

FIZIKAI NOBEL-DÍJ – 2009

Takács Sándor
villamosmérnök, Budapest

A Svéd Királyi Tudományos Akadémia illetékes bizottsága az idei fizikai Nobel-díjat október 6-án megosztva (fele-fele arányban) *Charles K. Kao* (Honkongi Egyetem), illetve *Willard S. Boyle* és *George E. Smith* (mindketten Bell Laboratórium, USA) tudósoknak ítélte oda az optikai kábelben történő távközlés alapjainak kidolgozásáért, valamint az elektronikus képalkotásban új távlatokat nyitó félvezető CCD-érzékelő kifejlesztéséért. Mindkét eredmény jelentősen elősegítette a 20. század második felében a távközlés lényeges átalakulásának kibontakozását. Ezáltal közvetlen technológiai hasznossággal járó kutatásokat ismertek el Nobel-díjjal. Mivel kutatásaik fizikai alapjai eltérőek, célszerűnek látszik eredményeik méltatásának elkülönítése.

Távközlési optikai kábel

A távközlés fejlődésének fő hajtóereje a mind nagyobb mennyiségű információ egyre nagyobb távolságokra való eljuttatásának igénye volt és maradt. Ez megkívánta az elektromágneses vivőhullám frekvenciájának szakadatlan növelését és az ehhez szükséges eszközök folyamatos fejlesztését. A múlt század 60-as éveiben már a 10–20 GHz-es mikrohullámú sáv sem látszott elegendőnek a jelentkező igények kielégítésére. A további fejlődés a látható és az infravörös optikai hullámok irányába mutatott. Erősítette ezt a tendenciát az első lézerek üzembe helyezése, mivel általuk a szükséges koherens optikai fényforrások egyre nagyobb választékban álltak rendelkezésre. A fő gondot az átviteli közeg okozta. A szabadtéri átvitel az atmoszféra igen tág határok között változó tulajdonságai miatt nem bizonyult eléggé stabilnak és megbízhatónak. Az akkor már ismert és szűk körben speciális célokra megfelelő optikai szálak a 100 dB/km nagyságrendű csillapításuk miatt nem voltak távközlésre alkalmasak.

Ekkor lépett a színre a Londonban frissen doktorált Ch. K. Kao, aki akkor már a Standard Telecommunication Laboratories-ban dolgozott, és tüzetes vizsgálatnak vetette alá 40 gyártó cég optikai szálait, hogy az elképesztően nagy csillapítás okait felfedje. Fiatal társával, *George A. Hockham*mal együtt 1966-ban közölték megállapításait [1], amelyek szerint az igen nagy csillapítást a kvarc alapanyag szennyezettsége (különösen a vas) okozza. Célul tűzték ki a 20 dB/km-es érték elérését, mert számításaik szerint – az akkor rendelkezésre álló fényforrások és detektorok mellett – az ilyen szál már alkalmas lehet távközlési célokra. Lelkesedésük ráragadt sok más kutatóra és gyártóra is. A nagy tisztaságú kvarc előállítása nehéz feladatnak bizonyult. A kvarc olvadáspontja körülbelül 2000 °C, és ebből az olvadékból kellett a hajszálnál is vékonyabb üvegszálát ellenőrizhető

módon állandó vastagsággal húzni. Négy évvel később, 1971-ben a (máig piacvezető) Corning Glass Works (USA) szakemberei bonyolult kémiai eljárással előállították a célul kitűzött 20 dB/km-es, néhány évvel később pedig a 4 dB/km-es szálakat is 0,85 μm -en. Tíz éven belül elérték az 1 dB/km-nél is kisebb csillapítást. Napjainkban 1,55 μm -en ez a jellemző 0,2 dB/km-nél is kisebb, ami igen közel van az elméleti határhoz. Ez volt Kao nagy teljesítménye, amelyet most Nobel-díjjal ismertek el.

