek alatt.”

*Böszörményiné Szirmai Judit*<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Karácsony Sándor Rózsatéri Református Általános Iskola (egy később végzett évfolyamból)

<sup>7</sup> Belvárosi Egészségügyi Szakközép- és Szakiskola Budapest, jelenleg önkéntes családsegítő

„Sokan tudják, hogy nekem nem a fizika volt a szívem csücske, hanem a matek, de Karcsi bácsi órái (szándékosan nem előadást írtam) mindig lenyűgöztek. Ő nem egyszerűen »le akarta adni az anyagot«, hanem olyan tűzzel és olyan kristálytisztán magyarázott, hogy nem lehetett nem odafigyelni! Nem pusztán elméleti fizikát, hanem emberséget, tudomány szeretetet és tanári attitűdöt is tanultunk tőle.

Úgy gondolom, hogy nagyon szerencsések voltunk!

S végül még egy gondolat: szerintem többek között neki is oroszlánrésze volt abban, hogy sokan megmaradtunk a tanári pályán és valami

picit talán továbbadhattunk a saját tanítványainknak Karcsi bácsiból és mindazokból a tanárainkból, akik nagy hatással voltak ránk.”

*Wetterhánné Magócsi Györgyi*<sup>8</sup>

*Valóban mindannyiunkat el tudott varázsolni és ehhez – vitathatatlan tudásán kívül – nagyszerű humora és mérhetetlen lelkesedése is nagymértékben hozzájárult. A jókedv és a lelkesedés ragadós, alapvetően fontos tulajdonságok, melyekkel mindenkinek rendelkeznie kéne, aki t-a-n-í-t-a-n-i akar.*

*„Fegyvertára”, embersége mérhetetlen volt. Megelőlegezte a bizalmat, hogy mi befogadtuk a tananyagot, amit megosztott velünk. Hogy ne veszítsük el bizalmát, hogy ne hozzunk szégyent magunkra, kötelességünknek tartottuk, hogy valóban tudjuk azt.*

„Amikor egyszer hőtszerelmes voltam, s nem készültem el a vizsgára, szép szelíden hazaküldött, nem írt az indexbe jegyet. Azt mondta: zöld vagyok, aludjak ki magam, szedjek C-vitamint, tanuljak s jöjjenek el még egyszer. Fogalmam sincs, honnan látta át a helyzetet. Nagyon hálás voltam (bár így számomra elmaradt egy erdélyi utazás...), hisz még soha nem kaptam vizsgán egyest, szégyelltem felkészületlenségemet és igazi halálfélelem töltött el – amitől, lám, csodálatosan és minden megalázás nélkül megszabadított. Persze, hogy így aztán nagyon rendesen megtanultam az anyagot...”

Butkai Enikő

*Bár módszertant nem tanított nekünk, személyes példamutatásából elleshetünk eleget abból is. Bizonyos, hogy tanárrá, szakemberré, emberré formálásunkhoz a Profeszor Úr nagyban hozzájárult.*

*Íme egy másik évfolyamtársunk szavai, amelyek összefoglalását és igazolását adják a korábban olvastaknak. Többek nevében szólal meg, talán mindazok nevében, akik nem valamelyik elit középiskolában érettségiztek.*

<sup>8</sup> Batthyány Lajos Általános Iskola Budapest, I. kerület

„Egy aprócska baranyai faluból, sehol nem jegyzett kisvárosi gimnáziumból kerültem a nagyírű fővárosi egyetemre, tele kishitűséggel, aggodalommal... Karcsi bácsi (már ez a megszólítás is jelzi) azon tanáraink közé tartozott, akinek az óráin minden rossz érzés szertefoszlott. Ragyogó előadásain átsugárzott az elfogadás, megértés és szeretet – irántunk, s a világ összetett szépsége iránt. Színes, humorral és sok-sok háttér-információval átszőtt óráin magához emelt bennünket... Ezután már nem lehetett felkészületlenül menni a vizsgákra, amelyeken mindig segítők, támogató, igazi pedagógusként, s apai szeretettel bánt velünk.”

*Csordásné Bárdos Gyöngyvér<sup>9</sup>*

*Útravalóul magunkkal vihettük a nagy igazságot, amit Karcsi bácsi fogalmazott meg számunkra:*

„Én életem egyik mottóját köszönhetem Nagy Károlynak. Amikor nyafogtunk, hogy miért kell nekünk, leendő tanároknak rendkívül magas szintű algebrát tanulni, hiszen soha nem fogjuk tanítani, akkor megállt, csuklóiig krétás keze miatt könyökével húzogatta feljebb a nadrágját, majd ezt mondta: »Tisztelt hallgatóság! Mindegy, hogy az ember mivel csiszolja az agyát, a lényeg az, hogy csiszolja!«

*Bánkuti Zsuzsa<sup>10</sup>*

*Csiszolódtunk akkor és azóta is, azok is, akik a választott hivatásban tökéletesítették magukat, akik újabb szakot, szakokat vettek fel, és azok is, akik pályaelhagyóként új területekre merészkedtek.*

„Életem legnagyobb tanítójára a mai napig hivatkozom, ha unokáim bármilyen kifogást is emelnek a tananyaggal kapcsolatban.

Én is úgy érzem, hogy korán elvesztett édesapám helyett, tőle kaptam életre szóló tanácsokat.

Előadásait pedig – mivel annyira velünk volt – érdeklődéssel hallgattam, holott sokszor kínai volt részemre az anyag.

Az utolsó fizikavizsgán – ami magamhoz képest nem sikerült rosszul – megdicsért. Nagyobb értéke volt mondatainak, mint bármilyen jegynek.”

*Reményiné Vashegyi Ágnes<sup>11</sup>*

*Példamutató embersége a tanár-diák kapcsolatban gyakran megmutatkozott, és remélem, iránytűnk lett, mert mindenkinek lehet egy rossz napja, sőt rossz időszaka, amikor mások figyelmére, megértésére szorul.*

„Én is az emberi oldalát emelném ki: humorával, viselkedésével a legnehezebb vizsgákon is percek alatt képes nyugodt légkört kialakítani. Én mindig az »első ötben« vizsgáztam nála, mert nagyon izgulós voltam.

Megérkezett vidáman, harsányan köszöntött bennünket: »Mit izgulnak? Tanultak, nem? Az, hogy itt

vannak, kettes, a többi csak hiúság kérdése« – mondta. Már meg is volt a görcsök oldása... Kihúzatta a tételt, kiment kávézni, és mi tényleg nyugodtabban kezdtünk el felkészülni a feleletre.

Persze nem éltünk vissza a helyzettel, annál sokkal jobban tiszteltük, szerettük. Bízunk benne, hogy még azt is kihúzza belőlünk, amiről mi magunk se hisszük el, hogy tudjuk.

Olyan jól sikerült vizsgámra is emlékszem, amikor négyest kaptam (ez nekem fizikából nagyon jó jegy volt) és amikor beírta az indexembe, feljavította a gyakjegyemet – ami éppen hogy csak kettes volt – hármasra. »Nem kettes a tudása, ezt most bizonyította« – mondta. Sose felejttem el.”

*Sutusné Grébel Irén<sup>12</sup>*

*Felidézünk már sok kellemes és maradandó emléket Karcsi bácsival kapcsolatban, időnként egymás szájából vettük ki a szót. Itt még néhány hallgatótársunkat idézem.*

„Gyakran emlegetjük, hogy világos, miért szüntette meg rektorként Karcsi bácsi a katalógust.

Az Ő előadásaira ugyanis érdemes volt elmenni. Nem kellett kényszeríteni bennünket. A mi csoportunknak még gyakorlatot is tartott, ahol megosztott velünk a saját életéből is néhány intimtást (beszédhibá, vizsgáztatói elveinek változása stb.)

Azt sem felejtjük el, amikor az egyik vizsgabizottság elleni »lincshangulatban« a fél évfolyam összegyűlt, és kihez máshoz fordulhattunk volna, mint Karcsi bácsihoz.

Segíteni nem állt módjában, de meghallgatott bennünket, türelemmel, emberséggel.”

*Fedákné Domján Márta<sup>13</sup> és Fedák Gyula<sup>14</sup>*

„Én egy apróságot teszek hozzá az eddigiekhez. Karcsi bácsi (ez sem véletlen, hogy nagyon sokan hívtuk így!) elve az volt, ha egy évfolyamnak előadást tartott, akkor egy csoportnak gyakorlatot is vezetett, hogy lássa, mi maradt meg az előadásából a hallgatóság fejében. Legalábbis amikor tanárszakos évfolyama volt. Ez minden egyetemi előadást tartó professzor számára hasznos lenne.

Még egy dolog, amit tőle tanultam és tanári pályámon mindig szem előtt tartottam: nagyon fontos a humor!”

*Varga Balázs<sup>15</sup>*

„Én még egy mondására emlékezem azóta is: »Jegyezék meg, két dolgot nem lehet, kamatlábra zoknit, a tengerfenékre pedig nadrágot húzni!«

*Borbásné Novák Nóra<sup>16</sup>*

<sup>9</sup> Munkácsy Mihály Gimnázium, Kaposvár, igazgatóhelyettes

<sup>10</sup> Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet, tudományos munkatárs

<sup>11</sup> Stanley Black and Decker Hungary, Stanley márkaképviselet

<sup>12</sup> II. Rákóczi Ferenc Fővárosi Gyakorló Közgazdasági Szakközépiskola

<sup>13</sup> Gundel Károly Idegenforgalmi és Vendéglátó Szakközép Iskola

<sup>14</sup> Teleki Blanka Gimnázium

<sup>15</sup> Eötvös József Gimnázium Budapest, igazgatóhelyettes és fizikatanár

<sup>16</sup> Budapesti Egyetemi Katolikus Gimnázium

*Nem lebet kibagyni a következő felszólalót sem, ha Karcsi bácsi nagy mondásait idézzük.*

„Nagy Károly Professor Úr életem legjobb előadója volt. Sok derűs élmény között egy humoros államvizsgajelenetre is élénken emlékszem: Nagy Károly, *Skrapits Lajos* és nyilván volt még valaki, vizsgáztatnak. Termodinamika-tételt és ennek gyakorlati előfordulását húztam. Nagyon-nagyon meleg volt, nyár. Kérdezi Skrapits: A hordót, ha sőr van benne, hol hűtötték a jegesek? Karcsi bácsi: »alulról fűteni, felülről hűteni«. Még mielőtt én megszólaltam volna. Jelzem, ötöst kaptam.”

*Zábrádi Antal*<sup>17</sup>

*A most következő visszaemlékezés legyen egy újabb összefoglalás.*

„NAGY KÁROLY PROFESSZOR ÚR ÉS KARCSI BÁCSI – ritka szerencsés az az évfolyam, amely egy személyben kapja ezt a »két embert« előadóként!

Mi ilyenek voltunk, és ezért hoztunk magunkkal a D épületből valami egyedit, különlegeset, ami hatott egész tanári pályafutásunkra.

Az én tarsolyomba két fontos dolog került: egy vizsgaidőszak kapcsán Karcsi bácsi elmesélte, milyen »családi gyászt« jelentett otthon fiának nem túl sikeres vizsgája a Műszaki Egyetemen. Ő azóta bizony csínján bánik a rossz jegyekkel. Harmincöt év alatt egyetlen tanítványom bizonyítványába került elégtelen, pedig a közoktatás palettáján szereplő összes iskolatípusban tanítottam.

A másik erősen szakmai jellegű: beleszerettem az elméleti fizikába, a szakdolgozatom is ebből a tárgyból készült. A professzor úr előadásaiból kiderült számomra, hogy a matematika nemcsak egy izgalmas és lenyűgöző szellemi játék, hanem rendkívül hasznos a világ leírására. S hogy ez a tanítványok számára is kiderüljön, ahhoz egy kimagasló elme tolmácsolására van szükség.

<sup>17</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem, Apáczai Csere János Kar, főiskolai docens

Ezért mosolyogtam magamban, amikor egy kollégáról sok évvel később azt suttozták a diákjai, hogy a tanár úr biztos nagyon okos lehet, mert egy szavát sem értjük!

Ezt köszönhetem én KARCSI BÁCSI PROFESSZOR ÚRnak!”  
*Zábrádiné Schmierer Emília*<sup>18</sup>

„Halála előtt néhány héttel beszéltem Nagy Károllyal, Karcsi bácsival, mert az én feladatam volt évfolyamunk kérését tolmácsolni és közelgő találkozásonkra meghívni.

Nagy lelkesedéssel mondta el véleményét a tudományos életről, taglalta akadémiai elfoglaltságait, és mesélt még a tanításról, s családjáról. Öröm és megtiszteltetés volt hallgatni.

Nem árulok el titkot, ha kijelentem, hogy Ő, az ELTE Elméleti Fizika tanszékén egy kimagasló csapat tagja, meghatározó egyénisége volt, de azt is tudni kell róla, hogy példás családi életet élt, két gyermek édesapja.

Példaként állhat a tudomány művelői és terjesztői előtt. Ránk olyan nagy hatással volt, hogy pályafutásunk során és a magánéletben is igyekeztünk az ő normáinak megfelelni.”

Szabó János

„Évfolyamunk (1971–76) 30 éves találkozásán még fiatalos hévvel beszélt és anekdotázott kedvenc témájáról, a kvantumfizika születéséről és megalapozásáról. Következő, 40 éves találkozásonkat alig hat héttel Karcsi bácsi halála előtt tartottuk meg. Erre már nem tudott eljönni.”

József Gábor

*Végső gondolatként Weöres Sándor szavaival búcsúzzunk: »Bontsd szét személyedet és beléd tódul a világ. Bontsd szét a személyeddé vált világot és beléd tódul a teljesség.»*

*Köszönjük, Karcsi Bácsi a sok-sok csiszolást!*

<sup>18</sup> Révai Miklós Gimnázium, Győr



# HEISENBERG ÉS A »KÖZPONTI REND«

## Nagy Károly professzor úrra emlékezve

Balogh Vilmos Szilárd

Maristen-Gymnasium Furth

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

### Személyes

A nyolcvanas évek első felében azok közé a szerencsés matematika-fizika tanárszakos egyetemi hallgatók közé tartoztam, akik *Nagy Károly* elméletifizika-előadásait élvezhették. Élénk és mély benyomást keltő, a lényegyet a lényegtelenről elválasztani tudó előadásai máig ott élnek tudatalattimban. Immáron több mint harminc évre visszanyúló saját tanári tevékenységemben gyakran veszem észre azokat a motívumokat, amelyek az ő hatását tükrözik. A hangerőm nekem sem a legalacsonyabb (Nagy Károlynál állítólag a Rákóczi úti járókelők is tanulhattak belőle, nálam csak a szomszéd teremben tanítók, előadók „érvényesülése” korlátozott), de az óra, az előadás eleji tiszta tábla engem is jó hangulatra kelt.

De nem csak előadásait, hanem professzor úr *A mechanika elvei* című szemináriumát is lelkesen látogattam. Emlékeim szerint egyedülként ebből a tárgyból is jelentkeztem kollokviumra. Nála szigorlatoztam és államvizsgáztam. Lehet, hogy rosszul hangzik, de nála még a vizsgákat is élveztem. Nem arra volt kíváncsi, mit nem tud a jelölt, hanem arra, hogyan tudja mindazt, amit megértett, felfogott előadni, elmagyarázni. Minden vizsga után az volt az érzésem, azt tudtam nyújtani, amire képes vagyok.

Kapcsolatunk az egyetem után sem szűnt meg teljesen. Amikor a rendszerváltás környékén DAAD-ösztöndíjra<sup>1</sup> pályáztam, örömmel adott ajánlást. Még lelkesebb volt, amikor megtudta, hogy *Werner Heisenberg* tanítványához és barátjához, *Carl Friedrich von Weizsäcker*hez készülök. Akkori beszélgetéseinkből is kiderült, amit több beszélgetésben másoknak is megerősített,<sup>2</sup> hogy *Einstein* mellett Heisenberget tartotta a 20. század egyik legnagyobb fizikusának.

Utolsó találkozásunk 2009 augusztusában volt Budapesten a *Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen* című konferencián.<sup>3</sup> A záróvacsorán egymás mellett ültünk, így sok mindenről szó kerülhetett: nem csak a konferencián elmondott referátumomról, amelyben a



*Balogh Vilmos Szilárd* az ELTE-n végzett matematika-fizika szakos tanárként. Hat év győri tanárkodás után C. F. von Weizsäcker meghívására a müncheni Ludwig-Maximilian, majd a Bundeswehr Egyetem kutatójaként (alternatív matematikai modell, fizika-filozófia-teológia egymásra hatása) szerzett tudományos fokozatot. Gimnáziumi tanárként és egyetemi előadónként is dolgozik, tartományi és szövetségi matematikai versenyek munkatársa. Rendszeresen publikál a *Mérleg* című folyóiratban.

bajor fizikaoktatásról beszéltem,<sup>4</sup> hanem a Weizsäckerrel töltött közös időszakról, illetve akkori kutatási eredményeimről<sup>5</sup> beszélgettünk. Beszámolt arról, hogy immáron nyugdíjasként a 20. századi fizika történetével foglalkozik. Lelkesen emlékezett Heisenberg 1964 márciusában tett budapesti látogatására. Az volt a benyomásom, személyes sikernek tekintette, hogy dékánként ő avathatta díszdoktorrá az akkor már világhírű tudóst. Talán kicsit az is munkálkodott benne, hogy sorsukban van némi hasonlóság: mindkettőjüknek a diktatúra idején kellett tudósként helytállni. Érdekes módon ezen a beszélgetésen jobban érdekelte az, mit tudok Heisenberg filozófiai, vallási nézeteiről. Megígértem neki, hogy elküldöm azt az írást, amely részben ezzel a kérdéssel is foglalkozik. Talán a legméltóbb emlékezés, ha ennek, az akkor elküldött és pozitív visszhangra talált írásnak<sup>6</sup> egy részét – apró módosításokkal – felidézem.

### A valóság rendje

A II. világháború éveit egyáltalán nem voltak gondtalanok Heisenberg számára. Különösen nehéznek bizonyult élete 1941–42-ben. Ebben az időszakban keletkezett az a csak gépelésben fennmaradt kézirat, amelyet azután feleségével több példányban legépelve 1942 karácsonyára barátoknak ajándékoztak. A színelméletről 1941. május 5-én tartott budapesti előadás<sup>7</sup> sokirányú, pozitív visszhangja arra ösztönözte Heisenberget, hogy eddigi nézeteit összegezze és azokat kissé kiterjesztve bővítsé. A Heisenberg összes műveit

<sup>1</sup> DAAD: Deutscher Akademischer Austauschdienst (Német Akadémiai Csereszolgálat)

<sup>2</sup> Vö. Ember az erőterekben – Staar Gyula beszélgetése Nagy Károly akadémikussal, <http://www.forrasfolyoirat.hu/0410/staar.html>

<sup>3</sup> Vö. <http://users.atw.hu/fizkonf>

<sup>4</sup> Balogh V. Sz.: A fizikatanítás útkeresése Bajorországban. In: Juhász A., Tél T.: *Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen*. ELTE, Budapest, 113–123.; <http://users.atw.hu/fizkonf/konfketet.pdf>

<sup>5</sup> Sok minden ebből fellelhető monográfiámban: Balogh, V.: *Nicht-mechanistische Physik als einheitliche Systemtheorie, Kant-Struktur versus Higgs-Mechanismus*. SVH, Saarbrücken, 2014.; <https://www.svh-verlag.de/catalog/details/store/de/book/978-3-8381-2743-9/nicht-mechanistische-physik-als-einheitliche-systemtheorie>

<sup>6</sup> Balogh V. Sz.: Gyertyák a ház előtt – 20 éve halt meg Werner Heisenberg. *Mérleg* (1997/2) 202–218.

<sup>7</sup> Heisenberg, W.: Die Goeth'sche und die Newton'sche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik. in: Werner Heisenberg: *Gesammelte Werke*. Kiadók: Walter Blum, Hans-Peter Dürr és Helmut Rechenberg, Abteilung C: Allgemeinverständliche Schriften, Band I, Physik und Erkenntnis, 1927–1955, München–Zürich, Piper (1984) 146–160.



1964. március 5-én Nagy Károly – az ELTE TTK dékánjaként – Werner Heisenberget az Eötvös Egyetem díszdoktárává avatta.

szerkesztők a műnek *A valóság rendje* címet adták.<sup>8</sup> A munka két szempontból is érdekes: egyrészt már itt fellelhetők a *Thomas S. Kuhn* paradigma-gondolatát megelőző (le)zárt elméletek fogalmának a nyomai, amelyet igazában Heisenberg csak a háború után dolgozott ki; másrészt ez tekinthető Heisenberg első szisztematikus jellegű filozófiai munkájának.<sup>9</sup>

„Aki életét annak a feladatnak szenteli, hogy a természet egyes összefüggéseinek utánajárjon, az újra és újra azzal a kérdéssel találja magát szemben, hogyan is rendezhetők el harmonikusan ezek az egyes összefüggések az egészhez viszonyítva, amiként azt számunkra az élet vagy a világ felkínálja.”<sup>10</sup>

Ezzel a mondattal, s egyúttal célkitűzéssel indul a filozófiai gondolatmenet. A klasszikus, kanti filozófiával való szakításnak is tekinthető a valóság különböző területeire bevezető I. rész megállapítása:

„Számunkra a térben és időben való törvényszerű lefolyás többé már nem a világ szilárd váza, hanem sokkal inkább csak egy összefüggés a többi között, amely azon mód szerint, ahogyan vizsgáljuk, a kérdések szerint, amelyeket a természethez intézünk, az összefüggések általunk világnak nevezett szövetéből kiválik.”<sup>11</sup>

Ennek megfelelően a valóság különböző területei különböző összefüggéseket jelentenek. A leírás fontos eleme a nyelv.

„A valóság minden egyes területe végső soron a nyelvben képezhető le. Az a szakadék, amely a kü-

<sup>8</sup> i.m., 217–307.

<sup>9</sup> Ezt követően még két nagyobb lélegzetű munka jelent meg Heisenbergtől, amelyek az ittenivel együtt mintegy „trilógiaként” Heisenberg filozófiai nézeteinek szinte teljes foglalatát adják: *Physik und Philosophie*, amely az 1955/56-ban megtartott úgynevezett Gifford-előadásokat tartalmazza – (magyarul egy, a hatvanas évek ideológiai színezetének megfelelő válogatás is megjelent: W. Heisenberg: *Válogatott tanulmányok*. Gondolat, Budapest, 1967, 71–197.), valamint a híressé vált platoni dialógus: *Der Teil und das Ganze* – 303–311 (az angol kiadás nyomán készült magyar változat: W. Heisenberg: *A rész és az egész. Beszélgetések az atomfizikáról*. Gondolat, Budapest, 1978). Talán érdemes lenne valamely kiadónak a három munka teljes változatát – esetleg egy kötetben – a kiadni!

