

fizikai szemle

2011/6



Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat
havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: A Magyar Tudományos
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,
a Nemzeti Erőforrás Minisztérium,
a Magyar Biofizikai Társaság,
a Magyar Nukleáris Társaság
és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovszky Aladár,
Faigel Gyula, Gyulai József,
Horváth Gábor, Horváth Dezső,
Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János,
Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin,
Simon Péter, Sükösd Csaba,
Szabados László, Szabó Gábor,
Trócsányi Zoltán, Turiné Frank Zsuzsa,
Ujvári Sándor

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Ernest Rutherford és szórás kísérlete
Kara Page festményén.

TARTALOM

<i>Fényes Tibor</i> : Eredmények, fejlődési irányok a hadronfizikában	181
<i>Bencze Gyula</i> : Rutherford és a százéves magfizika	191
<i>Berényi Dénes</i> : Rutherford aktualitása	198
Gyorsítók Sopronba és Csillebércre – <i>Staar Gyula</i> beszélget <i>Simonyi Károllyal</i> (1986)	202

VÉLEMÉNYEK

<i>Szergényi István</i> : Energia, civilizáció, kultúra, túlélés – II.	205
------------------------------------------------------------------------	-----

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Vicze Zsolt</i> : Fizikaverseny a Csodák Palotájában	211
<i>Teiermayer Attila</i> : Fényt kibocsátó diódák alkalmazása a középiskolai fizikaoktatásban	212

HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>T. Fényes</i> : Results and trends of hadron physics	
<i>G. Bencze</i> : Rutherford and the centenary of nuclear physics	
<i>D. Berényi</i> : Rutherford not yet outdated	
The particle accelerators at Sopron University and Budapest KFKI – A report noted 25 years ago by <i>G. Staar</i> interviewing professor <i>K. Simonyi</i>	

OPINIONS

<i>I. Szergényi</i> : Energy, civilization, culture, survival – Part II.	
--------------------------------------------------------------------------	--

TEACHING PHYSICS

<i>Z. Vicze</i> : A contest in physics in the “Palace of Miracles”, Budapest	
<i>A. Teiermayer</i> : The application of leds in the physics course of secondary schools	

EVENTS

<i>T. Fényes</i> : Ergebnisse und Entwicklungstendenzen der Hadronenphysik	
<i>G. Bencze</i> : Rutherford und die hundert Jahre der Kernphysik	
<i>D. Berényi</i> : Rutherford immer noch aktuell	
Die Teilchenbeschleuniger in Sopron und Budapest – <i>G. Staar</i> befragt Professor <i>K. Simonyi</i> vor 25 Jahren	

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

<i>I. Szergényi</i> : Energie, Zivilisation, Kultur, Überleben. Teil II.	
--------------------------------------------------------------------------	--

PHYSIKUNTERRICHT

<i>Z. Vicze</i> : Ein Wettbewerb in Physik im „Palast der Wunder“, Budapest	
<i>A. Teiermayer</i> : Leuchtdioden im Physikunterricht der Mittelschule	

EREIGNISSE

<i>T. Фенеш</i> : Успехи и направления развития адронной физики	
<i>Д. Бенце</i> : Резерфорд и столетие ядерной физики	
<i>Д. Берени</i> : Актуальность Резерфорда	
Ускорители частиц в г. Шопрон и Будапешт – Разговор <i>Д. Штара</i> с профессором <i>К. Шимони</i> 25 лет тому назад	

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

<i>И. Сергени</i> : Энергия, цивилизация, культура, переживание – часть вторая	
--------------------------------------------------------------------------------	--

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>Ж. Више</i> : Конкурс по физике в «Палате Чудес»	
<i>А. Теиермаер</i> : Применение светонизлучающих диодов в курсах физики средних школ	

ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXI. évfolyam

6. szám

2011. június

EREDMÉNYEK, FEJLŐDÉSI IRÁNYOK A HADRONFIZIKÁBAN

Fényes Tibor
MTA ATOMKI, Debrecen

Látható világunk elemi részecskékből, kvarkokból és leptonokból épül fel. A kvarkokból összetett legegyszerűbb részecskék a mezonok és barionok, közös néven hadronok. A mezonok egy kvark – egy anti-kvark párból, a barionok három valenciakvarkból állnak. Mivel hat kvark (u, d, s, c, b, t) és hat anti-kvark ($\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$) létezik, a hadronok sokféle kombinációban épülnek fel. Az azonos (vagy nagyon hasonló) kvarkösszetételű mezonoknak gyakran külön nevet is adtak. Így 2010-ben már több, mint 150 mezon- és több, mint 130 barionállapot volt ismert. A hadronokat tömegeikkel, összetételükkel és különböző kvantumszámaikkal lehet jellemezni. Illusztrációként az 1. ábrán fel van tüntetve néhány mezon- és barionállapot az I_z izospinvetület-, S' ritkaság- és C' bájkvantumszám-térben a kvarkösszetételükkel együtt. Teljesebb áttekintés található a Particle Data Group [1] közleményben.

A hadronok vizsgálata több szempontból is fontos. Ma már általánosan elfogadott, hogy az erős kölcsönhatás alapvető elmélete a kvantumszíndinamika (QCD). A kvark-antikvark kölcsönhatás természete pedig elsősorban a nehéz mezonok (közös néven kvarkóniumok, $c\bar{c}$, $b\bar{b}$) sajátágaiból, valamint a szóráskísérletekből ismerhetők meg. A helyzet hasonló a magfizika őskorához, amikor az atommagot összetartó erők felderítése céljából az egy protont és egy neutron tartalmazó deuteron sajátosságait kezdték tanulmányozni.

Másrészt a hadronok a legegyszerűbb elemi kvarkokból felépülő részecskék, sajátágaik megismerése nagyban elősegíti a bonyolultabb rendszerek (atommagok, atomok, molekulák stb.) megértését is.

A jelen közlemény néhány fontosabb kísérleti és elméleti eredményről ad számot a hadronfizika területről. Ezek a következők: a hadronok szerkezete és

eredő spinje; a hadronok gerjesztett állapotai; rác-QCD számítások; a hadronok kölcsönhatásai; hadronfizikai laboratóriumok, a kutatások fejlődési irányai.

A hadronok szerkezete

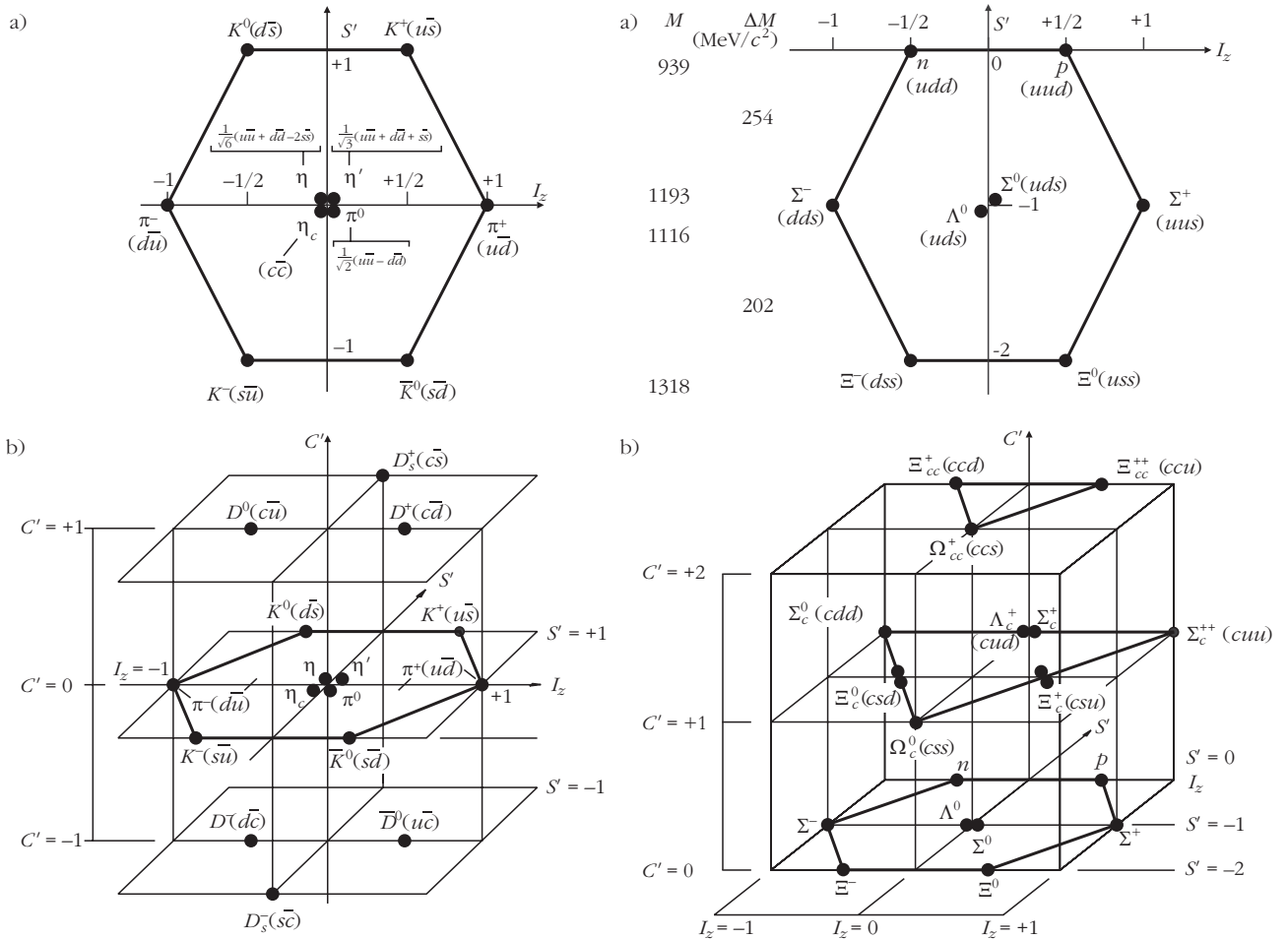
A hadronok szerkezetével kapcsolatban több kérdés is megválaszolásra vár. Például milyen a valenciakvarkok térbeli eloszlása; milyen a kvarkok és az erős kölcsönhatást közvetítő gluonok dinamikája; hogyan alakul ki a hadron spinje; milyen a tengerkvarkok összetétele és milyen a hozzájárulásuk a hadronok észlelhető sajátosságaihoz stb.

A hadronok szerkezete különböző reakciókkal tanulmányozható. Igen nagy energiájú (kemény) reakcióknál ($< 0,1$ fm távolságoknál) perturbációs számítás alkalmazható, > 1 fm távolságoknál (lágy reakcióknál) azonban ez a számítási mód nem működik. Szerencsére faktorizálhatók a formulák, ami azt jelenti, hogy a nagy impulzusú (perturbatív) és alacsony impulzusú (nem perturbatív) oldalai a kölcsönhatásoknak világosan elválaszthatók.

A hadronok szerkezetének tanulmányozására sokféle reakciót használnak:

pp , $p\bar{p}$ rugalmas szórák,
 $p\bar{p} \rightarrow l^+ l^- X$ Drell–Yan-folyamat, l = lepton,
lepton + $N \rightarrow$ lepton + X mélyen rugalmatlan szórák (DIS),
lepton + $N \rightarrow$ lepton + hadron + X félig inkluzív mélyen rugalmatlan szórák,
 $\gamma p \rightarrow p' \pi$, ρ , ω , ... általánosított partoneloszlási (GPD) reakciók stb.

A következőkben csak a proton szerkezetére, valamint a proton spinjének megértésére vonatkozó vizsgálatokat tárgyaljuk részletesebben.



1. ábra. Bal oldalon: a) A legkönnyebb u -, d -, s -kvarkokból felépített pszeudoskalár ($J^P = 0^-$) mezonok az izospinvetület (I_z) és ritkaság (S') kvantumszámokban. Kilenc állapot (nonett), amelyek mellett még az η_c ($c\bar{c}$) mezon is szerepel. b) Az u -, d -, s -, c -kvarkokból felépített pszeudoskalár mezonok. Tizenhat állapot.

Jobb oldalon: a) A legkönnyebb $J^P = 1/2^+$ spin-paritással rendelkező nyolc barionállapot (oktett) rendszerezése az izospinvetület (I_z) és ritkaság (S') kvantumszámokban. A barionszimbólumok mellett a kvarkhözrendelések, bal oldalon pedig a multiplettek átlagos tömege és a tömegkülönbségek láthatók. b) Az u -, d -, s -, c -kvarkkombinációkból felépített húsz barionállapot az I_z , S' , C' kvantumszámok terében.

A proton szerkezetét nagyenergiájú pp , $p\bar{p}$ rugalmas szórási kísérletekben már évtizedek óta vizsgálják a CERN-ben és a Fermi-laboratóriumban, néhány-szor tíz GeV-től 1,8 TeV-ig terjedő tömegközépponti energia ($s^{1/2}$) tartományban. E rugalmas szórási vizsgálatok alapján a protonban három réteget lehet megkülönböztetni (2. felső ábra).

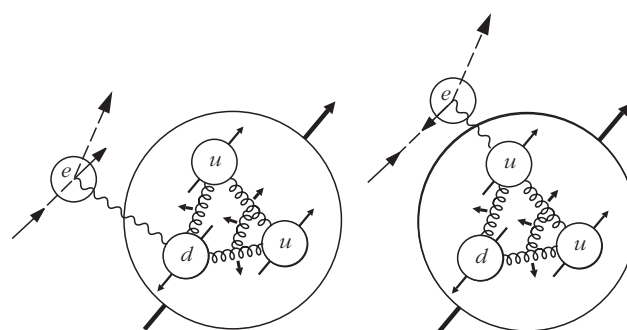
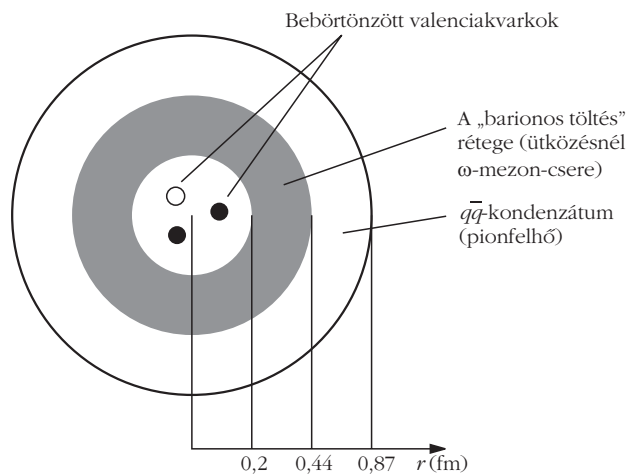
Az első, $\sim 0,2$ fm sugarú gömbben van a három valenciakvark bebörtönözve. Ebben a tartományban a pp rugalmas szórás úgy jön létre, hogy az egyik proton valenciakvarkja ütközik a másik proton valamelyik valenciakvarkjával „kemény” ütközésben, ahol az átadott négyesimpulzus-négyzet $|t| \sim 4 \text{ GeV}^2$ (a részecskefizikában használatos $\hbar = 1$, $c = 1$ egységekben) vagy nagyobb.

A második $\sim 0,44$ fm (külső) sugarú réteg „barionos töltés” nevet visel. pp - vagy $p\bar{p}$ -ütközéseknél e rétegek között ω vektorbozoncsere történik, az átadott négyesimpulzus-négyzet $|t| \sim 1$ és 4 GeV^2 között van. Az 1-es spinű ω -mezon cseréje analóg azzal, mint amikor egy elektromos töltést fotoncserével vizsgálunk.

A harmadik réteg külső sugara $\sim 0,87$ fm, ami egyben a proton töltéssugara. E réteg kis $|t|$ tartományban vizsgálható, közel egyenes irányban a bombázó nyalábokkal. E szórásnál a proton külső rétegében lévő $q\bar{q}$ -kondenzátum (pionfelhő) hat kölcsön a másik proton hasonló rétegével, ami diffraktív szórás-hoz vezet. Kis $|t|$ tartományban (0 és 1 GeV^2 között) pp -szórásnál a Coulomb- és erős kölcsönhatások között interferencia lép fel.

Különböző modellek alapján leírható, hogy hogyan alakul a $d\sigma/dt$ differenciális hatáskeresztmetszet a pp -szórásban az átadott négyesimpulzus-négyzet $|t|$ függvényében. Külön-külön számították a hatáskeresztmetszetet valencia qq , ω -mezon csere és diffrakciós szórásra (Islam és mts. [2]).

A CERN-i nagy hadronütköztető (LHC) lehetőséget ad arra, hogy a pp -szórási vizsgálatokat 14 TeV tömegközépponti energiáig kiterjesszék. E célra létrehozták a TOTEM (TOTAL cross-section, Elastic and diffraction scattering Measurement) berendezést (Bressan, Greco [3]), amivel 0 – 10 GeV^2 $|t|$ tartományban vizsgálják a rugalmas szórási hatáskeresztmetszeteket.



2. ábra. Felül: A proton szerkezetének modellje nagy energiájú pp és $p\bar{p}$ rugalmas ütközési kísérletek alapján, Islam és mts. [2].

Alul: Polarizált elektron- (vagy müon-) nyaláb szóródása polarizált protonon. A nukleon spinje a valencia- és tengerkvarkok eredő spinjéből, a kvarkok keringési impulzusnyomatékainak összegéből és a gluonok eredő spinjéből tevődik össze. Az ábrán csak a valenciakvarkok és részben a gluonok spinjeinek hozzájárulása van feltüntetve, a valódi helyzet ennél sokkal bonyolultabb.

A rugalmas szórás és (legtöbb) diffraktív eseményben a végállapotú proton kis szögben repül a bombázó nyalábhoz képest, ami speciális detektorrendszer kifejlesztését kívánta meg.

A proton szerkezetének várható pontosabb felderítése analóg lesz azzal, mint amikor Rutherford és munkatársai 1911-ben feltárták az atom szerkezetét α -részecskék szóródásának vizsgálata alapján.

A nukleonok spinje $1/2$. Jelenlegi ismereteink szerint ez a spin a) a valenciakvarkok, tengerkvarkok (és antikvarkok) spinjeinek eredőjéből, b) a kvarkok keringési impulzusnyomatékainak összegéből és c) a gluonok hozzájárulásából tevődik össze.

A SLAC (Stanford) laboratórium úttörő kísérletei nyomán a CERN-i EMC (European Muon Collaboration) kutatócsoport arra a meglepő következtetésre jutott, hogy a kvarkspinek csak viszonylag kis hozzájárulást adnak a proton spinjéhez. Az eredményeket megerősítették a CERN-i második generációs, továbbá a SLAC- és DESY- (Hamburg) kísérletek is: a valencia- és tengerkvarkok spinjei csak 30%-át adják a nukleon spinjének. Ezt a felismerést szokták úgy emlegetni, mint a spin-„krízis” kezdetét.

A kvarkok eredő spinje. A nukleon spinjére vonatkozó kvarkszintű ismereteink elsősorban polarizált,

mélyen rugalmatlan szórás kísérletekből erednek. Ezekben nagyenergiájú, a nyaláb mentén polarizált elektronokkal vagy müonokkal vizsgálják a szintén polarizált proton (neutron) szerkezetét. Azok az elektronok, amelyeknek spinje a nyaláb irányába mutat, majdnem kizárólag olyan kvarkokkal lépnek kölcsönhatásba, amelyeknek ellentétes a spinbeállása. Amikor a nyalábpolarizációt (vagy nukleonpolarizációt) megfordítják, a leptonok más kvarkokkal lépnek kölcsönhatásba és ilyenkor megváltozik a szórás szög és energiaveszteség. A különbségből a kvarkspinek aszimmetrikus beállítására lehet következtetni. A kísérletek szerint a proton u -valenciakvarkjainak spinje ugyanolyan irányú, mint a proton egészének spinje, míg a d -valenciakvark spinje ezzel ellentétes (2. alsó ábra).

A COMPASS (CERN) és HERMES (DESY) eredmények szerint a gluonpolarizáció kicsi vagy zéró. *Annak a lehetősége, hogy a nukleon biányzó spinjének többségét a gluonok hozzák létre, kizárható* (Brandamanti [4]).

A kvarkok keringési impulzusnyomatéka. A nukleon tömege $\sim 939 \text{ MeV}/c^2$, ugyanakkor a nukleont felépítő u - és d -valenciakvarkoké $\leq 7 \text{ MeV}/c^2$. Mindez arra utal, hogy a kvarkok a nukleonban valószínűleg nagy sebességgel mozognak és az energia- (tömeg-) tartalom jelentős része a kvarkok (keringési) mozgásából eredhet. A kísérletek ezt alátámasztani látszanak. A Jefferson-laboratóriumban (USA) végzett mérések szerint a kvarkok keringési impulzusnyomatéka az x Bjorken-változó nagy értékeinél ($x \geq 0,6$) jelentős. A DESY HERMES-együttműködésben a céltárgy transzverzspin-aszimmetriáját mélyen rugalmatlan Compton-szórással vizsgálták. Modellfüggő analízissel sikerült meghatározni az u -kvark teljes impulzusnyomatékának hozzájárulását a nukleonspinhez. Az előzetes eredmények szintén jelentős hozzájárulásra utalnak.

A nukleonokban a ritka- (s -) kvark a tengerkvarkok között lehet jelen. Mind a Jefferson-laboratórium HAPPEX, mind a DESY HERMES kísérletekben nyert eredmények arra utalnak, hogy a ritka kvarkok hozzájárulása a nukleonspinhez nagyon kicsi (vagy zéró). A HERMES-eredmények szerint általában a tengerkvarkok polarizációja nagyon kicsi.

A proton spinszerkezetét igen részletesen tárgyalja Bass [5] összefoglaló munkája.

A hadronok gerjesztett állapotai és bomlásai

A hadronok gerjesztett állapotainak vizsgálatára többféle berendezést is kifejlesztettek. Igen hatékonyak bizonyult például a CERN-i lassított antiproton kísérletekben felhasznált kristályhordó spektrométer. Ennek fő eleme egy 1380 Cs(Tl) detektort tartalmazó detektorrendszer, amit proporcionális kamrával és jet-driftkamrákkal is kiegészítettek. A rendszer lehetőséget ad a $p\bar{p}$ -megsemmisülés után előállt mezonok tömegének és kvantumszámainak (I izospin,

J spin, P paritás, C töltéstükrözéses paritás) meghatározására. A programban magyar kutatók is eredményesen vettek részt (Hidas [6]).

Mezonok

A különféle mezonok gerjesztett állapotairól áttekintő képet ad a 3. ábra.

Az utóbbi évtizedekben a kvantum-színdinamika az erős kölcsönhatás elfogadott elméletévé nőtte ki magát. Nagyobb távolságoknál ($\geq 0,2$ fm) az erős kölcsönhatás erőssége azonban olyan nagy, hogy a QCD perturbációs módszereket már nem alkalmazhat. Léteznek viszont olyan QCD által sugallt modellek, amelyekkel a „lágy” hadronikus és nukleáris folyamatok is sikerrel tárgyalhatók.

Az elmélet feladata, hogy nem csak a hadronok összetételét, hanem tömegét, gerjesztéseit, reakcióit és bomlásait is értelmezze.

A hadronok dinamikájának leírására több kvarkmodell is kidolgoztak. A kvarkmodellek felteszik, hogy a mezon összetevő kvark-antikvark párból áll. A kvark és antikvark tömegei a királis szimmetria spontán sérüléséből származnak (6. alsó ábra).

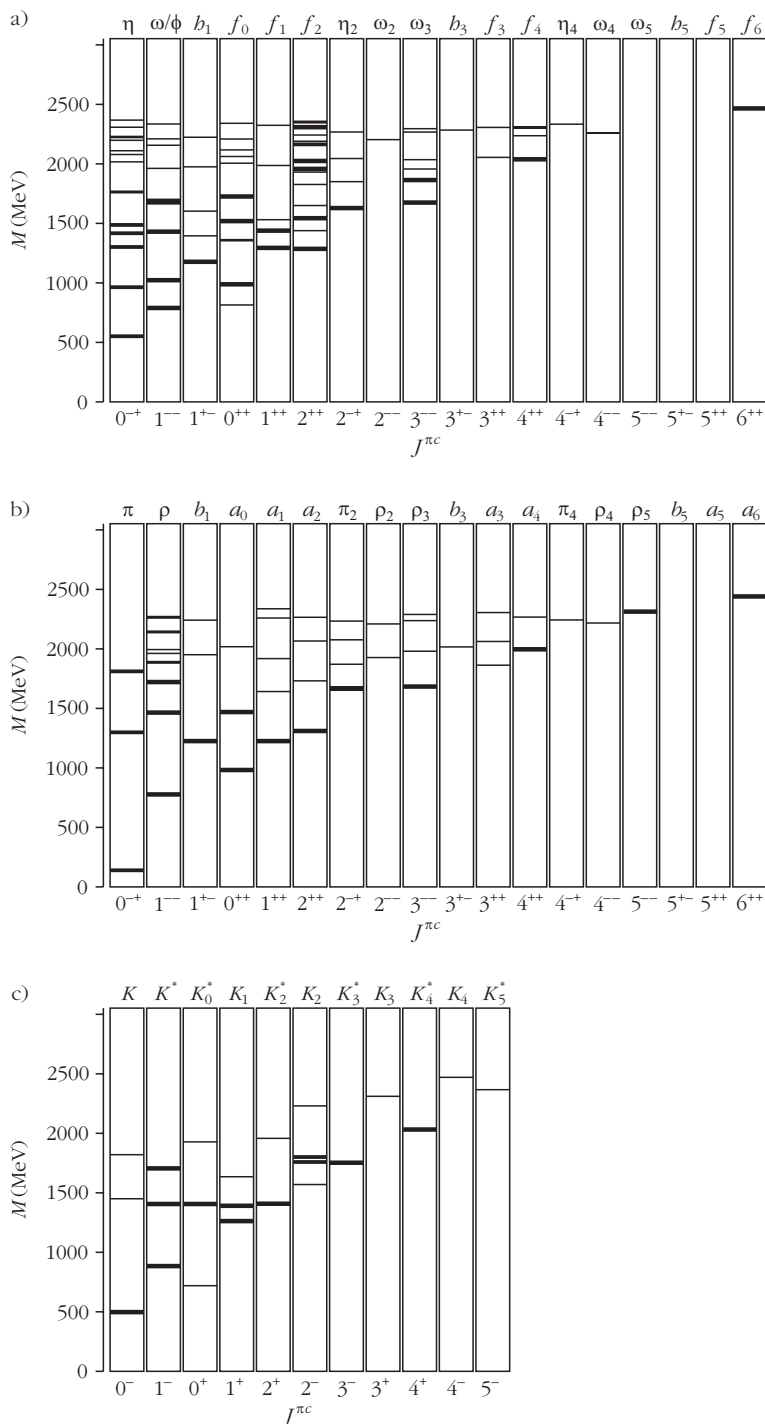
A kvarkmodellek legtöbbször tartalmazza a következő elemeket:

A mezonban lévő kvark és antikvark között fellép egy centrális kölcsönhatás, ami azonos a QCD potenciáljával:

$$H^{cent} = V_{QCD} = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r} + k r.$$

Itt α_s az erős kölcsönhatás csatolási paramétere, r a kvark-antikvark közti távolság, k a bebörtönző potenciál állandója. A potenciál első tagja a Coulomb-potenciálhoz hasonlít, ennek létét a nagyenergiájú szóráskísérletek igazolják. A V_{QCD} potenciál ilyen alakban történő felírását a $c\bar{c}$, $b\bar{b}$ kvarkónium-mezonok gerjesztési spektruma is meggyőzően alátámasztják.