1971-ben a Leningrádi Ioffe Intézetben előállították az első szobahőmérsékleten is folyamatosan működésre képes félvezető lézert. (Ezt a teljesítményt is Nobel-díjjal ismerték el.) Az optikai szál, a félvezető lézer és a GaAs fotodióda alkotta hármas képeztek az úgynevezett első generációs optikai távközlési rendszerek alap-elemeit (első optikai ablak). Mivel a csillapítás a hullámhossz függvényében erősen változik, és a következő lokális minimuma körülbelül 1,3 μm -nél van, a második generációs eszközöket már erre a hullámhosszra optimalizálták (második optikai ablak). A ma használatos nagy rendszerek az 1,55 μm -es hullámhosszon működnek. Itt a csillapításnak abszolút minimuma van, a fényforrás pedig InGaAsP lézertióda (harmadik optikai ablak). Az első 6000 km-es transzatlanti kábelt 1988-ban fektették le. Azóta a Földet behálózó optikai kábelek hosszúsága meghaladta az 1 milliárd km-t. A globális távközlés, különösen az internetforgalom és a nagy-távolságú távbeszélő-forgalom ma már döntő hányadában optikai kábeleken bonyolódik. Az optikai vivőhullám használatának fő előnye az igen nagy adatátviteli sebesség. Manapság egyetlen egymódusú szálon több Tbit/s is elérhető, ami 1 milliószor nagyobb az 50 évvel ezelőtti rádióhullámokkal megvalósítható értéknel. Ezek az adatok meggyőzően igazolják a 40 éve elindított fejlesztések páratlan sikerét.

Charles K. Kao a Standard Telecommunication Laboratories-ban az 1960-as években. (foto: EPA)





Az 1969-ben készült felvételen a Bell Laboratórium két kutatója Willard S. Boyle (balra) és George E. Smith (jobbra) megvitatják, hogy mire lehet használni az általuk kifejlesztett CCD-érzékelőt. A diszkusszió kevesebb mint egy óra alatt megszületett. (Foto: AP)

CCD optikai érzékelő

A 2009-es fizikai Nobel-díj másik felén W. Boyle és G. Smith (AT&T Bell Laboratories) osztoznak a CCD képalkotó szenzor kifejlesztéséért. Ez az eszköz az optikai szállal csak annyiban rokon, hogy mindkét esetben a fény a főszereplő, és az optikai kábeleken továbbított információk nagy többsége ma már kép. A feltalálók eredetileg képtelefon előállításán dolgoztak és – a mágneses buborékmemória analógiájára – félvezető buborékmemóriát akartak készíteni. Létre is hozták az általuk töltés buborék eszköznek (Charge Bubble Device) nevezett felépítést. A működés lényege az a képesség volt, hogy töltést tudott végigvinni egy félvezető lapka felületén. Ez az eszköz csak egy bemeneti regiszteren keresztül kapott töltést, analóg jelek tárolására és továbbítására volt alkalmas. Hamarosan világossá vált, hogy az apró elemekből (pixelekből) álló mátrix egyes elemeit fotoeffektus révén is fel lehet tölteni, ha azokat fotodiódával kombinálják: minél több fény jut a fotodiódára, annál nagyobb áram folyik át rajta, s ezáltal

nagyobb mértékben töltődik a vele sorba kapcsolt miniatűr kondenzátor, vagyis az egyes csatolt kondenzátorokból álló IC felületén a rávetített kép töltés-reliefje jön létre. A CCD (Charge Coupled Device, töltéscsatolt eszköz) chip a kilépő elektronok számát, vagyis a képpontok intenzitását pixelről-pixelre összegezi. Külső áramkör segítségével mindegyik kondenzátor képes átadni töltését a szomszédjának, így módon a tárolt kép kiolvasható. Az így nyert analóg jelet digitalizálják, s az ismert képfeldolgozó eljárásokkal kezelhetővé teszik.

A CCD-k nagy előnye a rendkívüli érzékenység, hogy a beeső fotonok körülbelül 90%-ára képesek reagálni. Ezért széles körben alkalmazzák mikroszkópos eljárások és spektroszkópiai kutatások területén. Hatalmas a jelentősége a Világegyetem vizsgálatánál, a Hubble-teleszkópot számos CCD-vel szerelték fel. A hétköznapiakban leginkább a digitális fényképezőgépek és kamerák tömeges elterjedése révén vált széles körben ismertté, gyakorlatilag csaknem teljesen kiszorítva a hagyományos filmes eljárásokat.

A jelenlegi CCD-érzékelők csak a fény intenzitását képesek érzékelni, a színét nem. Színes kép előállításához RGB (vörös, zöld, kék) szűrőkkel – a színes filmekhez hasonlóan – elsődleges alapszínekre bontják fel a képet, s mindegyik intenzitását külön rögzítik. Általában még egy további zöld szűrőt is elhelyeznek a CCD-mátrixon, a kontraszt javítása céljából. A végső képben egy-egy pixel színét a szomszédosan elhelyezkedő pixelek által felfogott fény intenzitásából számítják ki a színszűrők által átengedett színek figyelembe vételével. A fenti eljárás következtében romlik a kép élessége, ennek korrigálását azonban megfelelő maszk használatával a fényképezőgépek elvégzik. Meg kell végül jegyezni, hogy a CCD-érzékelők fogyasztása aránylag nagy, 5–6 W is lehet, szemben a manapság igen jó minőségben előállított CMOS-érzékelőkkel (0,5 W), amelyeknek más előnyös tulajdonságaik is vannak.