<sup>10</sup> i.m. 218.

<sup>11</sup> i.m. 221.

lönböző területeket elválasztja egymástól, nem hidalható át logikai következtetéssel, vagy a nyelv következményeiben helyes továbbfejlesztésével. Az ember megértésre való képessége korlátlan. A végső dolgokról nem lehet beszélni.”<sup>12</sup>

A valóság rendjének kezdetén nem állhat biztos ismeret. Az indulásnál két út lehetőségét tárja elénk Heisenberg: a valláson keresztül vivőét, illetve a tudományon keresztülit.

„A központi terület, amelyből kiindulva a valóságot mi magunk alakítjuk, a tudományos nyelv számára bizonyos mértékben végtelen távoli szingularitást képez, amely jóllehet a végesben lévő rend számára döntő jelentőségű, azonban soha sem érhető el. Fordítva, a hit nyelve az objektív, tőlünk leválasztott valóságra vonatkoztatva nem lehet jogosult. Ugyanis ennek a nyelvnek a szavai értelmüket éppen a hozzánk való kapcsolatuk révén kapják meg. Az élet értelméről csak a vallás beszélhet. Ugyanis az »értelem« azt jelenti, hogy saját magunkról van szó – és eddig a pontig a tudomány nem képes előrehatolni. Ennélfogva a tudományos nyelvben az élet értelméről beszélni csak úgy lehet, amint *Niels Bohr* teszi: »Az élet értelme abban áll, hogy semmi értelme sincs azt mondani, hogy az életnek nincs értelme.« Ezért nyújt a tudomány olyan kevés vigaszt. Csak a bölcsek számára, akik megtapasztalták, hogy minden gondolatunk, amellyel az élet értelmét kívánjuk megalapozni, körkörösén visszatér a kiindulópontához, számukra jelent éppen ez az ismeret elegendő vigaszt.”<sup>13</sup>

A fentebb vázolt I. rész ilyenformán lerögzíti a programot is. *Goethe* nyomán az objektív „valóságterületekről” kiindulva írja le az egyre szubjektívebbé váló területeket Heisenberg. A „valóság egy területén” a törvényszerű összefüggések egyfajta összességét érti.<sup>14</sup>

„A valóság rendjének, amelyet keresünk, az objektívtól a szubjektív irányában kell felkapaszkodnia. Tehát a valóság azon részével kell kezdeni, amelyet mi egészen magunkon kívülre állíthatunk, ahol teljesen eltekinthetünk a módszerektől, amelyek segítségével tartalmazhatjuk a tudomány szerzőnk. A rend(ezés) csúcán pedig – miként a Goethe-féle vázlatban – a teremtő erők állnak, amelyek segítségével mi magunk a világot megváltoztatjuk és alakítjuk.... Amikor azt mondjuk, hogy egy olyan rend(ezés)ről van szó, amely az objektívtól a szubjektív felé, felfelé halad, akkor ezen azt értjük, hogy a valóságról hírt adó megismerési eljárás egyre növekvő mértékben maga is azoknak az összefüggéseknek az alkotó részét képezi, amelyek az illető területet kiadják.”<sup>15</sup>

Ennek az egyre növekvő mértékű – ilyen értelemben vett – „szubjektivitásnak” felel meg a klasszikus fizikától indulva, a kémián, szerves életen, tudaton keresztül a szimbólumokon és alakokon át a teremtő erőkhöz vezető valóságterületek leírása. A „csúcson” a teremtő erők kapcsán kerül elő az istenkérdés:

<sup>12</sup> i.m. 226.

<sup>13</sup> i.m. 230.

<sup>14</sup> i.m. 233.

<sup>15</sup> i.m. 235.

„Az Isten létének kérdése már régtől fogva egyáltalán nem tudományos kérdés, hanem annak a kérdése, hogy mit kell tennünk. Ez azonban a korok változásai közepette is mindig egészen egyszerű: az emberi közösség tevékeny tagjaiként másokon segíteni és derekasnak lenni. Így a közösség szimbólumaiban a világ háttere számunkra élő és gyümölcsöző marad. Ilyen formán a közösség harmonikus tagjaiként bizalom tölthet el bennünket. Ennek eljövetele világunkban, amely egyúttal »Isten világa«, végső soron a legnagyobb szerencse, amit számunkra a világ megadhat. Ez az otthon tudata.”<sup>16</sup>

Az itt felvetett téma még élesebben kirajzolódik a mű rövid, az adott politikai viszonyokat is bizonyos mértékben megvilágító, egyúttal erőt adó záró megfogalmazásaiban:

„Számunkra először nem marad semmi más, mint az egyszerűhöz való odafordulás: az élet által ránk rótt kötelességeket és feladatokat kell lelkiismeretesen teljesítenünk, anélkül, hogy a honnanra és a hovára kérdeznénk; azt, amit még szépnek találunk, tovább kell adnunk a következő generációnak, az elpusztítottat újjá kell építenünk és a másik embernek – mindenfajta szenvedélyes lármán túlmutatva – bizalmat kell ajándékoznunk.”<sup>17</sup>

A konkrét helyzetre vonatkozóan pedig:

„Nem a hatalmon lévő a fontos, aki jogának tudatában az ellenséget megsemmisíti és az ellenállót börtönbe veti, hanem a börtönőr, aki a tilalom ellenére sem tudja megállni, hogy a fogvatartottnak alkalmanként egy darab kenyert adjon. Újra és újra világossá kell tennünk a magunk számára, hogy fontosabb a másokkal szembeni emberi cselekvés bármilyen hivatásbeli, nemzeti vagy politikai kötelezettségek teljesítésénél.”<sup>18</sup>

Voltaképpen ennek a nemzetiszocializmus idején népszerűsége egyáltalán nem számítható erkölcsi magatartásnak a megfogalmazása, megalapozása ez a mű. Idézzük itt még a záró sorokat:

„Arra a kérdésre, hogy voltaképpen milyen is a valóság, aligha válaszolhatunk másként, miként a mesében feltett ősi kérdésre, amely azt kérdezi: Meddig tart az örökkévalóság? »A világ végén van egy hegy, teljesen gyémántból, és minden száz esztendőben oda repül egy madárka és megköszörüli azon a csőrét, és amikor ilyen módon az egész hegy elfogyott, akkor telt el az örökkévalóságból egy másodperc.”<sup>19</sup>

## A központi (lényegi) rend

Heisenberg számára a filozófiai kérdések mindig olyan életszakaszban kerültek elő, amikor vagy valamilyen nagyobb jellegű tudományos felfedezés értelmezése ezt megkövetelte (ez a helyzet a 20-as évek közepén, a határozatlansági reláció kapcsán, de az

ötvenes években a részecskefizikában nyújtott eredmények nyomán is), vagy kritikus élethelyzetekben (Bajor Tanácsköztársaság, a náci uralom ideje – lásd előző szakasz –, valamint a súlyos betegség nyomán való reflexió – vö. *A rész és az egész*). A heisenbergi filozófia kiindulópontja természetesen a fizika felől közelíthető meg.

„...a mai természettudományt a korábbinál jobban kényszerítette a természet, hogy a valóság felfogásának ősi kérdését gondolkodás révén újra felvesse és valamelyest megváltoztatott módon megválaszolja. Régebben az egzakt természettudomány mintája olyan filozófiai rendszerekhez vezethetett, amelyekben egy meghatározott igazság képezte a kiindulópontot – mint a »cogito, ergo sum« *Descartes*-nál –, ahonnan azután valamennyi világnézeti kérdés megragadhatóvá vált. A természet azonban most a modern fizikában a leghatékonyabb módon emlékeztet bennünket: soha sem remélhetjük, hogy egy ilyesfajta műveleti alapról, operációs bázisról kiindulva a megismerhető teljes vidékét feltárhatjuk. Sokkal inkább minden egyes lényegileg új felismeréshez mindenkor, újra és újra *Kolumbusz* helyzetébe kell, hogy jussunk, akinek megvolt a bátorsága ahhoz, hogy minden addig ismert földet elhagyjon azzal a majdnem örült reménnyel, hogy a tengereken túl mégiscsak földet talál.”<sup>20</sup>

E rövid idézet nyomán felsejlik már a heisenbergi filozófia néhány vonása: a tudományos elméletek egymást követő váltása, amely 1948-ban a (le)zárt elméletek fogalmában csúcspontot megéltve T. Kuhn paradigma-elképzelését,<sup>21</sup> amely itt az „egzakt természettudomány” említésével kerül szóba; a „természet emlékeztet” megfogalmazásában pedig nyilván könnyen ráismerhetünk a platóni „anamnéziszre”. Ezzel két olyan pontot érintettünk, amivel Heisenberg kései éveiben viszonylag sokat foglalkozott: a (le)zárt elméletek tudományelméleti gondolatával, valamint a *Platón*hoz való kapcsolódással.

„A tudománytörténetnek zárt elméletek sorozataként való felfogását megvilágíthatjuk a *Kolumbusz*-féle hasonlattal. Amit *Kolumbusz* a tengereken túl talál, miután minden ismert földet elhagyott, megint csak szilárd föld. És ezt megint csak el kell hagyni; »minden egyes lényegileg új felismeréshez mindenkor, újra és újra *Kolumbusz* helyzetébe kell, hogy jussunk«. A kvantummechanika kapcsán szerzett saját élménye révén Heisenberg szeme előtt feltárult az a tudománytörténeti jelenség, amelyet T. Kuhn sokkal később a mára joggal híressé vált tudományos forradalom fogalmával írt le. Heisenberg és Kuhn közös abban, hogy az utóbbi száz évben egyre elvontabbá váló normatív pozitivisták tudománytól eltérően a tudomány reális történetével foglalkoztak. A tudományos pozitivizmus korai, legjelentősebb alakja, *Ernst Mach* a klasszikus világgép kritikájára vállalkozott.

<sup>16</sup> i.m. 303.

<sup>17</sup> i.m. 304.

<sup>18</sup> i.m. 305.

<sup>19</sup> i.m. 306.

<sup>20</sup> i.m. 101.

<sup>21</sup> Vö. Thomas S. Kuhn: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Gondolat, Budapest, 1984. Eredetileg: Kuhn, T. S.: *The Structure of Scientific Revolution*. Princeton University Press, Princeton, 1962.

Mach nagy befolyással volt Einsteinre és a fiatal Heisenbergre is. A későbbi pozitívizmus útja azonban Heisenberg számára egyszerűen tévútnak kellett, hogy tűnjön. A pozitivistákat Heisenberg-től eltérően nem a fizika által megtalált tartalmak érdekelték, hanem elvontan és ezért a történelemtől távolian csak a tudományos módszereken spekuláltak.” – írja C. F. von Weizsäcker.<sup>22</sup>

Ugyanakkor Heisenberg nem igazán volt elégedett a kuhni megoldással sem:

„Elofvastam most Kuhn könyvét. De kiábrándított. Történetileg igaza van. De elrontotta a poént. Amit ő paradigmának nevez, az a valóságban (le)zárt elmélet. Ezeknek egymást nem-folytonosan kell követniük, mert egyszerűek. A valódi filozófiai probléma: miért létezhetnek egyszerű elméletek, amelyek igazak? Ezt a problémát Kuhn kikerüli. De ez a kulcs a természettudomány történetéhez. Az ember semmit sem értett meg a tudomány lehetőségéből, amíg ezt nem értette meg.”<sup>23</sup>

A filozófiai kérdés megválaszolásához igazi példaként Heisenberg számára Platon nyújthat fogódzópontokat. A 20. század fizikai kutatásai kitűnő alkalmat kínáltak az úgynevezett empirikus platonizmus kialakulásához. Ez a jelenség figyelhető meg a biológiában, de a filozófia bizonyos szisztematizáló törekvéseiben is. A platonizmus valódi korszellemmé vált. Miként azonban *Cornelia Liesenfeld* rámutat: ez az empirikus platonizmus egyúttal teológiai is Heisenberg esetében. A szimmetria, a platóni „anamnézis” felelevenítése, a nyelv szerepének felidézése, a szép, a központi rend mind ezt támasztják alá.<sup>24</sup> A „központi rend” heisenbergi fogalma vezet el a valláshoz, az istenkérdéshez, valamint az ebből fakadó magatartáshoz. C. F. von Weizsäcker írja róla:

<sup>22</sup> Hans-Peter Dürr, Eugen Feinberg, Bartel Leendert van der Waerden, Carl Friedrich von Weizsäcker: *Werner Heisenberg*. Carl Hanser Verlag, München–Wien (1992) 53–54.

<sup>23</sup> C. F. von Weizsäcker: *Zeit und Wissen*. Carl Hanser Verlag, München–Wien (1992) 799.

<sup>24</sup> Vö. Cornelia Liesenfeld: *Philosophische Weltbilder des 20. Jahrhunderts. Eine interdisziplinäre Studie zu Max Planck und Werner Heisenberg*. Königshausen und Neumann, Würzburg (1992) 146–153. és 154–156.

„Heisenberg vallási megnyilatkozásaiban nagyon félénk volt. Központi rendről beszélt, amelyek a fizika törvényeiben is visszatükröződnek. Nem keveset, hanem nagyon is sokat tudott e rend centrumáról ahhoz, hogy megfogalmazásait valamely áthagyományozott dogma kijelentései közé elrendezhette volna. A kereszténység számára nem pusztán tan volt, hanem elsősorban a szeretet parancsa. Amikor tíz nappal halála előtt meglátogattam, egy negyed órában beszélt egész életéről, amely ismét jelenvalóvá lett előtte. Azt mondta: »A fizika most már tulajdonképpen nem is annyira fontos, s ezen majdnem csodálkozom. Az emberek, akik ott voltak, azok fontosak.« A közelében lévő emberekről beszélt. Azután megkérdezett, vajon miért olyan kevésbé értették meg azt a törekvést, hogy a politikában a jogosat akarta követni. Majd közvetlenül így folytatta: »A Központi, a Keresztény. Ha valaki azt mondaná, hogy nem voltam keresztény, nem lenne igaza. Persze, ha valaki azt állítaná, hogy keresztény voltam, igazában túl sokat mondana.«”<sup>25</sup>

Talán a legméltóbb zárzó Nagy Károly professzor úrra emlékezve az a gondolat, amiről 2009 augusztusában vele beszélgettünk. Ez pedig a Heisenberg-féle platóni dialógus *A rész és az egész* című kötet zárószóiban található. *Beethoven* D-dúr szerenádját hallgatva Heisenberg ott is a „központi rendről” beszél:

„Túlsorduló öröm, életerő áradt a muzsikából; a központi rendbe vetett bizakodás hangján szóltak a hangszerek, a bizakodás hangján, amely elől minden csüggedés és kishitűség meghátrál. Míg hallgattam, ebben a zenében öltött formát számomra a bizonyosság, hogy – emberi időmértékkel mérve – az élet, a zene, a tudomány örökké fennmarad, jóllehet mi magunk csak rövid ideig vagyunk vendégek, vagy másként, Niels szavaival, nézők és szereplők egyaránt az élet nagy színjátékában.”<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Hans-Peter Dürr, Eugen Feinberg, Bartel Leendert van der Waerden, Carl Friedrich von Weizsäcker: *Werner Heisenberg*. Carl Hanser Verlag, München–Wien (1992) 31.

<sup>26</sup> Falvy Mihály angolból készült fordítása egy helyen módosítva: a „zentrale Ordnung”-ot (illetve annak angol változatát) ő „lényegi rendnek” fordítja, itt helyette a „központi rend” szerepel.

# SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY



## A FIZIKA BARÁTJA!

**Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!**

**Adószámunk: 19815644-2-41**

# MEGLEPETÉSEK A MAXWELL-EGYENLETEK TÉMAKÖRÉBEN

Abonyi Iván  
Eötvös Egyetem

*E dolgozat eredete egy előadás az ELTE Doktori Iskola-ján 2014 decemberében. Az Iskola irányítója, Tél Tamás professzor felkért, hogy a beteg Nagy Károly akademikust, előadássorozata megszakítását elkerülendő, helyettesítem. Örömmel készültem a segítségre, de előbb telefonon beszéltem Nagy Károllyal, hogy miről is legyen szó az előadáson. Vele egyeztem meg erről a témáról. Most, hogy elhunyt, legyen szabad Neki ajánlanom ezt az írást. Az Ő emlékének, aki 1952, másodéves egyetemi hallgató korom – az elméleti mechanika vizsgám – óta kitüntetett bizalmával, barátságával. Azt gondolom, Őt is érdekelné ez a téma, hiszen elfogadta elgondolásomat.*

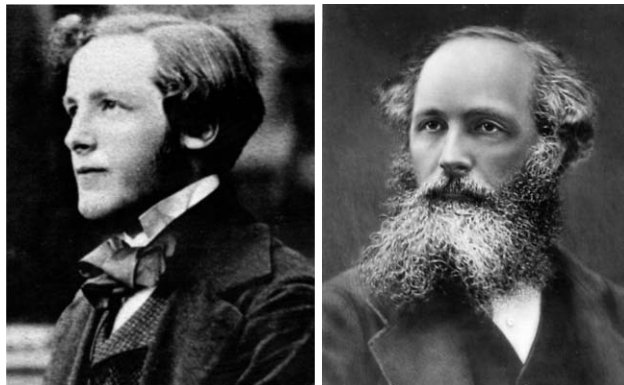
*Emlékét megőrizzük. Nyugodjék békében!*

## Útban az elektrodinamika szintézise felé – történelmi visszapillantás

A fizika története arról tanúskodik, hogy bizony hosszú út vezetett az elektrodinamika átfogó szintézisének megalkotásáig, a Maxwell-elmélet felismeréséig. Az is megállapítható, hogy a Maxwell-egyenletek elfogadásában két fronton is folyt a harc. Egyfelől a közvetlen sikerek útján, amelyek a dinamikus folyamatok felismerésével jutottak egyre inkább előre. Ide tartozik az áramok mágneses terének felismerése (*Ampère*), a mágneses indukció jelentős kapcsolatteremtő leleplezése (*Faraday*), a dinámóhatás feltárása (*Jedlik*, *Siemens*) és ezáltal a mozgás és az indukció jelentős kapcsolatának kiderítése, a transzformátor-elv felfedezése, de elmehetünk az elektromágneses sugárzás felismeréséig is. Az említett jelenségek körök – tehát nem csak az „áramkörü” viszonyokban, hanem a sugárzási vonatkozásokban is – sorsdöntő és bizalomkeltő tulajdonsága volt, hogy az elektrodinamikát valami „istenadta” új világ ipari megváltójaként azonnal a gyakorlati életben alkalmazni lehetett. Sorba gyúltak a villanylámpák a világ utcáin, épültek a távbeszélő központok, indultak a villamosok (Budapesten a „földalatti”), épültek a villamoserőművek, az elektromos energiát szállító távvezetékek. – Másfelől azonban az elvi háttér közel sem volt világos, eleinte



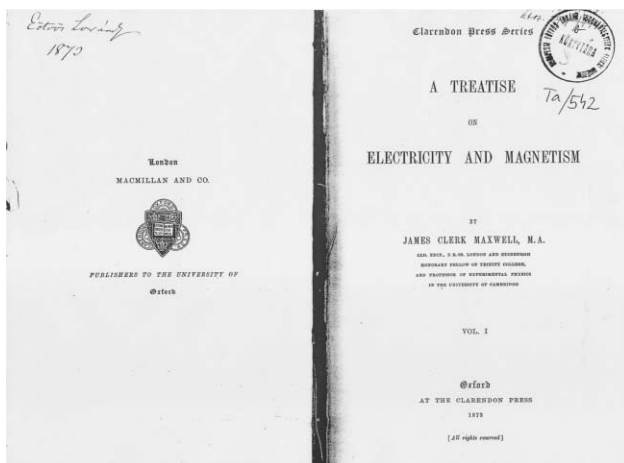
*Abonyi Iván az Eötvös Egyetem Elméleti Fizikai Tanszék nyugalmazott tudományos főmunkatársa, száznál több szakmai és ismeretterjesztő írás szerzője. 1975 és 1982 között az ő irányításával készültek a Gondolat Könyvkiadó *Fizika évkönyv* sorozatának kötetei. A magyar *Larousse Lexikon* és a *Magyar Nagylexikon* sok szócikkének ő a szerzője. Két tanulmánykötete jelent meg a 17–18. század, illetve a 20. század fizikájáról.*



1. ábra. James Clerk Maxwell, az ígéretes zseni ifjú korában és az érett korú kutató.

még könnyen áttekinthető sem. Nem volt világosan áttekinthető *Maxwell* csodálatos alkotása (1873), a „Maxwell-egyenletek” világa. Ennek méltó illusztrációja lehet *Eötvös Loránd* „kalandja”. Eötvös 1873-ban Angliában járt, ekkor jelent meg James Clerk Maxwell (1831–1879) (1. ábra) skót fizikus *Treatise on Electricity and Magnetism* című nagy műve [1] az elektrodinamikai szintézis kimunkálásáról. Eötvös természetesen megvette a művet, nevét beírta a könyvbe (2. ábra), minden valószínűség szerint jól meg is nézte, de mert meglehetősen elfárasztotta a sok matematikai komplikáció Eötvöst (aki pedig igen csak jártas a matematikában), minden bizonnyal megelégedett azzal, hogy becsukta a könyvet és tovább folytatta kutatásait a gravitációval és a vele kapcsolatos elektromos jelenségekkel (!) kapcsolatban. Tudomásunk szerint nem hivatkozott Maxwellre! Ezt az „unreadable” könyvet az tette „olvashatatlaná”, hogy abban az időben éppen csak születőben volt – de még nem született meg a vektorok, a vektor-vektor, vektor-skalár és skalár-vektor függvények formailag is áttekinthető, köny-

2. ábra. Maxwell korszakalkotó művének címlapja és ami különösen érdekes, a könyvet megvásárló Eötvös szignója.





nyen kezelhető, mégis tömör tárgyalásmódja, a vektoralgebra és a vektoranalízis.

Maxwell korai halála után az angol *Oliver Heaviside* (1850–1925) (3. ábra) ismerte fel az új matematikai formalizmus szerepét és alkalmazta a Maxwell-egyenletekre. Hangsúlyozzuk, Heaviside óriási érdeme a Maxwell-egyenletek – általunk is használt – vektoralakjának felismerése, feldolgozása, ami végül is nem kicsinylendő le (mert itt nemcsak a vektor-vektor függvény, hanem a hely ez idő szerinti deriváltak alkalmazása is fontos szerepet játszik).

A fizikai szakirodalomban gombamódra szaporodni kezdtek az összefoglaló, elsősorban a „műszaki igényeket” kielégítő, célratörő munkák.