A mezonspektrumok értelmezéséhez azonban azt is fel kell tételezni, hogy a kvark és antikvark között fellép egy erős H^S spin-spin kölcsönhatás. Ilyen kölcsönhatást az analóg pozitroniumnál (az elektron és pozitron kötött állapotánál) is észleltek, de ott ez csak gyenge, hiperfinom felhasadást okoz az energianívókban. A mezonnál a részecskék közötti távolság több nagyságrenddel kisebb, így itt – mint azt a kvarkóniumokkal kapcsolatos kísérletek mutatták – a spin-spin „kromomágneses” kölcsönhatás igen erős és jelentős felhasadást okoz. Ilyen felhasadás lép fel például az 1^1S_0 és 1^3S_1

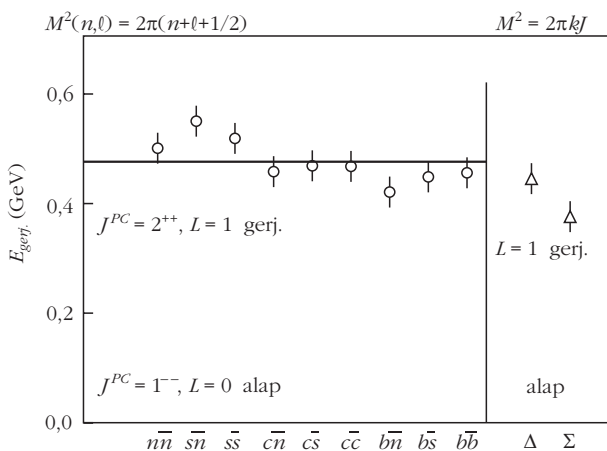
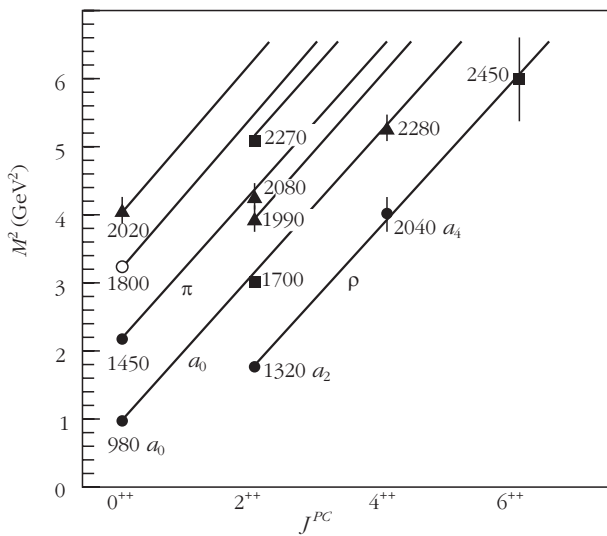
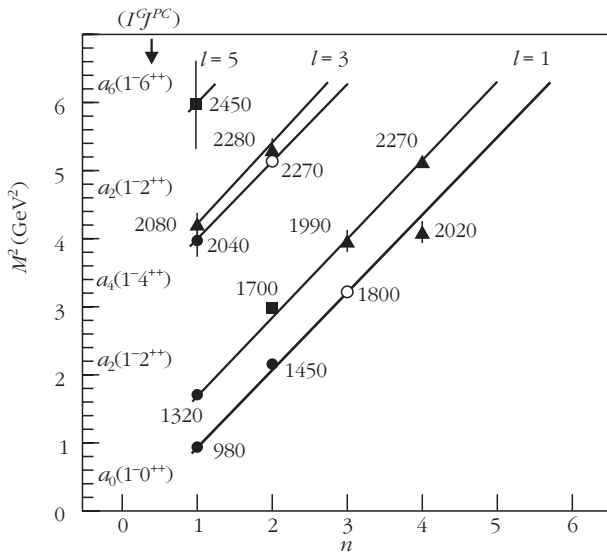


3. ábra. A könnyű izoskalár (a), izovektor (b) és K -mezonok (c) kísérleti tömegspektruma (M). Az egyes mezonállapotoknál a spin (J), paritás (π) és töltéstükrözéses paritás (C) is fel van tüntetve. A megbízhatóan azonosított nivókat vastag, a kevésbé megbízhatókat vékonyabb vonalak jelölik. Klempt, Zaitsev [7] alapján.

3S_1 állapotok között, ahol az 1S_0 állapotban a kvarkspinek ellentétes, a 3S_1 állapotban azonos irányba mutatnak ([8]-ban az V.2.2. pont).

A mezonoknál spin-pálya kölcsönhatás is lehetséges (H^{SL}), de ez általában kicsi.

A bebörtönzési potenciálban (kr) szereplő k mennyiséget általában függetlennek tekintik a spintől és a kvarkok „íz”-étől (4. ábra középső, valamint alsó része).



4. ábra. Könnyű izovektor mezonok. Felül és középen: A mezon-tömegek négyzetei (M^2) az n , l és J^{PC} kvantumszámok függvényében. Alul: Az $L = 1$ keringési impulzusnyomatékhoz tartozó gerjesztési energiák (E_{gerj}) egyes mezonokra és barionokra az $L = 0$ állapotok energiájához viszonyítva, egyirányú spinbeállások esetén. $m\bar{m} = 2^{-1/2}(d\bar{d} + u\bar{u})$ könnyűmezon-kombinációt jelöl. Az eredmények arra utalnak, hogy a $V_{QCD} = -(4/3)(\alpha_s/r) + kr$ potenciálban a k mennyiség lényegében független a J spintől és a kvarkiztól. Klemp, Zaitsev [7] alapján.

A ritka kvark tömege kicsivel nagyobb, mint az u - és d -kvarké. Egyébként az összetevő kvarktömegek szabad paraméterek.

Az izoskalár- (azaz nulla izospinű) mezonoknál a különböző ízű konfigurációk keverednek, például $u\bar{u} \leftrightarrow d\bar{d} \leftrightarrow s\bar{s}$.

Főleg ezek az összetevők határozzák meg a hadronspektrumokat.

A spintől függő kölcsönhatást Godfrey és Isgur [9] egy gluon cseréjére, Vijande és mts. Goldstone-bozon cserére, a Bonn-kvarkmodellek (Koll és mts. 2000; Ricken és mts. 2000) pedig instanton effektusokra vezetik vissza. (Az instantonok közelítőleg úgy tekinthetők, mint a QCD-vákuumban fellépő nem perturbatív fluktuációk, amelyekben viszonylag kis térfogatban nagyon erős terek jelennek meg. Közvetlen instanton effektusok pszeudoskalár és skalár mezonoknál várhatók. Bevezetésük például magyarázhatja, hogy az η' mezonok tömege miért majdnem kétszerese az η mezon tömegének. Az instantonvákuum elmélete azonban még távolról sem lezár.)

A felsoroltak közül csak a Godfrey–Isgur-modellt tárgyaljuk részletesebben, mivel ez mind a mai napig átfogó, referenciamodellnek számít. Létrejöttét a kvantumszindinamika motiválta és – eltérően a korábbi modellektől – már relativisztikus effektusokat is figyelembe vesz.

Godfrey–Isgur mezonmodellje. A modell szerint a mezon dinamikája egy olyan „puha-QCD” Hamilton-operátorral írható le, amelyben rövid távolságoknál egy gluon cseréje dominál, nagyobb távolságoknál pedig egy íztől független Lorentz-skalár kölcsönhatás. A Hamilton-operátor alakja ($\bar{b} = 1, c = 1$ egységekben):

$$H\Psi = (H_0 + V)\Psi = E\Psi,$$

$$H_0 = \sqrt{m_q^2 + |\mathbf{p}|^2} + \sqrt{m_{\bar{q}}^2 + |\mathbf{p}|^2},$$

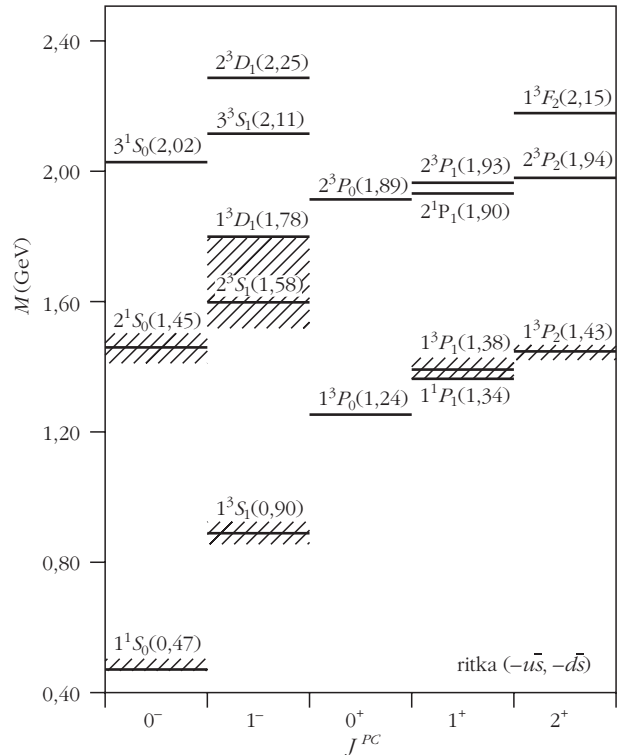
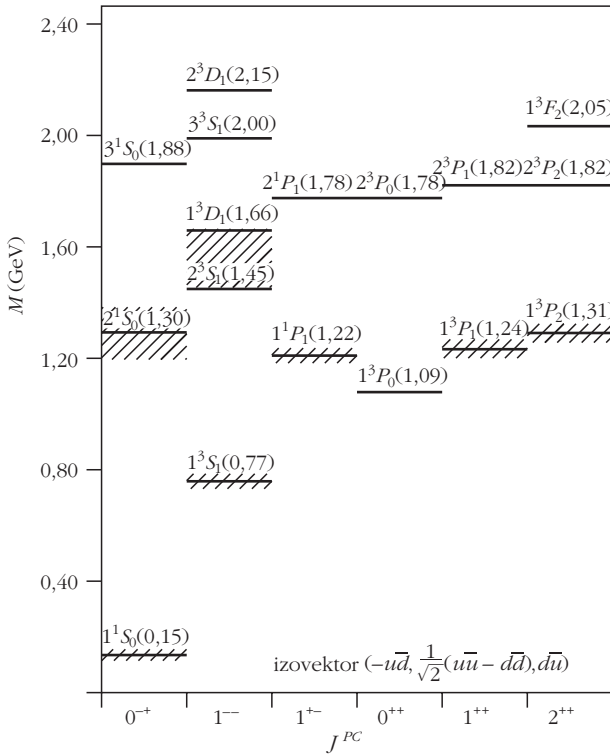
ahol $m_q, m_{\bar{q}}$ a kvark, illetve antikvark nyugalmi tömege, \mathbf{p} a relatív impulzus tömegközépponti rendszerben,

$$V = H^c + H^{SS} + H^{LS} + H^A,$$

itt H^c a centrális potenciál, ami Coulomb-kölcsönhatásból plusz a $br + c$ típusú bebörtönző potenciálból áll, ez utóbbit harmonikus oszcillátor potenciállal közelítik, H^{SS} a spin-spin kölcsönhatás, H^{LS} a spin-pálya kölcsönhatás és H^A a megsemmisülési kölcsönhatás, ami a $q\bar{q}$ -megsemmisülés lehetőségét veszi figyelembe gluonokon keresztül. Ez csak izoskalár mezonoknál lehet jelentős.

Az elmélet paraméterei a következők. Tömegek: $0,5(m_u + m_d) = 220$ MeV, $m_s = 419$ MeV, $m_c = 1628$ MeV, $m_b = 4977$ MeV; $\Lambda = 200$ MeV; a bebörtönző potenciál b és c értékei és mások.

A modell alapján számíthatók a mezonok gerjesztett állapotainak energiái (tömegei), kvantumszámai, az állapotok hullámfüggvényei – például az



5. ábra. Egyes mezonok alacsony spinű alap és gerjesztett állapotai. Tömegek (M) GeV-ben. Vonalak: kísérleti adatok, vonalkázott területek: elméleti értékek Godfrey és Isgur QCD által motivált, részben relativisztikus modellje alapján [9].

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d}), \quad s\bar{s}, \quad c\bar{c}, \quad b\bar{b}$$

tartalom különböző radiális (n) kvantumszámoknál –, az erős, elektromágneses, gyenge bomlási amplitúdók és a töltéssugarak.

A gerjesztési spektrumokra példák láthatók az 5. ábrán. Godfrey és Isgur [9] eredeti dolgozatában izoskalár, $c\bar{c}$, $b\bar{b}$ és más c - és b -kvark tartalmú mezonokra is vannak adatok. Számítottak továbbá parciális bomlási szélességeket (például a $\rho \rightarrow \pi\pi$, $\phi \rightarrow K\bar{K} K^* \rightarrow K\pi$ bomlásokra) és sok más mennyiséget is.

A modell nagy előnye más ad hoc leírásokkal szemben, hogy egységes leírást ad a mezonok statikájára és dinamikájára a legnehezebb $Y(b\bar{b})$ mezonoktól a könnyű pionokig. Az alacsonyan fekvő állapotok energiáit elég jól leírja. A modell hátránya, hogy a relativisztikus effektusokat csak félig kvantitatíven veszi figyelembe (a Hamilton-operátor kimutathatóan nem kovariáns), továbbá hogy gluonlabdákat és hibrid állapotokat nem tartalmaz. Ez utóbbiak tárgyalására a rács-QCD számításoknál visszatérünk.

Barionok

A barionok gerjesztett állapotainak és bomlásainak leírására is rendelkezésre állnak modellek. Sikeres és átfogó volt Isgur és Karl QCD által motivált nem-relativisztikus modellje, amit később részben relativisztikussá fejlesztettek (Capstick, Isgur). Rendelkezésre áll továbbá a félrelativisztikus fluxuscsőmodell, az ins-

tantoneffektusokra, Goldstone-bozon (pion-) cserére alapozott modellek, valamint az algebrai kollektív modell is. Mindezekről jó összefoglalást ad Capstick és Roberts [10] munkája.

Capstick és Isgur részben relativisztikus barionmodellükben feltételezik, hogy a barion három véges kiterjedésű összetevő (constituent) kvarkból áll, amelyek tömege 220 MeV (a könnyű kvarkokra), illetve 420 MeV (a ritka, s -kvarkra). A modell Schrödinger-egyenletében szereplő Hamilton-operátor

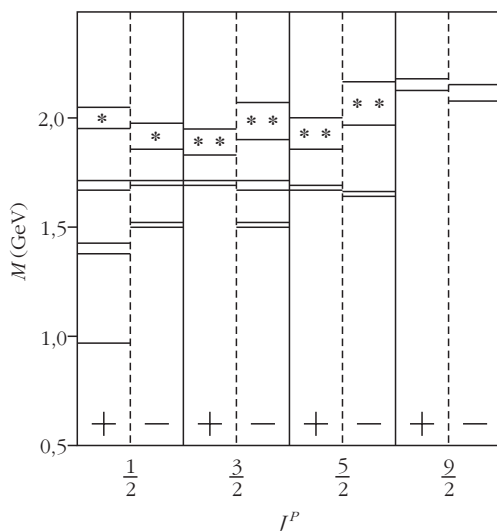
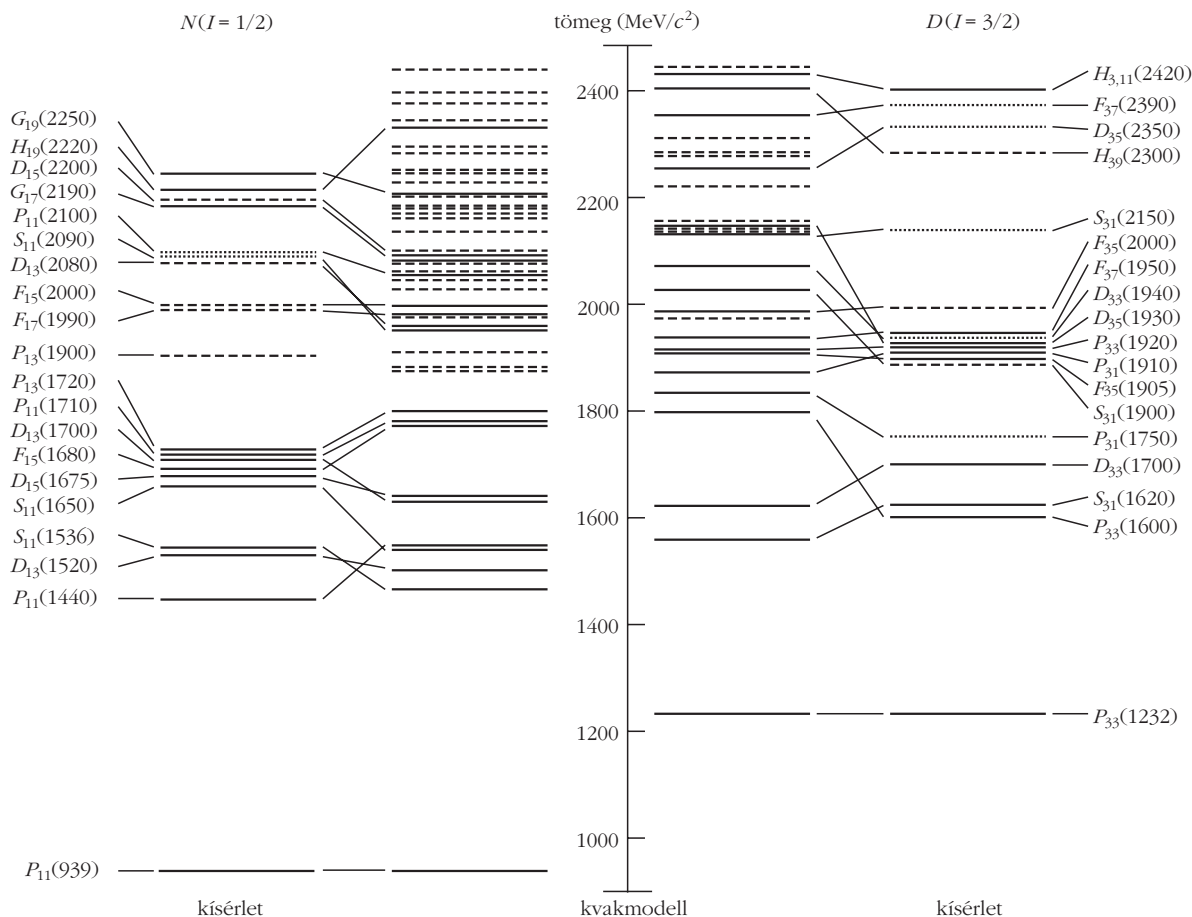
$$H = \sum_i \sqrt{\mathbf{p}_i^2 + m_i^2} + V$$

alakú, ahol V a relatív helyzettől és impulzustól (\mathbf{p}) függő potenciál. Ez nem relativisztikus határesetben a következő tagokból áll:

$$\lim_{p_i/m_i \rightarrow 0} V = V_{\text{húr}} + V_{\text{Coul.}} + V_{\text{hiperfinom}} + V_{\text{SL}}.$$

Itt $V_{\text{húr}} = \sum_i b l_i + c$, ahol b a húr feszültsége, l_i az i -edik kvark távolsága a húr csomópontjától, c állandó, $V_{\text{Coul.}}$ a Coulomb, $V_{\text{hiperfinom}}$ a hiperfinom, V_{SL} a spin-pálya kölcsönhatás potenciálja.

A Hamilton-operátor mátrixot nagy harmonikus oszcillátor alapon feszítették ki, majd a mátrixot diagonalizálva adatokat nyertek az N , Δ , Λ , Σ rezonanciák tömegeire széles spin-paritás tartományokban. Számították továbbá a hullámfüggvényeket és a nukleonok és Δ rezonanciák $N\pi$ bomlási amplitúdóit is. Ez utóbbiak négyzete határozza meg az $N\pi$ bomlási szélességet, a Γ -t.



6. ábra. Felül: A nukleon gerjesztési spektruma, külön-külön az $I = 1/2$ izospinű N és $I = 3/2$ izospinű Δ állapotokra. A kísérleti eredményeknél a folytonos vonalak olyan nivókat jelölnek, amelyek léte biztos vagy nagyon valószínű, és sajátságaiuk elég jól ismertek. A spektroszkópiai jelölések $L_{2i,2j}$ szerint. A kvakmodell alapján számolt nivók Capstick, Roberts munkáin alapulnak és az $N = 1, 2$ sávok összes, az $N = 3, 4, 5$ sávok alacsonyban fekvő állapotait tartalmazzák. Particle Data Group [1] alapján.

Alul: A nukleon néhány alacsonyban és magasan fekvő állapota. A csillagok arra utalnak, hogy azonosításuk nem egyértelmű. Glozman [11] alapján.

A 6. felső ábra bemutatja a nukleon gerjesztési spektrumát külön-külön az $I = 1/2$ izospinű N és $I = 3/2$ izospinű Δ állapotokra. A kvakmodell alapján számított elméleti értékek Capstick, Roberts [10] munkáin alapulnak. Az elmélet 2,4 GeV gerjesztési energiáig ~ 45 N állapotot jósol, de csak 12-t sikerült meg-

bízhatóan és 7-et vaglyagosan azonosítani a kísérleti-
leg észlelt nivókkal. Jelenleg több elektrongyorsítón intenzív kutatómunka folyik a barion-rezonancia-
spektrumok alaposabb megismerésére. Elméleti oldal-
ról, ha létezne erősen kötött kétkvark-állapot, ez a
szabadsági fokok számát csökkentené és így alacsony

gerjesztési energiáknál kevesebb nívó lenne várható. Ugyanakkor a *Bijker, Iachello, Leviatan* által javasolt algebrai kollektív modell a spektrum alsó részében még több nívót jósol. A kísérletileg észlelt nívók száma még a kvark-kétkvark modellek által jóslotknál is jóval kevesebb.

Számították a nukleonok és Δ -rezonanciák $N\pi$, $N\eta$, $\Delta\eta$, $\Delta\pi$, $N\rho$, ΛK , ΣK bomlási szélességeit (Γ) is (Capstick, Roberts [10]).

Összefoglalóan az a következtetés vonható le, hogy a felsorolt barionmodellek a barionok gerjesztett állapotait elég jól leírják, gyakran különböző szempontok alapján. Az egy gluon cseréjére alapozott modell a legegyszerűbb és a spektrum ésszerű, gazdaságos leírását adja. Szigorúan véve egyik modell sem QCD alapon nyugvó, de QCD által motivált és egyesek részben relativisztikusak. Az erős és elektromágneses bomlási amplitúdók leírása azonban már távolról sem olyan jó, mint a gerjesztési nívóké. Ez több okra vezethető vissza: a kinetikusenergia-tagra a Hamilton-operátorban, a tenzorerők és a háromtest-erők jelenlétére vagy hiányára, a pion méretére stb. A hullámfüggvények részleteire a bomlási amplitúdók sokkal érzékenyebbek, mint a gerjesztési spektrum.

A 6. alsó ábrán a nukleon néhány alacsonyan és magasán fekvő állapota látható. Megfigyelhető, hogy a *magasan fekvő állapotokban az azonos spinű, de ellenkező paritású nívók közel egyenlő tömeggel rendelkeznek*. A jelenség azzal magyarázható, hogy kis gerjesztési energiáknál a valenciakvarkok erősen kötődnek a kvarkkondenzátumhoz és így nagy az összetevő (dinamikai) tömegük. Ekkor a valenciakvarkokat nem-relativisztikus, kvázirészecskékként lehet tekinteni. Magasabb energiáknál azonban az azonos spinű, de ellentétes paritású nívók energiája közel egyenlővé válik, királis szimmetria érvényesül. Ez csoportelméleti nyelven a QCD királis szimmetriájának visszaállását jelenti nagyobb gerjesztési energiáknál.

Rács-QCD számítások hadronokra

Rács-QCD számítások a hadronok kötött állapotait az elsődleges elvekből (a QCD Lagrange-energiasűrűségéből vagy annak különböző közelítéseiből) kiindulva írják le. A számításokban a téridő-kontinuumot négydimenziós pontokból álló dobozzal közelítik. A kvark- és gluonkvantumtereket csak a rácspontokon (vagy annak összeköttetésein) vizsgálják. Így a QCD egyenletei diszkretizálhatók, a deriváltakat véges differenciákkal lehet helyettesíteni, ami egyszerűsített jelent az egyébként végtelenül nehéz probléma kezelésében. A számítások többdimenziós integrálást kívánják az adott térben, amit Monte-Carlo-eljárással végeznek. Ez a QCD-vákuumra olyan térkonfigurációkat generál, amelyeknek legnagyobb a járuléka az integrálhoz. Általában több száz konfiguráció szükséges, hogy a Monte-Carlo-számításból eredő statisztikus hibát 1% alá lehessen csökkenteni.

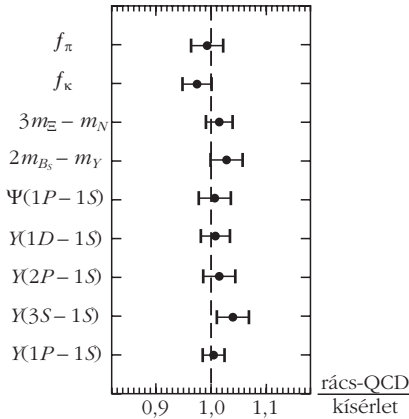
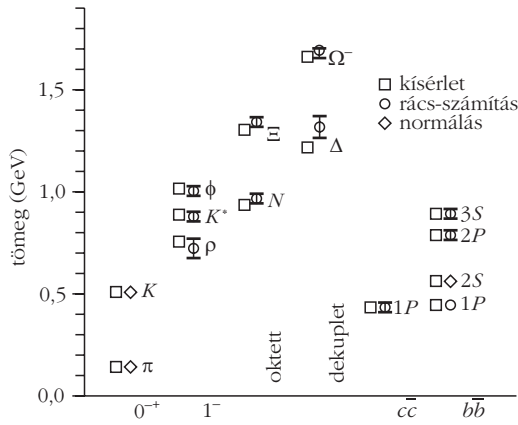
A rács-QCD számítását véges térfogatra és véges rácsközre végzik. A számítások térfogattól való függése gyorsan csökken a térfogat nagyobbodásával, általában elég $\sim 2,5$ fm átmérőjű térfogatot figyelembe venni. A rácspontok egymáshoz való közelítésével a számítások nagyon elbonyolódnak. A fejlesztések eredményeként $\sim 0,1$ fm rácspontközzel már elég jól lehet közelíteni a kontinuum QCD-t. A módszer részletes leírása található például *Montvay, Münster* [12] közleményében, valamint [1]-ben további utalások.

A számításokban csak u -, d - és s -kvarkokat vesznek figyelembe, mivel a c -, b - és t -kvarkok túl nehezek ahhoz, hogy lényeges hatást gyakoroljanak. Hosszú ideig problémát jelentett a dinamikus (vagy másképpen tenger-) kvarkok figyelembe vétele, mivel ezek a számításokat igen elbonyolították (például 10^7 dimenziójú mátrix inverzióját kívánták) és a költségeket nagyon megnövelték. Az algoritmusok tökéletesítésével és $\sim 10^{15}$ művelet/s sebességű szuperszámítógépek alkalmazásával azonban már ezek is figyelembe vehetők.

A számításokban az u -, d - és s -kvarkok tömegei, valamint az α_s csatolási erősség bemenő paraméterek. Általában felteszik, hogy $m_u, m_d \ll m_s/2$. Először mind kísérletileg, mind elméletileg jól definiált mennyiségeket számítanak ki (például a π -, K -, D_s -, Y -mezonok tömegeit). E számításokkal lefixálják a kvarktömegeket, majd ezeket használják fel a további, új mennyiségek számításánál. A jelenlegi számításokban nagyobb kvarktömegeket használnak, mint amilyenek az u - és d -kvarkok reális (a QCD Lagrange-energiasűrűségében szereplő) tömegei. Ennek fő oka, hogy így sokkal kisebb számítógép-kapacitásra van szükség. Növekvő számítógép-teljesítménnyel, az algoritmusok javításával, a királis effektív elmélettel való kapcsolat tökéletesítésével azonban remélhető, hogy pár éven belül áthidalható lesz a rács-QCD számítások és a fizikai kvarktömegek közötti rés. Nagyon fontos a figyelembe vett véges térfogat és véges rácsközök hatásának pontos ismerete. Csak ezek tisztázása után remélhető, hogy megbízható következtetéseket lehet levonni, például a kvark keringési impulzusnyomatékára, az általánosított partoneloszlási (GPD) függvényekre stb.