Irodalom

1. K. C. Kao, G. A. Hockham: Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies. *Proc IEE* 113/7(1966) 1151.

EMLÉKEZÉS SZÓBAN ÉS TETT BEN...

Tíz évvel ezelőtt, 1999. november 16-án halt meg *Kapuy Ede*, a magyar kvantumkémikusok kiemelkedő személyisége, aki a Szegedi Egyetemen volt az elméleti fizika professzora, a World Association of Theoretical Organic Chemistry (WATOC) tagja, a Nemzetközi Elméleti Kémiai-Fizikai Társaság (International Society for Theoretical Chemical Physics) alapító tagja, 1994-től a Társaság magyarországi tagozatának direktora.

Halála alkalmával sokan emlékeztek meg róla, beszéltek elért eredményeiről és az őt jellemző vonásokról. A lényeghez az a méltatója került a legközelebb,

aki a professzorsághoz elvárhatóan tartozó tudományos teljesítmény számszerűsíthető adatainak leválasztása után arról írt, ami ezen túl található: *Kapuy Ede az elméleti fizika professzora volt Szegeden, noha vegyész oklevelet szerzett. De ezzel a kémikusi diplomával Gombás Pál aspiránsa lett, tehát kijárhatta a világos modellalkotás és az elszánt numerikus számolások egyik legjobb hazai iskoláját. Ő maga a modellezést választotta, az atomi szerkezet felderítésének legbatásosabb matematikai módszerét kereste.*

Néhány könyvnek is szerzője vagy társszerzője volt, de ami igazán fontos, hogy Török Ferencsel kö-

zösen valóban nagyszerű kvantumkémiai könyvet írtak magyarul – olyat ami egyszerre tankönyv és monográfia...

Ami ezen túl van, az már csak barátai, munkatársai számára létezett (pontosabban létezik, hiszen az élet kiterjesztésének ez az első köre, a kortársi emlékezet). Legjellemzőbb vonása a világ iránti mohó érdeklődés, amit csak fokozott a megszerzett tudás. Ebhez szerencsésen társult egy adottság, az átlagot messze meghaladó memória. A könyvtár legszorgalmasabb látogatójaként a megszerzhető információkat átrostálta, a használhatót megjegyezte...

Olvasottsága, logikája, memóriája segítségével nagyszerűen eligazodott az egyes emberek deklarált céljai és személyes indítékai között. A tudomány területén fellépő adminisztrátorokat adminisztrátoroknak, a szélbámosokat szélbámosoknak látta és láttatta, hogy a fennmaradó kevesekről magától értetődő elismeréssel szólhasson. Aki megbízott ítéletében – és ilyenek sokan voltunk – nagy csalódásuktól kímélhetete meg magát.

Minthogy nem járta le a lábát térdig, kitüntetéseinnek száma csekély: Akadémiai díj II. fokozat 1970-ből, Kiváló munkáért 1980-ból és ELFT Nívódíj 1983-ban. Ezzel szemben az utóbbi tíz évben is nem csökkenő számban hivatkoznak munkáira, a Kapuy-közelítés, a Kapuy-módszer a kvantumkémia megszo-kott fogalmai lettek. Az ELTE Elméleti Kémia Tanszéke 2000-től mindmáig évente a szakma kiválóságait hívja meg előadónak az *Ede Kapuy Memorial Lecture*-höz.

Ezek után nem mondható aránytévésztséne, hogy Kapuy Ede özvegye alapítvány létrehozására gondolt és ezt hamarosan meg is valósította.

A KAPUY EDE Elméleti fizikai és kémiai eredmények alkalmazása a gyakorlatban ALAPÍTVÁNY 2001 decemberében létrejött. Az alapítvány célja: Kutatók és/vagy egyetemi, PhD-hallgatók támogatása, akik olyan tudományos eredményt érnek el, melyek az elmélet fizikában és kémiában a gyakorlati alkalmazást elősegítik, illetve annak irányába mutatnak. A támogatás jelenti – többek között – a szakmailag színvonalas diákköri pályázatok és diplomamunkák díjazását, erre érdemes PhD-hallgatók, kutatók és gyakorlati alkalmazók tudományos konferenciákon való részvételének lebetővé tételét.