Olyan nagy nevek is szerepelnek a tankönyveket író „atyák” között, mint a francia *Henri Poincaré* (1854–1912) és a német *Hermann von Helmholtz* (1821–1894), hogy egyelőre csak őket említsük.

A magyar szakirodalom is büszkélkedhet e témakörben megjelent munkával [2]. Távolról sem szeretnénk kritizálni vagy éppen lebecsülni a szerzők tankönyvírói alaposágát, de az a véleményünk, hogy az elektrodinamika alapjairól értekezni eleinte túl rágós falat lehetett. Az ismert és ma még könnyen fellelhető tankönyvek közül egy sem foglalkozott igazán az elektrodinamika valódi alapkérdéseivel, annyira elégedettek voltak az általuk meghódított matematikai ismeretek alkalmazásainak a bemutatásával. Az elektrodinamika-tankönyvek mindegyike legfőbb feladatának azt az immár szokásossá vált célt tartotta, hogy az elektrodinamika körülbelül 1900-as állapotát, és az arra alapuló modern technikai vonatkozásokat mutassa be. Hiszen a relativitáselmélet bemutatása már más tanrendi tétel lett.

Ezért azt hisszük, jelen írásunk mégis érdekes lehet az Olvasók számára.

Azzal kezdjük, hogy az irodalomjegyzékében felsoroljuk az elektrodinamika jellegzetes magyar műveit [3], de a teljességre törekedni sajnos nem áll módunkban, ezért a kimaradottaktól elnézést kérünk.

S most beszámolunk részben saját kutatásunk szerény eredményéről, de követjük az összefoglaló előadás menetét.

E szerint *Max Planck* (1858–1947) (4. ábra) volt az igazán szerencsés a többször is megjelent elméleti fizikai tankönyvsorozatával. Őt az tünteti



3. ábra. Oliver Heaviside



4. ábra. Max Planck

ki a tankönyvíró kollégái közül, hogy nem csak az elektrodinamikai eredmények széleskörű alkalmazásait követte, hanem a Maxwell-elmélet kiépítését is fontos közlendőnek tartotta. Abban hitt, hogy a Maxwell-egyenletek (főleg később Heaviside megfogalmazása szerinti) alakja a tényleges fizikai valóságot írják le a matematika nyelvén. A leíró függvények nem csak esetleges nyelvi kényszerképzetek, hanem a fizikai valóságot írják le, jelentésük mérhető, a leírás leképezi az elektrodinamikai valóságot, az elektrodinamika anyagi valóságát. Ennek egyik pillérét az elektrodinamikai energiatételben szerepet játszó Poynting-vektorban látta. A Poynting-vektor – mint ismeretes – az elektromágneses erőterben áramló energiát, a térenergiát írja le. Ennek nyomán Planck azt remélte, ha az elektromágneses erőternek energiája és energiaáram-vektora is van, akkor impulzusa és impulzusnyomatéka is kell legyen. Legfeljebb a laboratóriumi méretekben, az áramkörök világában az látszólag nem oly lényeges (mert kicsi).

Ez a problémakör lesz tehát az, amivel a továbbiakban foglalkozni kívánunk. Annál is inkább, mert Planck „múlt századi” művei az egyetemi könyvtárak „túlzsúfoltsága” miatt különféle vidéki tárolóhelyeken nyugszanak. Nem lehetséges, hogy az olvasók sétáljanak a könyvespolcok között, és itt-ott hol ebbe, hol abba a kötetbe betekintsenek, ahogy ez e sorok írójával történt, aki évtizedekkel ezelőtt látta Planck azon művét, amelyből az itt kifejtendő gondolatmenetet megismerte, de ma már sehol sem tud ráakadni. Ezért az Olvasók szíves elnézését kéri.

## Összefoglalás a Maxwell-egyenletekről

Akár mennyire is anakronizmus, hogy a Planck idejére vonatkozó elgondolások felidézése közben nem az akkor divatos CGS mértékrendszert, hanem a mai használatnak inkább megfelelő SI mértékrendszert használjuk, ezt azért tesszük, hogy a mai olvasók sokkal közelebb férkőzhessenek a mondanivalónkhoz.

Kezdjük tehát! A továbbiakban legyen  $\mathbf{E}$  az elektromos térerősség vektora,  $\mathbf{B}$  a mágneses indukció vektora,  $\mathbf{q}$  az elektromos töltés térfogati sűrűsége és  $\mathbf{J}$  az áramsűrűség vektora. A Maxwell-egyenletek szokásos alakja most:

$$\nabla \mathbf{B} = 0, \quad (1.a)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0, \quad (1.b)$$

$$\nabla \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \mathbf{q}, \quad (2.a)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \mu_0 \mathbf{J}. \quad (2.b)$$

Az itt fellépő  $\epsilon_0$  és  $\mu_0$  dimenziós arányossági tényezők (a vákuum esetére, mert egyébként  $\epsilon_0 \epsilon_r$  illetve  $\mu_0 \mu_r$  írandó, amennyiben nem vákuumról lenne szó).

A vákuum permittivitása:  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ AsV}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , míg a közegé  $\epsilon_r \geq 1$ , valamint a vákuum permeabilitása:  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ VsA}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , míg a közegé, ha diamágnestől van szó, akkor  $\mu_r \leq 1$ , ha para- vagy ferromágnestől:  $\mu_r > 1$ .

Az (1) és (2) egyenletekben a  $\nabla$  vektor (a nabla) az helyvektor  $\mathbf{r} = (x, y, z)$  szerinti differenciálás kifejezője:

$$\nabla = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right\}.$$

Mint ismeretes, az (1.a) egyenlet fizikai mondanivalója az, hogy a  $\mathbf{B}$  erőterének nincs forrása, mert *nem létezik mágneses egypólus* (monopólus), csak dipólus vagy (magasabb rendű) multipólus, mert „a mágnesnek mindig van két pólusa: északi és déli!”

Az (1.b) egyenlet az *indukció törvénye*, eszerint az időben változó mágneses erőter körbefutó (örvényes) elektromos erőteret kelt. A (2.a) egyenlet szerint az  $\mathbf{E}$  elektromos erőter forrásai az elektromos töltések méghozzá *egypólus* jellegűek (vagy páratlan multipólusok), mert a természetben lehet elkülöníthető egypólustöltést találni (pozitívát és negatívát is) stb. A (2.b) egyenlet azt fejezi ki, hogy az áramokat, és az

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

arányos „eltolási” áramot is mágneses erőter vesz körül (az indukció törvényéhez hasonló ellenpár).

## A Maxwell-egyenletekhez kapcsolódóan az alábbi fontos megállapítások tehetők

a) A Maxwell-egyenletek alapvető törvényeket fogalmaznak meg. Az  $\mathbf{E}$  elektromos és a  $\mathbf{B}$  mágneses erőter forrásai kétfélek, az elektromos töltések és az áramok (rendre), de vegyük észre, hogy *ezek nélkül is lehetséges elektromos, illetve mágneses, egyszóval: elektromágneses erőter, ez az indukció és az eltolási áram jelenségei jóvoltából is léteznek!*

b) Az elektromos és a mágneses erőterek, illetve a leírt jelenségkörök *nem függetlenek egymástól*, az egyik jelenségcsoport nem létezhet a másik nélkül. Ez tükröződik az (1) és (2) egyenletek csatoltságában. *Oersted* és *Faraday* leírták ugyan a gerjesztés és az indukció jelenségét, de az eltolási áram keltette mágneses erőter bevezetésével Maxwell tette ezt a kapcsolatrendszert teljessé. Ez azért történhetett, mert az elektromos jelenségeket kísérő mágneses történés nem volt elég intenzív ahhoz, hogy a kapcsolatot felismerjék.

## A Maxwell-egyenletek következményei

A Maxwell-féle általános törvényszerűségek felismerése éppen jókor jött – függetlenül a matematikai formalizmus kidolgozottsági szintjétől. Ne feledkezzünk el a La Manche, a Csatorna másik partján, a németor-

szági kutatókról. *Heinrich Hertz* (1857–1894) nevéhez fűzi a fizikatörténet az elektromágneses sugárzás kísérleti felfedezését és elméleti leírását, aki Maxwell sejtése nyomán kísérleti bizonyítékát adta a fény elektromágneses hullámzáskénti azonosításának.

Ha az  $\mathbf{E}$  elektromos térerősségre vonatkozó hullámegyenletet szeretnénk megtalálni (egyelőre vákuumban:  $\epsilon_r = \mu_r = 1$ ), az (1.b) egyenlet rotációját képezve

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) - \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B}) = 0$$

adódik, ahova a (2.b)-ből behelyettesítve

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} - \mu_0 \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t}$$

kapható. De mivel

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \Delta \mathbf{E},$$

ahol  $\Delta$  a Laplace-operátor, ezért

$$\Delta \mathbf{E} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = \frac{1}{\epsilon_0} \nabla \rho + \mu_0 \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t}.$$

Ez pedig nem más, mint az  $\mathbf{E}$  elektromos térerősségre vonatkozó inhomogén hullámegyenlet. Az „inhomogén” jelző azt fejezi ki, hogy az  $\mathbf{E}$  térerősség alakulását később és másutt a  $\rho$  és a  $\mathbf{J}$  (is) meghatározza, a zárójelbe tett (is) pedig arra utal, hogy a térbeli tartomány *mindig* tele van az  $\mathbf{E}$  rezgéseivel, sőt, terjedő hullámaival.

(Még az a szerencse, hogy ezt az inhomogén hullámegyenletet a matematikai játékszabályok szerint úgy kell megoldani, hogy a homogén egyenlet általános megoldásához hozzá kell adni az inhomogén egyenlet egy megoldását – természetesen a kezdeti és peremfeltételek kielégítéséről sem feledkezzünk el). Annyi pedig világos, hogy ezen egyenletnek megfelelő hullámok – a vákuumban

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

sebességgel terjednek. De nem feledkezzünk el arról sem, hogy *az E-re vonatkozó hullámegyenlet nem áll egyedül a Maxwell-egyenletek együttesében*. Mert lássuk akár mindjárt a

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

egyenletet. Egyelőre legyen szabad végtelen térben – vezetőktől és szigetelőktől elhagyott, töltés és árammentes esetről beszélni, akkor az

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega) \exp(i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}))$$

alakú (elemi) hullám – amelynek körfrekvenciája  $\omega$ , terjedési iránya  $\mathbf{k}$ , amplitúdója pedig  $\mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega)$  – *okvetlenül* együtt jár a

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{B}(\mathbf{k}, \omega) \exp(i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}))$$

indukcióvektor rezgésével (hullámával), mégpedig úgy, hogy mindig fennáll a

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega) = \omega \mathbf{B}(\mathbf{k}, \omega)$$

reláció, vagyis a  $\mathbf{k}$ ,  $\mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega)$ ,  $\mathbf{B}(\mathbf{k}, \omega)$  vektorok egymásra merőlegesek és *jobbrendszert* alkotnak.

Megjegyezzük, hogy lehetnek olyan bonyolult elrendezések a térben, amelyekre ez a kategorikus kijelentés már nem áll fenn, vagyis nem biztos, hogy csak egymásra merőlegesek lesznek a hullámok, mint például töltéskonzentráció esetén. Ugyanis az  $\mathbf{E}$  és a  $\mathbf{k}$  skaláris szorzata ekkor nem nulla, hanem a töltéskonzentráció Fourier-transzformáltjával arányos.

Most még csak azt foglaljuk össze, hogy mi van, ha a közeg „mérsékelt” komplikáltabb, például nem vákuumról van szó, hanem a tér *óriási kiterjedésű, homogén és izotróp dielektrikummal* van kitöltve. (Természetesen, még tovább lehetne fokozni kristályos szerkezetű vagy elektroaktív, magnetoaktív anyaggal, de ettől most tekintünk el.) A homogén dielektrikumot eszerint a

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} \text{ és}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$$

relációk jellemzik, az egyelőre *skalárnak* tekintett, a közegre jellemző  $\epsilon_r$  és  $\mu_r$  *relatív permeabilitás* és *relatív permittivitás* mellett, valamint feltesszük azt is, hogy  $\epsilon_r$  és  $\mu_r$  a térben és időben állandók és 1-nél nagyobbak. Ekkor a hullámegyenlet homogén része – röviden – így írható:

$$\left\{ \nabla^2 - \epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right\} \begin{Bmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{H} \end{Bmatrix} = 0.$$

Az egyszerűség kedvéért így írva a hat hullámegyenletet, a három  $\mathbf{E}$ - és a három  $\mathbf{H}$ -komponensre. Innen olvasható, hogy ekkor a hullámok terjedési sebessége:

$$c' = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} < c_0$$

a mondott feltételek mellett, tehát *kisebb mint*  $c_0$ . (Lehet, hogy  $\mu_r < 1$ , így elvben  $c'$  nem feltétlenül kisebb mint  $c_0$ , de azt ma még nem tudjuk biztosan.)

Ezzel a megjegyzéssel beköszöntöttünk az optikába! A fény általában transzverzális rezgés, a hullám terjedési sebessége vákuumban  $c_0$ , közegben  $c' < c_0$ , a többi részletet – ha szükséges – a hullámegyenletek (parciális differenciálegyenletek) fáradtságos megoldása adja – a peremfeltételek és szimmetriaviszonyok miatt adódó komplikációk következtében sokszor bizony csak közelítő megoldás formájában.

Ami pedig a hullámok terjedését biztosító közeget illeti, felmerül a súlyos kérdés: hol, miben terjednek ezek a hullámok? Maxwell eredetileg feltételezett egy ilyen közeget (*æther*), de a Maxwell-elmélet mai, einsteini értelmezése szerint: *vákuumban!* Esetleg az azt kitöltő anyagi közegben, a dielektrikumban. Hiába örököltük elődeink „horror vacui” (irtózás az űrtől)

elvét. Ugyanakkor korai lenne eleve tiltakozni a „geometriai tér” fizikai szempontból „lehetőség” szerkezete ellen. A Maxwell-féle fenomenológiai (jelenségi) elektrodinamikában azonban erre nincs szükség!

A Maxwell-egyenletek együttese, mint parciális differenciálegyenletek csatolt rendszere, arra alkalmas, hogy *adott* töltés- és áramrendszer bemenő adataihoz (kezdeti és térbeli eloszlásához) meghatározza, hogy mi lesz az elektromágneses erőter alakja a tér minden pontjában és minden időpontban. Ehhez az üres (töltés- és árammentes) eset is rendelkezésre áll, a parciális differenciálegyenlet-rendszer matematikai megoldásának előírása ezt tartalmazza is.

Okvetlenül ki kell térnünk arra, hogy a (2.a) és a (2.b) egyenletekhez – a megoldás érdekében – a kezdeti időpontban nekünk olyan töltés- és árameloszlást kell megadni, amely nem lehet teljesen önkényes. Ennek belátásához a (2.b) első egyenletét idő szerint deriváljuk, az eredményt a (2.b) második egyenletébe helyettesítjük, ezzel adódik a

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \nabla \mathbf{J} = 0$$

úgynevezett *kontinuitási egyenlet*. Ez a töltéssűrűség és az áramsűrűség közti (folytonos) kapcsolatot, röviden *az elektromos töltés megmaradását* fejezi ki.

Ha már elektromos töltésről – és dipólusokról stb. – beszélünk, érdemes arra is kitérni, hogy *jelenlegi tudásunk* szerint *az elektromos töltés és a mágneses dipólus* (stb.) *nem létezik tömeg nélkül*. Az elektron töltésének és tömegének a hányadosát, a *fajlagos töltését* Robert Andrews Millikan (1866–1953) határozta meg először. A proton fajlagos töltése kisebb (a proton nagyobb tömege miatt), meghatározása nem okozott akkora szenzációt, mint az elektron esetében. A töltött mezonoké sem, a nehezebb barionoké sem. Az igazán jelentős lépésnek *az elektron* elemi fajlagos töltésének meghatározása, a töltés kétfajta előjelének megállapítása és a mágneses dipólnyomaték értékének mérése bizonyult.

**Az elektromágneses erőterben energia van, amely áramlik!**

Az elektromágneses erőter, mint láttuk, új és szokatlan szerzet volt a fizikában. Ráadásul, hiába tűnik ma a leg-egyszerűbb valódi fizikai *vektortér-kombinációnak*, mégsem volt elegendő, jó hatásfokú a matematikai fegyvertár, bármennyire is megbarátkoztak már a fizikusok és a matematikusok a lineáris rugalmasságtannal. Nem győzzük hangsúlyozni, mennyi zavart okozott a megértésben az, hogy *az elektrodinamikai hatás a vákuumban is képes tovaterjedni*. De, hogy ebben a fura erőterben, ami még a vákuumban is képes tovaterjedni, még az energia is képes áramolni, mindenesetre szokatlan (nem is beszélve arról, hogy az elektromágneses erőternek még más tulajdonságai is vannak!).

Lássuk csak! (Nekünk aránylag könnyű dolgunk van, hála a vektoralgebrának, a vektoranalízisnek, de legfőképpen a Heaviside-tól eredő átalakításoknak!)

A Maxwell-egyenletek első csoportját írjuk fel vákuumban, most így:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t},$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}.$$

Az első  $\mathbf{E}$ -vel, a másodikat  $\mathbf{H}$ -val szorozzuk skalárisan:

$$\mathbf{E}(\nabla \times \mathbf{B}) = \mu_0 \mathbf{E} \mathbf{J} + \mu_0 \mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t},$$

$$\mathbf{H}(\nabla \times \mathbf{E}) = -\mathbf{H} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}.$$

Az első egyenletet elosztjuk  $\mu_0$ -val:

$$\mathbf{E}(\nabla \times \mathbf{H}) = \mathbf{E} \mathbf{J} + \mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

Most pedig a két egyenlet különbségét képezzük (azonos dimenziójukról meggyőződve):

$$\mathbf{E}(\nabla \times \mathbf{H}) - \mathbf{H}(\nabla \times \mathbf{E}) = \mathbf{E} \mathbf{J} + \mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{H} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}.$$

A bal oldalon alkalmazzuk a

$$\nabla(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) = \mathbf{b}(\nabla \times \mathbf{a}) - \mathbf{a}(\nabla \times \mathbf{b})$$

átalakítást. Ezzel a

$$\nabla(\mathbf{E} \times \mathbf{H}) + \mathbf{E} \mathbf{J} = -\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\epsilon_0 \mathbf{E}^2}{2} + \frac{\mu_0 \mathbf{H}^2}{2} \right)$$

alakhoz jutunk. Ez az egyenlet röviden

$$-\frac{\partial U}{\partial t} = \nabla \mathbf{s} + \mathbf{E} \mathbf{J}$$

alakban is írható, ahol

$$U = \frac{1}{2} (\epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}^2 + \mu_0 \mu_r \mathbf{H}^2),$$

(általánosítva arra az esetre, amikor  $\epsilon_r$  és  $\mu_r$  is jellemzi a környezetben lévő anyagot), az

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

pedig a *Poynting-vektor*. Szemmel látható, hogy ez az eredmény az elektrodinamikai energiatétel! Az elektromágneses energiasűrűség (egy térfogatban, amire integrálnunk kell!) fogy, mert a térfogatból kiáramlik az  $\mathbf{S}$  térenergia-áramsűrűség (amit a térfogat felületére kell integrálni, hiszen *áramsűrűségről* van szó!), illetve, a térfogatban  $\mathbf{E} \mathbf{J}$  energiasűrűséget felemészt az áram Joule-hője alakjában. Az  $\mathbf{S}$  a Poynting-vektor pontosabb jelentése a felületegységen időegység alatt kiáramló térenergia. Az  $\mathbf{S}$  bevezetését *John Henry Poynting* (1852–1914) angol fizikus érdemének tekintjük, akinek az volt a meggyőződése, hogy az elektromágneses erőter az anyagi világ egyik megnyilvánulása (1884).

Az elektromágneses erőternek impulzusa is van!

Az impulzus is gyakori szereplője a klasszikus fizikának, hiszen a mozgó testeknek van impulzusuk. De, hogy az elektromágneses erőternek is? Ezt meg kell vizsgálni!

Vegyük azt az esetet, hogy egy  $\mathbf{q}_m$  mechanikai tömegsűrűségű anyagdarabnak  $\mathbf{q}$  töltéssűrűsége is van, ezért rá elektromos erőter hat, és ha mozog, akkor még áramsűrűséget is képvisel, így a környezet mágneses erőtere is hat rá. Ezt fejezi ki a mozgásegyenlet, ahol a jobb oldalon a Lorentz-erő (sűrűsége) is szerepel:

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{q}_m \mathbf{v}) = \mathbf{q} \mathbf{E} + \mathbf{J} \times \mathbf{B}.$$

Itt

$$\mathbf{J} = \mathbf{q} \mathbf{v}.$$

Ezt az erőt *Hendrik Antoon van Lorentz* holland fizikus (1853–1928) ismerte fel. Most ebben a képletben a  $\mathbf{q}$  töltéssűrűséget és a  $\mathbf{J}$  áramsűrűséget fejezzük ki a Maxwell-egyenletek sajátos olvasatával (jobbról balra):

$$\mathbf{q} = \nabla \mathbf{D},$$

$$\mathbf{J} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

(Mellesleg érdemes egy pillanatra elgondolkodni azon, hogy ezek a „fordítva olvasott egyenletek” a töltés és áram bizonyos jellegzetes erővonalképéről is árulkodnak!)