A hadrontömegekre vonatkozó rács-QCD elméleti és kísérleti eredmények összevetése a 7. felső ábrán látható. E számításokban dinamikai u -, d - és s -kvarkokat is figyelembe vettek. A hadrontömegeket a számítások elég jól reprodukálják.

A dinamikai (vagy másképpen tenger-) kvarkokat is figyelembe vevő, néhány nem perturbatív rács-QCD számítás eredménye a 7. alsó ábrán látható. Az összes számított mennyiség néhány százalékon belül konzisztensen egyezik a kísérleti adatokkal. Ez reményt ad arra, hogy további mennyiségeket, például a B - és D -mezonok leptonikus és félig leptonikus bomlásainak hozamait, a Cabibbo–Kobayashi–Maskawa (CKM) féle kvarkkeveredési mátrix elemeit, a gluonlabdák és pentakvarkok sajátságait is megbízhatóan lehessen számítani.



7. ábra. Felül: Rács-QCD számítások a mezonok és barionok tömegeire, összevetve a kísérleti adatokkal. A normálás a pion és kaon tömegeire történt. A nehéz kvarkoknál csak az 1S állapotokhoz viszonyított tömegfelhasadás van feltüntetve. Az Y 1P-1S felhasadás szabja meg a tömegskálát. Amsler C. és mts. (Particle Data Group 2010) alapján.

Alul: Rács-QCD számítások eredményeinek összevetése a kísérleti adatokkal néhány hadronspektroszkópiai jellemzőre. f_π, f_K : bomlásállandók, amelyek a pion, illetve kaon kísérletileg mért bomlásarányai-ból meghatározhatók. m : tömeg, Ψ, Υ : kvarkónium nívókülönbségek. A számításokban tengerkvarkokat is figyelembe vettek. További információkat lásd a szövegben. Davies és mts. [13] alapján.

Figyelemre méltó, hogy a rács-QCD számítások az erős (nukleáris) kölcsönhatás főbb vonásait is képesek leírni, nevezetesen a rövid hatótávolságú taszítást és a hosszabb hatótávolságú vonzást.

A kvarkok közötti kölcsönhatást gluonok közvetítik. A gluonok színes objektumok, egymással is kölcsönhatásba lépnek. A kvantum-szindinamikai (tér-idő-rács) számítások szerint kialakulhatnak tisztán gluonokból álló képződmények, *gluoniumok* (*gluonlabdák*) is, például gg vagy ggg alakban, ahol is a gluonok színei kioldják egymást. Az elmélet szerint a gluonlabdák nagyon rövid ideig (nagyságrendileg 10^{-24} s) ideig élhetnek, de ez elegendően hosszú a detektálhatóságukhoz.

A rács-QCD számítások szerint gluonlabda nem csak alapállapotban fordulhat elő, hanem különböző J^{PC} értékeknél számos gerjesztett állapot is várható.

A QCD elmélet *hibrid állapotok* létét is megjósolja, amelyekben mezon plusz extra gluon gerjesztés lép fel.

Az ismert hadronok többsége $q\bar{q}$ (mezon), illetve qqq (barion) kvarkösszetétellel rendelkezik. A QCD-számítások szerint azonban elképzelhető például *mezon-mezon molekulák* kialakulása is, amelyeket „maradék” QCD-erők tartanak össze (analógiában az atommag-molekulákkal). Létrejöhetnek színsemleges $qq\bar{q}\bar{q}$ vagy $qqqq\bar{q}\bar{q}$ multikvarkállapotok is, és ezek együtt jelentkezhetnek a szokásos mezon- és barion-spektrumokkal.

A témakörrel részletes összefoglaló munkát közölt *Klempt és Zaitsev* [7]. Fontosabb megállapításaik a következők.

Az $f_0(1370) J^{PC} = 0^{++}$, $f_0(1500) J^{PC} = 0^{++}$ és $f_0(1710) J^{PC} = 0^{++}$ mezonokban megjelenhet skalár *gluonlabda komponens*. Ez azonban széles háttérben van elkenődve. Minden skalármezonban van $q\bar{q}$ és $qq\bar{q}\bar{q}$ komponens. A $q\bar{q}$ természetüket az előállítás jelzi, míg a bomlásuk és tömegük lényeges $qq\bar{q}\bar{q}$ komponens jelenlétére utal. Ámbár a rács-QCD számítások a gluonlabda-állapotok egész spektrumát jósolják, még az alapállapotot sem azonosították. Gluonlabda-állapotok létezhetnek, de csak ≥ 1 GeV szélességgel.

Hibrid állapotok előfordulhatnak egzotikus kvantumszámokkal (amelyek a $q\bar{q}$ -mezonok számára nem elérhetőek), de lehetnek nem egzotikus kvantumszámok is. Hibrid jelöltek lehetnek a $\pi_2(1880) J^{PC} = 2^{-+}$ és $\eta_2(1870) J^{PC} = 2^{-+}$ rezonanciák, de ehhez további megerősítés szükséges. Hibrid állapotok létét a rács-QCD számítások megjósolják, de jelenleg kísérleti adatok nem sok jelét mutatják annak, hogy hibrid szabadsági fok létezik a mezonspektroszkópiában. Igaz, létezésüket sem tudják cáfolni.

A *multikvark állapotok* létevel kapcsolatban még nincs egyértelmű bizonyíték. Egyes mezonok, például az $a_0(980)$, $f_0(980)$, $D_{s0}^*(2317)$ molekulajellegűek, de a kísérleti tények kizárnak erősen kötött tetrakvark ($qq\bar{q}\bar{q}$) konfigurációt. Nagy távolságoknál négy kvark színsemleges objektumra válik szét. A rács-QCD számítások nem mutatnak arra, hogy skalár mezonokban a tetrakvark-konfigurációnak nagy szerepe lenne.

Diakonov és munkatársai királismodell-számítások alapján megjósolták egy egzotikus izoskalár barion létét, amelynek spin-paritása $1/2^+$ és ritkasága $S = +1$. E $\Theta^+(1540)$ -nel jelölt „pentakvarkhoz” hozzárendelt konfiguráció $uudd\bar{s}$, ami nK^+ (azaz $udd+u\bar{s}$) vagy pK^0 (azaz $uud+d\bar{s}$) rezonanciaként jelentkezik. Az állapot létét több laboratóriumban is kísérletileg észlelték, de a vizsgálatok további megerősítésre szorulnak. 2009-ben üzembe lépett Japánban a J-PARC protonszinkrotron. Ennek nagyteljesítményű protonnyalábjába lehetővé teszi a kaonok és pionok intenzív előállítását, ez az első valódi kaongyár. A Θ^+ pentakvark kutatását π^-/K^- reakciókban egyik első feladatuknak tekintik.

Nemrégiben a charmónium gerjesztési nívórendszerében is találtak olyan nívókat, amelyek hadronmolekulákhoz tartozhatnak (Wiedner [14]). Az új állapotok természetének pontos meghatározása azonban a jövő feladata.

A QCD egyik misztériuma, hogy eddig miért csak kvark-antikvark és háromkvark-állapotokat tudtak biztosan azonosítani.

A hadronok kölcsönhatásai

Az intenzív kutatások eredményeként a hadronok kölcsönhatásait egyre pontosabban sikerül megismerni. Különösen a pionok közötti kölcsönhatás felderítésében születtek látványos eredmények: ma már az S -hullámú $\pi\pi$ ütközési hosszát (ami a kéttest-ütközések egyik fontos paramétere) 2%-os pontossággal ismerjük. Az eredményt a rács-QCD, valamint effektív térelméleti számításokkal értelmezni is lehet.

Vizsgálták továbbá a rugalmas πK -szórást, amiben már a ritka kvark is szerephez jut.

A mezon-mezon kölcsönhatások vizsgálata – kombinálva megfelelő mezontérelméleti vagy királis perturbációs elméleti számításokkal – egyre inkább a precíziós szakaszba lép.

Figyelemre méltó eredményeket értek el a πN és más mezon-barion kölcsönhatások vizsgálatában is, főleg az S -hullámú ütközési hossz meghatározásában. Mindezek fontosak az atommagokat és hiperonokat összetartó erős kölcsönhatások megismerése szempontjából.

Összegzés, kitekintés

A kvarkok 1960-as években történt felfedezése óta a hadronfizika hatalmas fejlődésen ment át. A hadronok szerkezetére, gerjesztett állapotaira, bomlásmódjaira, kölcsönhatásaira rengeteg kísérleti adat gyűlt össze, és ma már hatékony kvarkmodellek állnak rendelkezésre a mezonok és barionok sajátosságainak leírására. A kezdetektől kiinduló (ab initio) rács-QCD számításokkal a hadronok tömegét, egyes gerjesztett állapotait és bomlásait is le lehet írni. A hadronok kölcsönhatásainak vizsgálata precíziós szakaszba lépett.

A nyilvánvaló sikerek ellenére egyik tárgyalt témakör sem tekinthető lezártnak. A hadronok szerkezetét tovább szükséges vizsgálni az elérhető legnagyobb energiáknál pp - és $p\bar{p}$ -reakciókból. A „spinkrízis” sem feloldott, új adatokra van szükség különösen lepto-

1. táblázat

Néhány nagyobb hadronfizikai kutatóhely

laboratórium	gyorsító	mérőberendezés
Frascati LNF	DAΦNE: e^+e^- tárológyűrű $E_{c.m.} = 1020$ MeV Lum. = 5×10^{32} cm ⁻² s ⁻¹ Jóváhagyott terv: SuperB, lum. $\sim 10^{36}$ cm ⁻² s ⁻¹	FINUDA spektrométer stb.
Mainz MAMI	Mikrotron $E(e^-) \leq 1604$ MeV $I(e^-) \leq 100$ μA nem polarizált	mágneses spektrométerek fotonpolarizáció PbF ₂ kristálydetektorok stb.
Bonn ELSA	e^- -szinkrotron $E_{e,max} = 0,5-3,5$ GeV $I_e \sim 1$ nA polarizált 10 nA nem polarizált	kristályhordó spektrométer BGO spektrométer polarizált céltárgyak
Lund MAX-lab.	e^- -szinkrotron $E_e = 250$ MeV $E_\gamma = 10-185$ MeV	mágneses hodoszkóp NaI(Tl), HPGe, CsI(Tl) repülési idő mérése, n -det. stb.
Genf CERN COMPASS	Szuper-protonszinkrotron $E_p = 450$ GeV π -nyalábok is	hadronspektrométer, spinszerkezet polarizált céltárgyak NA kísérletek
\bar{p} -lassító	folyékony hidrogén céltárgy lassított antiproton-nyaláb	kristályhordó spektrométer (Hidas [6]-ban)
Jülich COSY	tároló és hűtő szinkrotron $E_p = 2,88$ GeV $E_d = 2,27$ GeV polarizáció	mágneses spektrométerek repülési idő mérése elektromágneses kaloriméter polariméter
Darmstadt GSI FAIR	SIS 100/300 szinkrotron HESR tárológyűrű $E(\bar{p}) = 0,8-14,5$ GeV	PANDA (lásd [16]-ban) épülőben ($\sim 2015-2018$ -ig)

Továbbiak:

Európában: EAI – Dubna, IHEP – Szerpuhov, Oroszország

Egyesült Államokban: RHIC – Brookhaven, J-lab. – Virginia, Fermi-lab. – Chicago mellett

Ázsiában: J-PARC – Tokai, Japán, BEPC-II – Peking, Kína

és mások.

nokkal létrehozott, mélyen rugalmatlan szórási folyamatokból és az általánosított partoneloszlási reakciókból. Az összetevő kvarkokra alapozott kvarkmodellek jó nyomon járnak a hadrongerjesztések és bomlások leírásában. Már megjelentek következetesen relativisztikus kvarkmodellek is. Ugyanakkor – különösen a bomlások leírásában – néha nagy eltérések vannak a kísérleti és elméleti eredmények között. A rács-QCD számítások reményteljesek, de egyelőre a kísérleti hadrontömegekhez illesztett kvarktömegekkel számolnak, amik sokkal nagyobbak a fizikai (csupasz) kvarktömegeknél.

A vizsgálatok tovább folytatódnak. Az 1. táblázat áttekintést ad néhány nagyobb hadronfizikai kutatólaboratóriumról, valamint a gyorsító és mérőberendezéseikről. Európában különösen reményteljes a GSI FAIR PANDA programja. Ebben a nagy energiájú antiproton-nyaláb, valamint a rendkívül fejlett mérőrendszer (időprojekciós kamra, mikrovertex-detektorok, driftkamrák, repülési időt mérő berendezés, elektromágneses és hadron kaloriméterek, Cserenkov-detektorok, eltérítő mágnesek, műonszámláló stb.) ideális feltételeket teremtenek a hadronfizikai kutatásokhoz. Jelentős előrelépés várható a Frascati LNF SuperB

programjának realizálásától is, ami a gyorsító luminozitásának több mint három nagyságrenddel való emelését tűzte ki célul. Japánban már működik a J-PARC első valódi kaongyár. Az USA-ban a RHIC, Brookhaven és a J-lab., Virginia programok jelentős hozzájárulást adhatnak a hadronfizikához.

A hadronfizikai kutatások fejlődési irányait igen részletesen tárgyalja *A magfizika perspektívái Európában* című munka [15].

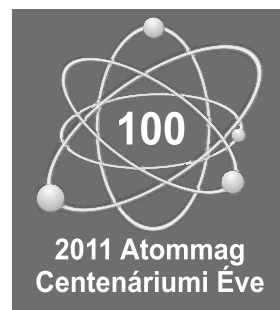
Irodalom

1. Particle Data Group, *Review of Particle Physics*, *J. Phys. G* 37 (2010) 075 021.
2. M. M. Islam, R. J. Luddy, A. V. Prokudin, *Int. J. Mod. Phys. A* 21 (2006) 1.
3. B. Bressan, V. Greco, *CERN Courier* 49 (2009/September) 19.

4. F. Bradamanti, *Nucl. Phys. News* 18/4 (2008) 32.
5. S. D. Bass: The spin structure of proton. *Rev. Mod. Phys.* 77 (2005) 1257.
6. P. Hidas, *Fizikai Szemle* 53/10 (2003) 359.
7. E. Klempt, A. Zaitsev, *Phys. Rep.* 454 (2007) 1.
8. T. Fényes: *Részecskék és kölcsönhatásaik*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2007.
9. S. Godfrey, N. Isgur, *Phys. Rev. D* 32 (1985) 189.
10. S. Capstick, W. Roberts, *Prog. Part. Phys.* 45 (2000) 241.
11. L. Ya. Glozman, *Phys. Rep.* 444 (2007) 1.
12. I. Montvay, G. Münster: *Quantum fields on a lattice*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1994.
13. Ch. Davies, *CERN Courier* (2004/June) 23.
14. U. Wiedner, *Nucl. Phys. News* 20/4 (2010) 19.
15. G. Rosner, M. Makarow (eds.): *NuPECC Long Range Plan 2010: Perspectives of Nuclear Physics in Europe*. European Science Foundation, Strasbourg
16. K.-T. Brinkmann, P. Gianotti, I. Lehman, *Nucl. Phys. News* 16/1 (2006) 15.



2011 Atommag Centenárium Eke keretében
a Magyar Tudományos Akadémia
Fizikai Tudományok és Műszaki Tudományok
Oszályai 2011. május 5-én közös Rutherford-
emléknapot rendeztek.
Az emléknapi két tudománytörténeti megközelítésű
előadása a következő írások alapja.



RUTHERFORD ÉS A SZÁZÉVES MAGFIZIKA

Bencze Gyula

KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézet

Szinte minden tudományos előadás kötelezően azzal kezdődik, hogy *már a régi görögök is*. Nos, a görög tudomány már a kezdetekkor arra kereste a választ – szükségképpen spekulatív úton – hogy miből áll a világ, mi a világot összetartó alapelv, a létező princípiuma.

Az arisztotelészi négy elem gondolata először *Empedoklész*nél jelenik meg (i.e. 480–430). A világ sokfélesége négy alapelem, a föld, a víz, a tűz és a levegő különböző arányú kompozíciójából jön létre. Ezzel a képpel szakít *Démokritosz* atomelmélete (i.e. 430 körül), miszerint az anyag végtelen sokaságú parányi, és épp ezért az érzékszervek által nem észlelhető atomból áll. *Simonyi Károly A fizika kultúrtörténete* című könyvében a következőket hangsúlyozza: „Mai szemmel nézve, vagy helyesebben a XIX. század szemével nézve, az állandóságot a változásban, vagy másként kifejezve: a változás lehetőségét az állandóság megtartásával legsikeresebben Démokritosz oldotta meg az atomelmélete segítségével.” Egyes tudománytörténetesek

Démokritosz elméletében a fizikátörténet és szükségképpen a filozófiatörténet legszeniálisabb gondolatát látják, amelyből modern világképünk kialakult. *Arisztotelész* kritikája miatt azonban az egész elmélet 2000 évig méltánytalanul háttérbe szorult.

Arisztotelész (i.e. 350.) visszatér Empedoklész négy eleméhez, anyagelmélete szerint az egyes elemek között átmenetek is lehetségesek. A való világ ezen anyagok különböző keverékéből áll össze. Az elmélet feltételezi, hogy az anyag folytonos, akármeddig osztható, és minden része azonos szerkezetű a kiinduló résszel. Arisztotelész filozófiája sajnálatos módon tagadta a megfigyelés és a kísérletek szerepét a megismerésben, és ezért hosszú ideig a tudomány fejlődésének akadályává vált.

Démokritosz elméletének fő propagálója és továbbfejlesztője a költő és filozófus *Lucretius* (i.e. 99–55?) volt, aki ugyan latin nyelven publikált, azonban epikureus filozófiája miatt tevékenységét – részben az egyház hatására – nem vették komolyan, ezért az atomelméletéről egészen *Pierre Gassendi* (1592–1655) munkásságáig a nyugat nem vett tudomást.

A klasszikus fizika fejlődését szerencsére ez a körlmény csak kevésbé befolyásolta, így a mechanika,

Bencze Gyula írása teljes terjedelmében a *Természet Világa* 2011. júniusi számában olvasható. Köszönjük *Staar Gyula* főszerkesztőnek, hogy beleegyezett a szerkesztett közlésbe.

termodinamika, statisztikus fizika és az elektromoságtan kialakulása viszonylag zavartalan volt. A 19. század végén azonban a természetes radioaktivitás felfedezésével olyan jelenségek vártak magyarázatra, amelyekhez új, modern fogalmakra volt szükség.

A magfizika bölcsője

1896-ban *Antoine Henri Becquerel* felfedezi a radioaktivitást, megfigyeli, hogy az urán megfeketíti a fénképezőlemez, valamint a megfeketedést okozó sugárzás elektromos töltéssel rendelkezik. A kísérletekbe bekapcsolódik a Curie-házaspár, *Marie és Pierre Curie*, akik hamarosan azt is felfedezik, hogy nemcsak az urán, hanem a tórium is radioaktív – maga a „radioaktív” elnevezés is Marie Curie-től ered.

1897-ben *J. J. Thomson* a katódsugarakat tanulmányozva felfedezi az elektront. A laboratóriumában dolgozó ifjú új-zélandi kutató, *Ernest Rutherford* 1899-ben felfedezi, hogy a rádium kétfajta sugárzást bocsát ki, az egyiket alfa-, a másik, áthatolóbb sugárzást béta-sugárzásnak nevezi el.

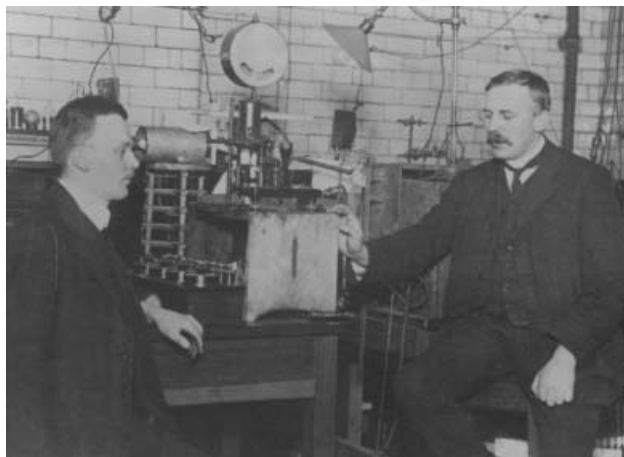
1902: Ernest Rutherford és *Soddy* kidolgozza a radioaktív bomlás elméletét.

1904: Rutherford felfedezi, hogy az alfa-sugárzás nehéz, pozitív töltésű részecskékből áll.

1905: *Albert Einstein* publikálja a speciális relativitás elméletét, amely szerint az anyag és energia egymásba átalakulhat ($E = mc^2$).

A 20. század első éveire tehát a kutatók nagyjából megértették a radioaktivitás jelenségének főbb vonásait. Tudták, hogy az α -sugarak pozitív töltésű ionokból állnak, és sejtették azt is, hogy azok valójában a héliumatom ionjai. A β -sugarakról tudták, hogy elektronokból állnak, valamint azt is sejtették, hogy a sugárzás harmadik fajtája, a γ -sugárzás hasonlít a *Röntgen* által felfedezett X-sugarakhoz. Ismeretes volt továbbá, hogy egy elem egyszerre csak egyfajta sugárzást bocsát ki, amely az elem számára egyben kémiai átalakulást is jelent. Meghatározták a bomlási törvényt és megalkották a felezési idő fogalmát. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezeket a jelenségeket nem magfizikai jelenségeknek tekintették, minthogy az atom szerkezetéről akkor még nem voltak ismereteik. Rutherford azonban már helyesen sejtette meg, hogy a radioaktivitás jelensége új területekre fogja terelni a kutatásokat, mivel a következő óvatos kijelentést tette: „A radioaktivitásról megmutatták, hogy olyan kémiai jelenségek kísérik, amelyekben folyamatosan új típusú anyag keletkezik. ... Ezekből az a következtetés vonható le, hogy ezek a kémiai változások szükségképpen szubatomi jellegűek.”

Az eredményeket a tudományos közösség Nobel-díjjal jutalmazta: 1903-ban a az elemek bomlásának kutatásáért és a radioaktív anyagok kémiaiában elért eredményeiért Becquerelt „rendkívüli szolgálatainak elismeréséül, melyet a spontán radioaktivitás felfedezésével nyújtott”, míg Marie és Pierre Curie-t



1. ábra. Ernest Rutherford (jobbra) munkatársával Hans Geigerrel a híres, aranyfóliás szórás kísérlet berendezése előtt.

„rendkívüli szolgálataik elismeréséül, melyet a Henri Becquerel professzor által felfedezett sugárzás közös tanulmányozásával nyújtottak”.

Ernest Rutherford 1908-ban kémiai Nobel-díjban részesült „az elemek bomlásának kutatásáért és a radioaktív anyagok kémiaiában elért eredményeiért”. A kémiai Nobel-díj átadása utáni banketten mondott kis beszédében 1908. december 11-én Rutherford megjegyezte, hogy az *életében már sok különféle és különböző sebességű átalakulást vizsgált, de ezek közül a leggyorsabb az volt, amikor egyetlen pillanat alatt fizikusból kémikus lett!*

A magfizika megszületése

Az atom első modellje 1903-ban *Lénárd Fülöptől* származik. Elektron szórás kísérletek alapján feltételezte, az atom tömegének nagy része kis térfogatra koncentrálódik, és minden elem alapvető építőeleme egy pozitív és negatív töltés kötött rendszere, a „dynamida”.¹ Az elem tömegszáma arányos a dynamidok számával, azaz a hidrogénatom egyetlen dynamid, míg a héliumatom négy dynamidból épül fel. Ez a modell azonban nem tudta magyarázni, hogy az atomból a bomlaskor miért csak a negatív töltésű részecskék (elektronok) szabadulnak ki.

J. J. Thomson 1904-ben megalkotott modellje azt a tényt igyekezett figyelembe venni, hogy az atomból radioaktív bomlásnál β -sugárzás alakjában elektronok távoznak, vagyis az atomban szükségképpen elektronoknak kell jelen lenni. Modelljét *mazsolás kalács* (plum pudding) modellnek is nevezik, mivel az elképzelés szerint az atomban pozitív elektromos közegeben (puding) elektronok mozognak.²

¹ P. Lenard: Über die Absorption der Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit. *Ann. Physik* 12 (1903) 714–744.

² J. J. Thomson: On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *Phil. Mag., Ser. 6/7* (1904) 237–265.

Ezekben az években több modell is született az atom szerkezetére és tulajdonságaira vonatkozóan, ezek azonban sikertelennek bizonyultak és igen hamar feledésbe merültek (*H. Nagaoka* (1904): The Saturnian model; *Lord Rayleigh* (1906): Electron fluid model, *J. H. Jeans* (1906): Vibrating electron model; *G. A. Schott* (1906): Expanding electron model; *J. Stark* (1910): The archion model).

Thomson modelljének kísérleti vizsgálatára végezte el 1910-ben Rutherford híres szórás kísérletét *Geiger* (1. ábra) és a fiatal doktori ösztöndíjas *Marsden* segítségével, amelyben radioaktív preparátumból származó α -részecskékkel sugárzott be egy aranyfóliát, majd detektálta az azon áthaladó részecskék szögeloszlását (2. ábra). A szórást a klasszikus mechanika segítségével tárgyalta, feltételezve, hogy a beeső részecske és az atom közötti Coulomb-kölcsönhatás pozitív és negatív töltések különböző eloszlásából tevődik össze. Nagy meglepetésére, a várakozással ellentétben nagy szögekben, azaz hátrafelé is szóródtak részecskék, ami arra utalt, hogy az atomban a pozitív töltés egy igen kis központi térfogatban koncentrálódik. Korabeli hasonlattal élve, az atommag az atomban olyan, mint „légycsapó a katedrálisban”.

A feljegyzések szerint Rutherford a következőképpen kommentálta a meglepő eredményt: „olyan volt, mintha az ember egy 15 hüvelykes lövedéket lőtt volna WC-papírba és az visszapattanva eltalálta volna őt!” („It was almost as if you fired a 15 inch shell into a piece of tissue paper and it came back and hit you.”)

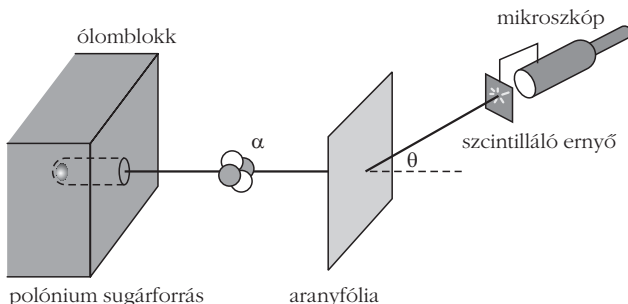
A kísérleti eredményeket az azóta híressé vált Rutherford-féle hatáskeresztmetszet segítségével lehetett leírni:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4 E \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^2,$$

amelyben e az elektron töltése, Z_1 és Z_2 az ütköző részecskék töltésszáma, E a bombázó energia és θ a szórási szöget jelenti.