Azért érdemes a hiteles szöveget idézni, hogy nyilvánvaló legyen az alapítvány céljának időszzerűsége és fontossága. Ezt minden intézmény, szervezet és felsőoktatásért, tudományért felelősséget érző és/vagy viselő személy belátta a köztársasági elnöktől az MTA vezetésén át az illetékes tanszékvezetőig, és tőlük telhető eréllyel támogatták az alapítvány célkitűzéseit és magát az Alapítványt. Pénzt azonban nem sikerült szerezni (a financiális források nem nyíltak meg). Így azután nyolc év alatt semmilyen valószínű támogatásra nem nyílt mód.

Halála után tíz évvel Kapuy Edére emlékezünk. Tudományos teljesítménye állja az idő próbáját, a róla elraktározott személyes emlékek pedig az idő rostáló tevékenysége folytán egyre értékesebbek lesznek. Az alapítvánnyal meg valószínűleg az a baj, hogy nem kérhettük ki róla a névadó véleményét. Lehet, hogy mindenekelőtt diákköri dolgozat témaként javasolta volna a *p-nél nagyobb valószínűséggel eredményesen működő alapítványok szervezése feltételeinek* kiírását.

Füstöss László

A KOPPENHÁGA BUDAPESTEN

Fizikusok régóta szerepelnek a színpadon, gondolkunk csak *Brecht* vagy *Németh László Galileijére*, majd *Dürrenmatt A fizikusok* című darabjára. A Múzeumok Őszi Éjszakáján az Elektrotechnikai Múzeumban a Műegyetem volt és jelenlegi mérnök-fizikus és matematikus hallgatói adták elő *Bohr* és *Heisenberg* barátságának történetét, *Michael Frayn Koppenhága* című kvantum-lélektani drámáját.

Természetesen semmilyen értelemben nincs új a nap alatt. *Fizikusok a színpadon* címmel majd tíz évvel ezelőtt *Jéki László* számolt be a *Fizikai Szemle* öt számában modern fizikusokról írt, a mai fizikából kiinduló darabokról. E szerint az utóbbi időben már nem feltétlenül az atombomba köré szerveződnek a fizikus-darabok: a *Q.E.D.* (Quantum Electrodynamics) című darabban a kvarkokról ugyan esik szó, de a darab *Feynman*ról szól, míg van olyan Hamlet parafrazis, amely a húrelméltre települt.

A jó darabok és neves szerzők közül is kiemelkedik *Frayn Koppenhágája*. Frayn elismert szerző, kvalitásairól magyar nyelven is meggyőződhetünk. A rendszeresen játszott *Még egyszer hátulról* (*Noises off*) jól megszerkesztett komédia, a *Balmoral* pedig olyan találóan jellemzi az angol sajtóságokat, hogy ötlete alapján született *Hamvai Kornél Szigliete*, amely évek óta a budapesti Nemzeti Színház egyik legnagyobb sikere.

Visszatérve a *Koppenhágához*; Frayn talán legelismertebb művéről van szó. Jéki László 2002-ben ezt írta: „A Copenhagen London után New Yorkban is nagy siker volt, a darab nyomán újraéledt a vita Heisenberg háborús szerepéről. A koppenhágai Niels Bohr archívum eddig nem közölt dokumentumokat tárt a nyilvánosság elé. A közlést eredetileg csak jóval későbbre, 2012-re tervezték, de a nagysikerű színdarab nyomán fellángoló viták miatt a család nem várt tovább. (Bohr 1962-ben halt meg, 50 évre tervezték a dokumentumok

zárolását.) ... Heisenberg önértékelését korábban sokan nem fogadták el, saját szerepe utólagos megszüpítésének minősítették. Többen úgy vélték, hogy Heisenberg valójában meg akarta csinálni az atombombát, csak tévedett a számításaiban és zsákutcába tévedt. Most »megszólt« a hajdani beszélgetés másik résztvevője és a visszaemlékezések megegyeznek.”