Ezzel a mozgásegyenlet jobb oldalát átalakítjuk:

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{q}_m \mathbf{v}) = \mathbf{E}(\nabla \mathbf{D}) + \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} + \mathbf{B} \times \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

Ha most alkalmazzuk a

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{D} \times \mathbf{B}) = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \times \mathbf{B} + \mathbf{D} \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

differenciálási szabályt, akkor a

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\mathbf{q}_m \mathbf{v}) + \frac{d}{dt}(\mathbf{D} \times \mathbf{B}) &= \\ &= \mathbf{E}(\nabla \mathbf{D}) + \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} + \mathbf{D} \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \end{aligned}$$

egyenlethez jutunk. Itt a kifejtési tételt fogjuk alkalmazni:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\mu_0} [(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B}] &= -\frac{1}{\mu_0} [\mathbf{B} \times (\nabla \times \mathbf{B})] = \\ &= -\left( \nabla \frac{B^2}{2\mu_0} - \mathbf{B} \frac{\nabla \mathbf{B}}{\mu_0} \right). \end{aligned}$$

Az utolsó tagról belátható, hogy tisztán örvényes terек esetén, mint amilyen  $\mathbf{B}$ , zérus. Így kapjuk, hogy

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{q}_m \mathbf{v} + \mathbf{D} \times \mathbf{B}) = \mathbf{E}(\nabla \mathbf{D}) - \nabla \frac{B^2}{2\mu_0} + \mathbf{D} \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}.$$

Itt ismét felhasználjuk az indukciós Maxwell-egyenletet és kiderül, hogy

$$\mathbf{D} \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\frac{1}{\epsilon_0} \mathbf{D} \times (\nabla \times \mathbf{D}) = -\left( \nabla \frac{D^2}{2\epsilon_0} - \mathbf{D} \frac{\nabla \mathbf{D}}{\epsilon_0} \right).$$

Ha feltételezzük, hogy a vizsgált tartományban nincsenek töltések,  $\mathbf{q} = \mathbf{q}_m = 0$ , akkor  $\mathbf{D}$  tisztán örvényes erőter,  $\mathbf{D}(\nabla \mathbf{D}) = 0$  és a jobb oldalon álló utolsó tag is eltűnik. Rendezés után – töltött anyag nélkül – a mozgásegyenlet

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{D} \times \mathbf{B}) = -\nabla \left( \frac{B^2}{2\mu_0} + \frac{D^2}{2\epsilon_0} \right).$$

Ebből kiolvassuk, hogy az impulzus nem csak mechanikai lehet, hanem ilyen fizikai mennyisége az elektromágneses erőternek is van. Ez pedig a  $\mathbf{g}$  elektromágneses impulzussűrűséggel írható le:

$$\mathbf{g} = \mathbf{D} \times \mathbf{B} = \epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B} = \epsilon_0 \mu_0 \mathbf{E} \times \mathbf{H}.$$

És most jön a meglepetés!

De hát még csak most jön a java! Ha az elektromágneses erőternek van

$$\mathbf{g} = \epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}$$

impulzussűrűsége és van

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B},$$

elektromágneses energiaáram-sűrűsége, akkor vegyük észre, hogy  $\mathbf{g}$  és  $\mathbf{S}$  párhuzamos vektorok, tehát könnyű leolvasni, hogy egymással arányosak:

$$\frac{1}{\epsilon_0} \mathbf{g} = \mu_0 \mathbf{S},$$

vagyis

$$\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \mathbf{g} = \mathbf{S},$$

ami a korábbi, vákuum esetén tett megállapításunk szerint

$$\mathbf{g} c^2 = \mathbf{S}.$$

Ez a reláció először Max Plancknál jelent meg! *Ez pedig igazán furcsa megállapítás az elektrodinamikában!* Tulajdonképpen, ha azt mondanánk, hogy az

elektromágneses erőter térfogategységre eső része  $M$  tömegű, és ez az „anyag”  $c$  sebességgel terjed, valamint energiája (térfogategységben)  $\mathcal{E}$ , akkor

$$\mathbf{g} c^2 = \mathbf{S}$$

alapján adódik, hogy az elektromágneses erőter olyan fura „anyag” amelyet tesz a

$$\mathcal{E} = M c^2$$

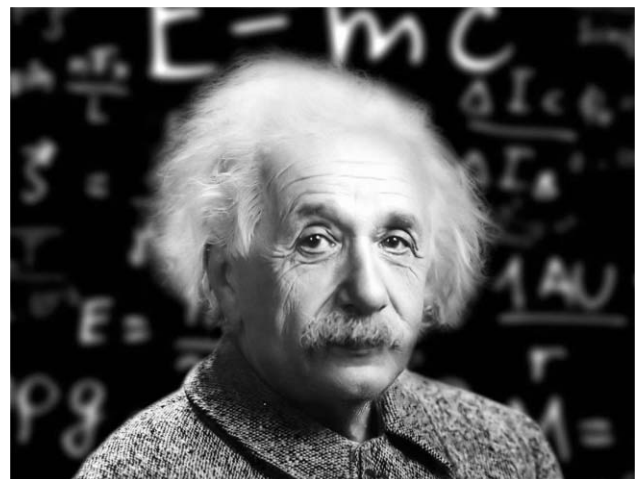
relációnak. *Ez Max Planck megállapítása.* A 19. század végén, még a relativitáselmélet megszületése előtt, sőt, a fotonhipotézis és a kvantumhipotézis előtt!

## Konklúzió

Az eddigiekből világosan látszik, mekkora hatással volt az elektrodinamika megjelenése és kifejlődése J. C. Maxwell és O. Heaviside – meg természetesen sok más kutató (H. Hertz, M. Planck) nyomán. Igen lényeges, hogy az elektrodinamikába belépő kutatók egy *Új Világban* találták magukat (ez a „feltalálás” azért eltartott pár évtizedig). Mi volt a kulcs? Az elektromos és a mágneses erőter kapcsolatának, egymásra utaltságának felismerése. Mi volt a jutalom? A technikai élet villamosítása gyakorlati szempontján és az optika meghódításán túl *az egységes, elektromágneses erőter komolyan vétele* mellett az a megállapítás, hogy *az elektrodinamika nem klasszikus tudomány, hanem a relativitáselmélet kiépítésének kapuja!* És az sem elhanyagolható jellemvonása a felfedezésnek, hogy íme, van egy új, gyakorlatilag is fontos erőter, ami *nem* a klasszikus fizikát (a Galilei-transzformációt) követi!

Erre a konklúzióra épül, hogy Albert Einstein felismeri a speciális relativitás elvét (a fénysebesség vákuumbeli értékének univerzális szerepét) azt, hogy a Galilei-transzformáció nem univerzális, hanem csak a Lorentz-transzformáció – (vákuumbeli) fénysebességhez képest – kicsi sebességekre vonatkozó közelítése. Az elv felismerése után megalkotta a speciális relativitás

5. ábra. Albert Einstein



tás elméletét, amiben az elektromágneses tér új arcu-  
lata jelenik meg: a vektorpotenciál négyes vektortér  
formájában, a térerősségek tenzortér alakjában. S har-  
cokkal teli bő évtized után az is kiderül, hogy a gravi-  
táció sem (Galilei-invariáns) skalártér, egyetlen skalár  
gravitációs potenciállal, hanem (négyes) tenzortér, a  
négy dimenziós Riemann-térben.

S gondoljunk bele, hogy milyen messzire ható sze-  
repet játszott ebben a fejlődésben Max Planck „pará-  
nyi” felfedezése: az  $E = mc^2$  megállapítása az elektro-  
dinamikában!

Ezért aztán egyáltalán nem véletlen, hogy Albert  
Einstein (5. ábra) korszakalkotó cikke [4], a *Mozgó  
testek elektrodinamikája* – ami köztudottan a speciális  
relativitáselmélet hivatalos nyitányává vált – éppen a  
Maxwell-egyenletekkel kezdődik [1]. Einsteinnek az a  
cikke [5], amiben az  $E = mc^2$  állítást megfogalmazta  
az elektrodinamikában, hosszabb kutatómunkára  
serkentette Max Planckot az állítás általánosításának  
bizonyítására.

## Irodalom

1. J. C. Maxwell: *Treatise on Electricity and Magnetism I., II.* Clarendon Press, Oxford, 1873.
2. Zemplén Győző: *Az elektromosság és gyakorlati alkalmazásai.* (A Természettudományi Társulat könyvsorozatának 82. kötete, Budapest (1910) 884.
3. Novobátzky Károly, Neugebauer Tibor: *Elektrodinamika és optika.* Egyetemi tankönyvkiadó, Budapest, 1952.  
Nagy Károly: *Elektrodinamika.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.  
Hevesi Imre: *Elektromosságtan.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Buda-  
pest, 1998.  
Litz József: *Elektromosságtan és mágnességtan.* Műszaki Könyv-  
kiadó, Budapest, 1998. (Ez a könyv tartalmaz utalást az  $E = mc^2$   
törvényre.)  
Litz József: *Fizika II. – Termodinamika és molekuláris fizika –  
Elektromosság és mágnesség.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Buda-  
pest, 2005.
4. Albert Einstein: Elektrodinamik bewegter Körper. *Annalen der  
Physik* 4/18 (1905) 891–921. – magyarul: A. E.: *Mozgó testek  
elektrodinamikája, válogatott tanulmányok.* Gondolat Kiadó,  
Budapest, (1971) 55–73. – A. E.: Válogatott írásai. *Principia Phi-  
losophiae Naturalis* 4. Typotex Kiadó, Budapest (2005) 81–103.
5. Albert Einstein: Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Ener-  
gie. *Annalen der Physik* 4/23 (1907) 371–384.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# »ILYEN A FIZIKA – AZ EMBER MEGFIGYEL ÉS TANUL«

A romániai Nagyváradon *Bartos-Elekes István* fizikatanár minden év őszen nemzetközi fizikaversenyt rendez. Minden gimnazista részt vehet rajta. Németországból is szívesen fogadnak diákokat.

Nagyváradon az Ady Endre Gimnázium nehéz, fából készült bejárati ajtói nyikorognak. Az embernek erő kell a kinyitásukhoz. Ezeket az ajtókat Bartos István már számtalanszor kinyitotta. Több mint 20 évig tevékenykedett ebben az iskolában, mint fizikatanár. A 244 éves épület a városközpontban van, az állami színház mögött. Közvetlen közelében fekszik a sétálónegyed, kellemes kávézókkal és kis üzletekkel.

A gimnázium és a fizika a nyugdíjban sem ereszti el Bartos Istvánt. Még mindig kapcsolatban van az iskolával. Az aulában még mindig köszönti őt *Ady Endre* mellszobra, azé a költőé, aki Magyarországon és a jelentős magyar lakossággal bíró Nagyváradon is hírességnek számít, és aki az intézmény névadója.

A München melletti Max Planck Kvantumoptikai Intézet *Photonworld* internetes folyóiratában megjelent egy beszámoló a Schwartz-versenyről és a *Bartos-Elekes István* által létrehozott Fizikumról (<https://www.photonworld.de/nc/en/magazin/artikel/so-ist-physik-man-beobachtet-und-lernt/aseite/1.html>). A szokásos német-angol változat mellett lefordították magyarra is (<https://www.photonworld.de/nc/en/magazine/article/ilyen-a-fizika-az-ember-megfigyel-es-tanul/aseite/1.html>). Ezt az írást közöljük, bemutatva Bartos-Elekes István majd negyedszázados munkájának eredményét.

Bartos Istvánnak jó kedve van. Előző nap itt zajlott le az általa sikeresen szervezett fizikaverseny. Több mint 50 diák jött el, hogy szembenézzen azokkal a feladatokkal, amelyeken Bartos István előtte 3 hónapig dolgozott. Még ugyanazon az estén – a meghívott neves tudósok előadásaival tarkítva – megtörtént a győztesek kihirdetése. Ebben az évben Bartos István egy új vendéget is köszöntött, *Krausz Ferenc* professzort, Münchenből. Az ultrarövid időskálán lezajló folyamatokkal foglalkozó fizikus bemutatta a diákoknak és a tanároknak az attoszekundumos fizikát. Azt a kutatási területet, ahol a tudósok a lézertechnológia segítségével bepillantást nyernek a mikrokozmosz mélységeibe és felderítik az elektronok viselkedését.

Most, a verseny utáni napon Krausz és a vendéglátója a gimnázium patinás fizikatermében meghitten üldögélnek. Itt tanított Bartos István, itt érzi jól magát. A faburkolattal ellátott falakon stroboszkópos technikával készült fényképek lógnak. Felettük egy régi, képcsöves monitor trónol, ez a számítógép-vezérelt iskolacsengő, még 1991-ből. A bejárati ajtó mellett a gravitációs gyorsulás meghatározására szolgáló, maszszív kísérleti szerkezet függ. És Bartos István gyorsan mesélni kezd.

„Ebben az évben 26. alkalommal rendeztük meg ezt a fizikaversenyt” – mondja büszkén. – „Már voltak itt versenyzők Albániából, Moldáviából és természetesen Magyarországról.” Szívesen köszöntene egyszer részt-



ben egy parabolához hasonló görbét adnak. Itt van a baj! A görbe csak hasonlít a parabolához, a feladat e kicsi eltérés okának a kiderítése. „Ennél a kísérletnél a cél, leírni, hogy mit tanulhat belőle az ember. A számolás itt nem fontos” – mondja Bartos István. – „Így működik a fizika, az ember megfigyel és tanul.”

Bartos István szenvedélye minden, aminek köze van az elektronikához és a fizikához.

vevőket Németországból is. „Mindenkint szívesen látunk” – közli. – „Akkor természetesen németre is lefordítjuk a feladatokat” – ajánlja fel spontán. Biztos, hogy nagy élmény a részvétel. Mindenki a gimnáziumban alszik, a verseny egy napig tart, utána van ideje az embernek felderíteni Nagyváradot. Kellemes város, ahol sok sarkon úgy tűnik, mintha megállt volna az idő. Fantáziadús kávézók, sok szecessziós épület, éppen úgy, mint szocialista építészeti stílus és ehhez tágas parkok. Közben több évtizedes, színes villamosok közlekednek, amelyek egykor az NDK-ban voltak úton.

A fizikaverseny feladatait a 10–12. iskolai évfolyamokhoz igazították, emellett van egy külön kategória az egyetemisták számára is. Mindegyikben külön értékelnek és választanak győztest. Van egy elméleti és egy kísérleti rész. A „kísérlet” végsőnél Bartos István mozgásba lendül és otthagyja székét, még egyszer gyorsan felépíti a tegnapi elrendezést. Egy ferde síkon lecsúsztat egy fadarabot. A stroboszkóp elektronikája az első villanáskor kikapcsolja az elektromágnes áramát, az elengedi az addig visszatartott fadarabot, és negyedmásodpercenként villant egyet. A fadarab lefele csúszó fázisában stroboszkópos technikával egyetlen kép készül, rajta a fadarab egymás utáni helyzeteivel. A villanáskori pozíciók az időpontok függvényé-

Tizenéves kora óta így van ez. Doktori disszertációja is az elektronikán alapszik. Sok diákgenerációnak átadta már ezt a tudást. A kommunizmus legmélyebb időszakában is minden alkalmat megragadott, hogy fizikát tanítson. „Amikor osztályfőnök voltam, hetente egyszer reggel 7 órakor politikai képzést kellett tartanom” – meséli. – „Akkor én mindig fizikát oktattam” – nevet huncutul. Szerencsére soha egy diákja sem köpte be. Pont ellenkezőleg: még ma is sok akkori védencével tartja a kapcsolatot. És ők segítenek neki a versenyek szervezésében. Mindezt a fizika iránti tiszteletből és szenvedélyből teszik.

Most az a cél, hogy a versenyek jövőjét biztosítsák. „A 30. évfordulóra szeretném még folytatni” – mondja Bartos István. – „Akkor 80 éves leszek, onnantól a fiatalokon a sor.” Támogató nélkül nem fog működni. Krausz Ferenc és sokan mások lelkesednek az ötletért és ígérték, hogy segítenek.

A legvégén Bartos István még hagyta magát megpuhítani, hogy adjon egy tippet arra a kérdésre, hogy milyen feladatok lesznek a jövő évben. „Nagyrészt az optikáról és az elektronikáról lesz szó” – árulja el. Akkor egy túlméretezett kulcsot vesz a kezébe és gondosan bezárja egykori munkássága színhelyének ajtóit.

*Thorsten Naeser*

## EGY FEKETE DOBOZ SZERKEZETÉNEK MEGFEJTÉSE

### Laborgyakorlat és versenyfeladat a nagyváradai Ady Endre Líceumban

Bartos-Elekes István  
Nagyvárad, Románia

Móttó: Az egyszerű eszközök is alkalmasak a mély értelmű diákkísérletekre.

#### A nagyváradai Schwartz Emlékverseny

A verseny<sup>1</sup> – mint sok más verseny – lényegében egy feladatmegoldó próbából áll, de a kísérletező tanár gondolkodásmódját tükröző feladatok és az egyete-

<sup>1</sup> <http://lady.rdsor.ro/~schwartz>

mi tanárok, kutatók előadásai miatt, különbözik a többiektől. 1997-ben bevezettem a kísérleti adatok feldolgozási versenyét. A résztvevők egy kísérletet látnak, amely hasonlít az iskolában esetleg elvégzett kísérlethez, de eredményeiben mégis különbözik attól. Az egyszerű modelleken alapuló elméletek más eredményekre vezetnek, a látottak és a mértek



1. ábra. Az összeszerelt kísérleti berendezés.

egyes esetekben ellentmondanak az iskolában tanultaknak. A versenyző nem kap pontokba szedett útbaigazítást, csak ötleteket, vagy éppen semmit, hiszen a fizikusnak sem mondják meg, hogy mit fedezzen fel. Kizárólag a kapott mérési adatok alapján kell feloldania, és megmagyaráznia a látszólagos ellentmondást a (kor) tudása és a kísérleti eredmény biztonsága között. A jelen cikkben a XXIII. Emlékverseny (2013) kísérleti feladatának bemutatására és tanári szintű megoldására kerül sor. A sokéves verseny történetében először született tökéletes megoldás. Az egyik versenyző (*Takátsy János* – Városmajori Gimnázium, Budapest) nem ismerte a kapcsolás lényegét jelentő egyik eszközt, de a mérési adatok alapján kitalálta, majd leírta működését, és főleg kikerülte az általam állított jelenség- és adatsapdát. Kell ennél több egy tanárnak?

## A kísérleti feladat bemutatása

A fekete dobozban egy passzív áramkört elemekből megépített kétpólust rejtettünk el. Ennek voltamperes karakterisztikája alapján kell megfejteni a belső kapcsolási rajzot. A feladat látszólag igen egyszerű, mert az adatok első ábrázolásakor a pozitív ágba egy parabolászerű görbét, a negatív ágba pedig egy kezdeti picit görbülettel induló, de igen meredek egyenest kapunk. A „megoldás” azonnali: a pozitív ágba egy nemlineáris elem, a negatívban egy félvezető dióda van! Mindkét állítás hibás, ezek csak a felületes adatfeldolgozás eredményei!

## A kísérleti berendezés

Ez a kísérlet még a '90-es évek legelején született az iskolánk *Fizikum* nevű fizikai laboratóriumában. Az 1. ábrán az emlékversenyen bemutatott kísérleti berendezés fényképe látható. A cipős dobozba rejtett kapcsolás egyszerű áramkört elemeket tartalmaz. Az RXN-303D-II típusú feszültségforrás helipotál (helicoidális potenciométer) nagyon finoman szabályozható, stabil egyenfeszültséget szolgáltat, viszont a kijelzett feszültség- és áramértékei csak informatívak, a

mi igényeinknek nem felelnek meg. A fekete doboz kivezetett csatlakozói közötti  $U_{MN}$  feszültséget az UT61E-U négy és fél digitos, professzionális műszerrel mérjük, ennek belső, névleges ellenállása  $10\text{ M}\Omega$ , valójában  $R_V = 11,08\text{ M}\Omega$ . Az  $I_m$  áramerősséget egy másik UT61E-I mérőműszerről olvassuk le, ebben benne van a voltmérő által felvett igen kicsi áram is. A 2,2 mA alatti áramokat  $\mu\text{A}$ -ben, a 2,2 mA felettieket pedig mA-ben mérjük. A műszereink pontossága  $\pm 0,1\%$ .

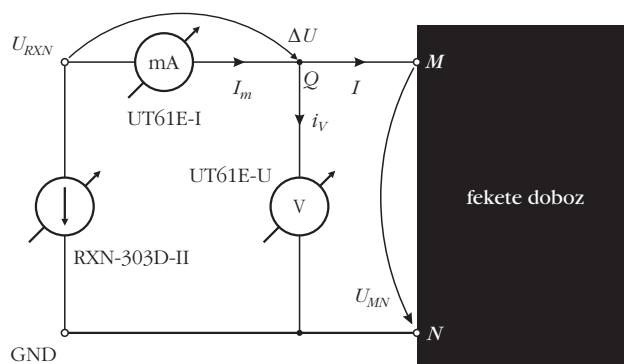
## A mérőkapcsolás

A fekete dobozban csak egyszerű, passzív elektronikai alkatrészek vannak. Az összeszerelt kísérleti berendezés kapcsolási rajzát a 2. ábrán láthatjuk. A fentebb említett pontossági igény már az 1. ábrán is jelentkezik. A tápforrás műszereinek feladata a nagyságrend mérése három számjeggyel, de legfeljebb egy tizedessel, így ne csodálkozzunk azon, hogy az általam mért feszültség nem egyezik a műszereinkkel mért feszültséggel. Valójában még rosszabb az „egyezés”, mert az árammérő  $r_{mA}$  belső ellenállása  $10,43\ \Omega$ , ezen az  $I_m = 10,921\text{ mA}$ -es áram  $\Delta U = 114\text{ mV}$ -os feszültségesést hoz létre. Így a táp kapocsfeszültsége:  $U_{RXN} = U_{MN} + \Delta U = 15,581\text{ V} + 114\text{ mV} = 15,695\text{ V}$ , ezt mindkét műszerrel ellenőriztük, a különbség közöttük  $5\text{ mV}$  ( $0,03\%$ ). A feszültségmérő által felvett néhány tíz nA nagyságrendű  $i_V$  műszeráramot az adatfeldolgozáskor kivonjuk az árammérő által mért  $I_m$  áramból, a fekete dobozba csak  $I = I_m - i_V$  áram jut.

## A mérési adatok

A fekete doboznak csak két csatlakozási lehetősége van, vagyis bizonyára egy dipólus, ezért felvesszük a feszültség-áram karakterisztikáját. A feszültséget mindkét irányban  $-0,00\text{ V}$  és  $30,00\text{ V}$  között – finoman változtatjuk. Megtörténhet, hogy a kapcsolásban diódák is vannak, ezek karakterisztikája exponenciális, ezért a méréskor mindig a gyorsabban változó mennyiséget léptetjük finoman, így elkerülhetjük az „adatlyukakat”. Professzionális tápegységünk lehetővé teszi a nagyon kis lépésközt, de az iskolai gyakorlatnál csak egy áramkorlátozó ellenállással fékezhet-

2. ábra. Az összeszerelt kísérleti berendezés elektromos kapcsolása. A műszerek elhelyezésénél a minimális szisztematikus hiba elérése volt a cél.