A kísérleti eredmények alapján alakult ki az atommag Rutherford-féle modellje, amelyben egy központi pozitív töltés, az „atommag” körül mozognak az elektronok a vonzó Coulomb-térben. Ezt a modellt fejlesztette tovább az 1912-ben Manchesterben vendégeskedő *Niels Bohr*, és lett belőle a Bohr–Rutherford, majd Bohr–Sommerfeld-féle atommodell. 1913-ra az atom-

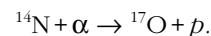
2. ábra. Rutherford híres szórás kísérletének elve.



ról a következő fizikai kép alakult ki: az atom egy központi részből, az atommagból, és a körülötte keringő elektronokból áll. A semleges atomban az elektronok száma megegyezik az atomnak a periódusos rendszerben elfoglalt helyét jellemző Z rendszámmal, az atommag pozitív töltése ebből adódóan Ze . Az atomsúlyhoz legközelebb álló A egész számot töltésszámmal nevezve, az atommag így A számú hidrogén atommagból is állhatna, ha össztöltése nem lenne különböző. A töltésszám úgy áll helyre, ha azt képzeljük, hogy az $A-Z$ számú proton mellett van egy-egy elektron, amely a pozitív töltést közömbösíti. Vagyis az atommagban Z számú proton és $A-Z$ számú proton-elektron párnak kell lennie. Ez az elképzelés azonban csak kevésbé volt meggyőző. Nem véletlen tehát, hogy a Bohr-féle atommodell kapcsán Rutherford már 1921-ben felvetette a neutron, egy semleges részecske esetleges létezését az atommagban, amely valahogyan kompenzálhatja a protonok elektromos tasztítását és stabilizálhatja az atommagokat.

Az atommagfizika megszületésének tehát az 1911-es esztendő tekinthető, amikor Rutherford híres szórás kísérletének eredményét publikálta a *Philosophical Magazine*-ben. Az atommodell sikere nyomán 1914-ben tudományos érdemeiért lovaggá ütötték, majd közbeszólt az I. világháború.

Rutherford a háború alatt főként a tengeralattjárók akusztikus detektálásának problémájával foglalkozott, majd 1917-ben visszatért kutatásaihoz, és az α -részecskék és a könnyű elemek atomjainak kölcsönhatását kezdte tanulmányozni. A természetes radioaktív anyagok α -sugárzását használva bombázó nyalábnak 1919-ben kísérletei során azt találta, hogy ha az α -részecskék eltalálnak egy-egy nitrogén magot, abból egy hidrogénmagot ütnek ki, azaz mesterséges elemátalakulás, más szóval a következő atommagreakció jön létre:

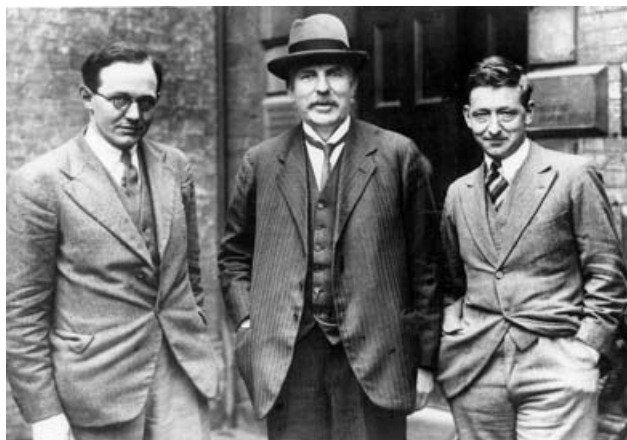


Csak 1923-ban sikerült *Blackett*nek Wilson-kamra segítségével észlelni és megörökíteni ezt az eseményt és egyértelműen igazolni, hogy a héliummag nemcsak kilöki a nitrogénmagból a protont, hanem abba be is épül. Rutherford fontos észrevétele volt még, hogy az így keletkező proton energiája nagyobb, mint a reakciót létrehozó alfa-rész kinetikus energiája, így a magátalakulás közben energia szabadul fel.

A tényekhez tartozik még, hogy a hidrogén atommagjának elnevezése, a proton is Rutherfordtól ered. Az első magreakció megfigyelése 1919-ben meglepően kis figyelmet váltott ki mind a szakmai körökben, mind pedig a sajtóban.

A magfizika felvirágzása

A Cavendish Laboratóriumba 1919-ben igazgatóként visszatért Rutherford kezdeményezésére tovább folytak a magfizikai kutatások, különös tekintettel a megfelelő kísérleti feltételek javítására. Két területen volt szükség a mérés technika továbbfejlesztésére: a ré-



3. ábra. John Cockroft, E. Rutherford és Ernest Walton.

szecskék detektálása, valamint a bombázó részecskék energiájának növelése, azaz a részecskék gyorsítása terén. Hans Geiger nevű munkatársa ezért részecske-számlálót kezdett fejleszteni, amelynek egy korszerűbb változata, a Geiger-Müller-számláló 1928-ban született meg Németországban, és azóta is nélkülözhetetlen alapeszköze a magfizikai és részecskefizikai kutatásoknak.

A század 20-as éveiben a magfizikai kutatások stagnáltak, csak kevés új eredmény született. Ennek főleg technikai okai voltak, mivel a radioaktív preparátumok által szolgáltatott α -részecske nyaláb energiája és intenzitása sem volt megfelelő az atommag szerkezetének vizsgálatára. Rutherford a Royal Society 1927. évi ünnepi ülésén november 30-án a következőket hangsúlyozta felszólalásában: „A tudomány szempontjából igen nagy érdekességgel bírna, ha laboratóriumi kísérletekben lehetőség lenne elektronokból, illetve atomokból olyan nyalábokat létrehozni, amelyek energiája nagyobb mint az alfa-részecskéké. Ez olyan új kutatási területet nyitna meg, amely minden bizonnyal rendkívül értékes információt szolgáltatna nemcsak az atommagok szerkezetére és stabilitására vonatkozóan, hanem sok más irányban is.” Kezdeményezésére a Cavendish Laboratóriumban Ernest Walton, majd később hozzá csatlakozva John Cockroft (3. ábra) kezdett a részecskegyorsítás kérdésével foglalkozni. Az első becslések szerint az atommagok szerkezetének vizsgálatához 8–10 millió volt gyorsítófeszültségre lett volna szükség, ami rendkívüli technikai problémákat jelentett. Lényeges változást hozott azonban George Gamownak a német *Zeitschrift für Physik*-ben 1928-ban megjelent cikke,³ amelyben egy új kvantummechanikai jelenség, az alagúteffektus segítségével magyarázta az atommagok alfa-bomlását. Eredményéből következően elméletileg lehetővé vált töltött részecskékkel atommag-reakciót létrehozni akkor is, ha a bombázó energia kisebb volt, mint az atommag pozitív töltése okozta taszító „Coulomb-gát” energiája.

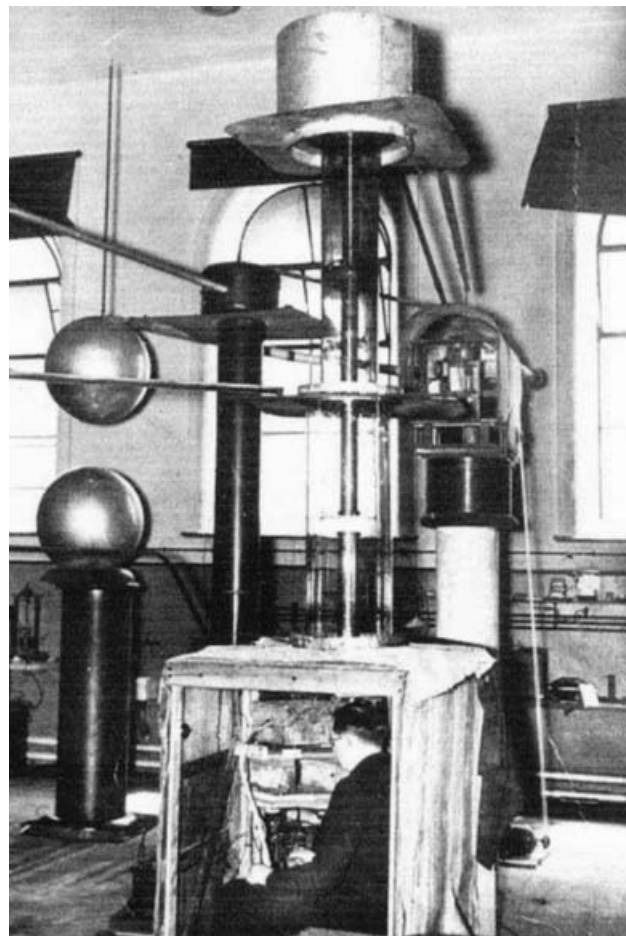
³ G. Gamow: Zur Quantentheorie des Atomkernes. *Z. Physik* 51 (1928) 204.

Az első gyorsítóberendezés kifejlesztése nemcsak fontos fejezete a tudománytörténetnek, hanem egyben nagy erővel megindított nemzetközi verseny is volt. A Cavendish Laboratórium kutatóinak több országban voltak riválisai: a Kalifornia Egyetemen Berkeley-ben Ernest Lawrence és Stanley Livingston új ötlettel körpályán való gyorsítást igyekezett megvalósítani, és elkezdte a „ciklotronnak” keresztelt berendezést fejleszteni. Robert van de Graaff az elektrostatikus gyorsító újszerű változatán, a későbbiekben Van de Graaff-generátornak elnevezett berendezésen dolgozott a Princeton Egyetemen, Merle Tuve pedig a washingtoni Carnegie Institutionban igyekezett hasonló berendezést létrehozni.

A teljesség kedvéért feltétlenül meg kell említeni, hogy az első részecskegyorsítóra vonatkozó szabadalmi bejelentés Szilárd Leótól származik, aki 1928. december 17-én Németországban egy lineáris „részecskegyorsítóra” kért szabadalmat.

Cockroftnak és Waltonnak ötévi munkájába került, hogy megépítsen egy működő berendezést, amely 1932 elején már képes volt nagyjából félmillió volt feszültséggel gyorsított stabil hidrogénnyalábot előállítani. Rutherford sürgetésére azonnal elkezdtek a kísérleteket (4. ábra), és 1932. március 14-én látványos eredményt értek el: 125 keV energiára felgyorsí-

4. ábra. Cockroft és Walton első „kaszád” generátora, a detektornál Walton látható.





7. ábra. Ernest Lord Rutherford of Nelson címere (balra), Rutherford-bélyegek (középen) és Rutherford képe a százdolláros bankjegyen (jobbra).

megállapították, mely alkotórészekből áll ez a mag, amely részecskékkel való bombázás következtében átalakulhat. Az alkotóelemek ismeretében most már a dinamika alapvető törvényeit kellett felderíteni – erre szolgált a kvantummechanika – a feladat ezek után már szinte önmagától adódott.

A maghasadás felfedezésével – a politika hathatós közreműködése mellett – megindult a verseny a nukleáris energia felszabadításáért, ezen belül az atombombáért. A magfizika tudománya csak a háború után jött igazán lendületbe, amikor sorra vizsgálták az erős és gyenge kölcsönhatás tulajdonságait, az atommagok szerkezetét, a magreakciók mechanizmusát, valamint a magfizika eredményeinek alkalmazását a fizika más területein.

Az erős és gyenge kölcsönhatás, ezen belül a nukleon-nukleon kölcsönhatás tulajdonságainak vizsgálata, az atommagok szerkezetének, az atommagreakciók mechanizmusának tanulmányozása a háborút követően rohamosan fejlődni kezdett. Az új, nagyenergiájú gyorsítók létrehozásával megindultak a részecskefizikai kutatások is, majd a csillagok energia-termelésének és az elemek szintézisének Bethe-féle elképzeléséből fejlődött ki a nukleáris asztrofizika. Napjainkban a magfizikán belül már számos, önmagában is hatalmas tudományterület alakult ki. Különösen fontos hangsúlyozni, hogy a magfizika, ezen belül a nukleáris analitika módszerei ma már számos más tudományterület nélkülözhetetlen eszközévé váltak.

A magfizika napjainkra „nagy tudománnyá” vált, költséges nagyberendezésekkel és hosszú távra történő tervezéssel. A magfizika hosszú távú elképzelései a következő évtizedre elektronikus és nyomtatott formában is elérhetőek a nagyközönség számára [6].

Rutherford „személyi kultusza”

Rutherford kétségtelenül a brit tudomány egyik legsikeresebb és legnagyobb hatású képviselője. Már életében rengeteg elismeréssel és kitüntetéssel halmozták el. Nobel-díja után már 1914-ben megkapta a lovagi címet, majd J. J. Thomson örökébe lépve a 1919-

ben került a nagyhírű Cavendish Laboratórium élére. 1925-ben lett a Royal Society elnöke, és 1931-ben nemesi címet kapott Ernest Lord Rutherford of Nelson névvel, a hozzátartozó címmel és a következő jelmondattal: *Primordia Quaerere Rerum* (Az alapelveket kell keresni), amely *Lucretiustól* származik (7. ábrán balra).

Új Zélandon, Kanadában, sőt még az akkor létező Szovjetunióban is bélyeget adtak ki tiszteletére (7. ábrán középen), szülőhazájában pedig arcképe a százdolláros bankjegyet díszíti (7. ábrán jobbra). Nobel-díjasként, valamint a híres Cavendish Laboratórium igazgatójaként a nemzetközi tudományos közösségnek is legnagyobb tekintélyű tagja volt.

Rutherford sikeres kutatói pályafutása során talán csak egyetlen alkalommal tévedett, amikor kizárta az atommagok energiája ipari méretekben történő felszabadításának lehetőségét. 1933-ban Londonban egy, a Royal Societyben tartott előadásában kijelentette, hogy: „Ezekben a folyamatokban [magreakciókban] ugyan sokkal több energiához juthatunk, mint amennyi a protontól származhat, azonban átlagosan nem várhatunk több energiát ilyen módon. Ez az energiatermelésnek igen szegényes és hatástalan módja, és bárki, aki az atomok átalakulásában keresi az energia forrását, hiú ábrándokat kerget.” Szilárd bevallása szerint ez az előadás annyira megmozgatta a fantáziáját, hogy eljutott a nukleáris láncreakció gondolatához. Ötletével felkereste Rutherfordot, aki azonban nem vette őt komolyan. Ennek ellenére a láncreakció ötletéről Szilárd 1934. március 12-én szabadalmi bejelentést tett a brit Szabadalmi Hivatalnál.

Rutherford 1937. október 19-én hirtelen hunyt el, így nem érthette meg a maghasadás egy évvel későbbi felfedezését, valamint az atombombáért folyó versenyfutást. Hamvait a Westminster Apátságban helyezték el *Sir Isaac Newton* és *Lord Kelvin* mellett. (Érdemes megjegyezni, a legnagyobbak közül sem mindenki részesült ebben a megtiszteltetésben, így például *P. A. M. Dirac*, a kiemelkedő angol elméleti fizikust Floridában temették el. Csak évekkel később kapott emlékkövet a Westminster Apátságban.)

Halála után a *New York Times*-ban a következő nekrológ jelent meg: „Csak kevés embernek adatik meg, hogy halhatatlanná váljék, még kevesebbeknek, hogy még életükben olimposzi rangra emelkedjenek. Lord Rutherford mindkettőt elérte. Egy olyan generációban, amely tanúja volt a tudománytörténet egyik legnagyobb forradalmának, mindenki elismerte az atom végtelenül bonyolult belső világa vezető szakértőjének, egy olyan univerzuménak, amelybe neki sikerült elsőként behatolni.”

A hivatalos elismeréseknél érdekesebb azonban, hogyan emlékszik rá a szakmai közösség. A Cavendish Laboratóriumban közismert volt Rutherford hihetetlen munkabírása és határozottsága. Munkatársai ezért a „Krokodil” becenevet adták neki (egyesek szerint az elnevezés az akkori vendégkutató *Pjotr Kapica*tól ered.) A diákok szerint azonban azért is krokodil, mert „a krokodil nem tudja a fejét elfordítani ... mindig előre kell mennie mindent elnyelő állkapcsával”.

Kapica tisztelete jeléül megbízta *Eric Gill* szobrászművészt, hogy a Cavendish Laboratórium falára készítsen egy nagy krokodilust ábrázoló domborművet (8. ábra). A művész korábban már készített Rutherfordról egy domborművet is. Az elkészült művet azóta is nagy figyelem kíséri mind a munkatársak, mind pedig a látogatók részéről [7].

Különleges figyelmet érdemel George Gamow kis paródiája a „Krokodilról” [8]:

George Gamow: A krokodilus

E jóképű, szívélyes szőke lord
Nem más mint a brit Ernest Rutherford.
Egy új-zélandi farmer volt az apja,
S paraszti voltát le sem tagadhatja;
Mikor „halkan” beszél, vagy „lágyan” énekel,
Hangját a párnázott ajtó sem fogja fel,
Hát még ha bosszantják, és bőszen haragra gerjed,
Elképzelni se jó a súlyos dörge delmet,
Amelyet osztogat; s hogy ő a föld fia,
E stílussal nem sikerül titkolnia.
De hadd mesélek el inkább egy esetet.

Egy ízben Gamowot teára hívta meg,
Amelyet Bohr tiszteletére rendezett
(Bohr nevére tán hallott már az olvasó).
A társaságban sok mindenről folyt a szó:
A férfiaknál golf s krikett a téma,
A nők pedig – még erre nem volt példa –
Divatról beszéltek; csak Bohr unatkozott
S szólt Gamowhoz, az ablakra mutatva: „ott
Az udvaron motorkerékpárt láttam ...
A működését megmutatná? Nos, utánam”!

S már ment is lefelé, a társa meg
Követte, hisz mi mást is tehetett?!
És lenn az udvaron Gamow sorjában
Elmondta, mi mire való, s a lábzan
Égő Bohr úgy pattant nyeregbe, mint aki



8. ábra. A „krokodilus” a Cavendish Laboratórium falán.

Motorversenyre készül hajtani.
Az utcán gázt adott és – fel a járdakőre;
Ember, állat riadtan menekült előle.
De a lendület biz hamar alábbhagyott,

Bohr nem jutott el messzire, s ahogy
Úgy ötven yardnyi út után keresztben
Megállt a járdán, s akár egy veretlen
Hadvezér, kihúzta magát a motoron –
Az egész Queen Roadon megállt a forgalom

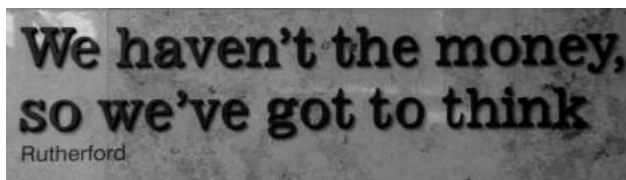
Közben Gamow is odaért és mindent megtett,
Hogy helyreállítsa a tömegben a rendet,
S azon fohászzkodott: inkább az ördögöt,
Mint Rutherfordot most! De máris dörögött
A mély hang mögötte: „Gamow, az istenit!
Ha még egyszer od’ adja Bohrnak ezt a járgányt,
Hogy botránnyt csináljon itt az utcán, hát
Esküszöm kitaposom a belit!”

(*Bárány György* fordítása)

Rutherford „útravalója” a mai kutatóknak

Rutherford személyiségéről, személyes tulajdonságairól könyvtárnyi irodalom található. Fennmaradt mondásai beszédesek és lényegre törőek. Száz év távlatából is hasznos tanácsokkal szolgálnak vagy fontos felismerést hangsúlyoznak a ma magfizikusai számára.

Nem olyan a dolgok természete, hogy egyetlen ember birtelen óriási felfedezést tehet: a tudomány lépésről-lépésre balad és mindenki az elődei munkájára támaszkodik. Ha az ember egy birtelen és váratlan felfedezésről hall – mint derült égből a villámcsapás –



9. ábra. Rutherford mondása „kőbe vésve”.

biztos lehet abban, hogy az az egyik ember másakra gyakorolt hatásából ered, és ez a kölcsönhatás teremti meg a tudomány fejlődésében rejlő óriási lehetőségeket. A tudósok nem egyetlen ember ötletét használják fel, hanem ugyanazon problémán gondolkodó kutatók ezreinek együttes bölcsességét, mindenki hozzájárulását a tudás nagy épületéhez, amely folyamatosan épül.

„Nagy híve vagyok a dolgok egyszerűségének, és ahogyan azt valószínűleg tudják, hajlamos vagyok az egyszerű és átfogó ötletekbe úgy belekapaszkodni, mintha az életem függene tőle, míg a bizonyíték nem lesz túl erős a makacsságom számára.”

Ha a kísérletnél statisztikára van szükség, akkor jobb kísérletet kellett volna tervezni.

„Egy állítólagos tudományos felfedezésnek nincs semmi értéke, ha nem lehet azt megmagyarázni egy pincérnőnek is.”

A tudományban csak fizika van, minden más csupán bélyeggyűjtés.

„A társadalomtudományok terén bármilyen kutatási eredmény egyetlen lehetséges értelmezése az, hogy: van amikor igen, van amikor nem!”

Nincs pénzünk, ezért gondolkodnunk kell (9. ábra).

Irodalom

1. Robin Mckown: *The Giant of the Atom: Ernest Rutherford*. Julian Messner, New York, 1962.
2. Clare George: *The Cloud Chamber*. Sceptre, Hodder & Stoughton, London, 2003.
3. Naomi Pasachoff: *Ernest Rutherford: Father of Nuclear Science*. Enslow Publishers, Berkeley Heights, NJ, 2005.
4. Brian Cathcart: *The Fly in the Cathedral*. Farrar, Straus and Giroux, New York, 2005.
5. Richard Reeves: *A Force of Nature*. W. W. Norton & Company, New York, 2008.
6. *Perspectives of Nuclear Physics in Europe*, NuPECC Long Range Plan 2010, European Science Foundation
7. P. L. Kapica: *Kísérlet, elmélet, gyakorlat*. Gondolat, Budapest 1982.
8. *Ponticulus Hungaricus*, II. évfolyam 1. szám, 1998. január

RUTHERFORD AKTUALITÁSA

Berényi Dénes
ATOMKI, Debrecen

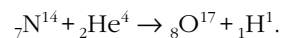
Rutherford pályája során – nyugodtan mondhatjuk így – számos világraszóló eredményt ért el, de ezek közül is kiemelkedik három, amelyet valóban *korszakalkotónak* kell tekinteni.

Az első, amit *Frederick Soddy*val együttműködésben fedezett fel (1902) a radioaktivitást vizsgálva, hogy a radioaktív bomlás során *az egyes elemek atomjai más elemek atomjaivá* alakulnak át, ami ellenkezett az elemek változatlanságáról vallott akkori felfogással és tulajdonképpen az alkimisták elképzeléseinek megvalósulását jelentette.

A második, még az előbbinél is jelentősebb felfedezését aranyfólián történő alfa-szórás vizsgálatával érte el. *Marsden* munkatársa azt találta (1909), hogy kis számban hátrafelé is szóródnak alfa-részecskék (tízezerből néhány). A méréseket csak úgy lehetett értelmezni, hogy az atomnak van egy, az atom méreténél mintegy százezerszer kisebb átmérőjű magja, amelyben az atom tömege összpontosul. *Rutherford így felfedezte az atommagot* és megszületett a fizika új ága: az atommagfizika.

Végül hasonló jelentőségűek azok a kísérletei, amelyek *az atommagok mesterséges átalakításához* vezettek, bebizonyítva, hogy egyes elemek atomjai nemcsak

spontán alakulhatnak át másik elem atomjaivá, mint az a radioaktív bomlás folyamán történik, de a folyamat mesterségesen is előidézhető (1919). Nitrogén gázt bombázott alfa-részecskékkel és Wilson-féle ködkamrában észlelte a folyamatból kilépő protonokat, vagyis



Rutherford pályája során szinte számtalan kitüntetésben részesült. A sors fintora, hogy az atommag felfedezője, az atomfizikai kutatás elindítója 1908-ban *kémiai* Nobel-díjat kapott.

Mit tanulhatunk ma Rutherfordtól?

Bizonyára van, aki úgy gondolja, hogy a technika és speciálisan a tudományos kísérleti technika az elmúlt évszázad alatt olyan sokat fejlődött, hogy Rutherford tapasztalataival nem sokat lehet kezdeni. Ezt a hozzáállást támogatja, hogy közelebről megtekintve Rutherford döntő kísérleteinek körülményeit, azok mai szemmel szinte „primitívnek” tűnnek: szcintilláló ernyők, egyszerű mikroszkópok, kezdetleges ködkamra stb.

A valóságos helyzet – meggyőződésem szerint – mégsem ez. Rutherford kutatási stílusa, tudományos pályája során végzett tevékenysége és magatartása számos olyan vonást mutat, amelyik tanulsággal szolgálhat nemcsak a mai, de akár az elkövetkező századok kutatóinak is.

A tanulmány a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya és Műszaki Tudományok Osztálya által rendezett, az MTA közgyűléséhez kapcsolódó Rutherford tudományos emlékülésen, 2011. május 5-én tartott előadás írott változata.

Rutherfordot *Faraday* jel együtt a fizikatörténet nagy kísérletezőjeként emlegetik és joggal. Ha végigtekintünk elért eredményein, ezeket mind *kísérletekkel, méréssel, a megfelelő módszerek és berendezések megtervezésével és megépítésével* érte el. Ugyanakkor a tervezésben és a kivitelezésben nem egyszer nem kis merészséggel járt el. Például maga írt arról, hogy az atommag felfedezéséhez vezető kísérletekben egyáltalán nem volt várható, hogy visszafelé szóródó alfa-részeket is lehet találni. Mégis javasolta, hogy mérjék meg és a mérések nem várt eredményhez vezettek.

A fő tanulság a fentiekből mégis csak az, hogy a fizikában és általában a természettudományokban a *mérésekre, a kísérletekre és a gondos megfigyelésre* kell építeni. Egy természettudomány csak addig természettudomány, amíg minden megállapítása, kijelentése és világmagyarázata ezekre vezethető vissza, ezeken alapul. Van úgy természetesen, hogy az elmélet „előreszalad”, előre jelez bizonyos korábban ismeretlen jelenségeket, de senki előtt sem kétséges, hogy a szóban forgó elmélet érvényességét csak a megfelelő jelenség kísérleti kimutatása bizonyíthatja. Végül ne felejtjük el, hogy a mai legbonyolultabb kísérletek, kísérleti berendezések is „elemekre”, részegységekre bonthatók és ezek ötletes, újszerű és precíz kivitele akár döntően is hozzájárulhat a teljes komplex berendezéssel nyerhető eredmények sikeréhez.

A 19. században az egyéni kutatások domináltak, a több-szerzős munka valóban nagy ritkaságnak számított. Éppen ezért feltűnő, hogy pályája során Rutherford mennyi *munkatárssal* dolgozott, mennyien tanultak intézetében, laboratóriumában és vitték szét a magfizika új tudományának módszereit és eszméit szerte a világon. A korszakra jellemző érdekesség, hogy ő, akinek annyi doktorandusza volt, maga nem volt doktor, tudniillik a tudományos pályának az egyetemi doktorátus (Ph.D.) nem volt olyan feltétele, mint a későbbiekben.

Ha teljesség igénye nélkül is, de érdemes felsorolni neveket, akikkel Rutherford együtt dolgozott, akik az „ő műhelyéből” kerültek ki. Ilyenek névsorban *F. Aston, P. M. S. Blackett, N. Bohr, B. Boltwood, H. Bronson, H. Brooks, J. Chadwick, J. D. Cockcorft, C. D. Ellis, A. E. Eve, H. Geiger, T. Godlewski, N. Feather, O. Hahn, P. Harteck, M. Levin, E. Marsden, H. Moseley, M. Oliphant, T. Royds, F. Soddy, E. T. S. Walton, C. T. R. Wilson*. A felsoroltak között vannak ugyan kevésbé ismertek, de nem egy Nobel-díjast is találunk.

Ma nem kell különösebben hangsúlyozni, hogy az *együttműködésnek, a „team”-munkának*, a tudományos iskoláknak milyen nagy a jelentősége. Ezzel együtt Rutherford kutató munkájában hangsúlyosan szerepelt az interdiszciplináris együttműködés, így a közös kutatásban számos esetben részt vettek például kémikusok is.

Látóköre nem korlátozódott a fizikára. Erre a legjobb példa a radioaktív módszerekkel történő geológiai kormeghatározás, speciálisan a Föld korának megállapítása. Ez az eljárás azóta a geológiai kutatás nélkülözhetetlen módszerévé vált.



1. ábra. A Cavendish Laboratórium Cambridge-ben.