Heisenberg *A rész és az egész*ben így idézi fel ezt a találkozót: „Ha jól emlékszem, októberben értem Dániába, és tüstént meglátogattam Nielst carlsbergi otthonában, de egészen az esti séta időpontjáig nem hozakodtam elő a veszedelmes témával. Jó okom volt hinni, hogy Niels német ügynökök megfigyelése alatt áll, azért a legnagyobb körültekintéssel beszéltem. Célzásokat tettem rá, hogy elvben nincs többé akadály a atombombák építésének, gyakorlatban azonban emberfeletti technikai erőfeszítéseket igényel az ügy, ám a fizikusok mindenképpen odáig jutottak, hogy fel kell tennünk önmagunknak a kérdést: szabad-e tovább kutatni e téren? Igen ám, de amint a bomba pusztaság lehetőségét említettem, Niels annyira megrémült, hogy beszámolóim legfontosabb részét, tudniillik a technikai nehézségeket már meg sem hallotta. Már pedig számomra tényleg ez volt a döntő mozzanat: ez adta a fizikusok kezébe a döntés lehetőségét, hogy próbáljunk vagy ne próbáljunk atombombát építeni. Adhattunk volna ugyanis olyan tanácsot kormányainknak, hogy a bomba semmiképp nem készülhet el a háború végéig, és így fölöslegesen kötné le a technikai potenciál jelentős részét, de mondhattuk volna azt is, hogy a legnagyobb erőfeszítések árán esetleg még éppen időben vethetnénk be. Végső soron mindkét nézetet egyenlő meggyőződéssel hangoztathattuk volna; valóban, mint később kiderült, még Amerika sem készült el az atombombával – a maga összehasonlíthatatlanul kedvezőbb körülményei között – a német kapituláció napjáig.”

Bencze Gyula 2000 novemberében így foglalta össze véleményét a *Természet Világában*: „A *Copenhagen* című darab számos történeti tévedése és a tények kissé önkényes csoportosítása ellenére igyekszik az emberi érzelmek felől megközelíteni a fizika két nagy alakjának viszonyát, és annak fényében

Werner Heisenberg és Niels Bohr



Stenszky Dávid (Werner Heisenberg), Hudáky Zsuzsanna (Margrethe Bohr) és Papp Gergely (Niels Bohr)

megérteni, mi is történhetett azon a híres-hírhedt koppenhágai találkozón. Frayn emberileg szimpatizál Heisenberggel, akit a történelem valóban nem hozott túlságosan irigylésre méltó helyzetbe.

Nos akkor mi az igazság a koppenhágai találkozóval kapcsolatban, és milyen ember is volt Heisenberg? Sajnos ezt Frayn érdekes szindarabjából sem tudhatjuk meg, azonban a darab érdeme, hogy gondolkodásra készítet.”

A *Koppenhága* jelen változatának további érdeme, hogy egyetemisták, illetve frissen végzettek adják elő: a Műegyetem idén végzett matematikusa *Hudáky Zsuzsanna* (Margrethe Bohr) és mérnök-fizikusa *Papp Gergely* (Niels Bohr), valamint *Stenszky Dávid* (Werner Heisenberg) mérnök-fizikus hallgató. Nagyon jól, mert nem kísérelnek meg bevetni színészi eszközöket, hanem érthetően, kevés gesztikulálással mondják a szerepüket. A jellegzetesen nonprofit előadásban kellékek és smink nélkül aligha jeleníthetnék meg a 40 éves Heisenberget és a 60 éves Bohrt, és igen helyesen meg sem kísérlik. A közmegegyezés szerint kortalannak tételezett feleség alakja adott valamennyi lehetőséget színészi ábrázolásra, és az örök kételkedő *Margrethe Bohr* valóban megjelenik a színen. A néhány székből és egy asztalból álló színen, ami a célnak tökéletesen megfelelt.

A szöveg magyarra fordítása *Cziegler István* érdeme, aki az ELTE fizikus hallgatójaként fordította le a darabot nem sokkal megjelenése után. Az első hazai színpadra állítás is az ő nevéhez fűződik; 2003 és 2004 során két másik egyetemi hallgatóval többször előadták különböző alkalmi, többnyire szakmai helyszíneken. A Cziegler-féle amatőr színtársulat megszűnése után *Sükkösd Csaba* kezdeményezte a Műegyetem Természettudományi Karának hallgatói között a darab felújítását. A jelen felállásban is már több előadást ért meg a darab.

A tervek szerint lesznek még előadások. Hogy hol? Ami a helyet illeti, idézzük a darabból Bohr szavait az Univerzumból: „...nincs is precízen meghatározható, objektív Világmindenség. Csak azok között a határok között létezik, melyeket a vele való kapcsolataink határoznak meg. Csakis az ember fejében lakozó megértés által.” (FL)