1. táblázat

**A fekete doboz feszültség-áram karakterisztikájának mérési adatai pozitív feszültségtartományban**

Nr.	$U_{MN}$ (V)	$I$ ( $\mu$ A, mA)	Nr.	$U_{MN}$ (V)	$I$ (mA)
0	0	0	20	11,042	4,523
1	0,0222	4,82	21	11,541	4,889
2	0,408	88,51	22	12,221	5,423
3	0,836	181,35	23	13,305	7,151
4	1,2801	277,4	24	14,987	9,950
5	1,8305	396,6	25	16,193	11,964
6	2,244	486,7	26	17,255	13,740
7	2,957	641,2	27	18,551	15,914
8	3,377	732,3	28	19,969	18,290
9	3,732	809,4	29	21,088	20,170
10	4,592	995,7	30	22,55	24,26
11	5,336	1157,0	31	23,87	29,81
12	6,205	1345,7	32	24,97	34,32
13	6,934	1557,8	33	26,15	39,20
14	7,144	1705,6	34	26,91	42,39
15	7,771	2,148	35	27,63	45,37
16	8,038	2,334	36	28,62	50,08
17	9,324	3,267	37	29,14	51,65
18	9,933	3,709	38	30,18	56,00
19	10,254	3,945	39	30,44	56,68

2. táblázat

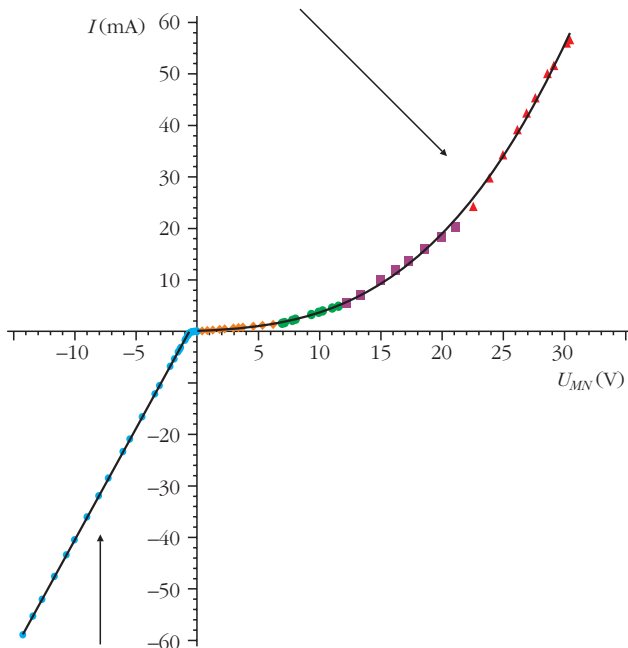
**A fekete doboz feszültség-áram karakterisztikájának mérési adatai negatív feszültségtartományban**

Nr.	$U_{MN}$ (V)	$I$ ( $\mu$ A, mA)	Nr.	$U_{MN}$ (V)	$I$ (mA)
0	0	0	16	-1,8682	-5,366
1	-0,1108	-24,06	17	-2,2050	-6,805
2	-0,2292	-49,78	18	-3,083	-10,567
3	-0,3027	-65,98	19	-3,460	-12,173
4	-0,3753	-82,11	20	-4,494	-16,615
5	-0,4890	-131,99	21	-5,495	-20,928
6	-0,5945	-296,7	22	-6,064	-23,37
7	-0,6457	-435,7	23	-7,258	-28,53
8	-0,6889	-570,3	24	-8,049	-31,95
9	-0,7449	-765,1	25	-8,996	-36,06
10	-0,8025	-976,4	26	-10,014	-40,49
11	-0,9186	-1424,2	27	-10,685	-43,40
12	-0,9981	-1742,2	28	-11,654	-47,62
13	-1,3427	-3,161	29	-12,667	-52,05
14	-1,4295	-3,526	30	-13,411	-55,30
15	-1,5501	-4,029	31	-14,241	-58,94

jük meg az áram exponenciális növekedését. Kisebbszültségeknél – a léptetési kritériumokat betartva – beszabályozzuk a feszültséget, leolvassuk a feszültség- és áramértékeket. A nagyobb feszültségeknél – a mérések után, az adatok feljegyzése idejére – a fekete doboz  $M$  csatlakozóját kihúzzuk, így elkerülhetjük az alkatrészek melegeledését, azaz paramétereik megváltozását. A pozitív ági mérési eredményeket az 1. táblázatban, a negatív ági méréseket a 2. táblázatban foglaltuk össze. Ezek a mérések nem tartalmazzák a

3. ábra. A fekete doboz teljes feszültség-áram karakterisztikája.  $U_{MN}$  (V) a fekete dobozra kapcsolt egyenfeszültség,  $I$  (mA) a fekete doboz által felvett áram.

$$U_{MN} \geq 0: I = 0,0016 \cdot U_{MN}^3 + 0,0101 \cdot U_{MN}^2 + 0,097 \cdot U_{MN} + 0,1032 \text{ (mA, V)}$$



$$U_{MN} \leq -1,865 \text{ V}: I = 4,328635 \cdot U_{MN} + 2,816111 \text{ (mA, V)}$$

voltmérő által felvett áramok miatti korrekciót, az  $i_V$ -t csak a számításokban vesszük figyelembe. A két táblázat mérési adataiban a mért  $I_m$  áram szerepel, de a továbbiakban alkalmazzuk a korrekciót, és csak a kiszámított

$$I = I_m - \frac{U_{MN}}{R_V}$$

árammal dolgozunk.

## A kísérleti feladat megoldása

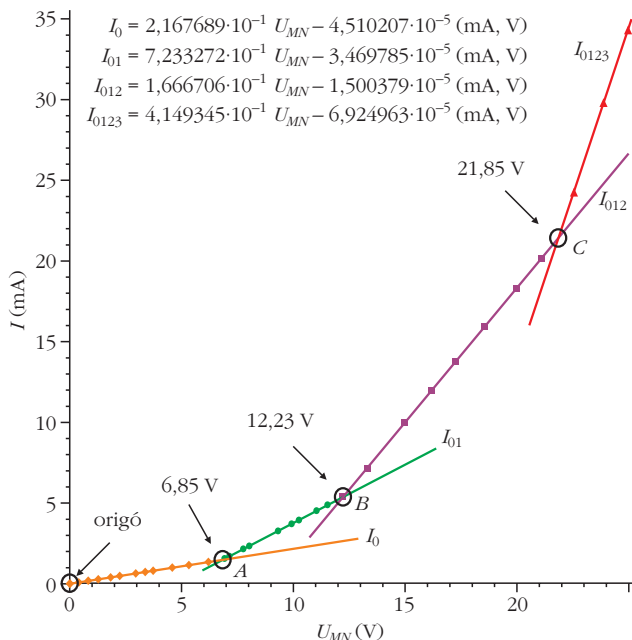
### A mérési adatok első értelmezése

A fizikus a mérései befejeztével, „még melegen” ábrázolja a méréseit, majd a grafikon alapján megpróbálja értelmezni azokat. A méréseink összesített grafikonja a 3. ábrán látható.

A pozitív részben egy harmadfokú függvény igen jól illeszkedik a mérési pontokra, azonban közepén néhány mérés eltér a görbétől, ez akár mérési hiba is lehetne. Ebben a részben egy nemlineáris elem, esetleg egy NTC termisztor van. A görbe aszimmetriáját bizonyára egy dióda okozza.

A negatív részben a kezdeti görbület miatt egyértelmű egy dióda jelenléte sorban egy ellenállással, ezt az egyenes szakasz is igen jól mutatja.

Folytathatnánk a képzelgést, de – amint látni fogjuk – a mérések számszerű feldolgozása alapján létrejött valós kapcsolásnak semmi köze sincs az elmondottakhoz. Különbösen is, a harmadfokú görbével nem lehet „beljebb” menni a kapcsolásba, a termisztorral pedig nemigen valósíthatunk meg stabilan működő kapcsolást, mivel az áramjárta termisztor ellenállása a melegeedés következtében exponenciálisan függ a termisztor (abszolút) hőmérsékletétől. A negatív rész nullpont körüli görbéje kinagyítva egyáltalán nem exponenciális, így a dióda és egy ellenállás soros kapcsolása sem helyes elképzelés.

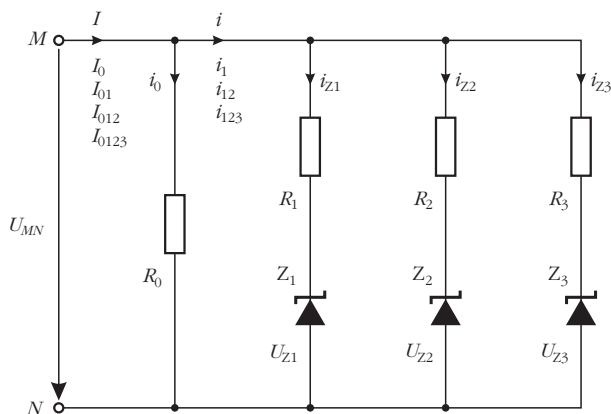


4. ábra. A fekete doboz feszültség-áram karakterisztikájának részlete. Az illesztő görbék találkozási pontjaiból a Zener-diódák letörési feszültsége olvasható ki.

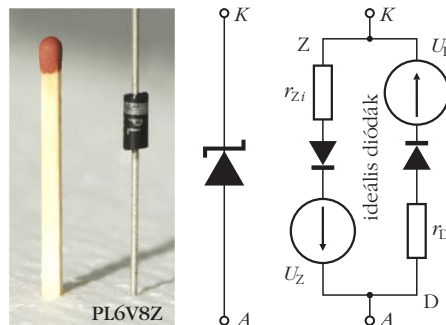
### A pozitív feszültségtartomány mérési adatainak feldolgozása

Ha figyelmesebben megvizsgáljuk a pozitív részt, jól elkülöníthető, szinte tökéletesen egyenes szakaszokra bonthatjuk. A ferde és egyenes szakaszok ellenállásokhoz köthetők, az  $U_{MN}$  feszültség növelésével megjelenő, egyre meredekebb illesztő görbék pedig újabb ellenállások bekapcsolását jelzik. A „kapcsoló” csak egy bizonyos feszültségnél kezd működni, ezután bekapcsolva marad. A 4. ábrán a fekete doboz feszültség-áram karakterisztikájának részlete látható. A feladat megfogalmazásánál a mérési pontokat úgy osztottuk négy részre, hogy a szélső méréspontok néhány tized voltnyira legyenek a feltételezett törésponttól. Négy, teljesen egyenes mérőpontozott jött létre, amelyekre egy-egy egyenest illesztettünk, ezek ta-

6. ábra. A fekete doboz elképzelt belső kapcsolása, egyelőre az értékek megjelölése nélkül.



Az  $I$  áram indexe az  $R_0$  és az aktív diódák áramát jelöli, az  $i$  áram indexe az aktív diódák áramát jelöli.



5. ábra. A Zener-dióda és az áramköri szempontból elképzelt egyenértékű belső kapcsolása. A diódán látható ezüst csík a D dióda katódját jelzi.

pasztalati egyenleteit feltüntettük a 4. ábrán. A fekete doboz által felvett  $I$  áramot a szakaszok kiindulási pontjának megfelelő indexekkel jelöljük, mindegyik új áram tartalmazza az előbbi szakasz áramát is. Az  $I_0$  illesztő egyenese az origóból indul, iránytényezőjét kizárólag az  $R_0$  ellenállás határozza meg, ezért kap 0 indexet. Az  $A$  és  $B$  pontok között az  $I_{01}$  azt jelenti, hogy az  $R_1$  ellenállás is bekapcsolódott az áramkörbe. A fekete doboz által felvett áramot egyre több – a túllépett pontnak megfelelő – indexszel jelöljük. Az utolsó az  $I_{0123}$ , ez a legmeredekebb, vagyis a legkisebb ellenállás hozza létre. (Az  $I_{0123}$  nagy értékei miatt az utolsó szakasz vége kimaradt az ábrázolásból, így a függőleges felbontás a kétszeresére nőtt, ezáltal jól látszik az  $R_0$  kis áramú karakterisztikája is.)

### A kapcsoló

Amint az  $U_{MN}$  feszültség eléri az  $A$ ,  $B$  és  $C$  pontoknak megfelelő feszültséget, az áram növekedési sebessége nagyobb lesz, vagyis egy-egy újabb ellenállás kapcsolódott be az áramkörbe. Mivel a feladat kiírásában csak passzív elektronikai alkatrészekről van szó, egyedül a Zener-dióda<sup>2</sup> (5. ábra) jöhet szóba. Minden más, feszültségérzékelőt és kapcsolót működtető rendszert csak aktív alkatrészekből állíthatunk össze. *Más megoldásról szó sem lehet!*

### Az első ( $0 \rightarrow A$ ) szakasz szerkezete

Az adattáblázat szerint az origóban nincs áram, az  $I_0 = i_0$  illesztő görbéje teljesen egyenes, ebben a részben nem lehet semmilyen kapcsoló. Az áram szakaszos növekedéséből három, egyre nagyobb feszültségű

<sup>2</sup> Zener-dióda. Lényegében egy közös dióda, amelynek nyitófeszültsége körülbelül 0,66 V, de fordított irányban, az ellenőrzött lavinatartományban (letörési feszültség, Zener-feszültség) dolgozik. Az egyszerű diódák a lavinatartományban tönkremennek! A Zener-feszültséget a szennyeződések adagolásával változtatják meg. Áramköri szempontból egy Zener-dióda egyenértékű egy közös dióda (D) és egy fordított-párhuzamosan kötött, az ellenőrzött lavinatartományban működő diódával (Z). Mindkét oldalra jellemző a saját belsőellenállásuk ( $r_{Di}$  és  $r_{Zi}$ ). A Zener-dióda az iránynak megfelelő nyitási vagy letörési feszültség elérése után mindkét irányban vezeti az áramot. D diódaaként csak a jobb oldali, Z Zener-diódaaként csak a bal oldali ág vezet. Valójában mindkét irányban levő dióda karakterisztikája igen meredek és exponenciális.

Zener-diódára számítunk, ezt láthatjuk a 6. ábrán. Innen számítjuk ki az  $I_0$  értékét (amíg nem nyit ki a  $Z_1$  Zener-dióda, addig  $I_0 = i_0$ ):

$$I_0 = \frac{U_{MN}}{R_0}. \quad (1)$$

Az illesztő egyenes egyenlete:

$$I_0 = m_0 U_{MN} + n_0, \quad (2)$$

ahol  $m_0$  az iránytényező,  $n_0$  a tengelymetszet. A 4. ábrán látható táblázatból mindegyik illesztő egyenesre megkaphatjuk ezeket az adatokat. Az  $I_0$  iránytényezője  $m_0 = 2,167689 \cdot 10^{-1}$  mA/V, a tengelymetszete  $n_0 = -4,510207 \cdot 10^{-5}$  mA.<sup>3</sup>

Az (1) és (2) egyenletek összehasonlításából kiszámíthatjuk az  $R_0$  ellenállás értékét:

$$R_0 = \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2,167689 \cdot 10^{-1}} \frac{\text{V}}{\text{mA}} = 4,613 \text{ k}\Omega. \quad (3)$$

A feladat konstruktőreként örömmel látom, hogy ez egy igen jó eredmény, van remény a megoldásra!

A második ( $A \rightarrow B$ ) szakasz szerkezete

Az  $AB$  szakasz  $I_{01}$  áramának növekedési sebessége megnőtt az  $I_0$  növekedési sebességéhez képest. Ezt a változást csak az  $R_1$  ellenállás okozhatta. Amint az  $U_{MN}$  feszültség túllépi az  $U_{Z1}$  értékét, a  $Z_1$  is vezetni kezd, a vele sorba kötött  $R_1$  ellenállás áramot vesz fel a végein megjelenő  $U_{MN} - U_{Z1}$  feszültségnek megfelelően (6. ábra):

$$i_{Z1} = \frac{U_{MN} - U_{Z1}}{R_1} \quad (4)$$

(kívülről ezt nem látjuk és nem mérjük). Az  $i_0$  áram értéke az  $U_{MN}$  irányától függetlenül mindig így fejezhető ki:

$$i_0 = \frac{U_{MN}}{R_0} \quad (5)$$

(kívülről ezt  $I_0$ -nak látjuk, és mérjük). A fekete doboz által felvett  $I_0, I_{01}, I_{012}, I_{0123}$  áram indexe az  $R_0$  és az aktív ágak áramainak összegét jelöli, az  $i_1, i_{12}, i_{123}$  belső áramoknál fizikailag is kizártuk az  $R_0$  által felvett  $i_0$  áramot. Az  $i_{Z1}, i_{Z2}$  és  $i_{Z3}$  jelöli a többi belső ágáramot. A  $Z_2$  Zener-dióda letörési feszültségéig a kapcsolásban csak az  $R_0, R_1$  és a  $Z_1$  létezik, tehát a kapcsolás által felvett  $I_{01}$  áram értéke:

<sup>3</sup> A hét számjegyes pontosságra csak a számításoknál van szükség, mivel az egymáshoz közeli értékek különbsége nagyon érzékeny a mérési hibákra. A végeredményt majd műszereink pontossági osztályának megfelelő számjeggyel adjuk meg. A néhány tíz nA nagyságrendű szabad tag – a mérések szórása miatt – az egyenes illesztésekor keletkezett, igen kicsi értéke méréseink nagy pontosságát jelzi. A zéró csak a matematikában létezik!

$$I_{01} = i_0 + i_{Z1} = \frac{U_{MN}}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1}} - \frac{U_{Z1}}{R_1}. \quad (6)$$

Az (5) és (6) képleteknek megfelelő mérőpontokra illesztett egyenesek egyenletei:

$$I_0 = m_0 U_{MN} + n_0, \quad (7)$$

valamint

$$I_{01} = m_{01} U_{MN} + n_{01}. \quad (8)$$

A (7) és (8) egyenletekből megkapjuk az egyenesek metszéspontját, vagyis a  $Z_1$  Zener-dióda  $U_{Z1}$  letörési feszültségét (a metszéspontban  $U_{Z1} = U_{MN}$ ):

$$U_{Z1} = \frac{n_{01} - n_0}{m_0 - m_{01}}. \quad (9)$$

Ha összevetjük a (7) és (5), valamint a (8) és (6) egyenleteket, könnyen beláthatjuk, hogy:

$$m_0 = \frac{1}{R_0} \quad (10)$$

és

$$m_{01} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1}. \quad (11)$$

A  $Z_1$  dióda nyitása után  $I_{01}$  és az  $I_0$  áramok különbsége egyenlő az áram növekedésével, ezért a (6) és (5) egyenletekből képezzük a fizikai áramkülönbséget:

$$I_{01} - I_0 = \frac{U_{MN}}{R_1} - \frac{U_{Z1}}{R_1}. \quad (12)$$

Ugyanezt kiszámíthatjuk a (8) és (7) illesztési egyenletek különbségéből is:

$$I_{01} - I_0 = (m_{01} - m_0) U_{MN} + (n_{01} - n_0). \quad (13)$$

A (12) és (13) egyenletek összevetéséből könnyen megkapjuk az  $R_1$  ellenállás értékét:

$$R_1 = \frac{1}{m_{01} - m_0}. \quad (14)$$

Az  $U_{MN}$  feszültség további növelésekor belépő többi áramkört is hasonló módon járunk el. Mindegyik esetben kiszámítjuk a két illesztő egyenes metszéspontját, majd az iránytényezők különbségének inverzéből a megfelelő soros ellenállást.<sup>4</sup> A számítások elvégzése után a Zener-diódák belső ellenállását is

<sup>4</sup> A mérési hibákra igen érzékeny, azonos nagyságrendű számok különbségeinek hányadosaiból álló képletek láttán elfogadjuk a hét számjegyes paraméterek szükségességét.

3. táblázat	
Első eredmények a pozitív feszültségtartományban	
$U_{Z1} = (n_{01} - n_0) / (m_0 - m_{01}) = 6,85 \text{ V}$	$R_1 = 1 / (m_{01} - m_0) = 1,974 \text{ k}\Omega$
$U_{Z2} = (n_{012} - n_{01}) / (m_{01} - m_{012}) = 12,23 \text{ V}$	$R_2 = 1 / (m_{012} - m_{01}) = 1,060 \text{ k}\Omega$
$U_{Z3} = (n_{0123} - n_{012}) / (m_{012} - m_{0123}) = 21,85 \text{ V}$	$R_3 = 1 / (m_{0123} - m_{012}) = 402,8 \Omega$

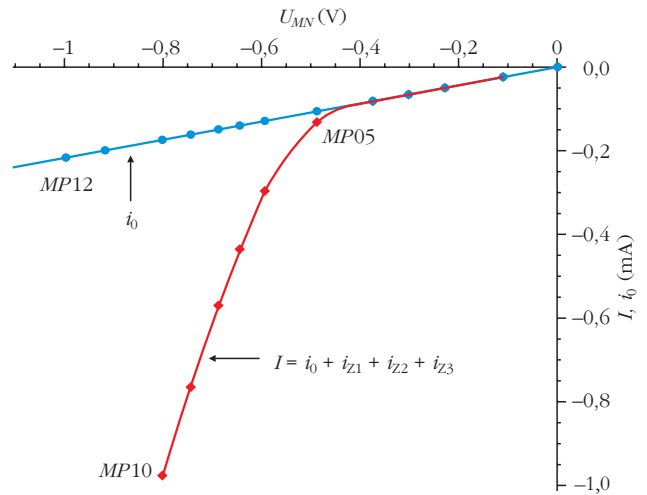
figyelembe kell majd vennünk, de előbb értéküket kell meghatározni. Az eddigiek alapján a 3. táblázatban látható képletgyűjteményt és eredményeket kaptuk.

Az origó körüli mérési adatok feldolgozása

A pozitív értéktartomány tanulmányozása után már nem fogadhatjuk el a számítások nélküli elképzelést a negatív feszültségtartományban. Akármilyen legyen a negatív ágban, az  $R_0$  ellenállás nem szűnhet meg, az „átnyúl” a negatív tartományba is. Mindegyik Zener-dióda D diódája aktív lesz, egyenként sorosan kötve az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenállásokkal, és ott marad a párhuzamosan kötött  $R_0$  ellenállás is. A 7. ábrán a mért  $I$  áram mellé berajzoltuk az  $R_0$  által felvett, kiszámított  $i_0$  áramot is. Látszik, hogy az  $I$  áram görbéje 0,6 V körül erősen nőni kezd, de egyáltalán nem exponenciális, ráadásul benne van az  $i_0$  is. Ezután lényegében, a párhuzamosan kötött  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenállások határozzák meg a jóval nagyobb felvett áramot. Az  $R_0$  ellenállás által felvett áramot az első 13 (MP00, ..., MP12) mérési pontban, az  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  által felvett áramot pedig az első 11 (MP00, ..., MP10) mérési pontban ábrázoltuk. A mérésekből egyelőre nem látható a diódás áramkör és az  $R_0$  ellenállás szétválasztásának lehetősége.