Nemcsak más tudományokkal, de kifejezetten a *gyakorlati alkalmazásokkal és az iparral* is közvetlen kapcsolatban volt. Így az ionizációs kamrákra vonatkozó tapasztalatai vezettek el a tüzjelző készülékig. Már a McGill Egyetemen füstöt engedett be az ionizációs kamrába és észlelte a megfelelő változásokat. Ismeretes a szerepe a magasfeszültségű áramforrások ipari gyártását illetően is. Az I. világháború alatt a tengeralattjárók ultrahanggal történő kimutatására használt módszer kidolgozásában vett részt.

Jutott ideje az *ismeretterjesztésre* is. Eredményeiről nyilvános előadásokat tartott, előadásai rendszeresek voltak a rádióon keresztül is. Emellett nagyszerű tan-könyvet írt a radioaktivitásról.

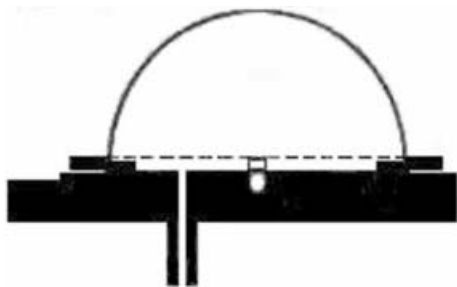
A tudományos közéletben aktív volt: elnöke volt a Royal Society-nek (1925–30) és a British Association for the Advancement of Science-nek (1923). Ezen túlmenően elnöke volt a Brit Tudományos és Ipari Kutatási Minisztérium Tanácsadó Bizottságának és neki köszönhető számos kutató laboratórium megalapítása.

Képes volt ihlető légkört teremteni a Cavendish Laboratóriumban (1. ábra), „futtatta” munkatársait és maga – bár egyértelmű, hogy minden jelentős eredményhez hozzájárult – 1919 után háttérbe vonult. Miközben engedte munkatársait érvényesülni, haláláig aktív igazgatója maradt a laboratóriumnak.

Magyarországi hatása

A fentebb felsorolt nevek között nem szerepel, de *Szalay Sándor* is dolgozott fél évig 1935-ben a Cavendish Laboratóriumban. Bár előzőleg két másik Nobel-díjas intézetében is töltött hosszabb időt kutató munkával (*Szent-Györgyi Albert* – Szeged, *Peter Debye* – Lipcse), a Cambridge-ben töltött idő volt rá döntő hatással.

Nincs itt mód és alkalom arra, hogy Szalay Sándor egész pályáját és az általa létrehozott tudományos iskola most már sok évtizedes tevékenységét bemutassuk. Csak arra törekszünk, hogy felidézzük, hogy Rutherford kutatási stílusa és szélesebb értelemben vett tudományos tevékenysége miként hatott Szalay Sándorra és tudományos iskolájára. E tudományos iskola értékei ma

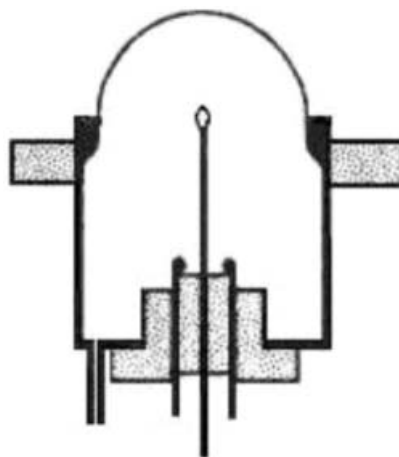


2. ábra. Szalay Sándor debreceni magreakciós kísérletében használt besugárzó berendezés; a félgömb középpontjában az alfa-sugárzó Po-preparátummal és a céltárgyként szolgáló félgömbbel (Zeits. f. Physik 112 (1939) 31.).

Debrecenben az ATOMKI-ban és a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Intézetében hagyományozódnak tovább, hatása – Szalayn, illetve tanítványain keresztül – eljutott számos hazai és külföldi intézménybe is.

Cambridge-ből hazaérkezve Szalay megkezdte a *magfizikai kutatásokat* hazánkban. Az első nemzetközi közlemények már 1938-ban és 1939-ben jelentek, sőt már egyetemi doktori disszertációk is készültek ebben a tárgykörben. A *kísérleti eszközöket maga készítette* munkatársaival és a szerény tanszéki műhely támogatásával. Gyorsító ekkor még nem állt rendelkezésre Debrecenben, ezért a bombázó részecskék energiájának folytonos változtatását lassítással érte el. Az 2. ábra mutatja a félgömb alakú elrendezést, centrumában a polónium-preparátummal. Az utóbbiból kilépő alfa-részecskék energiáját a félgömbben lévő CO₂ nyomásával lehetett szabályozni és a „céltárgy” vagy maga a félgömb volt, vagy a félgömb belső felületén helyezkedett el. (például Al, illetve B). A kísérlet során gerjesztési függvényeket vettek fel, azaz a bombázó energia függvényében meghatározták az aktivitás normált értékét. A 3. ábra azt a részecskeszámlálót mutatja, aminek segítségével a besugárzott céltanyag aktivitását mérték. A 4. ábrán a vékony Al-rétegen (amikor sárgaréz félgömb belső felületére került a vékony Al-réteg) végzett mérésekből származó differenciális gerjesztési görbét láthatjuk. A függvény rezonanciákat mutat, amelyek a közbelső mag energiaállapotára, Al esetében a ³¹P-re, hordoznak információt. Erről a kutatásról írta Szalay a következőket: „Ezen munka tervét még távozásom előtt megmutattam Lord Rutherfordnak, akinek bátorító tanácsai nélkül alig lett volna elegendő kitartásom az itthoni nehéz körülmények között e nehéz vizsgálatok elvégzésére. Halála megakadályozott abban, hogy köszönetemet ezúton fejezzem ki.”

A debreceni tudományos iskolában azután – mondhatjuk – számtalan egyedi, világviszonylatban is egyedülálló és az idő előrehaladtával egyre komplexebb műszer készült a gyorsítóktól a legkülönbözőbb spektrométerekig. Legutóbb például a *Fizikai Szemle*ben jelent meg cikk az ATOMKI-ban tervezett és épített elektron-spektrométerek sorozatáról. A tanszéken épült Wilson-kamrával végzett kísérletek vezettek a világszerte elismert, nevezetes eredményre, a neutron visszalökő hatásának kimutatására.

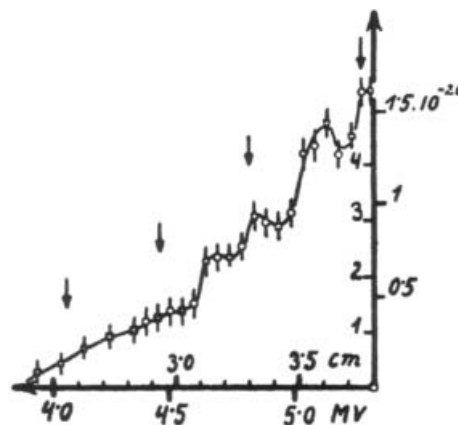


3. ábra. A részecskeszámláló, amelyre az 1. ábrán látható besugárzó berendezésben aktivált targetet rähelyezve a kibocsátott pozitronok detektálhatók (Zeits. f. Physik 112 (1939) 31.).

Nem túlzunk akkor, ha azt állítjuk, hogy *munkatársairól, együttműködő partnereiről* nem sokkal rövidebb névsort lehetne összeállítani, mint Rutherford esetében. Különösen így van ez, ha figyelembe vesszük a más tudományterületek képviselőivel történt közös kutatásokat, amelyekre a továbbiakban még visszatérünk.

Láttuk, hogy Rutherford ténylegesen úttörő volt az *interdiszciplináris kutatások* területén. Szalay ezt a stílust – ha lehet – még intenzívebben művelte. Szinte a hazai magfizikai kutatásokkal egy időben kezdte meg az együttműködést a *biológia és az orvostudomány területén*. Első ilyen közleménye 1943-ban jelent meg a *Zeitschrift für Immunitäts-Forschung* folyóiratban. Úttörő szerepe volt a radioaktív izotópok hazai biológiai-orvosi alkalmazásában. Azóta is folyik és kiemelkedőnek mondható a debreceni iskola ez irányú tevékenysége, és eredményei jól ismertek ezen a területen. Megemlítjük, hogy az ATOMKI területén és laboratóriumában kezdődött el a jód-131 orvosi alkalmazása. Kelet-Közép-Európában először itt – Bécsset és Prágát megelőzve – kezdte meg működését egy PET-berendezés a 90-es évek közepén. Jelenleg is

4. ábra. Az ${}_{12}\text{Al}^{27} (\alpha, n) {}_{15}\text{P}^{30}$ magreakció differenciális gerjesztési függvénye az eredeti közleményből (MTA Mat. Term. tud. Értesítő 58 (1939) 318.).





5. ábra. Szalay Sándor, az ATOMKI igazgatója.

a legkülönbözőbb területeken, főleg a nyomelemek orvosiilag fontos kimutatása területén folyik együttműködés a debreceni egyetemi klinikákkal.

Az interdiszciplináris kutatásokhoz tartoznak a *kőzetek korának tömegspektrometriai módszerekkel történő meghatározásával* kapcsolatos eredmények. Hasonló a jelentősége az általa és munkatársai által művelt C^{14} -es kormeghatározásnak.

Nem kevésbé jelentősek Szalay Sándor *környezetkutatásban* elért eredményei. Ezen a területen főleg a radioaktív anyagok jelenlétét, elterjedését vizsgálta a természetben. Különösen hézagpótlóak a külföldön is feltűnést keltett eredmények az esővíz radioaktivitására vonatkozóan. Ma az ATOMKI-ban működik a Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium, amelyet az intézet az Isotoptech Zrt.-vel közös finanszírozásban működtet.

Szalay professzor (5. ábra) kapcsolata a gyakorlattal talán még intenzívebb volt, mint mesteréé. Már fentebb említettük aktivitását nemcsak a biológiai-orvosi kutatás, de a klinikai gyakorlat területén is.

Kiemelkedőek a negyvenes évek második felében saját maga (tanszéke segítségével) készítette műszerével végzett uránkutatásai. Ezek elvezettek a hazai uránbányászathoz, majd az urán és más nehéz fémek bedúsulási folyamatait felderítve a természetben – a mikroelem trágyázás szükségességének felismeréséhez. Ezzel kapcsolatban talán érdemes megjegyezni, hogy e sorok írója egy kollégájával a fent említett műszerrel vizsgálta az ötvenes évek elején a Debrecen körüli talajok radioaktivitását. (Ehhez tudni kell, hogy Debrecen területén két különböző talajtípus található: a nyírségi homok és a termékeny fekete föld.)

Szalay mindig figyelt arra és bízta munkatársait, hogy ahol csak lehet, gondoljanak eredményeik gyakorlati hasznosítására és építsenek ki kapcsolatokat az iparral és a mezőgazdasággal. Ez azóta is mintegy „vezérlő elvként” szerepel a debreceni iskola működésében, és ma is széleskörű a kapcsolat a gyógyszer-és elektronikus ipartól kezdve a napfény energetikai felhasználását segítő tevékenységig.

A tudományos ismeretek terjesztését Szalay elsősorban az egyetemi oktatáson keresztül gyakorolta – számos más kötelezettségénél előbbre valónak tartotta egyetemi előadásait. Nem véletlen például, hogy az ATOMKI egész története során az oktatás terén szorosan együttműködött az egyetemmel, amit nem sok akadémiai kutatóintézetéről lehet elmondani. Ezen túlmenően azonban tartott kifejezetten ismeretterjesztő előadásokat és írt ilyen jellegű cikkeket is.

A debreceni fizikus közösség mindig előtérbe helyezte a fizika és a tudomány népszerűsítésének ügyét. Ezt nemcsak az iskola munkatársainak nagyszámú népszerűsítő előadása, cikke, rádió- és TV-szereplése mutatja, de az ebben az évben 32. alkalommal megtartott és hazánkban Debrecenben kezdeményezett Fizikus napok is, amelynek során egy héten keresztül a legváltozatosabb programokat ajánlják a nagyközönség, de főleg az ifjúság számára.

Társadalmi elkötelezettsége és világnézete nagyon hasonló volt Rutherfordéhoz. Szalay a legkeményebb diktatúra idején is messze volt minden pártpolitikától. Ugyanakkor a tudománypolitikában, a különböző bizottságokban, azok munkájában aktívan részt vett. Szinte a semmiből építette fel az ATOMKI-t, fokozatosan, szervesen, évről évre kiválasztva az alkalmas munkatársakat. Maga nyilatkozta: „...a fő súlyt a tehetségszelekcióna fektetem”. Nem egyszer mondta nekünk, hogy az egyszerű magyar emberek izzadságos munkája tette számára lehetővé, hogy állami ösztöndíjjal fél évig kuthasson a Cavendish Laboratóriumban. Kötelessége ezt itthon kamatoztatni. Ezért állt ellen minden kísértésnek, amely véglegesen külföldre csábította volna.

El lehet mondani, hogy a debreceni fizikus közösség számos tagja aktívan részt vesz ma is a tudománypolitikában. Nem beszélve számos bizottságban betöltött szerepükről, osztályelnök-helyettes, akadémiai alelnök és elnök is kikerült soraik közül. Az egyetem és a város életében is részt vesznek, amint arról díszdoktori, illetve díszpolgári címek is tanúskodnak.



Rutherford személye és pályája nemcsak a fizika fejlődésére, de kifejezetten a magyar tudományra is jelentős hatást gyakorolt. Biztos vagyok abban, hogy túl a konkrét indításokon, munkájának és életének elvei *ma is*, de akár még századokon át is hatni fognak hazánkban is és a világon is.

Irodalom

- Berényi Dénes: Szalay Sándor – 100 éve született Nyíregyházán 1909. október 4-én. *Fizikai Szemle* 59 (2009) 402–404.
- Berényi Dénes (szerk.): *Szalay Sándor nyomtatásban megjelent tudományos munkái, 1932–1969. 1–2. kötet*. ATOMKI, Debrecen, 1969.
- Campbell, John: *Rutherford – A Brief Biography*. www.rutherford.org.uz/biography.htm
- Gribbin, John: *A tudomány története 1543-tól napjainkig*. Akkord Kiadó, Budapest, 2004. 460–469.
- Kertész László: A hazai orvos-biológiai izotópalkalmazás kezdetei Debrecenben. *Debreceni Szemle* 17 (2009) 151–160.
- Kövért Ákos: Elektrosztatikus elektron spektrométerek fejlesztése az ATOMKI-ban. *Fizikai Szemle* 60 (2010) 339–343.
- Simmons, John: *100 tudós*. Magyar Könyvklub, Budapest, 1999. 90–93.

GYORSÍTÓK SOPRONBA ÉS CSILLEBÉRCRE

Részlet Staar Gyula Simonyi Károllyal 1986-ban készített interjújából

– Generációm közvetlenül a háború előtt végzett, majd 1946-ban kezdte az új életet. Hátrányunk is, előnyünk is származott ebből. Hátrányt jelentett számunkra, akik tudóspályát választottunk, hogy mi nem láthatunk világot. A nálunk fél generációval idősebb *Bay Zoltán* és *Szalay Sándor* az egyetem elvégzése után tekintélyes külföldi kutatóközpontokba mehettek, Berlinbe, Londonba, ott megtanulhatták, hogyan kell a tudományt művelni, elkészíthették doktori disszertációjukat, a legnagyobbakkal találkozhattak. Számunkra ez az út lezárult. Előnyünk ugyanebből a tényből származott, abból, hogy 1940-ben végeztünk. Tiszta lappal indultunk és vákuumban. A nagy öregek valamilyen módon szinte törvényszerűen kompromittálták magukat, esetleg disszidáltak. Idehaza új egyetemek, kutatóintézetek épültek, soha nem látott lehetőségek nyíltak. Mögöttünk pedig már volt némi tudományos múlt. Rengeteg számított a mi 6-8 éves előnyünk azok előtt, akiket később vezetnünk kellett. Tehát, bár szinte kezdő voltam, mégis az adott időpillanatban két-három tanszék vezetésére is eséllyel pályázhattam.

– *A Műegyetem Bánya-, Kohó- és Erdőmérnöki Karán lettél tanszékvezető, Sopronban. A szülőföld vonzása miatt döntöttél így?*

– Nem. A véletlen játszott közre, hogy oda kerültem. Találkoztam *Tárczy Hornoch Antallal*, a soproni egyetem geodéziai és bányaméréstani tanszékének vezetőjével. Beszélgetésünk nagyban hozzájárult ahhoz, hogy megpályáztam a kar fizika-elektrotechnika tanszékének vezetői állását. A tanszéket időközben kettéosztották, *Kovács István* lett a fizika tanszék vezetője, én az elektrotechnikáé. Megdöbbentett, mennyire erős fakultás a soproni, milyen színvonalas munkát végeznek a kutatók. Sopronban 1948–1952 között dolgoztam, ahol *Tárczy Hornoch Antal*on kívül olyan világszerte ismert szakemberek oktattak, mint *Boleman Géza*, *Verő József*, *Mika József* és mások. Budapestről érkezvén is azt éreztem, nagyon-nagyon rá kell kapcsolnom, ha méltó akarok lenni a karon végzett munka színvonalához. Nagyobbik fiam pár hónapos volt, amikor leköltöztünk oda, a kisebbik már ott született.

– *Mire jutottál Sopronban?*

– Elhatároztam, a nagyfeszültségű berendezés mellé gyorsítóberendezést építek. Ez mégiscsak elektrotechnikai, mérnöki probléma. Támogatott a lelkes tanszéki gárda és két nagyon tehetséges aspiránst kaptam; ők segítettek munkámban. Egyikük ma Amerikában neves professzor, a másik a Központi Fizikai Kutatóintézet kiváló fizikusa, igazgatóhelyettes volt Dubnában.

– *A nevük titok?*

– Ó, nem! *Schmidt Györgyről* és *Erő Jánosról* van szó. Volt rajtuk kívül egy bámulatosan ügyeskező idős laboránsom, *Horváth bácsi*. Ő még ahhoz a generáció-

hoz tartozott, akik a mesterlevélért végigvándorolták Európát. Az égvilágon mindent megcsinált, ha elmagyaráztuk neki, hogyan képzeljük el. Elkészült a gyorsító, felkészültünk arra, hogy Magyarországon először részecskegyorsítást hajtsunk végre. A bonyolult ionforrás-berendezést a földről kezeltük, én pedig kezemben a műszerrel a jelenség megfigyelésére a nagyfeszültségű rész fémgömbjébe ültem, vagyis inkább összegömbölyödtem benne, mint gyermek az anyja méhében. Bezártak, becsavaroztak, majd gondosan elsimították a gömb felszínét. Erre vigyázni kellett, csak ezután helyezték feszültség alá a gömböt. Mentek föl a feszültséggel, én néha kikiabáltam a gömbből, végül elérték a háromnegyedmillió voltot. A gyorsítás sikerült, s végre hajnali négykor kikecmereghettem a nem éppen nyelmes munkahelyemről. Előadáson néha felteszem a kérdést hallgatóimnak: be mernének-e ülni az egymillió volt feszültségű elektróda belsejébe. Mert hogy ott nulla az elektromos térerősség, arra én szó szoros értelmében a nyakamat tettem!

– *Az úttörő kísérlet sikerére fölfigyelt a szakma?*

– Igen, ezért kaptam a Kossuth-díjat. De mások is fölfigyeltek. Hamarosan megjelent nálam Sopronban két komoly, civilbe öltözött úriember, egy alezredes a Haditechnikai Intézetből és egy őrnagy. Körülnéztek, a biztonsági intézkedések felől kérdezősködtek, majd közölték, *Farkas Mihály* honvédelmi miniszter érdeklődik a dolgaink iránt. Mert a honvédség számára az atom borzasztóan fontos – közölték bizalmasan. Jeleltkezni fogunk! – biztosítottak és elmentek.

Kétségbeestem. Kellt ez nekem! Itt van, most mit csináljak? Abba kellene hagynom az egészet, azt mondani, uraim tévedés történt, nem értek hozzá, nem akarom, nem ez a hivatásom. Napokig gyötrődtem, és életemben ez alkalommal egyetlen egyszer felvillant bennem a gondolat: Sopronhoz nagyon közel van a határ... Aztán az egyik éjjel felültem az ágyamban, és egycsapásra megvilágosodott, mit kell tennem. Mennyit álmodoztam én egy igazi nagy ötmillió voltos, precíziós, nyomás alatti gyorsítóberendezésről! Most íme, terveim valóra válhatnak. Hiszen honnan tudná *Farkas Mihály*, hogy a katonáknak mi kell? Én, a fizikus majd megmondom neki! Gyorsítót kell építeni, mert azzal imitálni lehet a nagy neutronsűrűséget, a radioaktivitást, kipróbálhat vele mindent, amit csak akar. Azonnal nekiláttam, gyönyörű rajzokat készítettem az új gyorsítóról, mellé kis embert is, hogy az arányokat érzékeltessem, részletes költségkimutatást a kiadásokról. Azután szépen összegöngyöltem a terveket és izgatottan, de már reménykedve vártam, mikor szólít magához *Farkas Mihály*.

Hamarosan megjött a parancs, percre pontosan jelenjek meg a Honvédelmi Minisztérium új épületszárnyában, ami közvetlenül a régi épület mellett volt. Felutaztam Sopronból, időben jelentkeztem, már vártak,

fölvezettek a honvédelmi miniszter első helyetteséhez. Nagyon szívélyesen fogadott, majd kivezetett az utcára. Ott már egy hatalmas lefüggönyözött autó várt minket. Ez úgy látszik hozzátartozott a rítushoz. Beültünk, az autó elindult, megkerülte az épülettömböt, és pár perc múlva megállt a másik kapunál. Minden elő volt készítve, kiszálltunk, nagy bokacsattogás jobbra-balra, fölmentünk egészen Farkas Mihály előszobájáig. Nagyon tudtam uralkodni magamon, ugyanakkor kritikus megfigyelő voltam. Jé, milyen komikus, rögzítette a tudatom, a miniszterhelyettes – tábornok volt, csillagokkal, tölgyfalevelekkel –, mielőtt kopogott és beléptünk volna, egy pillanatra megállt, végignézett magán, rendben van-e a zubbonya, egyenruhája. Beléptünk. Farkas Mihály egyedül volt a szobában, jöttünkre fölállt óriási íróasztala mögül. Azon három-négy telefon, semmi más. Odajött, üdvözölt, majd mind a hárman leültünk. Kedélyes hangnemben indult a beszélgetés, de mindjárt váratlan fordulatot vett. Farkas Mihály nekem szegte a kívánságát. – „Professzor elvtárs, hallottam milyen szép eredményeket ért el a kísérleti atomfizika területén. A honvédség természetesen ezt a legmesszebbmenőkig használni akarja, ennek pedig leegyszerűbb módja az, hogy professzor elvtárs belép a honvédség kötelékébe. Úgy tájékoztattak, Önnek ez ellen nem volt ellenvetése.”

Meghűlt bennem a vér. Erről nem volt szó. Szerencsére nem estem pánikba. Furcsa dolog, de tény, feltetéseimtől, bármilyen magasan álltak, soha nem jöttem zavarba. „Fölfelé” majdnem mindig jobban tudtam érvelni, mint „lefelé”.

Igen, de én pedagógus vagyok, ugyanakkor kutatni is szeretnék – próbálkoztam Farkas Mihályt lebeszélni. Közbevágott: – „Az egész hadsereget taníthatja, az egész országot! Nálunk kutathat csak igazán. Gondolja meg, maga most kér, könyörög. Akkor egyszerűen parancsba adhatja, ha valamit el akar érn!”

A mindenit – gondoltam –, milyen elképzelései lehetnek ennek az embernek a fizikai kutatásokról, ha azt hiszi, napiparancsba adhatom: fiúk, most ezt vagy azt fedezzétek fel! Tovább ellenkeztem. A miniszterhelyettes megdöbbenve nézett, szeméből kiolvastam: ez a civil úgy látszik nem tudja, kivel áll szemben. A kíváncsiság ördöge bújt belém, átsuhant a fejemen az ötlet, megkérdezem: Farkas elvtárs milyen rendfokozatot szán nekem? Soha nem vittem semmire a katonaságnál, most eldicsekedhetnek – elsősorban otthon, a szülőfalumban –, nekem ezt a rendfokozatot szánták. De néma maradtam, mert rájöttem, ha e kérdés után mondok nemet, a miniszter arra gondolhat, hogy alkudozni akarok.

Amikor Farkas látta, hogy nem állok kötélnek, témát váltott, s megkért, térjünk a tárgyra. Elővettem, kitergettem a rajzaimat és elmagyaráztam az ötmillió voltos gyorsítóberendezés tervét.

– *Rövidesen a Budapesti Műszaki Egyetem Elméleti Villamosságtan Tanszékének vezetője és a Központi Fizikai Kutatóintézet Atomfizikai osztályának vezetője lettél.*

– Igen.

– *Valamit nem egészen értek. Párttag voltál?*

– Nem.

– *Még kevésbé értem.*

– Nézd, amikor Sopronba kineveztek, ebből senki sem csinált nagy ügyet. Amikor Budapestre akartak hozni, abból már nagy cirkusz kerekedett. Bekértek a pártközpontba. A főszemélyzetis, ismert régi pártmunkás, fanyar, megkeseredett arcú ember, leültetett, és nagyon feszesen, majdhogynem ellenséges hangon indította a beszélgetést. Előtte egy halom akta, feljegyzés. Azt mondta:

– Ide figyeljen, Önt mi, mások javaslatára, nagyon fontos feladatok megoldására szánjuk, mert nem kis dolog a Műegyetem budapesti katedrójának és a legelőkelőbb kutatóintézet atomfizikai osztályának vezetése. Ugyanakkor súlyos kifogásunk van maga ellen, éspedig az, hogy semmiféle politikai megmozdulásban nem vesz részt, nem nyilatkozik, nem áll ki a rendszerünk mellett.

– Már ne haragudjék – húztam ki magam –, én ezt a munkámmal teszem, előadásaim vannak Sopronban és Pesten is, utazom...

– Ne is folytassa! – szakított félbe. – Tudjuk, arra szokott hivatkozni, hogy sok a munkája, nem ér rá. De várjunk csak, maga mindig ilyen apolitikus volt? – Elkezdett papírjai között lapozgatni, majd kihúzott egyet, és számomra is meglepő tényt közölt. – Itt az áll, hogy a harmincas években maga volt az egyetlen, aki nem lépett be a műegyetemi Hungarista Bajtársi Egyesületbe. Pedig beléphetett volna, megvoltak a feltételei. Majd megenyhülve közel hajolt, és azt kérdezte: – Hogyan csinálta ezt? Nem volt ebből semmi kellemetlensége?

Kiegyenesedtem. Pillanatra átvillant rajtam, na, most hőst csinálhatsz magadból. Aztán elnevettem magam: nem, nem. Kérem, bármilyen furcsa, ebből nekem semmi bajom nem származott. Nem említetem, hogy a közös honvédelmi gyakorlati foglalkozásokon a H.B.E. tagjai a saját századbeosztásuk szerint masíroztak, én viszont így a nyolcadik, a zsidószázadhoz kerültem, ami akkoriban – képzelted – nem járt előnyrel.

Ettől kezdve a beszélgetés roppant szívélyessé vált, búcsúzáskor hosszan rázta a kezem.

– *Én azért megkérdezem, mert bár személyzetis nem vagyok, de kíváncsi az igen: miért vagy apolitikus?*

– Semmiféle olyan szervezetbe nem akartam belépni, ami véleményemet, gondolataimat a legkisebb mértékben is megkötötte volna. A gondolati szabadságomat féltettem mindenféle béklyótól. Ezért tartózkodtam a vallástól, a Bajtársi Egyesülettől és minden párttól, ami olyan cselekvésre kényszeríthet, amivel esetleg nem értek egyet. Az önállóságomat féltettem. Bennem ugyanis nagy hűség- és kötelességérzés van: amit vállalok, azt mindenáron igyekszem véghezvinni. Hallgatólagos egyezséget kötöttünk a hatalommal, én minden erőmet megfeszítve végzem a dolgom, ők pedig hagynak az utamon járni. Egy példa a múltból: *Sztálin* 70 éves – születésnapján, 1949. december 21-

én feldíszítették a Műegyetem tantermeit. Minden professzornak, aki reggel első órát tartott, dicsőítő beszédet kellett mondani a nagy vezérről. Jött hozzám is a dékáni titkár, kért, tartsam meg a beszédet, ez az utasítás. Mondtam neki, én bizony nem mondok beszédet.