A negatív feszültségtartomány mérési adatainak feldolgozása

Mivel az  $R_0$  mindig jelen van, és jelenléte csak lineáris jelenségekhez vezethet, megpróbáljuk legalább papíron eltávolítani. Ha a negatív ági árammérésekből kivonjuk az  $R_0$  által felvett áramot, akkor csak az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenállások maradnak sorosan a Zener-diódák saját D diódáival. A 8. ábrán a fekete doboz feszültség-áram karakterisztikájának negatív ági  $I$  árama és a pozitív ágból átnyúló  $R_0$  által felvett  $i_0$  áramgörbe látható. Az  $I$  értékeit mértük, a mérőpontok valódiak, viszont az illesztő egyenest csak az egyenes szakasz (MP16, ..., MP31) mérési pontjaira illesztettünk, mert a mérések elején lévő diódák karakterisztikáját nem kaphatjuk meg a mostani méréseinkből. Az  $i_0$  mérés nem hozzáférhető, azt egyenként az ábrázolandó  $U_{MN}$  feszültségértékekre a pozitív ági illesztő egyenestől számoltuk ki. A két egyenest leíró függvény különbségéből megkapjuk az  $i_{123}$  áramot az MP16 és MP31 mérési pontok között:



7. ábra. A negatív ági áramok az origó körül. Az  $I$  áram mérőpontjaira kézzel fektettük a körülbelüli illesztő görbét.

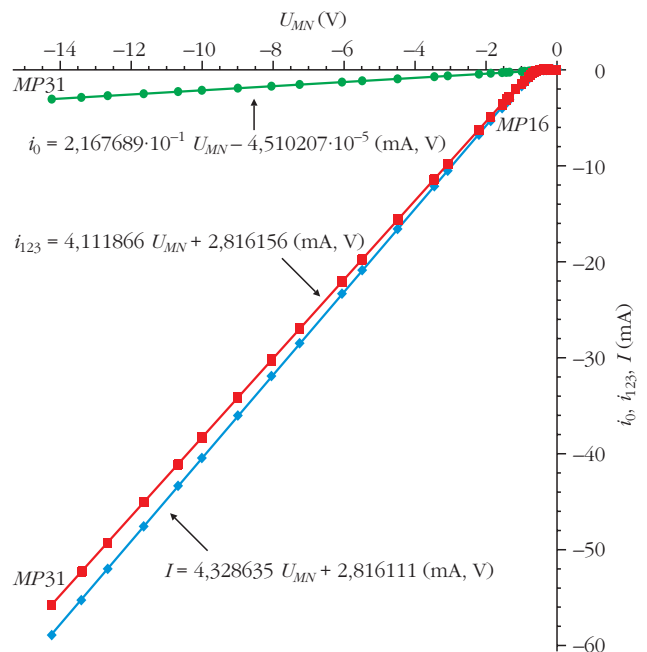
$$i_{123} = 4,111866 \cdot U_{MN} + 2,816156 \quad (15)$$

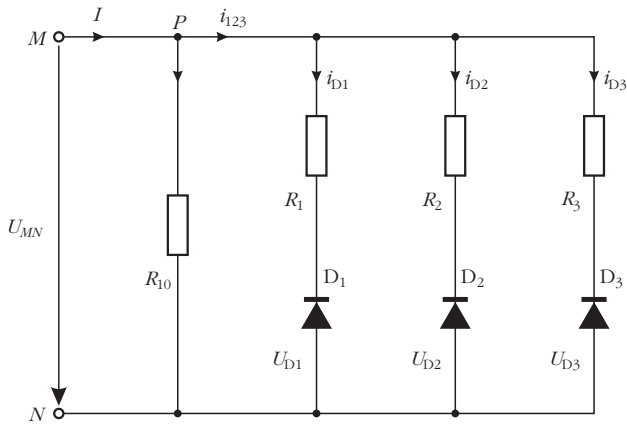
(mA és V egységekben). A (15) egyenletből az  $i_{123} = 0$ -ra kiszámítjuk a három D dióda közös  $U_D$  nyitófeszültségét:

$$U_D = -\frac{2,816156 \text{ mA}}{4,111866 \text{ mA/V}} = -0,685 \text{ V}. \quad (16)$$

Az MP15-től az origóig az  $I$  áram mérőponti értékeiből kivonjuk az  $R_0$  ellenálláson átfolyó, kiszámított áramot, és illesztő görbe nélkül, csak új mérőpontokat rajzolunk. Az eredeti értékeket természetesen meghagyjuk, ezért negatív áramokat és feszültségeket látunk, de a D diódák anód-katód irányából ezek pozitív értékek. A 8.

8. ábra. A negatív feszültségek elején egy dióda feszültség-áram karakterisztikája van kialakulóban. A fekete doboz által felvett áramból kivontuk az  $R_0$  áramát, így kaptuk meg a három dióda és az  $R_1$ ,  $R_2$  valamint az  $R_3$  ellenállások együttes karakterisztikáját.





9. ábra. A fekete doboz negatív ági elképzelt kapcsolási rajza. A három dióda nyitófeszültsége közel azonos, ezért ellenállásaik, a diódák megnyitása után, gyakorlatilag párhuzamosan kapcsolódnak.

ábrán jól látszik az  $R_0$  árama nélküli nyitókarakterisztika, majd a belépő  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenállások által felvett áramok tökéletesen egyenes karakterisztikája.<sup>5</sup>

### A negatív ági kapcsolás

A 9. ábrán a fekete doboz negatív ági feltételezett kapcsolási rajza látható. A kapcsolást a 8. ábra három illesztő görbéje alapján képeztük el. Ha bebizonyosodik, hogy az  $i_{123}$  illesztő egyenes iránytényezője nagyságrendileg megegyezik a pozitív ági  $i_{123}$  illesztő egyenes iránytényezőjével, akkor az elképzelt kapcsolás, helyes. A 9. ábrán látható kapcsolás alapján a  $P$  csomópontra felírhatjuk az első Kirchhoff-törvényt:

$$I = i_0 + i_{D1} + i_{D2} + i_{D3} = \frac{U_{MN}}{R_0} + \frac{U_{MN} - U_{D1}}{R_1} + \frac{U_{MN} - U_{D2}}{R_2} + \frac{U_{MN} - U_{D3}}{R_3}. \quad (17)$$

A tapasztalat azt mutatja, a diódák nyitófeszültsége szinte azonos (a különbség maximum 30 mV), ezért mindhármát  $U_D$ -vel jelöljük, majd rendezzük a (17) egyenletet:

$$I = U_{MN} \left( \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - U_D \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right). \quad (18)$$

Az  $R_0$  által felvett áram:

$$i_0 = \frac{U_{MN}}{R_0}. \quad (19)$$

A (18) és (19) képletek alapján felírjuk a két áram különbségét:

$$i_{123} = I - i_0 = U_{MN} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - U_D \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right). \quad (20)$$

<sup>5</sup> Ebben egy kis csalás is van, mert az  $i_{123}$  áramot a két illesztő egyenes függvényértékei különbségéből számítottuk ki, hiszen az a fekete dobozban nem hozzáférhető.

Ezt látjuk a 8. ábrán is. A sötétebb illesztő görbe a biztosan egyenes  $I$  és az  $i_0$  illesztő függvények értékeinek különbségéből jött létre. Az  $i_{123}$  egyenes iránytényezőjéből kiszámíthatjuk a párhuzamosan kötött három ellenállást, a tengelymetszetből pedig a diódák közös nyitófeszültségét. A negatív ági három, párhuzamosan kötött ellenállást jelölje  $nR_{123}$ . A (15) és a (20) különböző formájú képletek összehasonlításából kapjuk:

$$m_{123} = 4,111866 \text{ mA/V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{nR_{123}}, \quad (21)$$

valamint

$$n_{123} = 2,816156 \text{ mA} = -U_D \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right). \quad (22)$$

A számításokat elvégezve a következő eredményekre jutunk:

$$nR_{123} = 243,20 \text{ } \Omega \text{ és } U_D = -0,685 \text{ V}. \quad (23)$$

A három dióda gyakorlatilag párhuzamosan kötött, egyenkénti néhány ohmos ellenállását az áramkörben megtalált ellenállásokhoz képest most elhanyagoljuk. A pozitív ágba meghatározott három ellenállásnál sem vesszük figyelembe a Zener-diódák belső ellenállásait, kiszámítjuk a  $pR_{123}$  (pozitív ági  $R_{123}$ ) ellenállást, majd összehasonlítjuk őket:

$$pR_{123} = 254,29 \text{ } \Omega \text{ és } nR_{123} = 243,20 \text{ } \Omega, \quad (24)$$

amiből

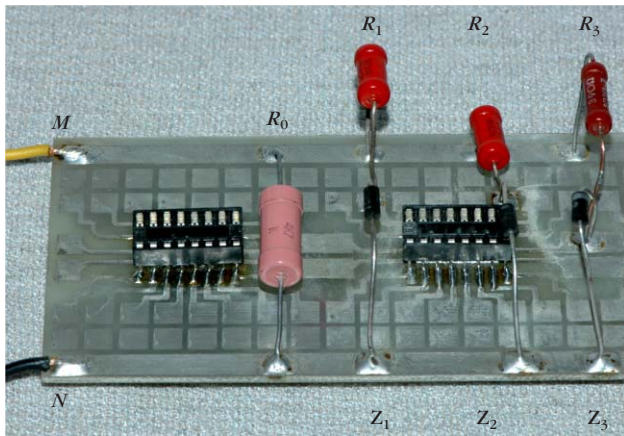
$$\Delta R_{123} = pR_{123} - nR_{123} = 11,09 \text{ } \Omega$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{123}}{2} = \frac{pR_{123} + nR_{123}}{2} = +4,46\% \quad (25)$$

A meghirdetett összehasonlításnak nincs értelme, mert a pozitív ágba a Zener-diódák nagy belső ellenállása komolyan befolyásolja az iránytényező értéket. A feszültség- és árammérések pontossága jóval  $\pm 1\%$  alatt van, ezért az  $\varepsilon = +4,46\%$ -os értékkülönbség okát meg kell keresnünk. *Ugyanaz az ellenálláscsoport az egyik ágba nem lehet jóval nagyobb, mint a másikban!* A katalógusokban talált belsőellenállásértékek sokat csökkentenek a különbségen, de még mindig megmaradt a (25) képletben jelzett hiba fele. *A fekete doboz méréseiből ennyire futotta!* Megtaláltuk a 6. ábra szerinti kapcsolást és az alkatrészek értékeit, vagyis megoldottuk a feladatot. Az új rajzot a belső ellenállások kimérése után adjuk meg. A katalógusadatokat nem kaptuk meg, azokhoz nincs jogunk!

### Elképzeléseink ellenőrzése – igazolása

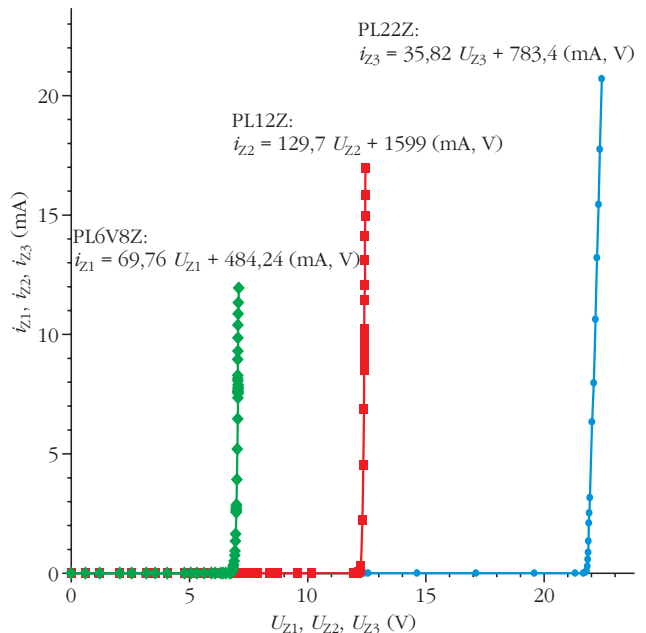
Minden rendelkezésre bocsátott adatot felhasználtunk, most ellenőrizhetjük a doboz belső szerkezetét. Kinyitjuk. A fekete doboz kapcsolását egy integrált-áramkö-



10. ábra. A fekete doboz belseje.

rös próbalapra szereltük (10. ábra). A bal oldalon az  $R_0$  van, majd a Zener-diódák és ellenállásaik következnek. Az ellenállások és a Zener-diódák lábait nem vágtuk le, így – a próbaplattól távolságot tartva – a mérések között a kis ventilátor hatásosabban hűti őket.

A továbbiakban felhasználjuk az eddig nem publikus mérési adatokat. A feszültség-áram karakterisztika felvételekor a Zener-diódák feszültségirány szerinti, más-más belső ellenállásaira gondolva, lejegyeztük a diódák katód-anód feszültségeit, az áram pedig visszaszámítható. Arra vigyáztunk, hogy a letörési és nyitási zónában sok mérési pontunk legyen, de nem mindet tettük közzé. Továbbra is megtartjuk az eredeti feszültségirányokat, különben az eddigi grafikonok érthetetlenek lennének. A 11. ábrán a fekete doboz Zener-diódáinak feszültség-áram karakterisztikái láthatók, a mérőpontokat lázgörbeszerűen kötöttük össze. Az egyenes szakaszokra illesztett első fokú közelítő görbék (ezek nem látszanak, csak az egyenleteik) segítségével meghatároztuk a diódák Zener-üzemű  $r_{zi}$  ( $\Omega$ ) egyedi belsőellenállásait (4. táblázat). Ezek az ellenállások elkerülhetetlenül hozzáadódtak az általunk beszerelt ellenállásokhoz, mi sorba kötve láttuk őket. Még megvizsgáljuk a negatív ági valódi diódák karakterisztikáit is, hiszen csak így állíthatjuk, hogy a kapcsolás Zener-diódákat tartalmaz. A 12. ábrán a Zener-diódák klasszikus diódáinak feszültség-áram karakterisztikái láthatók, a mérőpontokat lázgörbeszerűen kötöttük össze. A közel egyenes szakaszokra illesztett első fokú közelítő görbék (ezek nem látszanak, csak az egyenleteik) segítségével meghatároztuk a diódák  $r_{Di}$  ( $\Omega$ ) egyedi belső ellenállásait (4. táblázat). Ezek az ellenállások kisebbek a



11. ábra. A fekete doboz Zener-diódáinak utólagosan felvett pozitív ági feszültség-áram karakterisztikái az egyenes szakaszok illesztő görbéivel.

Zener-üzemű belső ellenállásoknál, és elkerülhetetlenül hozzáadódtak az általunk beszerelt ellenállásokhoz, mi sorba kötve, és az egészet párhuzamosan kötve mértük meg. Mindkét karakterisztikán feltüntetjük az illesztő görbék egyenletét, de a könnyebb azonosítás végett ott van a Zener-dióda E24-es értéksorozat<sup>6</sup> kereskedelmi jelölése<sup>7</sup> is. Két, egymástól függetlenül jelenségről lévén szó, a két grafikon görbesorrendje természetesen nem azonos.

A kísérletileg meghatározott értékek (4. táblázat) alapján megkíséreljük a (25) képlet „újrátárgyalását”. Most figyelembe vesszük a Zener-diódák belső ellenállásait mindkét irányban. A 3. táblázatból megkapjuk az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenállások meghatározott értékét, ezekből egyenként levonjuk az  $r_{zi}$  belső ellenállásokat. Ezután kiszámítjuk a „tisztá” pozitív ági ellenállások párhuzamos kapcsolását:  $pR_{123} = 242,244 \Omega$ . A negatív ágban a 8. ábra  $m_{123}$  iránytényezőjéből megkapjuk az általunk kimért, az adatok alapján szétválaszthatatlan ellenállásértéket:  $1/m_{123} = 243,199 \Omega$ . A három diódát párhuzamosan kötöttnek képzeljük el, mert a mintegy 30 mV-os nyitási feszültségkülönbség (12. ábra) a több voltos teljes feszültséghez képest elhanyagolható áramkülönbséget okoz. A pótlólagos méréseinkből származó 4. táblázatból kiszámítjuk a három dióda párhuzamosan kötött  $r_{Di}$  belső ellenállá-

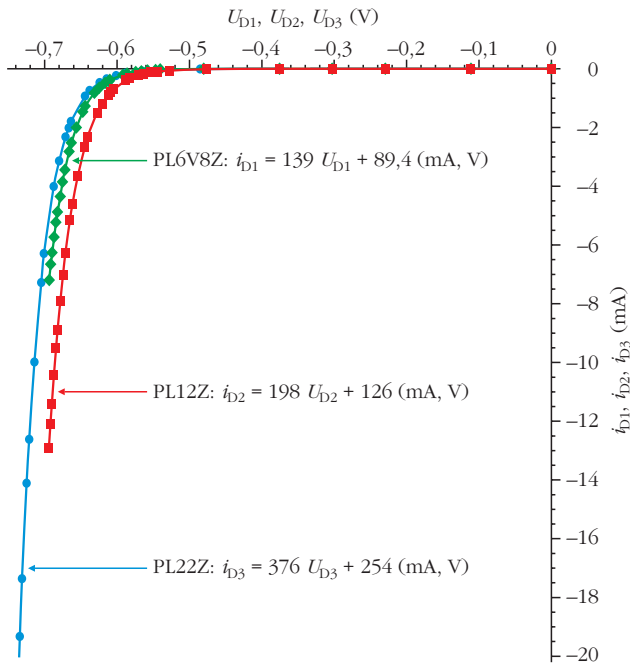
4. táblázat

**A Zener-dióda kísérletileg meghatározott paramétereit**

dióda	$U_z$ (V)	$m_z$ (mA/V)	$r_{zi}$ ( $\Omega$ )	$m_D$ (mA/V)	$r_{Di}$ ( $\Omega$ )
PL6V8Z	6,85	69,76	14,3	139	7,2
PL12Z	12,23	129,7	7,7	198	5,1
PL22Z	21,85	35,82	27,9	376	2,7

<sup>6</sup> E24 értéksorozat. Nemzetközi szabvány. Egy értékdekádát 24 szakaszra bontanak, ezek a szakaszok összeérnek, vagy kis átfedésben vannak, így sikerül teljesen elkerülni a nem megfelelő érték miatti selejtet. Minden legyártott alkatrész valamelyik szakaszba tartozik. A sorozat elemeit egy állandó szorzó segítségével számítják ki, ennek értéke  $k = 10^{1/24}$ . Az E24 sorozat elemeinek a túrése  $\pm 5\%$ .

<sup>7</sup> A Zener-diódák jelölése. Egyes gyártóknál semmitmondó sorzámmal, másoknál a szabványos E24-es sorozatú munkafeszültség megadásával történik. Például a PL6V8Z egy 6,8 V-os, a PL12Z egy 12 V-os, a PL22Z egy 22 V-os Zener-dióda, mindannyian 1,3 W-osak.



12. ábra. A fekete doboz Zener-diódáinak utólagosan felvett *negatív ági* feszültség-áram karakterisztikái. Jól látszik az exponenciális jellegű görbesereg, vagyis itt valódi diódák vannak!

sainak ellenállását, majd kivonjuk az iránytényezőből megkapott egyenértékű ellenállásból. A kapott érték a valódi negatív ági ellenállások párhuzamos kapcsolásának értéke:  $nR_{123} = 241,796 \Omega$ . A (25) képlethez hasonló módon kiszámítjuk a két ellenálláscsoport  $\Delta R_{123}$  különbségének a két ellenállás átlagértékéhez viszonyított hányadosát, majd a százalékos meghatározási pontosságot a pozitív ági meghatározáshoz képest:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{123}}{pR_{123} + nR_{123}} = 0,18\%. \quad (26)$$

Hasonlóan jó eredményeket kapunk a három pozitív ági ellenállás meghatározott és valódi  $vR_{123}$  értékeinek összehasonlításakor ( $vR_{123} = 243,305 \Omega$ ,  $\Delta R_{123} = pR_{123} - vR_{123} = 1,062 \Omega$ ):

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{123}}{vR_{123}} = 0,44\%. \quad (27)$$

### A feladat megoldásának végeredménye

A (26) és a (27) képlet alapján töröljük a fentebb leírt megállapítás bennünk megmaradt részét: „A meghirdetett összehasonlításnak nincs értelme”, illetve kijelentjük, hogy a mélyebb elemzéskor van értelme, és az elképzeléseinket maximálisan igazoltuk. Ezek alapján megadhatjuk a fekete doboz teljes kapcsolását (13. ábra). A beszerelt alkatrészeket a névleges értékkel és zárójelben a négy és fél digitos műszerünk által mért értékekkel tüntettük fel. A dőlt betűs ellenállásértékek csak a pozitív ági meghatározások eredményei, hiszen a negatív ágban nem tudtuk „szétszed-

ni” az ellenállásokat. A Zener-diódák belső ellenállását a katódjuk mellé, a negatív ági belső diódák ellenállását az anódjuk mellé írtuk. Az adatok értékelésekor figyelembe kell vennünk, hogy a névleges értékek az E24-es sorozatból kerültek ki, a tűrésük szabványosan  $\pm 5\%$ , de itt az általunk nagy pontossággal megmért értékek (*a zárójelben*) a mérvadók.

### Végeredmény

Csak a rendelkezésre álló mérési adatok alapján meghatároztuk a fekete doboz belső szerkezetét, a meghatározási pontosság egy pótlólagos méréssel 1% alá javult.

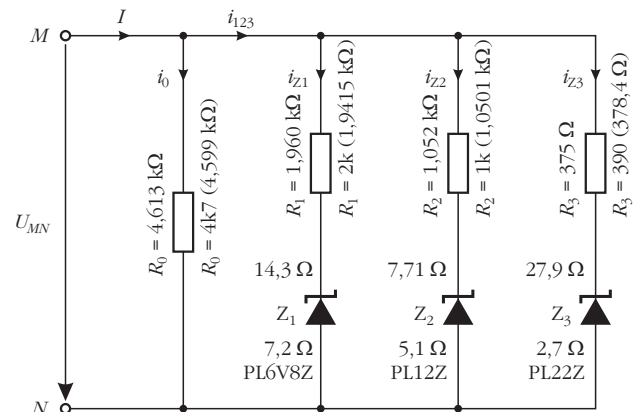
### Hibaforrások

Ez a szintézisfeladat megoldása szinte másról sem szólt, mint a hibaforrások elkerüléséről. A hálózatanalízis esetében, ha a feladat elvileg megoldható, mindig egyértelmű megoldás születik. A szintézisnél, ráadásul a nemlineáris elemeket is tartalmazó kapcsolásoknál, nincs egyértelmű megoldás, csak az eredeti kapcsolás jó vagy jobb megközelítése. A néhány bemutatott megoldás mellett sok próbálkozásunk volt, de feladatajánlóként, mindig kiszámolhattuk a meghatározási hibákat. Az adott körülmények között a bemutatott megoldás adta a legnagyobb pontosságot.

Mégis maradtak hibaforrások, amelyek a fekete dobozos típusú feladat miatt elkerülhetetlenek voltak:

- Nem vehettük figyelembe a Zener-dióda maradékáramát, amely az ellenőrzött lavinahatás előtti szakaszban jelenik meg, ennek nagysága néhány tíz nA. Az  $R_0$  ellenálláson átfolyó áram közelítő függvénye tartalmaz egy körülbelül 100 nA nagyságrendű áramot, amely a három Zener-dióda exponenciális maradékáramainak összegét jelenti, ezt nem tudtuk kikerülni.
- A Zener-diódák nem rendeltetésszerű alkalmazása jelenti a legnagyobb hibaforrást. A Zener-diódákat nem változó terhelésű üzemmódról tervezték, ezen kívül a nagyobb munkafeszültségű diódák belső ellenállása 10-30  $\Omega$  nagyságrendű, a Zener-feszültség pedig változik a terheléssel. A PL22Z Zener-dióda a

13. ábra. A fekete doboz kapcsolása a névleges, a beszerelt és a meghatározott ellenállásértékekkel.



változó üzemű alkalmazásra jellegzetesen nem felel meg, azért került rá a választás, hogy létrejöhessen a nemlineáris jelleg miatti bizonytalanság. Először három sorba kötött PL7V5Z diódát alkalmaztunk, ott nem észleltük ezt a jelenséget.

- A negatív ágba a lényegében egyforma D diódák munkapontjai a nagyon különböző  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenállások miatt feszültségben távolabb esnek egymástól, így az elképzelt párhuzamos kötés a kis feszültségeknél egy kissé sántít. A mérési adatok hiányában, más lehetőségünk nem volt!

- Kevés a mérési pont. Kevés úgy általában, de hiányzik a sűrű mérés a diódák letörési szakasza előtt. Ez szándékos volt. Így észrevehetővé váltak az egyes szakaszok, de a sok mérési pont „ingyen” segített volna a Zener-diódák felismerésében, ezt próbáltuk meg kivédeni.

- A 12. ábrán látható görbesereget egyesített formában külön mérések nélkül is megkaphattuk volna, ha a már meghatározott pozitív ági ellenállásokat párhuzamosan kötve, majd ezt sorosan képzeljük el a három párhuzamosan kötött diódával. A negatív ági mért  $I$  áramból kivonjuk az  $i_0$  áramot, majd kiszámítjuk a diódákon levő  $U_D$  közös feszültséget, és megkaphatjuk a három dióda közös karakterisztikáját. Mivel az  $U_{MN}$  feszültség az  $U_D$  feszültség ötvenszeresét is eléri, a különbségképzés miatt az  $U_D$  meghatározottsága igen gyenge, még az igényes négy és fél számjegyes műszerek esetén is nagy szórások keletkeznek az  $U_D$ -ben. Ezt a lehetőséget kipróbáltuk, de a „csúnya” grafikon miatt, elvetettük.

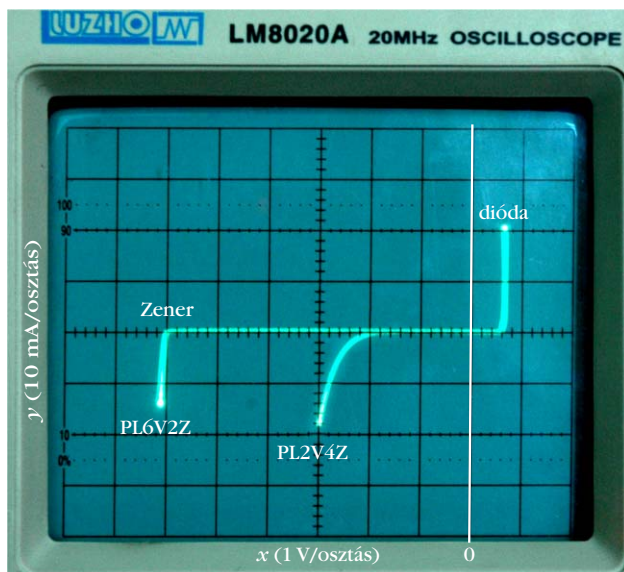
- A Fizikumban a diákok rendelkezésére áll egy katalógus is, amiből megnézhetik a belső ellenállások körülbelüli értékét, de a mi esetünkben inkább a pontosabb pótmérést alkalmaztunk.

## A kísérlet hozadéka

Az alkalmazott módszer rámutat egy komplex kapcsolás elemeinek a csak „külső” mérések alapján való megtalálására, azaz *sikerült szintetizálnunk egy komplex áramkört*.

- Sikerült azonosítanunk három ellenállást és három „diódát” a nagyobb pozitív feszültségek tartományában, valamint három „diódát” a kisebb negatív feszültségek tartományában, azaz azonosítottunk három Zener-diódát. Ezenkívül észrevettük, hogy van egy „örökös” ellenállás is, az  $R_0$ , ennek hatását, ha szükséges volt, sikerült matematikailag kiszűrni.

- Alkalmaztuk az analitikus mértannal kombinált pontos mérésértékelést, a grafikonokban rejlő információk kibányászását, ez sokat segített majd a nemli-



14. ábra. Két Zener-dióda összehasonlításra szánt feszültség-áram karakterisztikája. A mi grafikonjainkkal ellentétben a pozitív irányt az AK irány adja.

neáris jelenségek (szabadesés, a félvezető potenciál-gátja, radioaktív felezési idő, Poisson-görbék) adatainak feldolgozásában.

- A Fizikumban az adatokat nem Excelben, hanem sajátfejlesztésű programokkal kezeljük, így a diákok nem csak számolnak az adatokkal, de tudják is, hogy mit és hogyan számoltak ki!

- Mottónkhoz visszatérve, megállapíthatjuk, hogy egy igen egyszerű, a „semiből” is előállítható, sok mérőhelyes laborgyakorlat is alkalmas lehet a mély értelmű diákkísérletekre.

## Ráadás

A Fizikumban a nemlineáris elemek (diódák, tranzisztorok) bemutatásakor egy sajátfejlesztésű berendezéssel oszcilloszkópon is bemutatjuk a viselkedésüket, feszültség-áram karakterisztikájukat. Ennek óriási előnye az azonnali megjelenítés, és a beavatkozás hatásának azonnali láthatósága. Jellemző példa a Si- és Ge-tranzisztorok karakterisztikájának lényeges különbözősége. Érthetőbb a szintén sajátfejlesztésű számítógép-vezérelt rendszereinknél. A 14. ábrán egy kicsi és egy nagy belső ellenállással rendelkező Zener-dióda teljes karakterisztikája látható. Az oszcilloszkóp XY-módban van, de az áramjeleket váltott üzemmódban rajzoljuk fel egy elektronkapcsoló segítségével. A kép még az órán készült (a diákok is próbálkoznak), a feliratokat pedig a későbbi számítógépes feldolgozásakor kapta.

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

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Újfalussy Balázs főltikár, felelős szerkesztő Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

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

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

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

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

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



## Benkő József, Mizser Attila (szerk.): METEOR CSILLAGÁSZATI ÉVKÖNYV 2017

Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2016, 327 oldal

Egy csillagászati évkönyv legfontosabb része a *kalendárium*. Esetünkben a 326 oldalból ez 200 oldal terjedelmet jelent. Minden hónapban két oldalon olvashatunk a Nap és a Hold keltének, delelésének és nyugtának időpontjáról, valamint az egyes napokhoz rendelt névnapokról. Egy további oldal a bolygók észlelhetőségéről tájékoztat. Minden hónapnál találunk egy-egy égbépet a legfontosabb csillagképek elhelyezkedéséről a hónap közepén este 8 órakor. A Hold és a bolygók jól megfigyelhető helyzetét rögzíti az *Eseménymaptár* (például február 13. 0:50 a Ganymedes (Jupiter-hold) fogyatkozásának kezdete; augusztus 27. 1:56 a Merkúr alsó együttállásban a Nappal [a Naptól  $4,2^\circ$ -kal délnyugatra]). A kiemelkedő vagy különösen tanulságos eseményekről (nem is mindig) rövid beszámolókat, ismertetéseket találunk.

### *Messier 1: Szupernóva-maradvány a Taurusban*

Az M1 a Messier-lista talán legérdekesebb objektuma. Az egyetlen szupernóva-maradvány a 110 égitest között, amelyet rendkívüli tulajdonságai miatt csillagászok generációi tanulmányoztak a lehető legalaposabban. Ismerjük keletkezési idejét: Kr. u. 1054-ben kínai csillagászok a Bika alsó szarva felett „vendégcsillagot” vettek észre, amit 653 napon át szabad szemmel tudtak követni. Manapság szokványos, városszélei égen egy 8 cm-es lencsés távcső szépen mutatja. Tiszta és sötét vidéki égbolton könnyű látvány 10×50-es binokulárral.

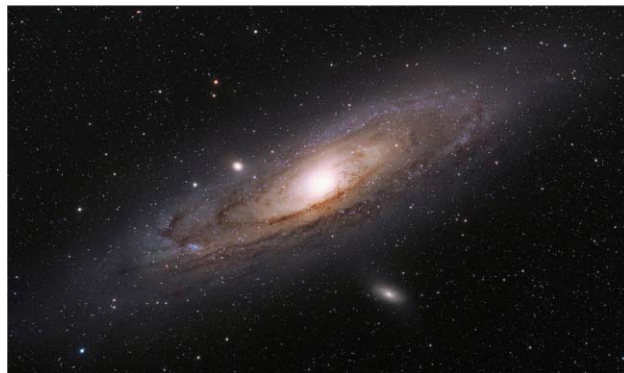
### *Messier-maraton*

*Charles Messier*, a XVIII. századi Franciaországban, hogy másokat ne tréfálhassanak meg a ködös, üstököszerű foltok, katalógust állított össze róluk. A ma elfogadott változat 110 bejegyzést tartalmaz.

Sokak szerint az igazi amatőr csillagász ismérve, hogy végigészlelte ezt a listát... A Messier-objektumok egyetlen éjszakán történő végigészlelésére tavasszal nyílik a legjobb lehetőség ... már a százas darabszám elérése is elismerésre méltó teljesítmény.

### *Messier-31: galaxis az Andromédában*

Tiszta őszi éjszakákon, fényszennyezéstől távol, magasan látható az Andromeda csillagkép az északi félteke egén. A figyelmes szemlélő a csillagkép középső, fényesebb csillagától ( $\beta$  Andromedae) északra egy halvány, elnyúlt, ködös fényfoltot pillanthat meg



Fényes Lóránd felvétele az M31 galaxisról.

szabad szemmel. Ez az M31, ismertebb nevén az Androméda-galaxis, amely a hozzánk legközelebbi nagy spirálgalaxis.

Az M31 és közeli kísérőinek felkeresése egyszerű feladat a kezdő amatőr csillagász számára is. A  $\beta$  Andromedától kiindulva haladjunk északnyugat felé körülbelül  $6^\circ$ -ot...

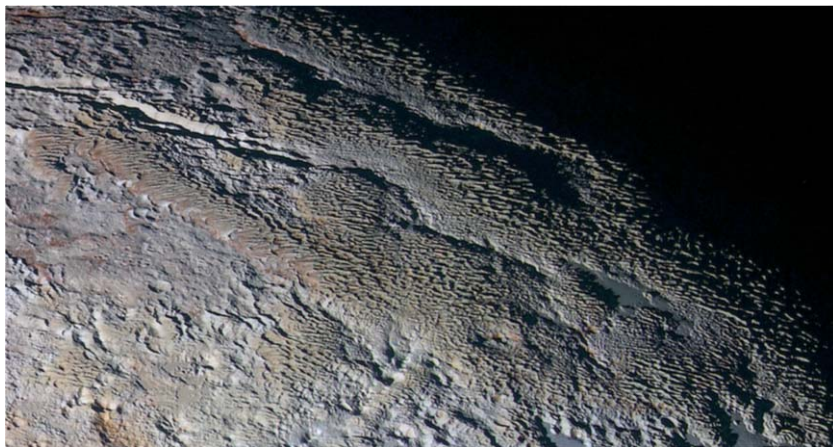
Minden hónap eseményei után találunk egy vagy több ilyen 2-3 oldalas leírást, amelyek elsősorban az amatőr csillagászok igényeit veszik figyelembe. Rendszeresen találkozunk az adott hónap fontos üstökösmozgásaival; a Jupiter-holdak és Szaturnusz-holdak helyzetváltozásaival. Itt jut hely a fontosabb együttállások leírására és az évfordulókra, amelyekből januártól decemberig tanulságos csillagásztörténet kerekedik.

A *Kalendáriumot* négy cikk követi.

### *Kereszturi Ákos: Első eredmények a Plútó rendszeréről*

A NASA New Horizons űrszondája 2015. július 14-én 11:49 UT-kor 12 474 km-re haladt el a Plútó felszínétől, 28 858 km-re a Charonétól... A közelítés után 22 órával érkezett rádiójelek alapján sikeres volt a találkozó, majd a következő hónapok során fokozatosan érkeztek a részletes adatok a megfigyelésekről.

A Plútó felszínén a becsapódásos kráterek mellett vulkánok, síkságok, gleccserszerű alakzatok, vándorló jéghegyek találhatóak. A jég sokféle lehet – a felszínen  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $C_2H_6$  és  $H_2O$  anyagú jeget azonosítottak. Ezek eloszlása igen változatos, például a kráterperemek metánjégben, az aljzatok vízjégben gyakoribbak. Komplex felszínfejlődés, lerakódásos és



A nem hivatalosan Tartarus Dorsa nevű hegvidék 530 km-es részlete. A kiemelkedés sárgásbarna árnyalatú részein furcsa, elnyúlt alakzatokból álló sűrű mintázat látszik, amelynek eredete még nem tisztázott (NASA, JPL, JHUAPL).

pusztulásos időszakokkal, vulkanizmussal, szilárd fázisú konvekcióval, gleccserszerű jégmozgással, valamint felszín alatti óceán befagyásával összeegyeztethető tektonika ismerhető fel.

A Plútó atmoszférája, főleg annak magasabb része hidegebb és kompaktabb, mint várták. Ennek következtében 2-3 nagyságrenddel kisebb lehet a gázok elszökési rátája.

A Charonnak nincs atmoszférája, 0,1 nanobar a legnagyobb nyomás. A különféle jegek közül a víz- és ammóniajegeket sikerült kimutatni a Charon felszínén. Az ammónia eloszlása erősen inhomogén, ami azért érdekes, mert erősen csökkenti a vízjég fagyáspontját. Az ammónia-víz keverék láva az egyik fő jelölt a Naprendszer külső vidékén fellépő kriovulkanizmus működtető anyagára.

#### Szabados László: Planetáris ködök

A planetáris ködök a legszebb égi látványosságok közé tartoznak. Az első ködös objektumok felfedezése és katalogizálása negyed évezrede megtörtént, ám megnevezésük vonzóra, de indokolatlanul szubjektív-re sikerült, minthogy ezeknek a ködöknek semmi köztük a bolygókhoz. Egyszerű távcsöves megfigyelésekkel nem sikerült továbblépni, a spektroszkópiára volt szükség.

Eleinte ez is csak két közeli zöld vonalat hozott, amelyeknek nem volt földi megfelelőjük. Továbblépni csak a legkorszerűbb eszközök (Hubble-űrteleszkóp) és kvantummechanikai számítások bevetésével lehetett.

A Tejútrendszerben ismert planetáris ködök viszonylag kis számából is sejteni lehet, hogy ez az állapot a csillagfejlődésnek egészen rövid időszaka. Ez a fázis akkor következik be, amikor egy közepes tömegű (kialakulásakor 1-8 naptömegnyi anyagot tartalmazó) csillag fejlődése vége felé az aszimptotikus óriáságot elhagyva fehér törpévé válik.

A 3000 K hőmérsékletű vörös óriás állapotból a 30000 K hőmérsékletet elérve a csillagot körülvevő anyag teljesen ionizálódik – ennek a beindulásával jön létre a planetáris köd. Ekkor jönnek létre ütközés-

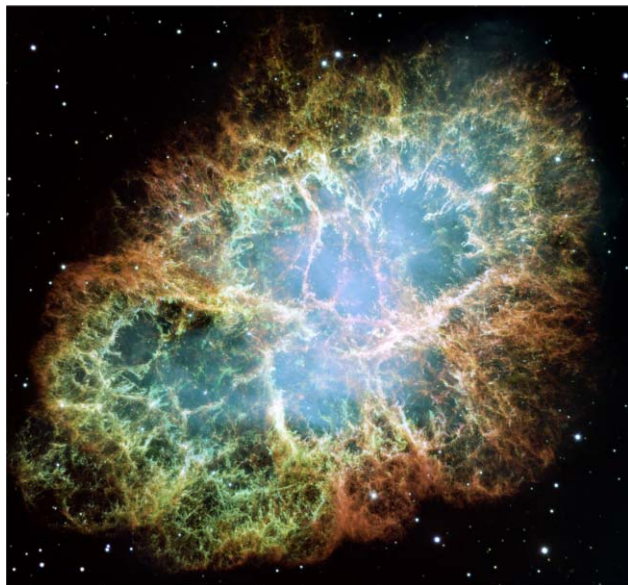
sel az ionizált oxigénre jellemző egymáshoz közeli zöld spektrumvonalak is. A planetáris ködben lezajló folyamatok a kölcsönható csillagszél modelljével írhatók le, amely meglehetősen bonyolult és számos megválaszolatlan kérdőjelet tartalmaz.

Érdekes, hogy amíg a galaktikus planetáris ködök távolságát egy 2-es, 3-as faktor bizonytalanságával lehet megállapítani, ugyanakkor az extragalaktikus távolságskála meghatározásában fontos szerepük van a planetáris ködöknek. Változatos alakjukat a színes táblázatok között csodálhatjuk meg.

A szerző egyébként is tudatában van, hogy amatőr csillagászok évkönyvébe ír, és a jó nézelődés érdekében közöl adatokat, sőt az összefoglalást versben adja meg.

A kötet címlapján az Aquarius csillagképben található Csiga-köd (NGC 7293) a hozzánk legközelebbi planetáris köd: mindössze 700 fényévre van a Földtől. Az egyre táguló köd jelenlegi kiterjedése 2,5 fényév. A tágulás mért üteme alapján a planetáris köd kora nagyjából 10000 év. A színek a köd összetételére utalnak: a kép közepe környékén a kékes-zöldes fénylés a 120000 K hőmérsékletű központi csillag által gerjesztett oxigénatomoktól származik, a kijebb látható vörös fény pedig a hidrogén és nitrogén atomjaitól. A hamisszínes képet az ESO és a Max Planck Társaság chilei 2,2 méteres távcsövére szerelt nagy látómezejű képkötő kamerával (WFI) készített felvételekből állították össze.





Az egyik legismertebb, pulzárt rejtő szupernóva-maradvány, a Rákóczi a Hubble-űrtávcső felvételén. (Forrás: hubble25th.org)

*Barna Barnabás, Nagy Andrea, Ordasi András, Szalai Tamás, Vinkó József: Földönkívüli üzenetektől a gravitációs hullámokig*

A pulzárak felfedezése a legjobban ismert történetek közé tartozik, talán a kicsi, zöld emberkék miatt. A pulzár-sztori *Antony Hewish* Nobel-díjával azonban nem ért véget. Nem csupán arról van szó, hogy mind távolabbi vidéken sikerül pulzárakat azonosítani, hanem hogy előtérbe kerülnek a pulzárak alkalmazásai.

Ötven éve, hogy kvazárok után kutatva *Susan Jocelyn Bell* egy sörteszerű jel felvillanására lett figyelmes. A jel eredetét keresve fokozatosan jött rá, hogy az Univerzum különböző irányából érkező jelekért kicsi zöld emberkék sem tehetők felelőssé. A még csak hipotetikus neutroncsillagok gyors forgásából értelmezhetővé váltak a sörteszerű rádiójelek, és meglepő gyorsasággal összejött a Nobel-díj, amiből Bell kimaradt.

A folytatásban választ kapunk a neutroncsillagok keletkezésére, hogy mitől pulzár a pulzár. Amint az energiafelhasználás során a forgás bizonyos fordulatszám alá csökken, a világitótorony-mechanizmus kikapcsol, és csak egy közönséges neutroncsillag marad az egykori pulzár helyén.

A pulzárak a tudomány aktív segítőinek bizonyultak, amennyiben a relativitáselmélet jósolta effektusok kimérésére adtak lehetőséget. Az 1974-ben felfedezett kettős pulzár lehetőséget jelentett a gravitációs hullámok létezésének közvetett kimutatására a keringési periódus keringési ideje csökkenésének megméréseivel.

A pulzárak másik felhasználási lehetőségeként felmerült a pozíciómeghatározásban kiaknázzható segítségük. Jelenlegi globális helyzetmeghatározó rendszereink ugyanis viszonyítási pontként a Földet használják, és csak a Föld felszínén működnek kellő pontossággal, így a Naprendszer felderítésénél nem használhatók. Olyan relativisztikus helyzetmeghatározási megoldások jöhetnek szóba, amelyek távoli források (pulzárak) rádiójeleit használják referenciaként.

*Balázs Lajos György: Paál György és a kozmológia forradalma*

A kozmológia fejlődése az ókori babilóniai nézetektől 1930-ig. Erre a néhány bevezető oldalra azért van szükség, hogy *Paál György* eredményeinek jelentőségét felmérhessük. Paál a Világegyetemben észlelhető nagy léptékű inhomogenitások vizsgálatával kezdte önálló munkásságát. Az ötvenes évek végére több tízezer galaxishalmazt és -csoportot azonosítottak. Méretbeli, fényességen alapuló válogatás után 1682 halmaz lett a statisztikai vizsgálatok alapja, amelynek eredményét Paál kritikai elemzésnek vetette alá. Arra az eredményre jutott, hogy nagyjából 400 Mpc távolságon belül a tér jelentősen eltér az euklideszitől, vagy pedig ebben a térrészben az anyag sűrűségében és/vagy mozgásában jelentősen eltér a homogén és izotrop esettől. Jelentős mennyiségű sötét anyag nélkül a gravitáció nem elegendő a jelenlegi Világegyetem kialakításához. Az elegerősen gyors fejlődéshez a sötét anyag jelenléte mindenképpen szükséges.

A nyolcvanas években Paál és szerzőtársai *Alan Guth* inflációs modelljét vizsgálták, és javaslatot tettek a modell korrekciójára. Számításokkal igazolták, hogy a „lágyabb” infláció esetén lehetséges, hogy az ősi, sűrű anyagban folyamatosan, egyidejűleg keletkezzenek infláló helyek, és ebben az esetben az így kapott megoldás már sok tekintetben megőrzi az eredeti homogén, izotrop megoldások tulajdonságait, és a kozmológiai elv a Világegyetem belátható részén túl is igaz lehet.