– Miért? – kérdezte meglepve.

– Nézze kollégám, az olyan lenne, mintha egy katolikus gyülekezetben protestánst kérnének fel előimádkozónak.

Elszürkült az arca, megrovó hangon replikázott.

– Nem hiszem, hogy a dékán elvtárs örülni fog professzor úr szellemeskedésének.

A vége az lett, hogy a dékán másnap reggel velem jött, én beültem az első padba, ő megtartotta a beszédet, dolga végeztével kiment, én fölléptem a katedrúra és a táblára írtam a Maxwell-egyenleteket.

Ma már azt is látom, hogy maga az a tény, hogy megtarthattam ideológiai függetlenségemet, nem erény volt, hanem kiváltság, amely különleges, elsősorban a haditechnika számára fontosnak tartott szakmámnak – atomfizikusi mivoltomnak – volt köszönhető. Nem tudom, milyen megalkuvásra lettem volna hajlandó, ha választás elé kényszerülök. Szinte értetlenül csodálom azokat az írókat, művészeket, akik inkább hallgattak vagy az íróasztal számára dolgoztak.

– *A Központi Fizikai Kutatóintézetnek később, úgy tudom, igazgatóhelyettese lettél.*

– Igen. Kovács Istvánt kinevezték igazgatónak, Jánossy Lajos meg én voltunk az igazgatóhelyettesek. A Műegyetemen egész állásban, a KFKI-ban félállásban voltam. Amikor pedig Kovács István lemondott, az Akadémia elnökének felkérésére rövid ideig az intézet megbízott igazgatója lettem.

– *Milyen terveket akartál megvalósítani a KFKI-ban?*

– Először is, meg kellett építenünk az első komolyabb gyorsítóberendezést, amelyen azután a kísérleteinket végezhetjük. Arról persze álmodni sem mertem, hogy mondjuk Farkas Mihály segítségével kétszer vetetek ilyen, hiszen egy modernebb Van de Graaff típusú magfizikai gyorsító félmillió dollárba került. Stratégiám tehát a következő volt. Amilyen gyorsan csak lehet, elkészítjük a berendezést. Közben egy elméleti csoport felkészül, s amint a gyorsító használható állapotba kerül, elkezd a kísérleteket. A kísérleti csoport ezzel párhuzamosan elkészíti a kiegészítő berendezéseket. Kezdetben hónapokra lebontott, részletekbe menő pontos terveket csináltam, mely tartalmazta azt is, – kitől mit várok el.

A készülék 1953-ban már üzemelt, 1954-ben Gerő Ernőnek általunk előállított radioaktív izotópot mutatunk. Ami ennél fontosabb, két kiváló fiatal munkatársam, Erő János és Keszthelyi Lajos (ma a Biofizikai Intézet igazgatója Szegeden) kísérleteivel megszületett az első modern magyar eredmény, amelyet vezető nyugati tudományos folyóiratban publikálhattunk.

A Szovjetunió, hogy nyitási szándékait ezzel is bizonyítsa, 1955-ben a világ előtt feltárta az atomenergia békés felhasználása terén elért eredményeit. Megnyitotta kutatóintézeteit, laboratóriumait. Több külföldi



Simonyi Károly a KFKI-ban.

di delegáció látogatott oda atomreaktor, kísérleti reaktor vásárlásának szándékával. Mentünk mi magyarok is. A delegációnk fizikus tagjai voltak Jánossy Lajos, Pál Lénárd, jómagam és velünk jött egy miniszterhelyettes. Mindenhová elvittek, mindent megmutattak, Moszkva, Leningrád, Kijev, Harkov legnevezetesebb kutatóintézeteit láthattuk, tervrajzokat tanulmányozhattunk, közvetlen közelről vizsgálhattuk, megtagathattuk a kísérleti reaktort, turbináit, mindent. Nagy élmény volt.

Természetesen más szocialista országok is küldtek delegációkat. A világhírű fizikus, Joliot-Curie munkatársa, a jugoszláv Savic, a Szovjetunióból hazatérve megszakitotta útját, feljött a KFKI-ba. Megnézte az atomfizikai osztályunkat és csodálkozva mondta: „Higgye el kollégám, itt Budapesten sokkal jobban meglepődtem, mint a Szovjetunióban. Ott csodálatos dolgokat láttam, de arra számítottam. Erről egyszerűen fogalmam sem volt, hogy önöknél ilyen berendezések működnek, nemzetközi súlyú kísérleteket végeznek.”

– *Néhány év múlva életednek nehéz időszaka vette kezdetét. Lejöttél a hegryről a Duna színtjére, a Duna mellé, a Műegyetemre. Majd életered tovább szűkült, az St. épület 216. számú szobájára. Kérdezhetek erről az időszakról is?*

– Hogyne! Miért ne! Ez is a történetemhez tartozik. Ide is saját erőmből küzdöttem le magam.

– *Jó, akkor vágjunk bele. A KFKI-ból a magad elhatározásából jöttél el vagy küldtek?*

– Erre nem válaszolhatok egyértelmű igennel vagy nemmel. Magam döntöttem úgy, hogy eljövök, de akkorra már, 1956 után megfagyott körülöttem a levegő.

- *Miért, mit csináltál ötvenhatban?*
- Megválasztottak a KFKI forradalmi bizottsága elnökének.
- *Mondanál erről kicsit többet?*
- Október 23-a után a KFKI-ban is nagy volt az izgalom, óriási gyűlést szerveztek, amelyen a kutatók és a dolgozók megválasztották a forradalmi bizottságot és annak elnökét. Demokratikus szavazással óriási többséggel engem választottak elnöknek. A padból, ahol ültem, mindössze két mondatot szóltam az emberekhez, közöltem velük, mikor és hol vehetik át a fizetésüket. Ennyi volt a programbeszédem. Az elnökség nagyon józanul és higgadtan vezette a gyűlést. Emlékszem, valaki felszólalt és nagyon csúnyán kirohant a párttagok ellen. Ne elvtársazzunk itt... meg hasonlót kiabált. Többen helyeseltek, kezdett agresszívvá válni a hangulat. Erre felállt egy vékony, sovány kutató és ezeket mondta: „Ha a kolléga nem ismerne, bemutatkozom, én vagyok a KFKI párttitkára. Tudom, most a dolgok megváltoztak. A kommunista párt egy kis párt lesz. Az a véleményem, ennek hasznát látjuk, mert akik eddig karrierizmusból léptek be, azok most kiszóródnak. Kisebb, de tiszta párt lesz a kommunistáké.” Az emberek hangulata egycsapásra megváltozott, lehiggadtak, az indulatuk elszállt.
- *A kritikus helyzetek, ha másra nem, arra jók, hogy megismerjük embertársaink valódi énjét.*
- Ez igaz. Amikor a gyűlésnek vége lett, egymás között megállapítottuk, az összejövetelem ez a felszólalás volt a legbátrabb és a legerkölcösebb. Szegény fiú, nemsokára, viszonylag fiatalon meghalt.
- *Graff György volt, rögzítsük nevét.*
- Ezt meg honnan tudod?
- *Professzor úr, én készültem!*
- Jó, jó, de ennyire?
- *Igazán nem szándékom a sebek fölszaggatása, de mikor elvállaltad a forradalmi bizottság elnöki*

tisztségét, nem érezted, itt most repedés keletkezett a politikától való tartózkodásod páncélján?

– De igen, igazad van. Úgy éreztem, mindezt a KFKI-ért teszem. Azért az intézetért, ami szívyszerelmem volt, aminek fölépítésében erőm megfeszítésével részt vettem, ahol több épületsarok, berendezés kedves gyermekemként köszönt vissza. Hittem abban, hogy tekintélyemmel, tudásommal képes leszek megvédeni az Intézetet, az értékeket mindenféle kilengéssel szemben. Jánossyval is beszélünk erről, biztosítottam, abban a pillanatban, amint itt rend lesz, az én szerepem megszűnik, és újból övé a kormánybot. A KFKI-ban nem is történt a kritikus napokban rendbontás, később a sorok rendeződtek és visszaállt a régi munkarend.

Egy idő múlva azonban a KFKI pártvezetése megkért, jöjjenek és beszéljünk a történekekről. Hosszú vita után a párttitkár ezt mondta: – Lehet, hogy a professzor úr sok jót csinált, lehet, hogy csak jót csinált, de a reakciók zászrajára mégiscsak a Simonyi név volt ráírva. Most pedig a dolgozók azt mondhatják, igen, a kisembereket kirúgjuk, az igazgatóhelyetteshez bezzeg nem merünk nyúlani. Kifejtette álláspontjukat: Ők arra kérnek, mondják le igazgatóhelyettesi tisztségemről, maradjak osztályvezető. Mondtam, én ennek semmi értelmét nem látom, majd befejeztük a véleménycserét.

Azután megindult a harc. Rá kellett jönnöm, ilyen körülmények között képtelen vagyok dolgozni, vezetni. Addig azt hittem, itt iskolát teremthetek. Sok nagy fizikus körül nem alakult ki iskola. Volt bennem egy határozott érzés: ha mindenki mindent megad, szerényebb kvalitásaimmal is, szorgalommal, munkabírással, emberismeretemmel teremthetek ilyet. Rájöttem, a körülmények ezt nem teszik lehetővé, el kell mennem. Így, bár hivatalosan soha nem kértem rá, lemondtam, munkatársaimnak írtam egy búcsúlevelet, és 1957. december 31-én végleg becsuktam magam mögött az ajtót a KFKI-ban.

VÉLEMÉNYEK

ENERGIA, CIVILIZÁCIÓ, KULTÚRA, TÚLÉLÉS – II.

Szergényi István

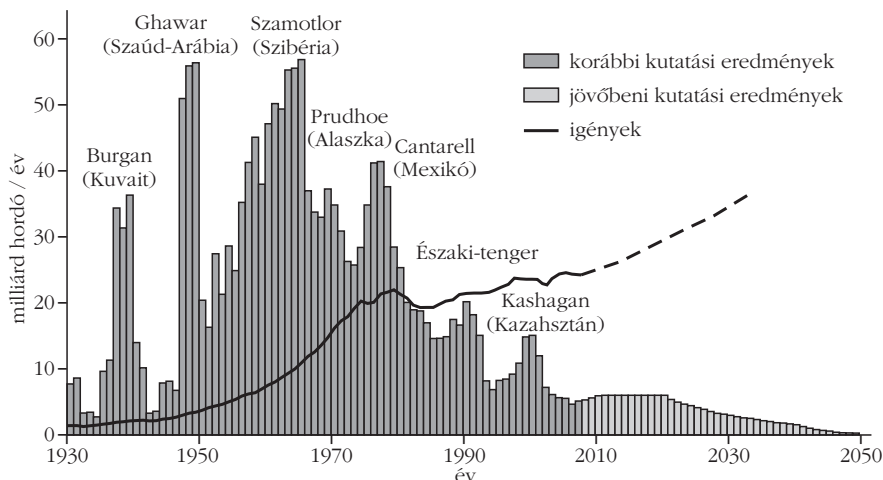
az ENSZ EGB Energia Bizottságának volt elnöke

Az energiáról gondolkodók jövőképei

A globálisan jelentkező energetikai problémák várható következményeit lényegében két alapvetően eltérő

– pesszimista és optimista – szemléletben tárgyalják, a laikus média pedig ugyancsak e két megközelítés szerint ismerteti azokat. Vélelmezhető, hogy az egymástól eltérő véleményeket az egyes szereplők szak-

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a *Fizikai Szemle* feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.



1. ábra. A kőolajlelőhelyek felfedezése és az olajfelhasználás. A legjelentősebb vagyonok közül először találták meg a kuvaiti Burgan-mezőt, majd a szaúd-arábiai Ghawart. Ez utóbbi önmagában a világtermelés körülbelül 6%-át adja, az összesen több tízezer mezőből. Ha túljut a termelési csúcson, többek szerint az a világtermelés tetőzését is fogja jelenteni. <http://peakoildebunked.blogspot.com/2005/09/119-will-world-peak-when-ghawar-peaks.html>; <http://www.hubbertpeak.com/SA> (forrás: <http://www.planetforlife.com/oilcrisis/oilstuation.html>).

mai meggyőződése mellett a személyes alkatuktól függően szintén befolyásolt világlátásuk is alakítja. Fő vonalaikban mégis célszerű tudni róluk.

A pesszimisták arra figyelmeztetnek, hogy a fosszilis energiák kimerülése a Föld lakosainak nagy tömegeire nézve akár végzetes hatást is gyakorolhat. Fred Hoyle szerint: amint elfogynak a fosszilis energiahordozók, nem leszünk képesek megtartani technológiai civilizációnkat, „csak egy dobásunk van”. Richard C. Duncan¹ [1] „Olduvai elmélete” alapján az energiatermelés már 2025 tájára bekövetkező csökkenése a népesség fogyását is maga után vonja majd. James Lovelock² véleménye az, hogy a Föld „beépített” korrekciós lehetőségeit túlhaladtuk, a bolygó pedig „meghibásodott üzemmódba” került. Többek szerint: amint az erőforrás-kínálat csökken, a gazdaság zsugorodni fog, a közegészségügy – mint a legdrágább és legkifinomultabb ágazat – szétesik, ezt követik majd a zavargások, a járványok és az éhínségek. D. Meadows [2] azt állítja, hogy az életminőség elképzelhetetlen mértékben romlik majd. El kell búcsúznunk az olcsó energiától, a búza ára is oly mértékben nő majd, hogy a szegény országok nem tudják megfizetni.³ Dmitrij Orlov [3] a várható összeomlást öt lépcsőben jósolja bekövetkezni, amely a pénzügyi válsággal kezdődik, azt a kereskedelmi, a politikai és szociális válság követi, és a kulturális válsággal teljesedik be.

¹ Richard C. Duncan, a San Diego-i Egyetem professzora.

² Lovelock felkérést kapott a NASA-tól a marsi élet lehetőségének kutatására. Ekkor fejlesztette ki Gaia-elméletét, amely szerint a Föld egy élő organizmus.

³ Arra a kérdésre, hogy milyennek látja Magyarországot esélyeit a sötét jövőképekben, a *Föld Napja* alkalmából 2005-ben Magyarországon járt D. Meadows a következő választ adta: „aránylag jónak. Egy ilyen kicsi és homogén társadalomban könnyebb változásokat elérni a fenntartható fejlődés megvalósítására. Jó az ország mezőgazdasági potenciálja, és a viszonylagos gazdasági elmaradottság előnyt jelent a máshol már bekövetkezett fejlődési zsákutcák kikerülésében.”

Az optimisták kevesebben vannak: Peter Atkins oxfordi egyetemi tanár szerint a természettudomány még sohasem találta szembe magát olyan akadállyal, amit ne tudott volna leküzdeni, és ezt alkalmas időben meg is fogja tenni. Robin M. Mills geológus-közgazdász is hasonló véleményen van, szerinte az olajhiány – ha lesz is – nem fogja az ipari civilizáció végét jelenteni. Az olaj kiváltásának lehetőségében hisz Oláh György Nobel-díjas is [4]. Ennek egyik járható útját a metanol-gazdaság széleskörű elterjesztésében látja.⁴

De nemcsak az energia konkrét kérdéseit lehet optimistán vagy pesszimistán megítélni, hanem az egész emberi társadalom jövőjét is. A szolidaritás globális

forradalmára lenne szükség ahhoz, hogy a jelenlegi társadalmak rövid távú céljairól át lehessen térni azokra a globális – többek között energetikai – távlati célok követésére, amelyeket egy kölcsönösen függő világ megkövetel. Paul D. Raskin a Tellus Institute⁵ megalapításával pedig elindította a „The Great Transition Initiative” (GTI) tevékenységét. Lester R. Brown⁶ a *B-4.0 Terü* [5] című művében keresi a kiutat abból a zsákutcából, amelybe a világ belesodródott. Ezáltal szándékozik munkáját világméretű hálózattá szélesíteni, fókuszálva a környezeti politikára, az energiarendszerekre, az ivóvíz-ellátásra, valamint a klímaváltozás problémájára, és igyekszik szembeszállni a jövőre vonatkozó pesszimizmussal.

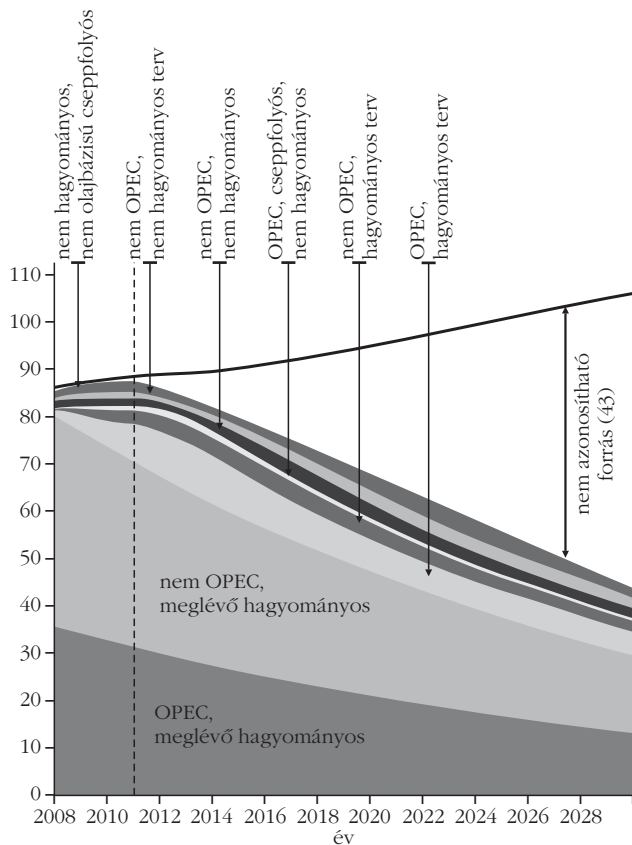
Energiatermelési kilátások

A világ jelenlegi 12 milliárd tonna olaj-egyenértékű összes energiafelhasználásának négyötöde fosszilis energia, az ahhoz tartozó infrastrukturális kiépítettséggel. Közülük a kőolajat jogosan nevezik a társadalmak vérellátásának. Nemcsak a nyugati civilizáció, hanem a legtöbb fejlődő ország is egyre nagyobb függőségbe kerül az importtól. Márpedig a világ hagyományos olajtermelése – az olajvagyonok megtalálásának csúcását évtizedek óta elhagyva (1. ábra) – a tetőzés környezetében van, hiszen az 2005

⁴ A metanol ipari előállításának elterjedése hozzájárulhat az energiaproblémák megoldásához. Üzemanyagcellákban hidrogén helyett szén-dioxidból előállított metilalkoholt használva a fő termékei az elektromos áram, a hő, a víz és a szén-dioxid. Ha ez utóbbit sikerül visszacirkulálni, a metanol reverzibilis energiahordozóként szerepelhet.

⁵ A Tellus Intézet missziója: előmozdítani a fejlődést, és fenntartani a világ civilizációját.

⁶ Lester R. Brown a Worldwatch Institute és az Earth Policy Institute alapítója.



2. ábra. A világ cseppfolyós üzemanyagforrásai a következő két évtizedben. A hagyományosan termelő, ma is működő mezőkből a 2030-ra prognosztizált kőolajigény csupán fele részben lesz kielégíthető. (Lényeges többlettermelésre elsősorban csak a közel-keleti és a Kaszpi-tengert körülvevő országoknak van esélye). Ezért nő a jelentősége a nem hagyományos olajoknak és a megújuló energiaforrásoknak, bár ezek bevonása az igények kielégítésébe nem több a becsült cseppfolyós szénhidrogén igények 10–20%-ánál (forrás: EIA.AEO2009).

óta gyakorlatilag nem nő,⁷ holott az emberiség a jövőben is egyre többet igényel(ne) belőle. Egyesek szerint a termelés a tetőzést elérve egy darabig azonos, vagy hullámzó szinten (platón) marad, mások szerint viszont szinte szinte azonnal évi 2–6%-os visszaesés következik. Az igények és a termelés közötti különbséget megújuló bázisú üzemanyagokból, illetve nem hagyományos olajokból kell(ene) kielégíteni (az így kiegészült forrásokat nevezik „liquid fuel”-nek⁸). De ezek a lehetőségek nem látszanak megnyugtatóknak, hiszen a különbség túlnyomó részének rendelkezésre állása egyelőre „nem azonosítható forrás” (2. ábra). Ebben szerepet játszik az, hogy előállításuknál figyelembe kell venni az úgynevezett „energetikai megtérülést” (EROEI),⁹ vagyis azt az arányt, amelyik az egységnyi befektetett energiával kinyerhető mennyiséget fejezi ki. Ez határozza meg termelésük értelmét, tehát nem csak annak „drágasá-

⁷ Az ASPO-USA szerint a világtermelés 98%-át adó 42 (12 OPEC és 30 nem-OPEC) legnagyobb olajtermelő országból 30 már elérte a termelés tetőzését, vagy túl is jutott a termelési csúcson.

⁸ Közéjük sorolandók a bio-üzemanyagok és a cseppfolyós hidrogén.

⁹ EROEI: Energy Return on Energy Invested

gáról” vagy környezeti hatásáról van szó. Ezért félrevezető az EROEI ismerete nélkül kijelenteni a nem hagyományos szénhidrogének mennyiségének „hatalmas” voltát (Sia Conseil) [6]. A hagyományos olajok árproblémáját befolyásolja, hogy a kínálat zömét adó fejlődő országok nagyrészt szénhidrogén-exportjuk bevételeiből élnek, és vagyonuk csökkenése következtében – kivitelek mennyiségi mérséklődése esetén – jövedelmeiket csak árak emelésével tudják megőrizni. A vevőknek arra kell felkészülniük, hogy az eladók előbb-utóbb „el fognak menni” az árakban addig a határig, ameddig a vásárlók képesek lesznek fizetni. Ezt egyedül a kereslet csökkenése ellensúlyozhatja (recesszió a vásárlói oldalon, olcsóbb alternatív energia stb.).

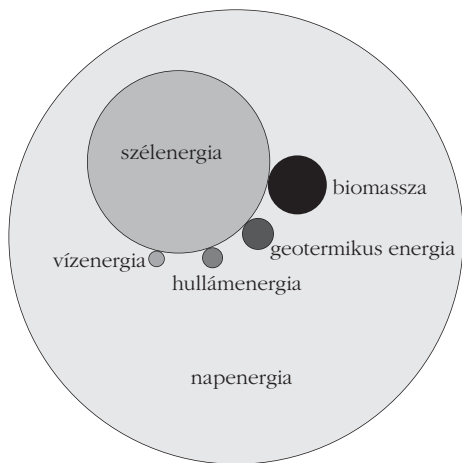
A probléma a földgáznál néhány évtizeddel később (a szénnél pedig a még távolabbi jövőben) fog jelentkezni.

Az elektromos energiát évtizedek óta méltán hívhatjuk a társadalmak idegrendszerének. Amennyiben megoldódik a villamos meghajtású gépkocsik gyártása,¹⁰ tömegtermelésének valamelyik változata jelentős mértékben helyettesítheti az olajat. A váltás más területeken is bekövetkezhet (ez alól a legnagyobb kivétel – mint százezernyi szerkezeti anyag, műanyag, gyógyszer és növényvédőszer alig nélkülözhető alapanyaga¹¹ – a petrokémiai nyersanyagként történő felhasználás). Így távlatilag a nem-fosszilis energiára alapozott villamosenergia-termelés lehet a civilizáció megmentője, de ennek feltétele a villamos energia növekvő mennyiségű rendelkezésre állása. A világon felhasznált évi körülbelül 20 ezermilliárd kWh villamos energia kétharmadát jelenleg fosszilis energia bázisán termelik. A jövőbeni lehetőségek a „tisza technológiákat” alkalmazó szén-, valamint a megújuló bázisú erőművekben, továbbá az uránvagyon végessége miatt a fissionos atomerőművek új generációiban, később (csak remélhetően) a fúziós erőművekben történő előállításban rejlenek. Mindez folyamatos kutatásokat igényel. Az atomerőműveknél azért hangsúlyozzuk az új generációjuk létesítésének szükségességét, mert a kinyerhető ismert uránvagyon (a *World Nuclear Association* szerint 5,4 millió tonna¹²) meghatározó a nukleáris fejlesztésben [7]. Mivel az atomerőművek üzemeltetése már most évi 68 ezer tonna uránt igényel, lényegesen jobb uránhasznosítású atomerőművek generációinak tömeges termelésbe állítására van/lenne szükség.

¹⁰ Amennyiben például villamos meghajtásúra sikerülne terelni a teljes közúti közlekedést, e célból körülbelül 1500 darab többlet 1000 MW-os villamoserőműre lenne szükség. Ez több mint háromszorosa a jelenleg üzemelő atomreaktorok számának. Nem felelkezhetünk meg arról sem, hogy a világ körülbelül egy milliárdos gépkocsiallómanya évente mintegy 50 millióval nő.

¹¹ Természetesen később számításba jöhet a jelenlegi petrokémiai bázisú vegyipari termékek előállítása szén vagy mezőgazdasági hulladék bázison is. Az így előálló termékpaletta azonban nem biztos, hogy majd le tudja fedni a minőségi igényeket.

¹² Az uránvagyon több mint 60%-a négy országban (Ausztrália, Kazahsztán, Kanada és Oroszország) van.

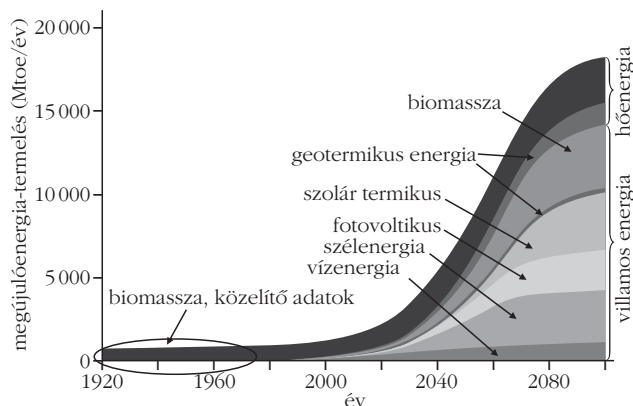


3. ábra. A megújuló energiák potenciális aránya (forrás: WBGU).

A megújuló energiákról

Mai megítélés szerint a megújuló energiáknak egyre nagyobb szerepet kell kapniuk. Az egymáshoz viszonyított (potenciális) arányokat a 3. ábra szemlélteti. Lester R. Brown szerint nemzedékünk kihívása: egy olyan új gazdaság felépítése, amelyet nagymértékben megújuló energiaforrások működtetnek, amely magasan diverzifikált szállítási rendszerrel rendelkezik, és amelyik mindent újra hasznosít és újra felhasznál. Ennek az átalakulásnak eddig soha nem látott sebességgel kell megtörténnie.¹³

Ha sikerül energetikai forradalmat végrehajtani, a megújuló energiaforrások termelése a század közepére – az L-B Systemtechnik szerint – megközelítheti a jelenlegi teljes energiafelhasználást (4. ábra). Ennek akár nagyobb része is megjelenhet villamos energiában, amelynek előállításában a szél-, a biomassza és a napenergia lehet a domináns. Ez utóbbi szerepe főként arra alapozható, hogy az intenzív kutatásoknak köszönhetően rohamosan nő a fotovillamos átalakítás határfoka.¹⁴ Mindazonáltal igazi áttörésére csak hosszú távon – várhatóan a század második felében – lehet számítani. Ez, mint egy távoli vízió, húzóereje lehet az egyébként több irányban folytatandó kutatómunkának. A rapszodikus rendelkezésre álló szél- és napenergia hatékony hasznosítása érdekében meg kellene oldani a magas hőmérsékletű szupravezetést és a villamos energia tárolását is. Ennek a kutatásfejlesztési feladatai még előttünk állnak. A megújuló energiaforrások szempontjából a biomasszát úgy célszerű figyelembe venni, hogy előállítása ne a gabonatermelés rovására történjék, mert a gabona is egyre



4. ábra. A megújuló energiák felhasználásának prognosztizált felfutása (forrás: L-B Systemtechnik).

inkább stratégiai termék lesz. (Magyarország számára ez kitörési lehetőség!) A geotermikus energiának világszerte eltérőek a lehetőségei. Hazánk e szempontból viszonylag kedvező helyzetben van.¹⁵ Az energia-váltás előmozdítását – a kutatások mellett – a nagy múltú gépgyártási hagyományaink felelevenítésével is támogatni kell!

A helyzet reális megítélésénél figyelembe kell venni, hogy mind a már alkalmazott, mind a jövőbeni energiafajták szolgálatba állításának milyen a vagyoni megalapozottsága (amire példát az előbbiekből az uránról láttunk). A figyelmet arra is ki kell terjeszteni, hogy van-e elegendő (ritka)fém, illetve katalizátor (például platina) alapanyag stb., valamint arra is, hogy melyek az egyes energiatermelési módzatok környezeti következményei. E mellett nem utolsó szempont az sem, hogy mekkora a különböző energiafajtákhoz tartozó EROEI. Meg kell említeni továbbá, hogy fontos az időtényező szerepe. A tapasztalatok alapján a jövőre nézve is az állapítható meg, hogy a megújuló és a nem hagyományos energiáknál a technológiák tökéletesedése következtében várhatóan javul, a hagyományos energiafajtáknál viszont a készletek egyre nehezebb hozzáférhetősége miatt minden bizonnyal romlik az EROEI.¹⁶

Fel kell hívni továbbá a figyelmet arra is, hogy a nagyobb bőségben, illetve kevesebb szennyezést okozó energiafeleségekre történő átállás tempóját – akár a megújuló energiaforrásokra, akár az atomerőművek újabb generációira gondolunk – a szóban forgó mennyiségek, az infrastruktúra-váltás inerciája, valamint az határozza meg, hogy az egyes új energiafajtának is megvannak a sajátos vagyoni, kitermelési, és az említettek értelmében kutatásokhoz kötött technológiai feltételei. Azt is hozzá kell tenni, hogy a várható energia-váltás az energetikán kívüli (gépipar, vegyipar stb.) területeken szintén számottevő kutatómunkát feltételez. Ennek megfelelően az átállás csak fokozatos lehet.

¹³ L. Brown négy fontos célkitűzést határoz meg: az éghajlat stabilizálását, a népességszám stabilizálását, a szegénység megszüntetését és a Föld ökológiai rendszereinek helyreállítását. Ez a szerző szerint feltétlenül kiegészítendő a jövő energiaellátásának a megalapozásával.

¹⁴ Nicola Armaroli és Vincenzo Balzani 2006-ban leírt feltételezése szerint napenergiával – 10%-os konverziós határfokot feltételezve – a Föld termőterületének 0,16%-án meg lehetne termelni a világon jelenlegi villamosenergia-szükségletét.

¹⁵ Kurunczi Mibály szerint Magyarországon a nagy és a sekély mélységű termálpotenciál együttesen 100–110 PJ/év.

¹⁶ Ezzel kapcsolatban tudni való, hogy a ma elterjedt technológiák mellett a hidrogén előállításához több energiára van szükség, mint amennyi belőle visszanyerhető.

A civilizáció jövőjét a következő néhány évtized technológiai eredményei fogják megalapozni. Ezeket az évtizedeket azonban át kell vészelni!

A tudomány és a kutatás jelentősége

A természeti kincsek fogyatkozása és a környezet érzékelhető romlása miatt az emberiség legfőbb és végső tartaléka az e fenyegetéseket egyedül kivédeni képes(?) tudás, azaz egy más minőségű energia: a szellemi (ami természetesen metafora, és közvetlenül nem mérhető kJ-ban). Az embernek a természetben kezdettől fogva rejlő lehetőségeket a tapasztalat és a kutatómunka által van esélye felismerni, kibontakoztatni, a technológiával pedig saját szolgálatába állítani. Ily módon kell előkészíteni és végrehajtani egy soron következő nagy energiaváltást is. Az említett nagy számú kihívás oldaláról érkező impulzusok igazán pozitív hajtóerőként a jövőről gondolkodók számára azonban csak akkor tudnának produktívan hatni, ha azokat integráltan sikerül átlátniuk. A változások tempója gyorsul, így az idő fokozottan sürgeti a közöttük levő sokrétű és egyre átláthatatlanabb kapcsolat minden eddiginél alaposabb elemzését. *Mielőtt a specializáció, az egyes területeken felhalmozódó ismeretmeg és az emberi elme korlátai, valamint sok egyéb miatt végleg kiesik a kezünkől a természeti folyamatok uralásának gyepője, szükség van/lenne valamiképpen használhatóvá, kezelhetővé szintetizálni ezt az óriási arzenált, segítségével keresendő a maitól bizonyára lényegesen eltérő jövőbe vezető országút.* A világháló óriási lehetőséget, sőt segítséget nyújt az emberiségnek a problémák megoldásában, de az emberi elmében rejlő asszociációs készséget és intuíciót nem képes helyettesíteni.

Szellemi energiáink tehát – amint erre általánosságban korábban is utaltunk – hozzájárulhatnak hazánk és az egész világ energetikai fejlődéséhez. Gondoljunk csak a magyar iskolarendszerekből kikerültek közül akár a külföldre szakadt *Teller Ede*, *Wigner Jenő*, *Neumann János* és sok más kiválóság eredményeire, akár az itthon maradottakéra! Vissza kell térni sikeres oktatási hagyományainkhoz!

A paradigmaváltás szükségszerűsége

„Nincsenek örök barátaink és örök ellenségeink, csak örök érdekeink vannak, és az a kötelességünk, hogy ezeket az érdekeket kövessük.” (*Lord Palmerton*¹⁷)

Adott korban valamely társadalmi szinten elfogadottá vált tudományos felfogást – de általános szemléletmódot, követett életvitelt is – *paradigmának* nevezhetünk. Az utóbbi évtizedekben a fejlett országok körében eluralkodott a „piac mindent megold” paradigmája. Amennyiben azonban különböző okok miatt

¹⁷ Viscount Palmerston (1784–1865) két ízben volt Nagy Britanniá miniszterelnöke.

túl sok, e paradigma által kezelhetetlen anomália halmozódik fel – és a globális kihívások sokasága most erre utal –, forradalmi változásra van szükség. Az ennek eredményeként létrejövő új paradigma radikálisan eltér az előzőtől. Véleményem szerint – még ha csak az energetikát tekintjük is – hármast paradigmaváltásra van szükség: a közgondolkodásban, a közgazdasági elméletben és gyakorlatban, valamint az energiapolitikákban [8].

Nyilvánvaló, hogy a *közgondolkodásban* meg kell változtatni a nyugati világ túlzottan fogyasztásorientált tudatát, ami az etikai érzés/értékek újraesztésével, mozgósításával kezdhető el. Ez minden bizonnyal az egyik, talán a legnagyobb feladat lesz. Ennek érdekében szükséges, hogy az állam segítse elő az emberi tőke gyarapítását az oktatási rendszer fejlesztésével. A felnövő nemzedékeket kellő tudással kell felvértezni a változó energetikai körülményekhez való alkalmazkodáshoz, a „jövősokk” átélése nélkül. Az IMD svájci gazdaságkutató 58 országot áttekintő vizsgálata alapján Magyarországon 2001 és 2010 között az oktatási rendszer színvonala példátlan módon a tizedikről a negyvennyolcadik helyre, a természettudományi tárgyak oktatása a második helyről a negyvenkettedik helyre, a jól felkészült mérnökök rendelkezésre állása pedig az ötödik helyről szintén a negyvenkettedik helyre zuhant vissza. Ezt a tragikus folyamatot vissza kell fordítani! A jövő legnagyobb tartaléka a tanuló ifjúság. Az oktatott anyag szempontjából fontos lenne – új vonásként – a meglévő ismereteket szintetizálni is, hogy annak alapján rendelkezésre álljon majd fakultatív tananyag az annak elsajátítására fogékony diákok számára. Ez azért volna jelentős, mert az *összetetté vált problémák megválaszolásához transzdiszciplináris erőfeszítésekre van/lesz szükség, és arra is, hogy mielőbb legyenek olyanok is, akik azokat gyakorolják.*¹⁸ Ezt a gondolatot inspirálja az energetika is, tekintve, hogy az mindennel összefügg. A felnőtt társadalmat pedig tájékoztatni kell – a médiát is bevonva – a világ energiahelyzetéről, valamint arról, hogy az egyes ember mit tehet az energiaellátottság fenntarthatósága érdekében.

Közgazdasági vonalon új – a neoliberalizmust meghaladó – elméletet és gyakorlatot kell kidolgozni és megvalósítani a gazdaság sikeres működtetéséhez. *Véleményem szerint az energiaellátás mindenre kiterjedő következményei különösképpen sürgetik az áttérést a pénz vezérelte gazdaságról a természethez igazodó fejlesztésekre.* A megoldás keresésekor a természeti rendszereket (erőforrásvagyon, környezet) mielőbb elébe kell helyeznünk a pénzügyi szempontoknak! A szállítás drágulása felértékeli a helyi termelés (a lokális gazdaság) szerepét, különösen az energiaigényes mezőgazdaságban, ezáltal a hazai termőföldét és a élelmiszer-termelését, valamint a vízvagyó-

¹⁸ A szerző másfél évtizede kezdeményezte *Pungor Ernő* akadémikus, a Magyar Mérnökök és Építészek Világszövetsége akkori elnökének támogatásával a Szövetség keretében e célból egy munka kidolgozását, az elgondolás azonban akkor nem valósult meg. A problémák egyre összetettebbek voltak miatt ma fokozottan aktuális lenne.

nét is, de lehetőség szerint minden egyéb területen is. A vidékfejlesztéssel összhangban a gazdasági prioritások közé célszerű sorolni a helyi élelemtermelést, ez utóbbinak elsőbbséget adva még a mezőgazdasági ipari célú hasznosításával (üzemanyaggyártás) szemben is. Szükség esetén az sem kizárt, hogy felmerül majd bizonyos emberi tevékenységek lassításának, korlátozásának kényszere is.

Fokozott súlyt kell helyezni a külpolitikára itt Európában, sőt Magyarországon is! Ezért választottam e pont mottójául Lord Palmertson bon mot-ját.¹⁹ A külpolitika energetikai fontosságára a közelmúltból is lehetne példákat sorolni. Ezúttal mégis egy régebbit említünk: az Egyesült Államok elnöke 1944 elején a külügyminisztériumát(!) bízta meg az olajkérdés – szakértői véleményekre alapozott – tanulmányozásával. Az így szerzett információkkal felvértezett Roosevelt elnök a II. világháború vége felé a Jaltai Konferenciánál hazatérőben (1945. február) a Szezei-csatornánál leghorgonyzott Quincy cirkálón találkozott *Ibn Szaúd* királlyal, és biztosította Szaúd-Arábiát²⁰ az Egyesült Államok barátságáról és támogatásáról az azóta is tartó olajszállítások fejében²¹ (5. ábra).

Összegzés

E rövid cikkben csak vázlatos eszmefuttatásra volt lehetőség. Záró gondolatunk is csak néhány mondatnyi terjedelmű. A legfontosabb látni, hogy mint a történelemben megannyiszor, most is az emberi tudáson és etikai érzéken van a sor. A kormányzatoknak a nemzetközi kapcsolatok építése mellett az (etikai) nevelést, az energiatudatosságra irányuló oktatást, a tudományt, a természettudományos kutatást, valamint a technológia-fejlesztést fokozottan támogatnia kell!

¹⁹ *The Washington Times* (<http://www.washingtontimes.com/news/2010/feb/23/energy-geopolitics-deserves-center-stage>) hangsúlyozza, hogy „jelenleg a nyugati politikusok – szemben az orosz, a kínai és az iráni politikusokkal – nem fordítanak kellő figyelmet az energetikát érintő eurázsiai folyamatokra”. (Az 1993-ban elfogadott magyar energiapolitika még így fogalmazott: „számolni kell – európai összefogás keretében – a világ második legnagyobb földgázforrásával rendelkező iráni lelőhelyek elérésével”. Politikai okokból ezek az elképzelések lekerültek a napirendről, Kína viszont évről-évre egyre nagyobb figyelmet fordít Oroszországra és az Iránt is magába foglaló Kaszpi-térség energiaforrásaira. Lehet, hogy ez utóbbiakról Európa lemarad?

²⁰ Az Amerikai Egyesült Államok a világ legnagyobb kőolaj-importőre. A második legjelentősebb beszállítója Kanada után Szaúd-Arábia ma is.

²¹ Tudni való, hogy az amerikai olajkoncessziós ügyben már 1933-ban szerződést kötöttek a szaúdi uralkodóval, de a nagyarányú olajkitermelés csak 1944 után indult meg. A világ messze legnagyobb olajmezőjét (Ghawar) 1948-ban találták meg és 1951-ben indult a kitermelés (1. ábra).



5. ábra. Roosevelt elnök találkozósa Ibn Szaúd királlyal.

Túlélésünk, civilizációink megmaradásának legfőbb záloga az e területekre történő befektetés. Az emberiség sorsa a jövőben is szellemi síkon fog eldőlni!

Ezzel kapcsolatban azonban hangsúlyozni kell – amint azt *Aszódi Attila* a japán földrengés atomerőművi következményeivel foglalkozó harmadik helyzetelemzése is rögzíti:²² „alapelv, hogy ha a tudományban új ismeretek merülnek fel, akkor az alapján a létesítmények biztonságát újra kell értékelni. A japán események ismeretében feltétlenül szükséges az európai atomerőművekben megvizsgálni a dízelgenerátorok működőképességét és a súlyos balesetkezelési utasítások érvényességét.” E közlemény írásának idején még nem tudható, hogy miként záródik le a baleset, a végleges következtetések levonásának sincs itt az ideje, és az sem tudható, hogy a világ közvéleménye miként fog reagálni a katasztrófára.

Irodalom

1. Richard C. Duncan: *Sliding Towards a Post-Industrial Stone Age*. Institute on Energy and Man., 1996.
2. Meadows D. Randers J., Meadows D.: *A növekedés batárai – barminc év múltán*. Kossuth kiadó, 2005.
3. Dmitry Orlov: *The Five Stages of Collapse*. 2008. febr. 22. <http://www.energybulletin.net/node/40919>
4. George A. Oláh, Árpád Molnár: *Hydrcarbon Chemistry*. Second Edition. Publ. By John Wiley & Sons, Inc., Hobocen, New Jersey
5. *A B-4.0 terv. Mozgósítás a civilizáció megmentésére*. http://www.earth-policy.org/images/uploads/book_files/PB4_Hungarian.pdf
6. Sia Conseil: *Les opportunités et les obstacles de l'exploitation des gaz non conventionnels en Europe*.
7. World Nuclear Association. (<http://www.world-nuclear.org/info/inf75.htm>)
8. Szigényi I.: Paradigmaváltás az energetikában civilizációnk megtartása érdekében. *Magyar Energetika* 2009. december.

²² Aszódi Attila, BME Nukleáris Technikai Intézet: *Újabb (3.) helyzetelemzés a japán földrengés atomerőművi következményeiről*. 2011. március 16.

FIZIKAVERSENY A CSODÁK PALOTÁJÁBAN

Vicze Zsolt

Pataky István Szakközépiskola

Amikor pályakezdőként egy műszaki szakközépiskolában helyezkedtem el, azt reméltem, hogy diákjaim érdeklődőek lesznek a természettudományok iránt. Várakozásaimmal ellentétben a mindennapok során nem ezt tapasztaltam, tapasztalom. Sokat gondolkodtunk a munkaközösség tanáraival, hogy milyen módon tudnánk változtatni ezen. A sok felvetésünk közül az egyik megvalósult próbálkozásunkról szeretnék itt beszámolni.

Úgy döntöttünk, hogy fizikaversenyt szervezünk a 10. évfolyam számára, amely kidolgozására és lebonyolítására a munkaközösség engem kért fel.

A verseny kidolgozása során fölállítottam néhány célt. Egyrészt fontosnak tartottam, hogy maga az esemény élmény legyen a résztvevők számára. Tudom, hogy egy iskolai programnak nem kell olyannak lennie, mint egy látványos mozifilmnek, mégis úgy gondolom, hogy egyes vonásokban alkalmazkodni kell a minket körülvevő színes, hangos, pörgő világhoz. Másrészt szerettem volna elérni, hogy a diákok a versenyben aktívan, tevékenyen vegyenek részt, ne csak nézzék az ott folyó eseményeket, „saját bőrükön érezzék a fizikát”.

Tanítványaimmal folytatott beszélgetéseim alapján azt gondolom, hogy a mai diákok nagyon kevés személyes tapasztalatot szereznek az őket körülvevő világról, a tárgyak fizikai tulajdonságairól. Gyerekkorukban nem kellett lökniük és tolniuk a játékautót, mert már egy elektromos motor hajtotta, a szódavízet ma már nem szénsavpatronnal készítik, hanem palackozva veszik stb.

Az iskola anyagi és tárgyi lehetőségei alapján kétfordulós versenyt terveztem. Az első fordulóban egy fizika feladatlappal kellett megbirkózniuk a diákoknak. A legjobbak ezután gyakorlatban, kísérletekkel mérhették össze tudásukat.

A második fordulónak a Csodák Palotája adott helyet. Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a Csodák Palotájának és *Zsíros László Róbert*nek, akik segítettek elképzeléseim megvalósításában.

A verseny szervezésénél választásom azért esett a Csodák Palotájára, mert a kiállítás számtalan kipróbálható eszközzel, látványos, érdekes fizikai kísérletekkel ideális helyszínnek tűnt egy izgalmas, nem szokványos fizikaverseny megrendezéséhez.

A második forduló két részből állt, amelyen 4 fős csapatok vettek részt. Először forgószínpadszerűen kellett 4 állomást bejárniuk a résztvevőknek.

Az első állomáson a csatolt hintát kellett a diákoknak kipróbálniuk és a hozzá kapcsolódó feladatokat, kísérleteket elvégezniük.

A versenyzőknek a második állomáson – ahol kivételesen nem tudtak részt venni a kísérletben – a demonstrátor által működtetett Jákob-létrával kapcsolatosan kellett néhány kérdésre válaszolniuk. Maga a Jákob-létra egy nagyfeszültségű transzformátor. A szekunder tekercs két kivezetésére egy-egy fémszál van rögzítve, amelyek enyhe ívben távolodnak egymástól. Ha a tekercs kivezetései között kellően nagy a feszültség, akkor a két szál között a levegőn keresztül megjelenik egy áramív. Hogy ezek után mi történik, mindenki megcsodálhatja a Csodák Palotájában.

„Lazításképpen” a *Hatszög a hetedik* című kiállítási tárgy logikai feladványát kellett megoldaniuk, hat szöveget kellett az asztalba vert hetedik szög tetején kiegyensúlyozni. Bár itt nem kellett formális tudásról számot adniuk a diákoknak, a feladat megoldásához segítséget nyújtottak az egyensúlyról, illetve a forgatónyomatékról tanultak.

Az utolsó állomáson egy Lenz-ágyúval kísérletezhettek a résztvevők, majd magyarázatot kellett találniuk a különböző gyűrűk viselkedésére.

A verseny második felében a csapatok egy olyan feladatlappal kaptak, amin több rövid kérdés volt, amelyekre a kiállítást bebarangolva kellett a válaszokat megtalálniuk.

Hat szög a hetedik, nehéz feladat.



Köszönöm kollégámnak, *Kanyó Dániel*nek, hogy a versenyen készített képeivel színesíthetem a beszámolót.



Kísérlet a Lenz-ágyúval.



A versenyzők.

A verseny előkészületei során többször jártam a Csodák Palotájában és azt tapasztaltam, hogy sokan egy óriási játszótérnek tekintik a kiállítást. Nyilván ez célja is a szervezőknek, de úgy gondolom, hogy értő figyelem nélkül a kiállításban rejlő lehetőségek java része kiaknázatlan marad. A verseny feladataival ezért azt igyekeztem elérni, hogy a diákok álljanak meg egy pillanatra, csodálják meg a jelenségeket, majd próbálják megmagyarázni a történeteket. Íme néhány példa:

Próbáld ki a Coriolis szobát! Írd le, és magyarázd meg, mit tapasztaltál!

„Volt egy dolog, amit nagyon jó, hogy kipróbáltam, mert nem csak elméletben szembesültem a témával, hanem a gyakorlatban is. Beültünk egy kis szobába, ami körbe-körbe forgott és kaptunk egy labdát, amit gurítani kellett és tényleg egyenesen gurult, csak mi úgy láttuk, mintha elkanyarodna, pedig nem.”

Mérd meg! A homlokod vagy a tenyered a melegebb?

„... meglepődtem, hogy a homlokunk sokkal melegebb, mint a kezünk. A kezünk, még ha dörzsöltük is, nem lett melegebb, mint a homlokunk.”

Megváltozhat-e egy tárgy színe festés nélkül?

„Amikor kívülről néztem a szobában a csapattársaimat, akkor nem láttam semmi furcsát, de amikor bementem, én is szembesültem azzal, hogy meg lehet változtatni festés nélkül a tárgyak színét.”

„A kedvenc feladatomban az *Alkotó ingás* feladat volt. Ez a feladat azért tetszett, mert ilyen eszközzel szerintem én nem fogok találkozni a hétköznapi életben és itt főként a kreativitást kellett használni. Ha valamiért megérné visszamenni, hát ez az lenne.” (Gábor Bence 10.A-s tanuló)

A verseny során számomra nem az volt a fontos, hogy a diákok számot adjanak eddigi tudásukról, hanem, hogy tapasztalatokkal, élményekkel, új tudással gyarapodjanak. Nap mint nap szembesülök azzal, hogy az uralkodó óraszámok, osztálylétszámok és egyéb tárgyi lehetőségek miatt a diákok fizikaórán nagyon keveset tapasztalhatnak a fizikai világból. Ezzel a versennyel arra akartam ráébreszteni őket, hogy a fizika nem csak a tankönyvekben él, hanem körülvesz minket.

FÉNYT KIBOCSÁTÓ DIÓDÁK ALKALMAZÁSA A KÖZÉPISKOLAI FIZIKAOKTATÁSBAN

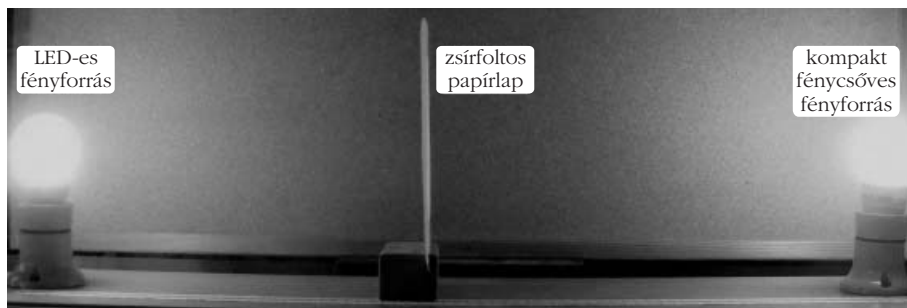
Teiermayer Attila
Karolina Gimnázium, Szeged

A fényt kibocsátó dióda (Light Emitting Diode = LED) működésének fizikája nem része a középiskolai törzssanyagának, legfeljebb fakultációs órákon vagy szakkörön tárgyalható. A LED-ek mint sajátos fényforrások azonban jól felhasználhatók a fizikatanítás számos területén. Alkalmazásuk több szempontból is

előnyös: egyrészt könnyen és olcsón beszerezhetők, használatuk nem igényel speciális felszerelést, és lehetőséget nyújtanak arra is, hogy érdeklődőbb, tehetségesebb diákjaink otthon is kísérletezzenek velük; másrészt az elvégzett kísérletekhez, mérésekhez számítási feladatokat is kapcsolhatunk. A kísérletek magyarázatot, értelmezést kívánnak, ezek során sokat taníthatunk meg diákjainknak a félvezető-fizika speciális területeiről is.

Írásomban a LED-ek néhány iskolai alkalmazását szeretném bemutatni a teljesség igénye nélkül.

Ezen írásom az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása programban folytatott munkám keretében készült. Szeretném megköszönni témavezetőm, *Jubász András* cikkíráshoz nyújtott segítségét, hasznos ötleteit és tanácsait.



1. ábra. A házilag is elkészíthető zsírfoltos fotométer.

A LED-lámpa mint energiatakarékos fényforrás

Egyetlen LED fényereje csekély, ha azonban egy foglalatban sok LED helyezkedik el, az együttes fényerő összemérhető a hagyományos lámpákéval, miközben elektromos energiaigénye sokkal kisebb azokénál. A kereskedelemben bő választékban kaphatók ilyen há- lózáti feszültségre készült LED-es fényforrások. A LED működtetésére néhány volt egyenfeszültség szükséges. A sok LED-ből álló lámpák foglalatába beépített elektronika biztosítja, hogy a diódák a 230 V-os hálózati feszültségről táplálva is működtethetők legyenek.

A 2010. májusi emelt szintű érettségi vizsga szóbeli tételsorának egyik mérési feladata az volt, hogy a vizsgáló hasonlítsa össze egy hagyományos izzó és egy geometriailag teljesen hasonló felépítésű kompakt fénycsöves fényforrás relatív fénytjeljesítményét zsírfoltos fotométer segítségével. Relatív fénytjeljesítményen a kítűzött feladat a fényforrás fénytjeljesítménye és a felvett elektromos teljesítmény hányadosát, tehát a fényhasznosítást értette. Ez a feladat továbbfejleszhető úgy, hogy a másik széles körben elterjedt modern fényforrással, a LED-es fényforrással történjen az összehasonlítás, vagy a két új típusú fényforrás relatív fénytjeljesítménye kerüljön összevetésre.

Ehhez a mérési feladathoz rövid, de tanulságos számítási feladatokat kapcsolhatunk. E témakör fel- dolgozása történhet szakköri keretek között, tanórán csoportmunkában, vagy frontális foglalkozásban.

A *Bunsen* által kifejlesztett zsírfoltos fotométer egy- szerűen használható a mérés elvégzéséhez. Ha a zsírfoltot csak egy irányból világítjuk meg, a fényforrás felőli oldalon a folt sötétebb, a szemközti oldalon pedig világosabb, mert a zsírfolt fényáteresztő képes- sége nagyobb, mint az őt tartalmazó papíré. Ha az 1. ábrán látható módon mindkét oldalról megvilágítjuk a fényfoltot, és megtaláljuk a papírlap azon helyzetét, ahol a folt mindkét oldalon azonos fényességű, akkor a folt megvilágítotttsága megegyezik [1].

Szakirodalmakból [2] megtudhatjuk, hogy a folton a fényforrás fénytjeljesítménye egyenesen arányos a folt és a fényforrás távolságának négyzetével, így

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2,$$

illetve azt, hogy a fényhasznosítások aránya az

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \frac{P_2}{P_1}$$

összefüggéssel számolható ki, ahol Φ a fényforrás fénytjeljesítményét, η a fényhasznosítást, r a folt és fényforrás távolságát, P a fényforrás elektromos teljesítményét jelenti.

Méréseimhez egy 60 W-os hagyományos izzót, egy ME-

GAMAN Party Color típusú kompakt fénycsövet (gömb alakú búra, átmérő: 6 cm, teljesítmény: 6 W, élettartam 10 000 óra), és egy FORlight típusú, 60 LED-et tartalmazó fényforrást (gömb alakú búra, átmérő: 5,7 cm, teljesítmény: 3 W, élettartam 50 000 óra) használtam. A fényforrások kiválasztásánál figyeltem arra is, hogy mindegyik fénye „meleg” legyen.

Első feladatként adhatjuk diákjainknak, hogy mé- réssel hasonlítsák össze a hagyományos fényforrás és a két modern fényforrás fénytjeljesítményét, fényhasznosítását, és ezen adatokból jósolják meg a két modern fényforrás fényhasznosításának arányát, majd méréssel ellenőrizzék a számítás eredményét.

Először tehát összehasonlíthatjuk a hagyományos izzót a kompakt fénycsövevel és a LED-es fényforrással. A méréseket a fent leírtak alapján elvégezve kapjuk, hogy

$$\frac{\Phi_{izzó}}{\Phi_{komp}} = 4,92 \quad \text{és} \quad \frac{\eta_{izzó}}{\eta_{komp}} = 0,49,$$

valamint

$$\frac{\Phi_{izzó}}{\Phi_{LED}} = 6,37 \quad \text{és} \quad \frac{\eta_{izzó}}{\eta_{LED}} = 0,32.$$

A méréseket elvégezve jóslatként

$$\frac{\eta_{komp}}{\eta_{LED}} = \frac{0,32}{0,49} = 0,65$$

értéket kapunk. Ha ezután a két modern fényforrással a mérést elvégezzük, ez a hányados 0,71-nek adódik. Ha a mért és a számolt eredmény viszonylag közel esik egymáshoz, az eredménnyel elégedettek lehetünk, hiszen a foltok világosságának vagy sötétségének megítélése szubjektív, ezért itt a relatív fénytjeljesítmények arányának becsléséről lehet csupán szó.

A most következő feladatok elméleti jellegűek, de az energiatakarékosra nevelés szempontjából fontosak lehetnek.

1. *A fénytjeljesítményeket összehasonlítva hány kompakt fénycsöves, illetve LED-es fényforrás helyettesít egy 60 W-os izzót?*

A fénytjeljesítmények arányait megfigyelve elmondhatjuk, hogy egy 60 W-os izzót esetünkben körülbelül 5 kompakt fénycsöves és körülbelül 6 LED-es fényforrás helyettesít. (A napi gyakorlatban egy 11 W-os

kompakt fénycső helyettesítheti a 60 W-os izzót, egy 14 W-os már felül is mülja – csakhogy ezek nem gömb alakúak, ami nehezíti a fotométeres összehasonlítást.)

2. *Miért választják az emberek a hagyományos izzót a modern fényforrásokkal szemben?*

Egyrészt azért választják az emberek a hagyományos izzókat, mert kevesebbre van belőlük szükség ugyanakkora fényerősség eléréséhez, másrészt egy izzó ára 80–100 Ft, egy kompakt fénycsövesé 2000 Ft, egy LED-es fényforrásé 3–4000 Ft.

3. *Egy hagyományos izzó átlagos élettartama 1000 óra, az általunk használt kompakt fénycsöves fényforrásé 10 000 óra, a LED-es fényforrásé 50 000 óra. Az izzó ára 90 Ft, a kompakt fénycsöves fényforrásé 1900 Ft, a LED-es fényforrásé 3800 Ft volt. Ha egy szobát a 60 W-os izzó fényerejével szeretnénk megvilágítani napi 8 órán keresztül, hosszú távon gondolkodva melyik fényforrás alkalmazását javasoljátok? (1 kWh villamos energia árát számoljuk átlagosan 50 Ft-nak!)*

Az előző mérési eredmények után a számítást elvégezve a LED-es fényforrással 50 000 óra alatt körülbelül 49 000 Ft-ot fizetünk az áramért, a kompakt fénycsöves fényforrással körülbelül 85 000 Ft-ot, (a 14 W-os kompakt fénycsőnél körülbelül 40 000 Ft-ot) a hagyományos izzóval pedig 154 000 Ft-ot. (50 darab hagyományos izzó ára 4500 Ft, 5 kompakt fénycsőé 9500 Ft, míg a LED-es fényforrásé 3800 Ft, ez a különbség az áramfogyasztáshoz képest elhanyagolható.)

A számok alapján egyértelműen a LED-es fényforrás mellett érdemes döntenünk. Ugyanakkor az is az igazsághoz tartozik, hogy napi 8 óra üzemidővel számolva az 50 000 óra körülbelül 20 év, és az emberek világítás szempontjából ekkora távlatban nem szoktak tervezni, kiindulva abból, hogy 20 évvel ezelőtt a mai újításokra nem számíhattak volna.

Ezek a feladatok segíthetnek minket abban, hogy diákjainkat a meglévő energiával való takarékoskodásra neveljük, élményt jelenthet eközben az, hogy egy általunk elvégzett órai mérés szolgáltatja a számítási feladat alapját.

Házi készítésű LED-stroboszkóp

Mint minden diódán, a LED-en is csak egy irányban haladhat át az áram. Ez teszi lehetővé, hogy könnyen, egyszerűen készítsünk belőle stroboszkópot. Változó feszültségre kapcsolva a LED csak félférfidusonként világít. 50 Hz-es frekvencián ez nem érzékelhető, ha azonban a frekvenciát csökkentjük, a jelenség jól megfigyelhető.

Az 2. ábrán látható stroboszkópot egy LED-es zseblámpából készítettük. A zseblámpa 20 kis fényerejű LED-ből áll, és eredetileg 4,5 V egyenfeszültségről működtethető. Kis átalakítással azonban elérhető, hogy hanggenerátorra csatlakoztathassuk. A lámpában a LED-es hálózat egyik kivezetése maga a fémtest, a másik pedig a csőben közvetlenül a LED-ek alatt található kis rugó.

A cső falát szakkörös diákjaimmal két helyen átfúrunk, egy vezetékkel a cső belső falára forrasztottunk, egy másikat pedig egy szigetelőszalaggal bevont kromilcsipesz segítségével a rugóhoz rögzítettük. A vezetékeket banánhüvelyen keresztül köthetjük a hanggenerátorra. Figyelnünk kell arra, hogy a váltófeszültség alkalmazásakor a hanggenerátor által kiadott effektív feszültség nem lehet nagyobb, mint

$$\frac{4,5 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 3,2 \text{ V},$$

hiszen a LED-es hálózaton eső csúcsheszültség legfeljebb 4,5 V lehet! A lámpa által felvett teljesítmény a mérések szerint 400 mW körül van.

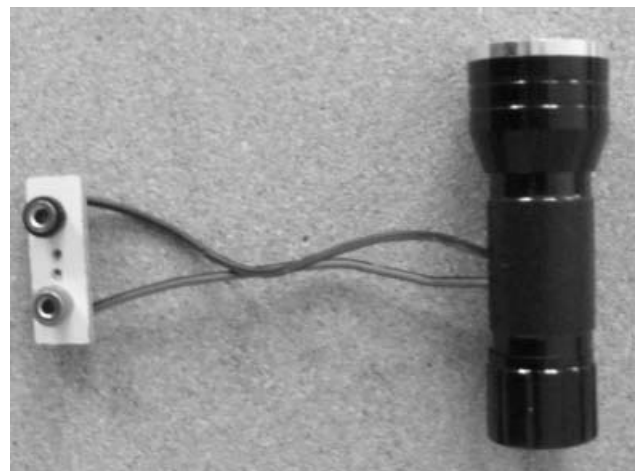
A hanggenerátorról működtetett diódák villogó megvilágításában a folyamatos mozgások szakaszosnak tűnnek, a stroboszkóphatás jól megfigyelhető. Ha a mozgó test fényvisszaverő-képessége jó, például fehérre van festve, a helyiséget elsötétítve és a mozgó test mögé sötét hátteret helyezve, egyszerű stroboszkópunk megvilágítása mellett „stroboképeket” fotózhatunk.

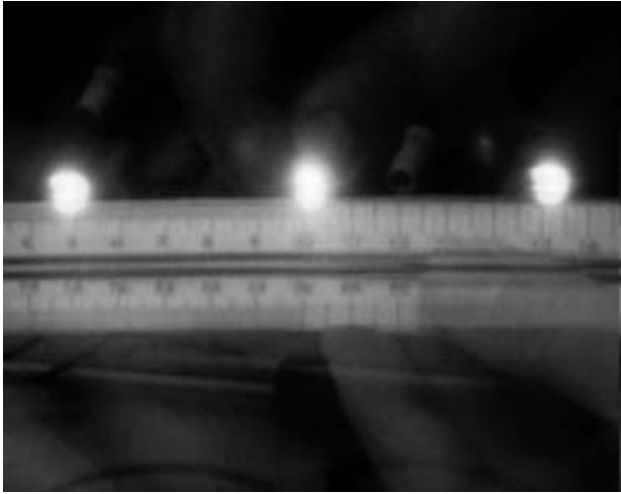
Fényhullámhossz-mérés optikai rácscsal

A különböző színű fény hullámhosszának mérése fontos optikai kísérlet. Egyetemi laboratóriumokban drága spektroszkópokkal speciális töltésű gázkisülési csövek fényét vizsgálják. Középszolai szinten jól megfelel a különböző színű LED-ek fényének vizsgálata egyszerű optikai rácson keresztül. A hullámhosszmérést szubjektív észleléssel vagy egyszerű digitális kamerával (például mobiltelefon kamerája) készített fotó segítségével végezhetjük el.

Színés LED mellé helyezünk cm-skálát (fehér papír-mérőszalagot vagy vonalzót)! A LED-et igazítsuk például a 10 cm-es osztásvonalához! Távolodjunk el a LED-től előzőleg kimért 1-2 méter távolságra, majd nézzünk a világitó LED-re úgy, hogy közvetlenül egyik szemünk elé optikai rácscsal tartunk! Ha a rácscsal

2. ábra. Saját készítésű stroboszkóp.





3. ábra. A szubjektív észlelésről készült fotó.

osztásvonalai függőlegesen állnak, a 3. ábrához hasonló képet látunk. Középen, a skála kiválasztott vonalánál a világító LED, jobbra és balra szimmetrikusan a két elsőrendű elhajlási maximum található. Ez a mérés szubjektív észlelésen alapuló módja.

Ha mindkét szemünkkel egyszerre nézünk, a természetes látványt és a rácson keresztül látott képet agyunk egymásra vetíti. Így jól meg tudjuk állapítani, hogy a diódától jobbra és balra eső elhajlási maximumok a centiméterskálán hová esnek. A rács és a LED távolságát (L), az elhajlási maximumok skálán mért távolságát (x) és az optikai rács rácsállandóját (d) ismerve a fény hullámhossza meghatározható (4. ábra).

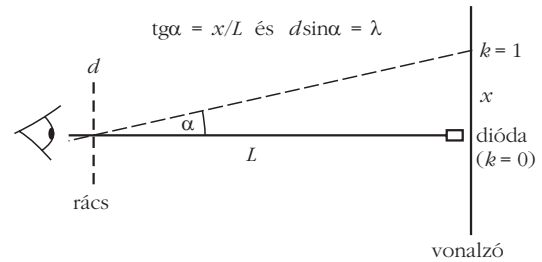
A szubjektív látványt rögzíthetjük digitális fényképezőgéppel (például mobiltelefon kamerájával). A fényképezőgépet szembe állítjuk a centiméterskála fölött lévő diórával, közvetlenül az objektív elé tartjuk az ismert rácsállandójú optikai rácsot, és exponálunk. Ezután lemérjük és feljegyezzük a LED és az optikai rács (illetve a gép lencséje) közti távolságot. A kamera a szemünkhöz hasonlóan alkot képet a látványról. A rögzített digitális kép azonban a rácsállandó értékével, valamint a kamera és tárgy helyszínen lemert távolságával kiegészítve a mérés maradandó dokumentuma. A fotót a kísérlettől függetlenül utólag bárhol, bármikor megnézhetjük és kiértékelhetjük.

Az 3. ábrán látható kép készítésekor a mobiltelefon lencséje $L = 29,5$ cm távol volt a diórától, az optikai rács 300 vonalat tartalmazott milliméterenként (rácsállandó $d = 1/300$ mm). A képen a skála csekély elmosódottsága ellenére jól megbecsülhető a két oldalsó elhajlási maximum távolsága, ennek fele a számításhoz szükséges x érték, ez alapján $x \approx 5,3$ cm.

Az így ismert adatokkal és a fenti összefüggésekkel számolva a LED sárga fényének hullámhossza kerekítve

$$\lambda = 590 \text{ nm.}$$

A tapasztalatok szerint az elhajlási kép leírt fotózása után a legkülönbözőbb színű LED-ek hullámhosszát a diákok otthoni munkában is meg tudják határozni. A fotó kiértékelése feleltetéshez is kapcsolható és dolgozatban is feladható.



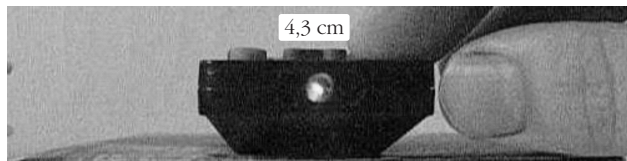
4. ábra. A mérés elméleti háttere.

Mint minden fizikai mérésnél, az előbb leírt hullámhosszmérésnél is meg kell adnunk a mérés pontosságát. A LED és a rács távolságánál a leolvasási pontosság $0,5$ cm-nek vehető, a képről a folt leolvasását $2-3$ mm-es hibával tehetjük meg. Ebből 10% -os nagyságrendű hiba származhat. Ugyanakkor ennél a mérésnél nem is a pontos számérték a fontos, hanem az, hogy egy igen kicsiny mennyiséget a legtöbb középiskolában fellelhető egyszerű eszközök segítségével viszonylag nagy pontossággal meg tudunk határozni. Különösen igaz ez a következő részben említett infravörös fényre.

Láthatatlan (infravörös) fény hullámhosszának mérése

Az elektromágneses spektrum infravörös tartományát szemünk nem érzékeli. Egyszerűen bemutatható ez például a tv-készülék távvezérlőjével. Az eszköz előlapján infravörösben sugárzó LED található. Szabad szemmel nem látjuk, hogy a LED a távirányító gombjainak lenyomásakor fényt bocsátana ki. A digitális fényképezőgép azonban ezt a fényt is „látja”. A kamera chipje érzékeli az infravörös sugárzást és meg is jeleníti a folyadékkristályos képernyőjén. Ha a távirányító gombjait lenyomjuk, a képernyőn úgy látjuk, hogy a LED világít. A digitális kamerák e tulajdonságát felhasználhatjuk arra, hogy optikai rács segítségével megmérjük a szemünk számára láthatatlan fény hullámhosszát.

Az eljárás hasonló, mint a színes LED hullámhosszának kamerával való mérésénél. A különbség abban van, hogy most az elhajlási maximumok kis intenzitása miatt sötétben kell fényképet készíteni, így a képre nem fotózhatunk skálát. A probléma kettős fotózással oldható meg. Készítsünk fényképet először világosban, ekkor például a távirányító szélessége lehet a viszonyítási alap (természetesen ekkor a helyszínen le kell mérni és fel kell jegyezni az eszköz valódi szélességét). A fotózást ezután a távirányító működése közben, az optikai rácsot közvetlenül a kamera lencséje elé tartva meg kell ismételni. Ügyeljünk arra, hogy a kamera és a infra-LED távolságát le kell mérnünk, és ez a távolság a két fénykép készítése során meg kell egyezzen. Ha a távirányító szélességét mérjük le, akkor a rácsot úgy helyezzük a kamera elé, hogy az elhajlás függőlegesen történjen, hiszen ilyenkor a vízszintes méretek nem torzulnak.



5. ábra. A távirányítóról készült fénykép.



6. ábra. Az elhajlási kép (az eredeti kép 90°-kal elforgatva).

Az 5. és a 6. ábra így készített két felvételt mutat. Így a távirányító valódi 4,3 cm szélességéből arányosan kiszámolhatjuk a már említett x távolságot. A felvétel készítésekor a lencse és a LED távolsága $L = 25$ cm volt, a rácsállandó pedig $d = 1/300$ mm. Az eredeti fotó alapján $x = 7$ cm, a számítást elvégezve az infravörös fény hullámhosszára 899 nm-t kapunk.

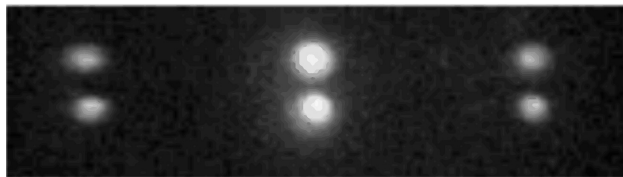
A leírt fotózás feleslegessé válik, ha találunk olyan távirányítót, ami két infravörös LED-del működik (7. ábra). Ilyenkor elegendő egyetlen fotót készíteni az elhajlásról. Arra kell csak figyelni, hogy az optikai rács vonalai párhuzamosak legyenek a két LED által meghatározott egyenessel. Ilyen felvétel látható a 8. ábrán.

A távirányítón vízszintesen egymás mellett helyezkedik el a két LED, a kamera elé tartott optikai rács vonalai ennek megfelelően vízszintesen álltak. Fényelhajlás a rács vonalainak irányára merőlegesen lép fel, ezért a két LED távolságát az elhajlás nem változtatja meg. Az elhajlási maximumok távolságát és a LED-ek távolságát a fotón mérjük. Az elhajlási maximumok valódi távolságát a fotó léptékének ismeretében tudjuk meghatározni. Ehhez a LED-ek fotón mért távolságát és a LED-ek távirányítón lemért távolságát használhatjuk fel.

A 8. ábrán az elhajlási kép látható. A valóságban a két LED távolsága 8 mm volt, a felvétel készítésekor a távirányító a kamerától $L = 16$ cm távolságban helyezkedett el, a rácsállandó $d = 1/200$ mm. A mérést és a számítást elvégezve a hullámhosszra 941 nm-t kapunk.



7. ábra. Két LED-del működő távirányító.



8. ábra. Az elhajlási kép (az eredeti kép 90°-kal elforgatva).

Összegzés

A fent leírt kísérletek csak egy szeletét adják a LED-ek középiskolai alkalmazásának. A világító diódák használatán keresztül taníthatunk anyagszerkezeti ismereteket, fizikai optikát, ezen kívül megmérhetjük a Planck-állandót [3], és beszélhetünk diákjainknak az energiatakarékosságról, a jövő (vagy már a jelen) fényforrásairól.

A kísérletek nemcsak színesíthetik a tanórát vagy a szakköri foglalkozást, hanem lehetőség nyílik mérések végzésére, kiértékelésre, és ehhez kapcsolódóan számítási feladatok megoldására.

Diákjaink így nemcsak az órán találkozhatnak a LED-ekkel, hanem otthon is kísérletezhetnek, ezzel látens módon megnövelhetjük a fizika tantárgy heti óraszámát.

Irodalom

1. Budó Ágoston: *Kísérleti Fizika III.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1995.
2. Juhász András: *A 2010. évi emelt szintű fizikai érettségi vizsga mérési feladatai.* Öveges József Tanáregylet, Budapest, 2010.
3. Juhász András, Görbe László: *A 2007. évi emelt szintű fizika érettségi új kísérleti feladatai.* Öveges József Tanáregylet, Budapest, 2007.

HÍREK – ESEMÉNYEK

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Nanoszerkezetek előállítása, vizsgálata és alkalmazása – Őszi Iskola

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Anyagtudományi és Diffrakciós Szakcsoportja 2011-ben közös Őszi Iskolát szervez.

Az idei iskola témája: *Nanoszerkezetek előállítása, vizsgálata és alkalmazása.*

Az anyagtudományban a nanométeres tartományban lezajló strukturálódási és átalakulási folyamatok, új technológiai lépések és jelenségek az utóbbi évtizedekben az érdeklődés homlokterébe kerültek. Ez az érdeklődés szükségszerűen maga után vonta a szerkezetvizs-

gálai módszerek fejlődését is, olyan új kísérleti technikák kidolgozásával és elméleti megközelítésekkel, amelyekkel a nanoszerkezetű anyagok vizsgálhatóak, a végbemenő folyamatok értelmezhetőek. Iskolánk egyik célja, hogy a szakterületet képviselő kutatók és oktatók előadásából megismerhető legyen a magyarországi kísérleti és elméleti nanoanyag kutatások széles spektruma. Az iskola-jellegre tekintettel a saját eredmények bemutatásán túl, az egyes módszereket és technikákat az általános alkalmazhatóság szempontjai szerint is szeretnénk bemutatni.

Az idén is megőrizzük az Őszi Iskola hagyományos felépítését, ezért meghívott előadók tartanak összefoglaló jellegű előadásokat, főleg PhD, illetve diplomázó hallgatóknak és a nanorendszerek iránt érdeklődőknek.

Emellett várjuk azon kollégák jelentkezését, akik rövidebb előadást kívánnak tartani a szakterület kurrens témáiról vagy saját eredményes kutatásairól.

A meghívott előadások 45 percesek, 10 perc kérdésidővel, a többi előadás 25 perces, 5 perc kérdésidővel.

Az iskola 2011. október 5-én, szerdán ebéddel kezdődik és 2011. október 7-én, pénteken délután ebéddel zárul.

Az iskola helye: Hotel Honti, Visegrád, 2025 Visegrád, Fő u. 66.

A költségekről az érdeklődőknek hamarosan e-mailt küldünk. Kérjük, jelentkezéskor a következő adatokat adják meg: név • intézet neve, címe (ahova az ELFT által kiállított számlát kéri) • e-mail cím • más elérhetőség, például telefon/mobil telefon • ELFT tag-e.

A jelentkezési adatokat a következő címre kérjük: *Újfalussy Balázs*, e-mail: bu@szfki.hu, fax: 1-392-2215, vagy *Fábián Margit*, e-mail: fabian@szfki.hu, fax: 1-392-2215.

Jelentkezési határidő: 2011. szeptember 9-e (péntek). Kérjük, hogy a hatékony szervezés érdekében a határidőt szíveskedjenek betartani.

Szeretettel várunk minden nanovilág és modern fizika iránt érdeklődőt!

Szabó István, *Újfalussy Balázs*, Anyagtudományi és *Gubicza Jenő*, *Fábián Margit*, Diffrakciós Szakcsoport

HÍREK ITTHONRÓL

Természettudományos kompetenciafejlesztés a TIT-ben

A Tudományos Ismeretterjesztő Társulat immár fél évszázada kezdte meg egyedülálló, tehetségtámogató programjait – iskolán kívüli oktatási/nevelési formák (tudományos baráti körök, készségfejlesztő és ismeretterjesztő szakkörök, tanulmányi versenyek, vetélkedők, klubok, táborok) szervezésével.

A TIT 2009-től két éven át szervezett oktatást kiegészítő képesség/kompetenciafejlesztő kiscsoportos foglalkozásokat, szakköröket, és 4 – nagy népszerűségnek örvendő – nyári napközis csillagászati tábort, a TIT Uránia Csillagvizsgáló, illetve a TIT Budapesti Planetárium területén a TÁMOP-3.2.3-08/2/KMR-2009-0010 európai uniós pályázat keretében.

A 2010 áprilisában kezdődő és decemberében lezárult, nagy érdeklődésre számot tartott 30 órás csillagászati tematikájú foglalkozásokon (*Ifjú csillagászok*,

Sétáló Naprendszer, *Csillagjárás*, *A távcső világa*) 45 csoportban több mint 400 tanuló vett részt. Emellett a nyári napközis csillagászati táborok további 80 gyermeknek nyújtottak felejthetetlen élményt.

A változatos programok során a gyerekek csillagászati műsort tekinthettek meg a TIT Budapesti Planetárium kupolájában, vetélkedők (*Bolygóvadászat*) segítségével mérhették össze tudásukat; napórát és camera obscurát készítettek, meglátogatták a Természettudományi Múzeumot és a Csillagászati Kutatóintézetet, valamint szabadterei csillagászati akadályversenyen vettek részt.

Oktatást kiegészítő természettudományi foglalkozások elérték céljukat: a gyerekek folyamatosan viszszaajárnak a csillagászati intézményekbe, és kíváncsian várják a programok folytatását.

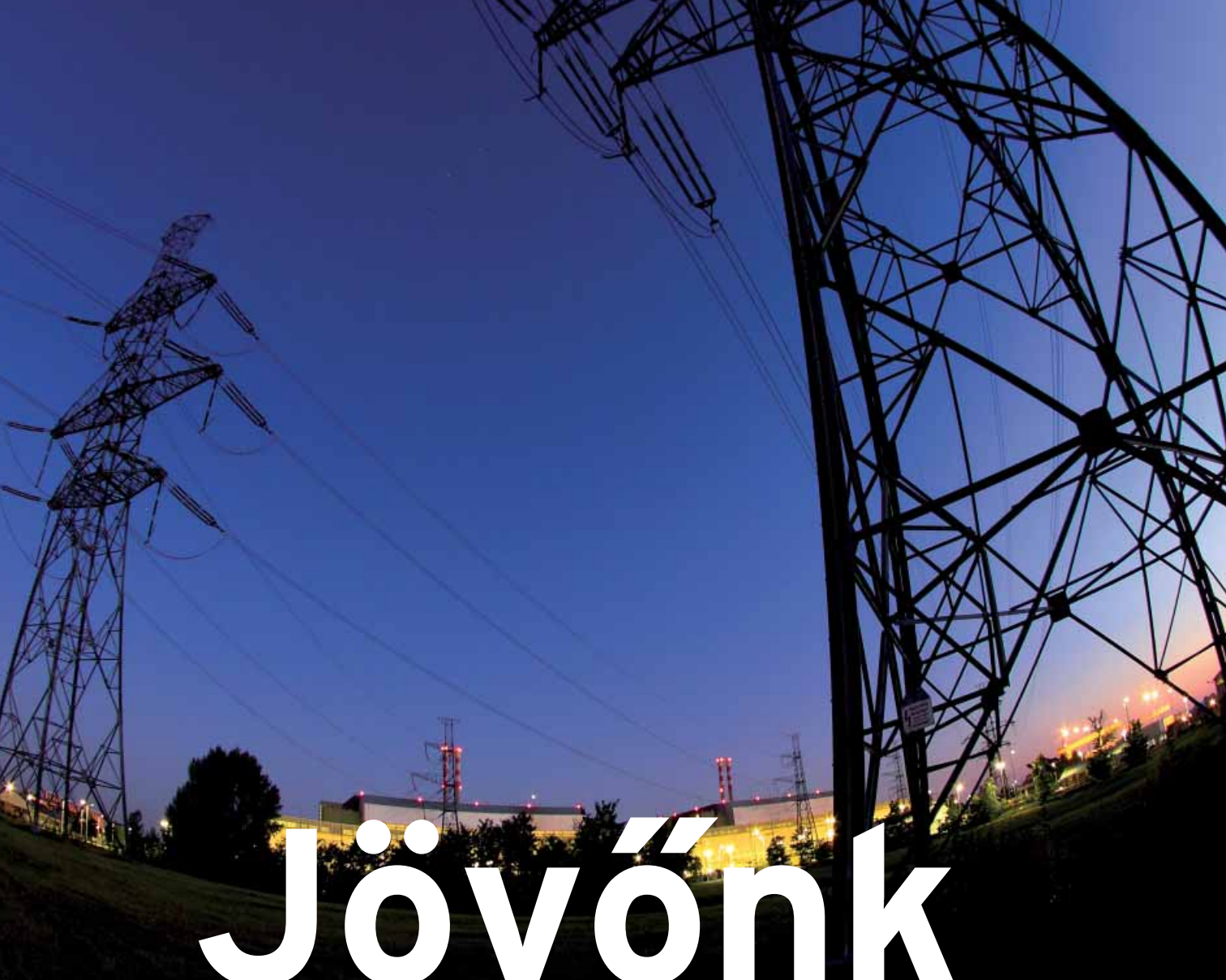


Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszechenyiterv.gov.hu
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.





Jövönk energiája



paksi atomerőmű

www.atomeromu.hu



ISSN 0015325-7
11006
9770015325009