Bizonyos galaxisok eloszlásában megfigyelt periodicitás értelmezése vezette Paál Györgyöt és munkatársait arra a feltételezésre, hogy a Világegyetem gyorsulva távolul, és hogy számolni kell a Világegyetem anyagának kétharmadát kitevő sötét energiával. Ezek az eredmények Paál élete utolsó éveiben születtek (1992) – a sötét energia arányára a legújabb eredmények alapján elfogadott érték 3%-kal tér el a Paál által meghatározottól.

*Füstöss László*

Az Abell 1689, az egyik legnagyobb tömegű galaxishalmaz.



# Gurka Dezső (szerk.): MATÉZIS, MECHANIKA, METAFIZIKA

Gondolat Kiadó, Budapest, 2016, 202 oldal

Érdekes tanulmánykötetet jelentetett meg a Gondolat Kiadó *Simonyi Károly* születésének 100. évfordulójára. A könyv 12 rövid tanulmányt tartalmaz 13 szerző tollából, amelyek középpontjában a 18–19. századi matematika, fizika és csillagászat történetének egyes momentumai, illetve e területek korabeli filozófiával való kapcsolatai állnak. A tanulmányok elsősorban a magyar vonatkozásokra fókuszáltak, a korszak magyar tudósainak, mint *Bolyai Farkas*, *Hell Miksa*, *Segner János András*, *Sipos Pál*, *Dugonics András* tevékenységét mutatják be. Az egyes tanulmányok szövegeit minden esetben képek és a témához tartozó illusztrációk követik, sajnos csak fekete-fehérben.

A tanulmányok négy fő gondolati csomópont köré csoportosulnak. Az első az *Erők és ellen-erők a 18–19. századi filozófiában*, amely három tanulmányt tartalmaz *Schmal Dániel*, *Mester Béla* és *Egyed Péter* írásait. Ezek *Leibniz* filozófiájával, majd két felvilágosodás kora beli magyar tudós, *Rozgonyi József* Kant-kritikájával és *Sipos Pál* filozófiájával foglalkoznak.

A második a *Matematikusok a matézis és a bölcsélet határterületein*, amely szintén három tanulmányt tartalmaz, szerzői: *Békés Vera*, *Oláh-Gál Róbert* és *Szabó Péter Gábor*. Az első *Dugonics András* – akinek jelentős szerepe volt a magyar matematikai műnyelv megeremtésében – matematika-pedagógiai munkásságát mutatja be. Olyan, azóta is használt szakkifejezések származnak tőle, mint: *derékszög*, *egyenlet*, *elv*, *gömb*, *szög*, *háromszög*, *batszög*, *bossz*, *kőb*, *kör*, *pont*, *sugár*, *végtelen*. A másik két tanulmány *Bolyai Farkas* tanulmányait, illetve munkásságát elemzi.

A harmadik fő fejezet a *18–19. századi fizikusok és csillagászok munkásságának tudományos és filo-*

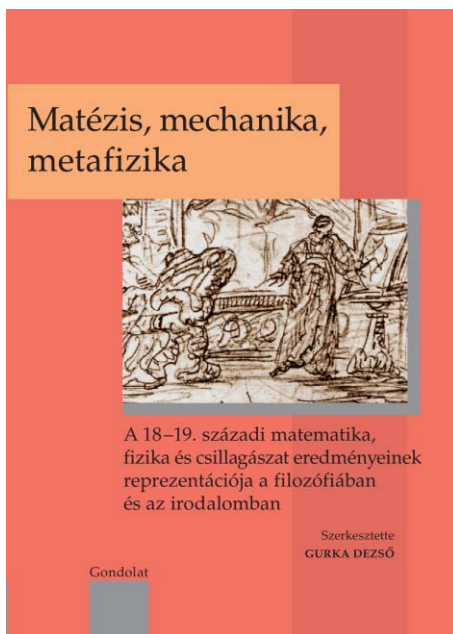
*zófiai recepciója*, amely négy tanulmányt tartalmaz, szerzői: *Gurka Dezső*, *Kontler László*, *Székely László*, *Martinás Katalin* és *Tremmel Bálint*. Az első kettő a korszak két nemzetközileg is ismert és elismert magyar tudós – *Segner János András* és *Hell Miksa*, akiről a szerző következetesen Maximilian Hellként ír – munkásságát és kisebb részben életét mutatja be. A harmadik tanulmány Kant kozmológiájáról értekezik, kitekintéssel *Madách Imre* *Az ember tragédiája* című művére, különös tekintettel az utolsó színre. Ez utóbbinak ezért talán inkább a negyedik fő részben lehetett volna a helye. A negyedik tanulmány a leibnizi impulzusfogalom és az arra épülő dinamika alapgondolatait mutatja be, összehasonlítva a newtoni felfogással.

A negyedik fő fejezet *A 18–19. századi szépirodalom és a korabeli természettudományok érintkezési pontjai*, amely két tanulmányt tartalmaz, *Vörös Imre* és *Balogh Piroska* írásait. Az első a karteziánus és a newtoni felfogás megjelenését mutatja be néhány korabeli magyar versben. Csak érdekességként említendő, hogy egyikben összekeveredik a gravitáció és a mágnesség, amely

gyakori tévképzet. A második egy, a vizsgált korszakban létező *Uránia* című folyóirattal és az akkortájt felfedezett *Uránusz* bolygó névválasztásával foglalkozik. Az írás szerint többen inkább feminim jellegűnek tartották a bolygót, ezért a női jellegű *Uránia* nevet szerették volna.

A könyvet ajánlhatom mindazoknak, akik nem csak a természettudományokat szeretik, hanem szívesen gondolkodnak el ezen ismeretek filozófiai, társadalmi, sőt a művészetekre gyakorolt hatásán.

*Radnóti Katalin*



A 18–19. századi matematika, fizika és csillagászat eredményeinek reprezentációja a filozófiában és az irodalomban

Szerkesztette  
GURKA DEZSŐ

Gondolat

## Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

## Most Társulatunk kér egyletmentő ötleteket!



Ezek az ötletek nem vesznek el,

ha a <http://forum.elft.hu>

linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.



## JELÖLÉSI/PÁLYÁZÁSI FELHÍVÁS AZ ELFT KITÜNTETŐ ÉRMEIRE, FELSŐOKTATÁSI ÉS TUDOMÁNYOS DÍJAIRA

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Díjbizottsága jelöléseket, illetve pályázatokat vár a Társulat 2017. évi kitüntető érmeire, valamint felsőoktatási és tudományos díjaira. Kérjük a Társulat szakcsoportjait, területi csoportjait és valamennyi tagunkat, hogy a kitüntetésre érdemes kollégákat és tudományos eredményeiket bemutató javaslataikat legkésőbb *2017. március 20-ig* szíveskedjenek eljuttatni a Társulat titkárságára (1092 Budapest, Ráday utca 18. fszt. 3.). A tudományos díjakat a kutatók saját kezdeményezésükre is megpályázhatják.

A Társulati díjakra a jelölések/pályázatok benyújtására szolgáló adatlapok letölthetők az ELFT honlapjának díjszekciójából – <http://elft.hu/tarsulattrol/dijak> –, ahol egyben az elbírálási eljárás részleteire vonatkozó ismertetés is megtalálható. Kérjük, hogy a jelölések megfogalmazásában vegyék figyelembe az ismertető információit. Az ismertetés minden díjat hozzákapcsol legalább egy szakcsoport kutatási területéhez, amely szakcsoport ajánlásának beszerzése ajánlatos, de nem kötelező. A tudományos díjak elnyerésének nem előfeltétele a társulati tagság.

A mellékletek nagy részének elegendő a nyilvános (speciális esetben a Díjbizottság tagjaira korlátozott) adatbázisokból történő elérhetőségének megadása.

A társulati kitüntetéseket, valamint a tudományos és felsőoktatási díjakat a Társulat 2017. május 13-i Küldöttközgyűlésének keretében, ünnepélyesen osztjuk ki.

### Társulati kitüntetések

*Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érem* adományozható a Társulat azon tagjának, aki a fizika területén hosszú időn keresztül folytatott kutatási, alkalmazási vagy oktatási tevékenységet, valamint a Társulatban kifejtett munkásságával kiemelkedően hozzájárult a fizika hazai fejlődéséhez.

*Prométheusz éremmel* – „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” – tüntethető ki az, aki a fizikai műveltség terjesztéséhez országos hatással hozzájárult.

*Eötvös Plakett* elnevezésű emléktárgy adományozható annak a társulati tagnak, aki hosszú időn keresztül aktív társadalmi munkával járul hozzá a Társulat egészének vagy valamelyik csoportjának, szakcsoportjának eredményes működéséhez; olyan személynek, aki társadalmi munkában vagy egyéb módon rendkívüli mértékben nyújt segítséget a Társulat célkitűzéseinek megvalósításához; neves külföldi

vendégnek a Társulat valamely rendezvényén tartott előadása alkalmából.

A két éremre a Társulat Elnöksége tesz javaslatot a Küldöttközgyűlés felé, a plakettekről az Elnökség dönt és arról a Küldöttközgyűlést tájékoztatja.

### Tudományos és felsőoktatási díjak

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat az alábbi tudományos, illetve felsőoktatási díjakat adományozhatja:

*Marx György felsőoktatási díj* – „A fizika felsőfokú (egyetemi és főiskolai) oktatásában és a tanárképzésben sok évtizedes kiemelkedő alkotó- és nevelőmunkáért.”

*Bozóky László-díj* – „A sugárfizika és a környezet-tudomány területén hosszú időn át végzett magas színvonalú munkásságért, nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményért.”

*Bródy Imre-díj* – „Magas színvonalú elvi megfontolásokkal a fizika alkalmazásai területén hosszú időn át végzett színvonalas munkásságért, nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményért.”

*Selényi Pál-díj* – „Az alapvető jelenségek kísérleti vizsgálatában, továbbá azokon alapuló technikai eszközök nagy eredetiségű fejlesztésében hosszú időn át végzett magas színvonalú munkásságért, nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményért.”

*Budó Ágoston-díj* – „Az optika és a molekulafizika területén, elsősorban kísérleti vizsgálatokban elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Detre László-díj* – „A csillagászatban, valamint bolygónkkal és annak kozmikus környezetével foglalkozó fizikai kutatások területén elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Gombás Pál-díj* – „A kvantumelmélet atom- és molekulafizikai alkalmazásában, továbbá a statisztikus fizikában végzett elméleti kutatásokkal elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Gyulai Zoltán-díj* – „A szilárdtestek és a kondenzált anyag fizikájának kísérleti módszerekkel történő kutatásában elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Jánossy Lajos-díj* – „A nagyenergiás fizika (kozmos sugárzás, részecskefizika és nehézion-fizika) kísérleti kutatása és a kísérleti eredmények fenomenológikus értelmezése területén elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Novobátzky Károly-díj* – „Az elméleti fizikai kutatásokban elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Schmid Rezső-díj* – „Az anyag molekuláris szintű szerkezetét felderítő, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Szalay Sándor-díj* – „Az atom- és atommagfizikában, illetve ezek interdiszciplináris alkalmazási terüle-

tén elért, jelentős nemzetközi figyelmet kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

*Szigeti György-díj* – „A lumineszcencia- és félvezető-kutatásokban elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért.”

Újfalussy Balázs  
főtitkár

Kamarás Katalin  
a Díjbizottság elnöke

## PÁL LÉNÁRD KITÜNTETÉSE

2016. december 20-án otthonában vette át *Pál Lénárd* akadémikus a Magyar Nukleáris Társaság legmagasabb kitüntetését, a Szilárd Leó-díjat. *Ördögh Miklós* MNT-elnök és *Gadó János* sok olyan eseményt is fellevenített, amelyekben Pál Lénárd tevékenysége meghatározó volt. Emellett külön kiemelték, hogy Pál Lénárd – az MNT külföldön élő magyar tudósok elismerésére alapított Szilárd Leó Érmét ebben az évben elnyerő *Pázsit Imrével* közösen – jelenleg is aktívan részt vesz projektek megvalósításában, publikációk kidolgozásában.

Pál Lénártnak jó egészséget és munkájához további sikereket kívánunk.



Pál Lénártnak Ördögh Miklós átadja a Szilárd Leó díjat.

## ÁTADTÁK A 2016. ÉVI GÁBOR DÉNES-DÍJAKAT

2016. december 22-én az Országházban adták át a Gábor Dénes-díjakat. Ezúttal tizenhárom tudós, kutató, fejlesztő és feltaláló vehette át a díjat kiemelkedő teljesítményének elismeréséül. Nagy örömeinkre szolgál, hogy a díjazottak között egy fizikus, egy mérnök-fizikus és egy matematika-fizika szakos tanár is volt.

Így „külhoni” Gábor Dénes-díjban részesült *Barabási Albert László* fizikus, hálózatkutató, a modern hálózattudomány megalapításában, a hálózatelméleti kutatásokban nyújtott és a gyakorlati, üzleti életben is hasznosítható eredményeiért.

Kitüntették *Babcsán Norbert* mérnök-fizikust az alumíniumhabok fejlesztésének, széles körű elterjesztésének és üzemszerű gyártásának területén elért kiemelkedő tevékenységéért.

In Memoriam Gábor Dénes elismerést vehetett át a *Fizikai Szemle* gyakori szerzője, *Kovács László* matematika-fizika szakos középiskolai tanár, fizikatörténész a Gábor Dénes-i örökség feltárása, kutatása és védelme területén végzett több évtizedes munkájáért.

Valamennyi kitüntetettnek gratulálunk és további sikeres alkotó tevékenységet kívánunk.

## SZUBJEKTÍV EMLÉKTÖREDÉKEIM

mindannyiunk által becsült és szeretett Haiman Ottó kollégámról

*Ottó* nagyon hiányzik, már pár éve. Amióta nincs a kutatócsoportomban részfoglalkozású állása, egyre ritkábban járt be. Mert igen, Ottó még 90 évesen is munkaviszonyban volt a tanszéken, és ezt ő nagyon komolyan is vette. Ha úgy érezte, nehéz lenne 92 évesen felkerekednie, mindenképpen betelefonált, hogy megtudakolja, van-e olyan sürgős tennivaló, ami miatt mégiscsak inkább nekivágna a 45 perces, átszállásos útnak. Munkaviszonyának végül azért kellett a jobb

belátás ellenére véget vetni, mert a kormány olyan rendeletet hozott, amely értelmében ő már nem dolgozhatott tovább. De addig a pillanatig magamban nagyon büszke voltam arra, hogy talán a világ egyik legidősebb fizikus munkavállalójának csoportvezetője lehetek. Rengeteg fontos emlék van róla, itt csak párat tudok megemlíteni, és persze elsősorban olyanokat, amelyek emberi nagyságát, kivételes szakmai elkötelezettségét mutatják.



Amikor 1990-ben *Marx György* meghívott tanítani az akkori Atomfizikai Tanszékre, a szűkös körülmények miatt íróasztalt is csak úgy tudott adni, hogy elvben hárman voltunk a szobában, köztük Ottó. Ő azonban csendes, megértő, mosolygós fizikai jelenléte ellenére hihetetlenül dominálta a szobát: ma már nincs ilyen, de akkor az ő szobája olyan volt, mint egy komplett könyvtár, valamint szertár. A falon végighúzódozó, de arra merőlegesen is felhúzott dexion salgó polcokon ezerszámra álltak (és hát, igen, porosodtak) imádott könyvei, amelyekről – amellett, hogy főleg optikáról szóltak – azt is tudni lehetett, hogy német–magyar–oros–angol nyelven íródtak, mert Ottó ezeken a nyelveken mind nagyon jól olvasott és beszélt is. Na, de nekem meg porallergiám volt, illetve van is, tehát az első néhány hét tüszőgése, szemkaparási érzése után elkezdtem puhatólódzni, mit lehetne tenni. Kimondhatatlan piszok-ragacs volt ott a város szívében, a 90-es évek elején, amikor a VAZ dömperek és előregedett csuklós buszok füstfellegeket bocsátva tolongtak a belvárosban.

Fantasztikus, máig is bennem hálát ébresztő választokat váltott ki a problémám. Most itt gyorsan be kell szűrnom, hogy az ELTE-n töltött első fél évem során Marx Gyurka egyből bedobott a mélyvízbe, elutazott 2 hónapra, és nekem a nulláról előadásokat kellett tartanom elméleti mechanikáról a fizikaszak legendás évfolyamának, amelyik egyfelől a tehetségek véletlen akkumulációja, másfelől a tanulmányok előtti sorkatonaság gyors eltörlésének eredményeképpen jött létre. A második évfolyamról hirtelen több szuper diák csatlakozott kutatásaimhoz, és bár akkor még épp nem, de később *Derényi Imre* is, aki most a – a fentiek alapján biztos érthető, hogy mekkora örömmre – a tanszékvezetőnk. Ez a kis kitérő azért fontos, mert a szobámban kialakuló szakmai zsongás Gyurkából, és Ottóból ugyanazt a reakciót váltotta ki. A tanszékvezető mindenható titkárnője kifestette a mocskos falakat a szobámban – ez akkor még nagyobb protekciót igényelt, mint ma – Ottó pedig megkérdezte, jobban tudnék-e dolgozni a diákokkal, ha ő átköltözne egy másik szobába. Összeszorult a szívem, mert bár természetesen ilyet kérni se mertem volna Ottótól, az ajánlata egyszerre jelentett rendkívül sokat a munkám szempontjából, és egyszerre ébresztett lelkiismeret-furdalást ben-

nem. Pár napig játszottuk azt a kényes egyensúlyt jelentő helyzetet, amely ilyesmikről szólt: „de tényleg, csak ha nem probléma”, illetve „ha Neked jobban menne úgy a munka, én szívesen költözök”. Nagylelkűsége ledöbbsentett, mert végül egy mellékszárnyban talált magának zugot, sok régi orosz könyv feláldozása árán. A szoba átalakult, szemináriumokat tartottunk benne, több, immár a világban is jól ismert tudóspalánta került ki onnan, és Ottó ezt nagyon tudta értékelni. Ő maga még 92 évesen is bejárt optikaszemináriumot tartani, és amikor egyszer egy kicsit őt féltve betekinttettem az órájára, megható volt látni, hogy a fiatal fizikus-hallgatóink milyen mélységes megértéssel, tisztelettel, támogatóan vettek részt az óráján.

Számos kedves, humoros emlékem is van róla. Ezek egy része akkor keletkezett, amikor hetenkénti-kéthetenkénti rendszerességgel, egészen az utóbbi évekig, beült hozzám, és vagy optikáról beszélünk, vagy anekdotáztunk. Amolyan apuka-szerűen viselkedett, és ez jól esett nekem. Erről jut eszembe: már lehetett vagy 80 éves, amikor felhozta, hogy nem érti, miért szólítja mindenki őt Ottó bácsinak (ez így volt, és valami elemi tisztelet eredménye lehetett), amikor ő csak Ottó, és hol van ő még attól, hogy bácsinak számítson. Valóban, annak idején néha még tarka selyemingekben is lehetett látni, sőt, egyszer – már a 80-as éveit taposhatta – szemtanúja voltam, amint viharos gyorsasággal, jellegzetes, kamaszos mosollyal az arcán „rollerezett” a folyosón a kis kézi targonca platóján állva, a másik lábával meg azt hajtva.

Ottó nagyon komolyan vette munkáját, amolyan régies, kicsit ma már romantikusnak is gondolható stílusban. Szenvedélyesen gyűjtötte, nézte át az optikához – de nemcsak ahhoz – kapcsolódó irodalmat. Bár nyugdíja kicsi lehetett, ha jutalmat kapott, felcsillanó szemmel mondta: hát ez nagyon jól jön, a BME-n épp megint kedvezményes vásár van a Springer könyveiből. Számunkra ő volt a mikroszkópokkal kapcsolatos tudnivalók ismerője. Ha egy új megoldás, vagy egy mikroszkóp-kiegészítő vásárlásának lehetősége felmerült, rögtön hozzá fordultunk tanácsért. Ő vagy rögtön tudta a választ, vagy azt kérte: mielőtt kimondja a végső álláspontját, hadd menjen haza, és tanulmányozza körbe az adott kérdésre adható válaszokat. Gyakran előfordult, hogy rendkívül kiterjedt, gondosan ápolt, sőt folyamatosan szaporodó gyűjteményének mélyéből előbányászott egy kütyüt, amelyik kis átalakítással pont azt tudta, ami nekünk, a sejtek videofilmezéséhez épp jól jött. Ha sokirányú olvasmányjaiban valamilyen friss optikai újdonságra bukkant, hamarosan felkeresett, és ragyogó szemmel beszámolt róla, mondván, ennek tudása még egyszer nagyon jól jöhet. Egyszóval, olyan volt ő, mint egy forrás, amelyből az optikai tudás nagy dézsával meríthető.

Szerintem Ottó most fent rollerezik a kézi targoncával, mosolyogva néz le ránk, és azt üzeni, maradjatok csak nyugodtan még minél tovább, én itt is jól érzem magam, türelemmel várok, és ha csatlakoztok, majd beszélgetünk egy jót a legújabb optikai trükkömről.

*Vicsék Tamás*

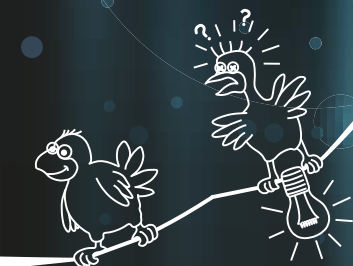


Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szervezésében

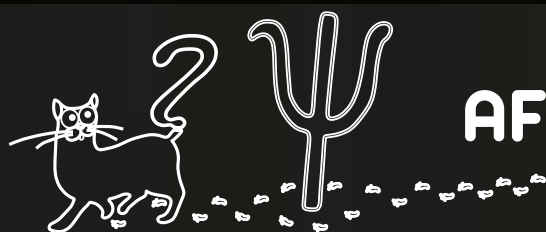


2017.  
ÁPRILIS  
21-22.

# A FIZIKA MINDENKIÉ 3.0



A fizika 2017-ben is mindenkié! A tiéd, miénk és mindenkié – tanároddal, barátaidkal, szüleiddel fizikázz, végezz kísérletet vagy készíts új eszközt, hallgass vagy szervezz előadást –, szóljon minden a fizikáról! Vegyél részt, regisztráld a saját programod és ünnepeljük együtt a fizika kérdéseit és csodás eredményeit! Hiszen a fizika segítségével adunk választ számos, a társadalmat érintő problémára – például energia, közlekedés, kommunikáció, környezetvédelem –, amelyek mindannyiunk életét befolyásolják.  
Mert A FIZIKA MINDENKIÉ!



Információért látogass el weboldalunkra:

**AFIZIKAMINDENKIE.KFKI.HU**

Támogatók:

